3ع ت

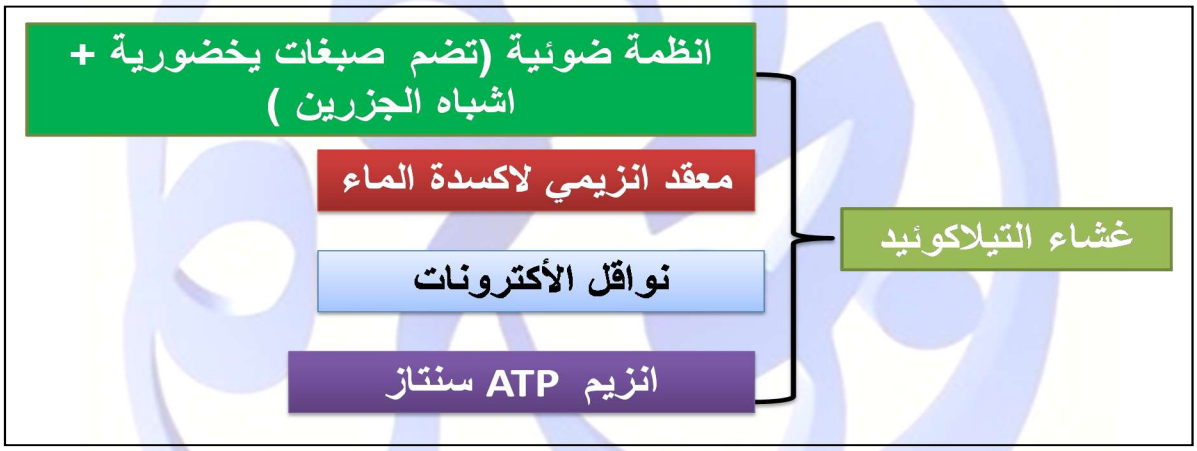
مجلّة الجوهرة / مجلة دعم مدرسية للتّحضير لشهادة البكالوريا -إعداد الأستاذة خيرة فليتي.

شعارنا: أفضل طريقة للتدرب على منهجية الدراسة في المادة أن نتناول الدّروس على شكل وضعيات مشكلة في صيغة تمارين.

العدد06: وحدة آلية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمائية كامنة

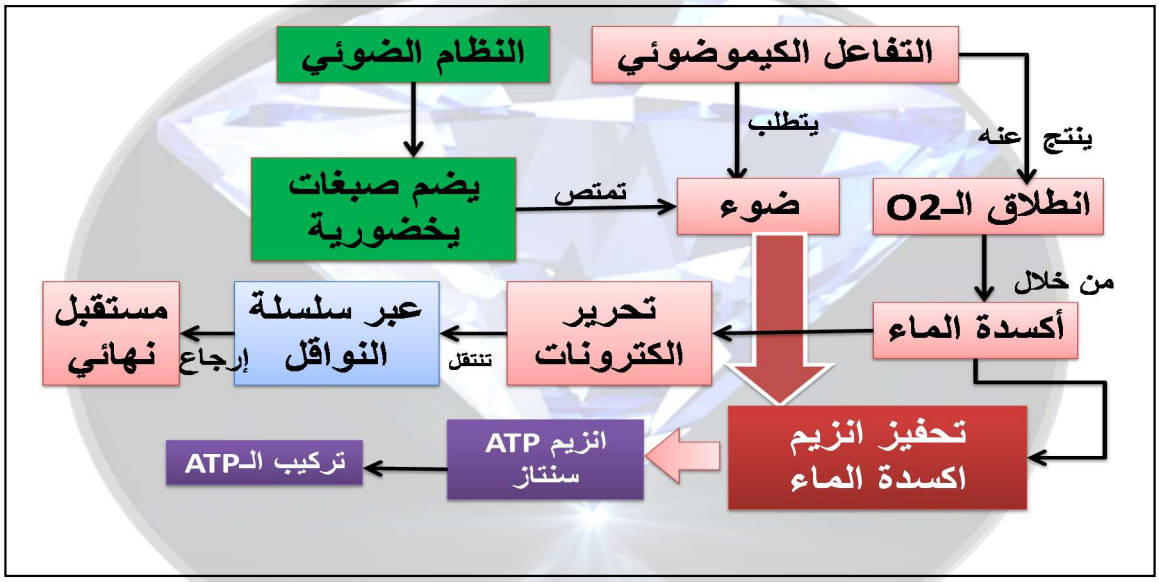
الوضعية المشكلة(2)

❖ يحدث التفاعل الكيموضوئي على مستوى التيلاكوئيد بانطلاق الـ O2، حيث انّ بنية غشاء التيلاكوئيد تدّل على حدوث سلسلة من التفاعلات.



- تنوع مكونات غشاء التيلاكوئيد يدل على أن كل مركب مسؤول عن تفاعل معين مما يخلق سلسلة من التفاعلات تشكل في مجملها آلية التفاعل الكيموضوئي.
- ماهي سلسلة التفاعلات التي تحدث خلال التفاعل الكيموضوئي (آليته)؟

❖ وضع مخطط مفاهيمي لتسهيل عملية البحث



❖ <u>مخطط البحث:</u>

❖ <u>1</u>-التحقق من شروط عمل التيلاكوئيد (المستقبل، الضوء ، ADP;Pi).

❖ 2-إظهار العلاقة بين الضوء والانظمة الضوئية (تأثير الضوء على اليخضور).

❖ 3-آلية تركيب الـ ATP.

باستغلال السندات المقدمة اشرح الية حدوث التفاعل الكيموضوئي مبرزا النواتج.

البحث والتقصي:

1/ شروط عمل التيلاكوئيد:

السند (1): تجربة هيل:

✓ **خطوات الحصول على صانعات خضراء حرة ومفتوحة الغلاف.**

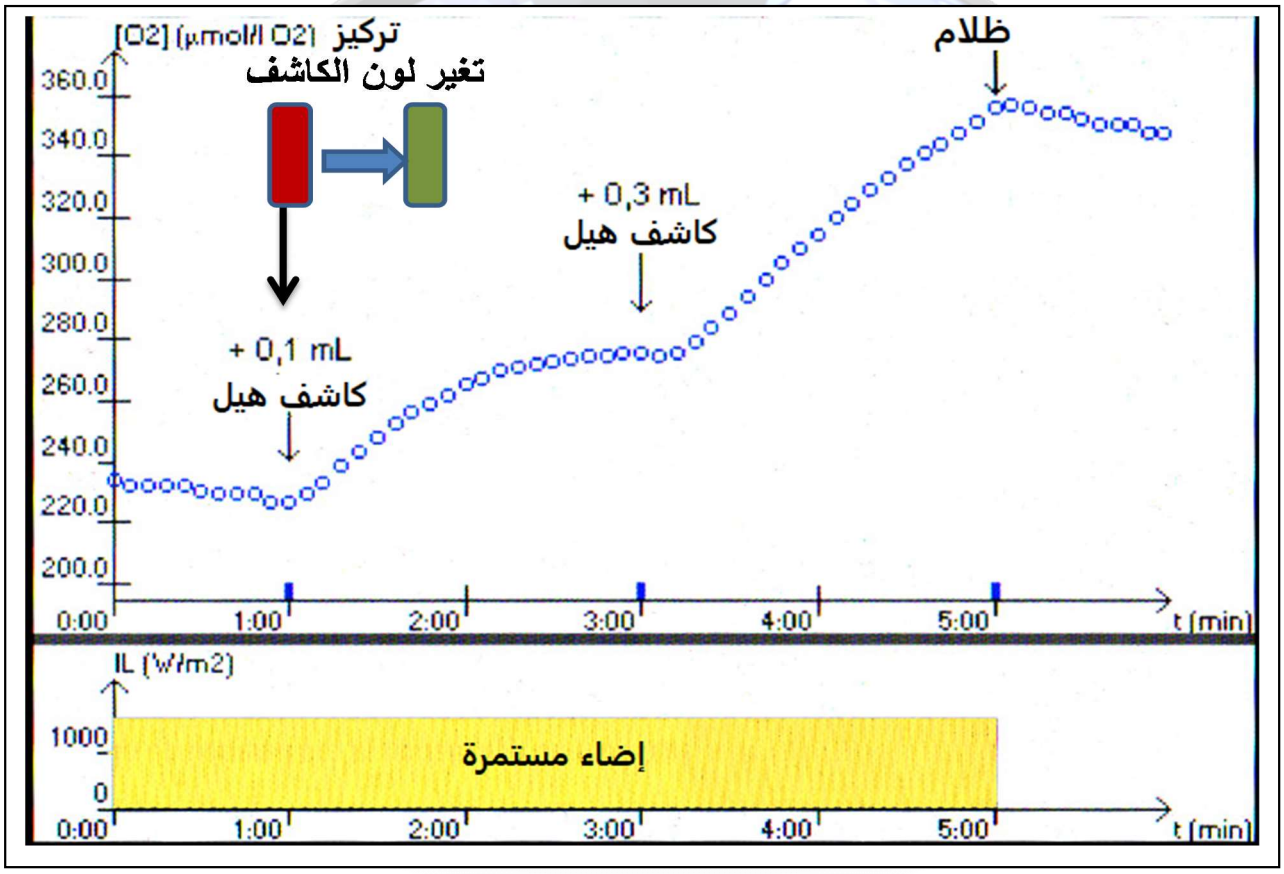
- قطع أوراق السبانخ التي وضعت سابقا في الثلاجة في هاون وضف اليها 10 إلى 25 مل من محلول سكروز الفوسفات (درجة الحموضة = 6.5) ثمّ اسحقه لمدة دقيقتين.
- قم بترشيح الخليط عبرشاش للحصول على كمية كافية من الرشاحة. (يجب أن يبقى المرشح باردًا في حاوية مغلقة، بوضعه في وعاء مملوء بمكعبات الثلج والماء).
- ضع قطرة من الترشيح بين الشريحة وساترة وتحقق من وجود البلاستيدات الخضراء الحرة وعدم وجود خلايا ورقة سليمة تحت المجهر.

✓ **خطوات الحصول على النتائج باستعمال التجريبي المدعم بالحاسوب EXAO**

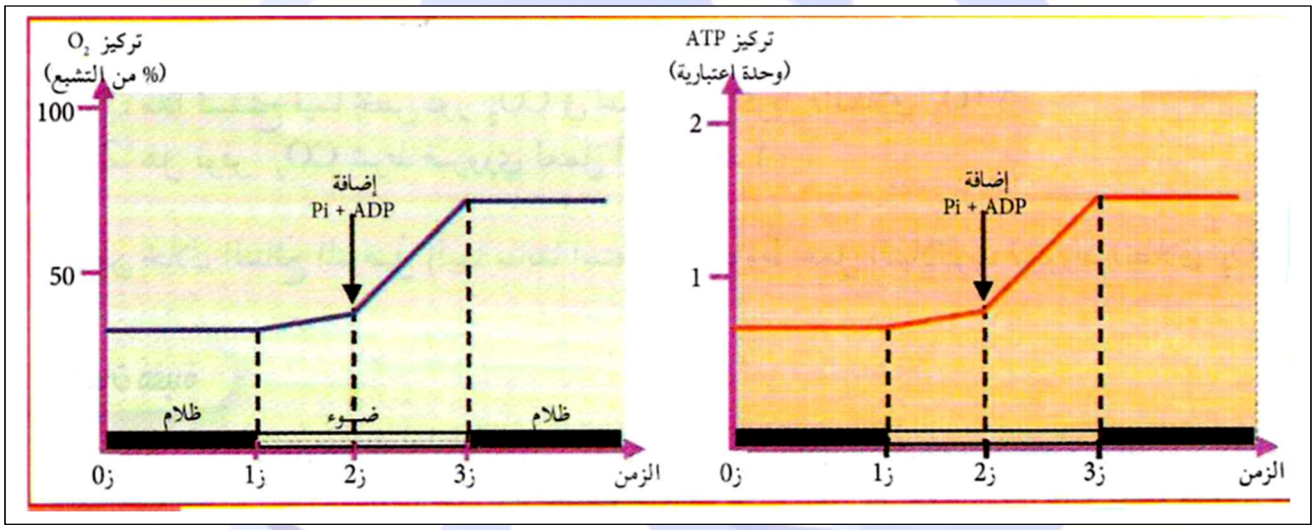
- املأ 3/2 من مفاعل حيوي خال من الـ CO2 بالرشاحة. ضع مسبار الأكسجين في الرشاحة دون ان يلمس قاعدة وعاء المفاعل.
- 2. ابدأ القياسات مع تعريض المفاعل الحيوي للإضاءة مع إجراء العمليات التالية دفعة واحدة، دون مقاطعة القياسات:
- - في ز = 1 دقيقة ضف 0.1 مل من كاشف هيل، وفي ز = 3 دقيقة ضف 0.3 مل من كاشف هيل.
- - في ز = 5 دقيقة ضع المفاعل الحيوي في الظلام (وقّف القياسات بعد 1 إلى 2 دقيقة).
- * كاشف هيل هو محلول من فيرو سيانور البوتاسيوم بتركيز 0.2 .M (64.5g / L)هذا الكاشف لديه خاصية استقبال الإلكترون وفقا للمعادلة:

K3Fe (CN) 6 + e- ==========> K3Fe (CN) 6

[الحديدالمُرجَع]---------- [الحديد المُؤكسَد]

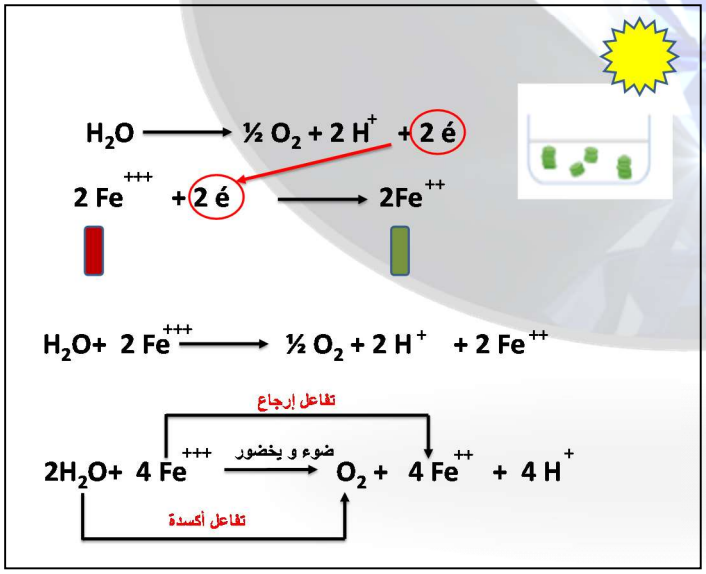


السند (2): تمّ قياس تركيز كل من O2وATP في معلق من الصانعات الخضراء في شروط تجريبية مناسبة قبل وبعد حقن مادتي ADP،Pi. الشروط والنتائج التجريبية موضحة في الوثيقة.

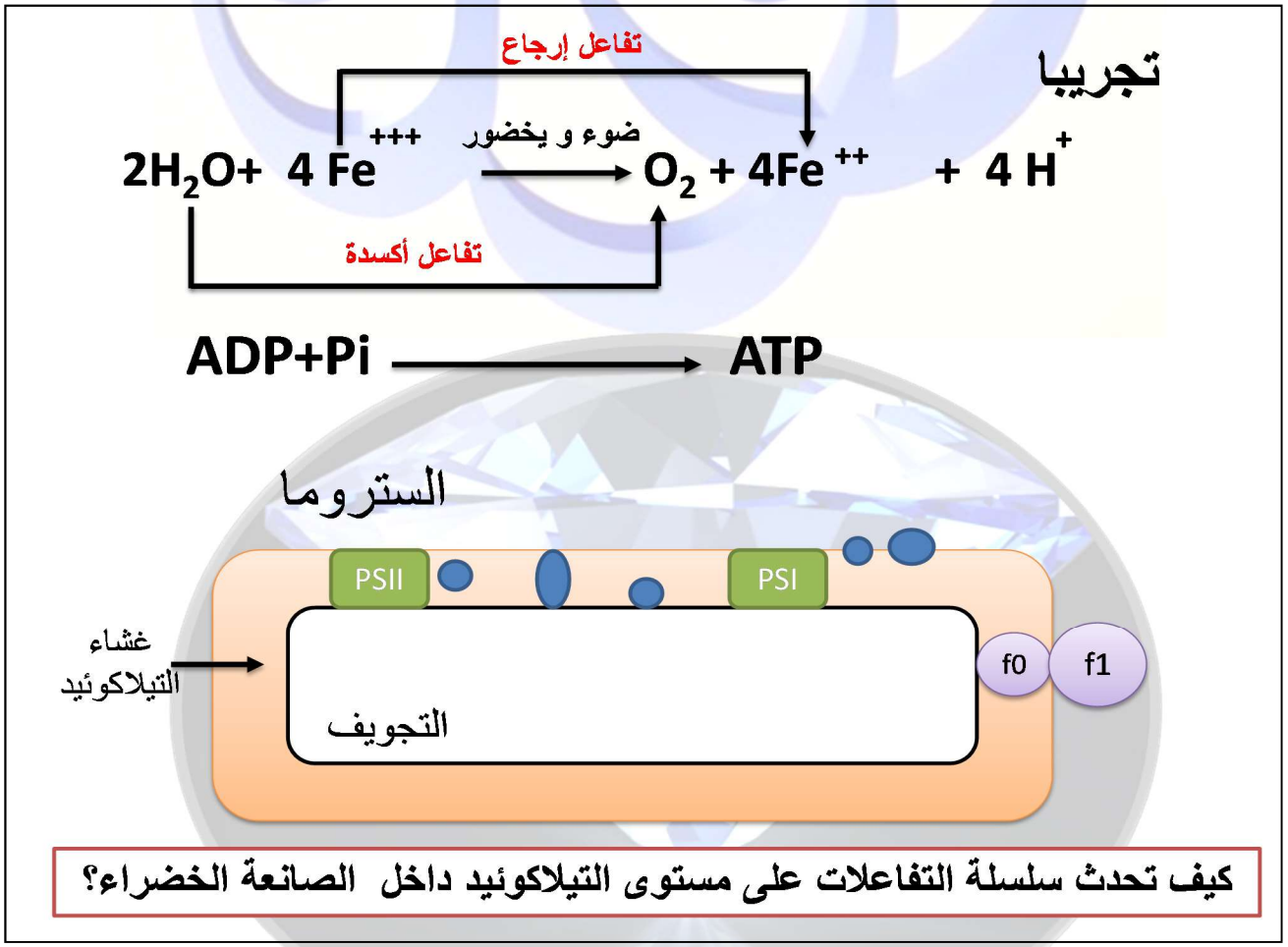


حل الوضعية المشكلة (1)

- **تحليل نتائج تجربة هيل:**
- قبل اضافة مستقبل الإلكترونات الاصطناعي: يبقى تركيز الـ O2ثابتا في وجود الضوء.
- بعد اضافة 0.1 مل من المستقبل في حالة مؤكسدة وفي وجود الضوء يتزايد تركيز الـ O2 لفترة يرافقه تغير لون المحلول من البني المحمر الى الاخضر ثم يثبت تركيز O2.
- بعد اضافة 0.3 مل من المستقبل وفي وجود الضوء يتزايد تركيز الـ O2.
- في الظلام ورغم ان كمية المستقبل كانت كافية لمدة اطول نسجل ثبات تركيز O2.
- **نستنتج ان انطلاق الـ O2من التيلاكوئيد يتطلب ضوء ومستقبل الكترونات في حالة مُؤكسَدة.**

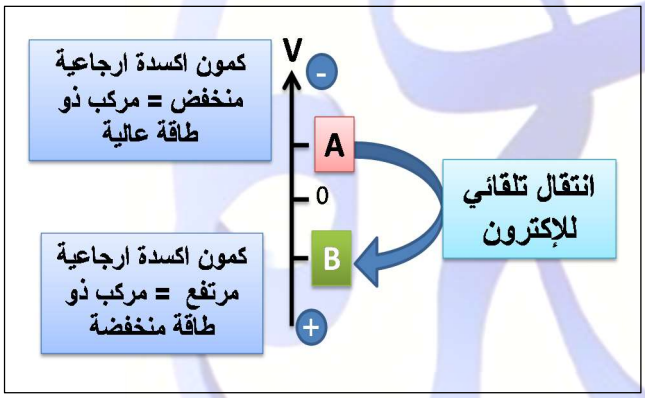


- **تحليل نتائج قياس تركيز O2 وATP: نلاحظ تطابق المنحنيين.**
- قبل إضافة PI،ADP :
- في الظلام نسجل ثبات تركيز كل من O2و ATP وفي وجود الضوء نسجل تزايد طفيف وبطيئي في تركيزهما.
- بعد إضافة PI،ADP : في وجود الضوء نسجل تزايد سريع في تركيز كل من O2و ATP. وفي الظلام ثبات تركيزهما معا.
- **نستنتج أن: انطلاق الـ O2على مستوى التيلاكوئيد يرافقه تركيب الـ ATP ويتطلب ذلك ضوء و Pi ; ADP.**
- **نستخلص ان عمل التيلاكوئيد يتطلب الشروط التالية: الضوء، مستقبل الكترونات في حالة مؤكسدة، ADP،.Pi**



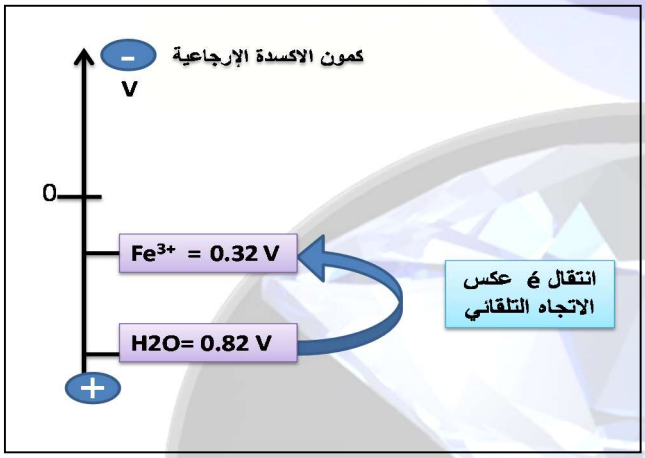
الوضعية المشكلة(3)

❖ أثناء تفاعل الأكسدة / إرجاع تنتقل الإلكترونات تلقائيا من المركب ذي كمون أكسدة إرجاعيه منخفض (طاقته عالية) إلى مركب ذي كمون أكسدة إرجاعيه مرتفع (طاقته منخفضة).



- 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.

❖ علما أن كمون الأكسدة الإرجاعية للماء (0.82 فولط) ولـ $Fe3^+$ (0.32 فولط). مثّل بمخطط بسيط كمون الأكسدة الإرجاعية للمركبين ($H2O$، Fe^{3+})



تجريبيا

❖ كيف يتم انتقال الالكترونات من الماء الى المستقبل النهائي عكس الاتجاه التلقائي لنقل الإلكترونات؟

℘ لا شك أن الضوء واليخضور يعملان على نقل الإلكترونات من الماء إلى المستقبل النهائي.

℘ المشكل : كيف يتدخل الضوء و اليخضور في حدوث التفاعل الكيموضوئي على مستوى غشاء التيلاكوئيد؟

- التعليمة: باستغلال الوثائق: 6، 7 ص185، 8، 9 ص 186، 10 ص 188.

– بيّن دور الضوء واليخضور في تفاعل الاكسدة الارجاعية ($H2O/Fe^{+++}$) محدّدا المستقبل النهائي الطبيعي في الصانعة الخضراء.

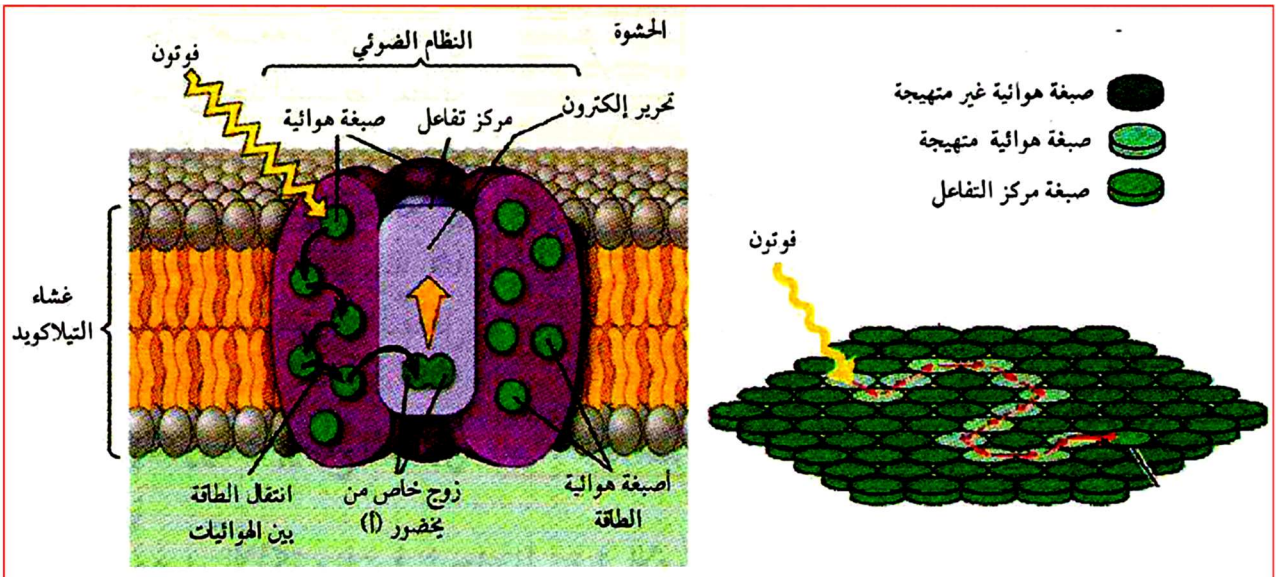
– دعّم إجابتك بالمعادلة النهائية للتفاعل الطبيعي. ورسم تخطيطي لالية حدوث تفاعل الاكسدة الارجاعية على مستوى غشاء التيلاكوئيد.

البحث والتقصي:

2/ دور الضوء واليخضور (الأنظمة الضوئية) في حدوث التفاعل الكيموضوئي:

أ) خصائص النظام الضوئي وآلية عمله:

السند(1):



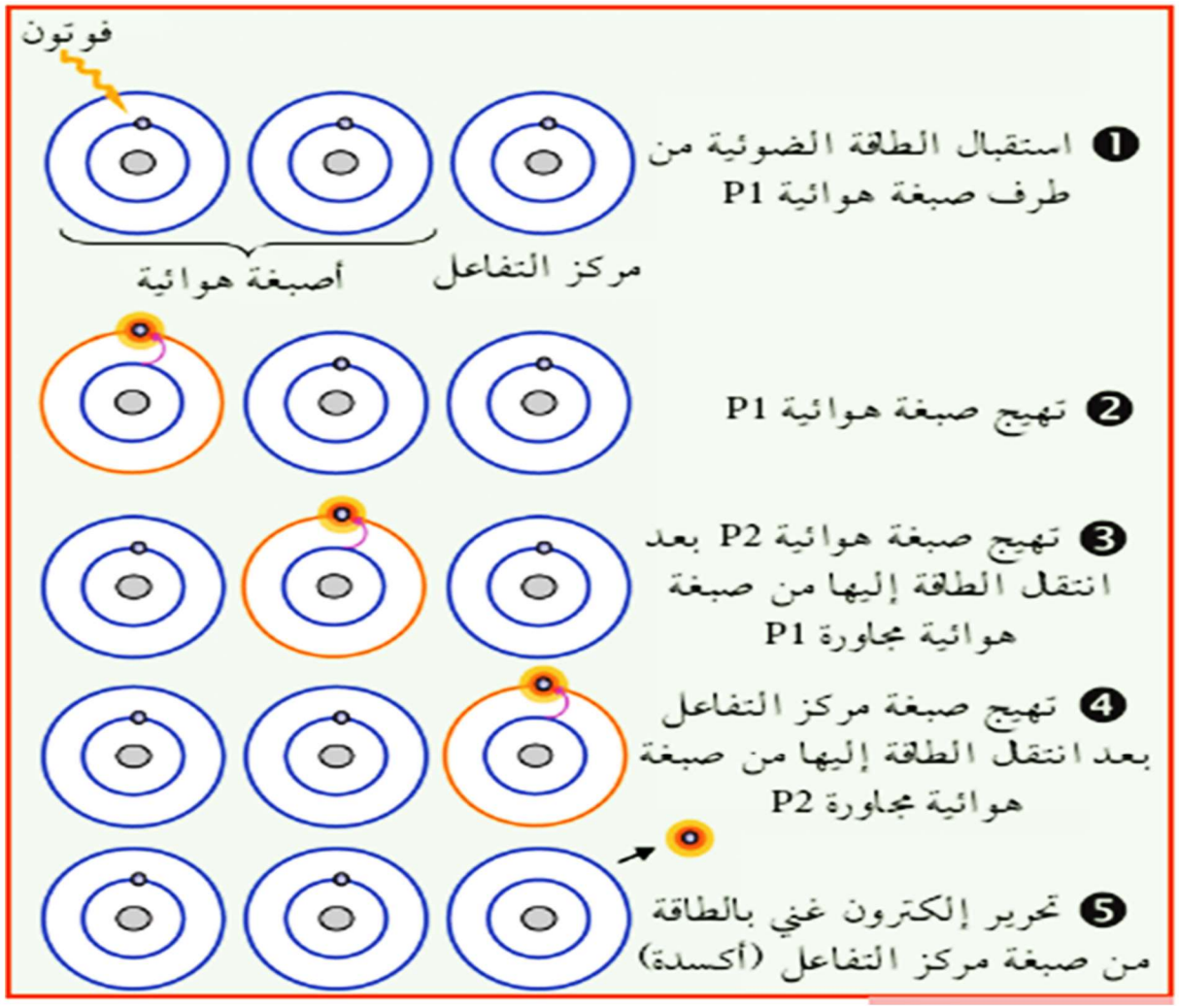
رسم تخطيطي مبسط لآلية عمل نظام ضوئي — رسم تخطيطي لآلية عمل نظام ضوئي

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}

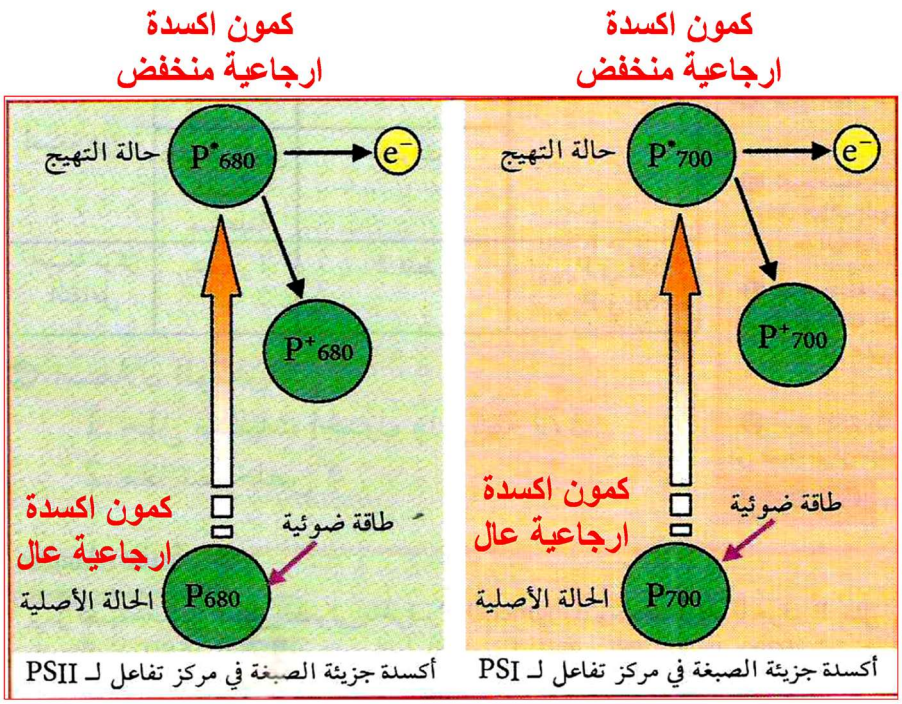
ملاحظة: الفوتون هو تعبير كمي للطاقة الضوئية و تتناسب هذه الكمية مع الطول الموجي للضوء.

الشكل (1)

معلومات مفيدة: يرمز لصبغة (Pigment) ضمن النظام الضوئي بالحرف P وتضاف أرقام للحروف مثل p1 و2p و,,,,,Pn للصبغات الهوائية. بينما تضاف الأرقام 680أو 700 لأصبغة مركزي التفاعل لـ PSII والـ PSI (P700. P680) لتمييزها عن باقي أصبغة النظام الضوئي. وتمثل هذه الأرقام أطوال الموجات التي يكون عندها امتصاص هذه الاصبغة أعظميا بالرغم من ان هذه الاصبغة يمكن ان تتنبه عند هذين الموجتين فإنها تتلقى طاقتها من الاصبغة الهوائية أساسا وليس من الفوتونات الضوئية مباشرة.



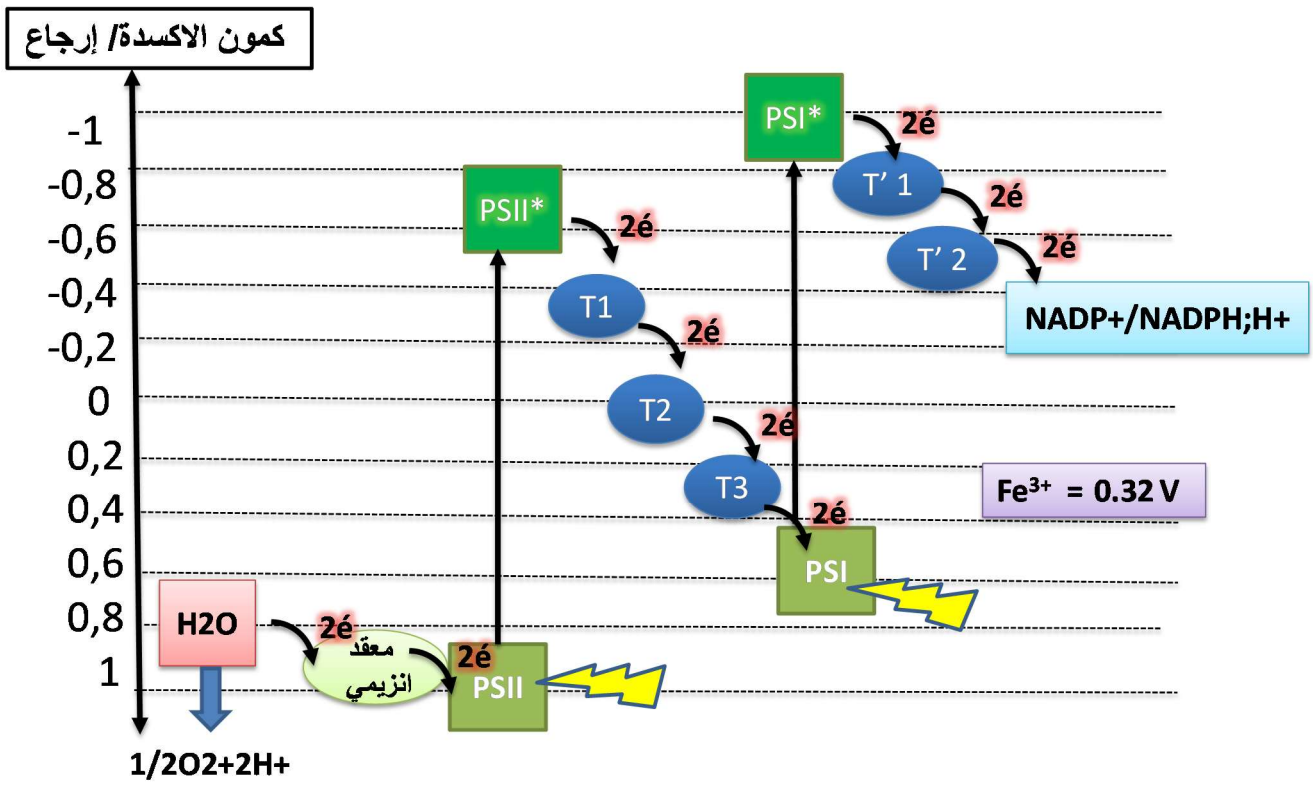
الشكل (2)



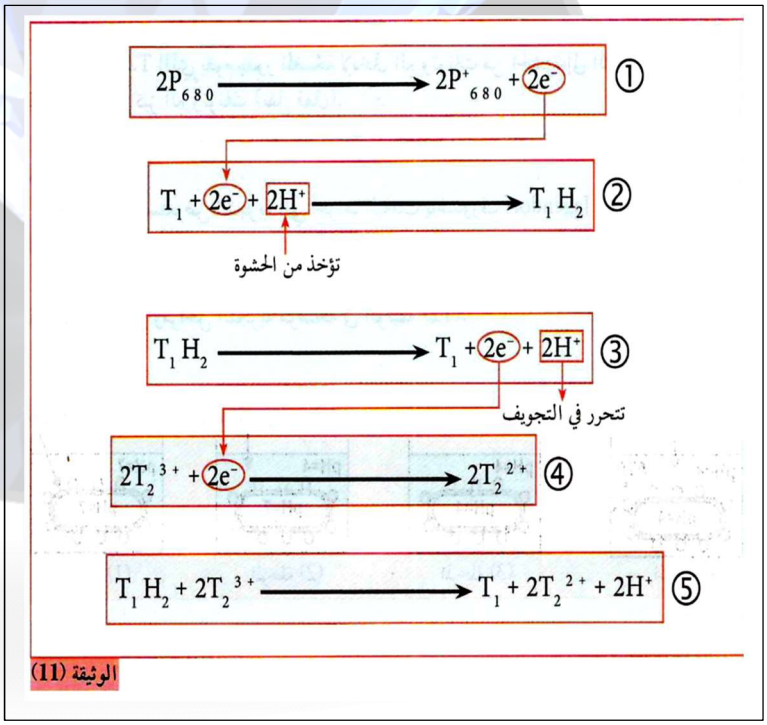
شكل إضافي للتوضيح

السند(2):

يمثل المخطط التالي مسار الالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية



السند(3): الوثيقة 11 ص 189



نواقل الإلكترونات تتمثل في:

3 نواقل تابعة لـ PSII

T1= Plastoquinone (PQ)

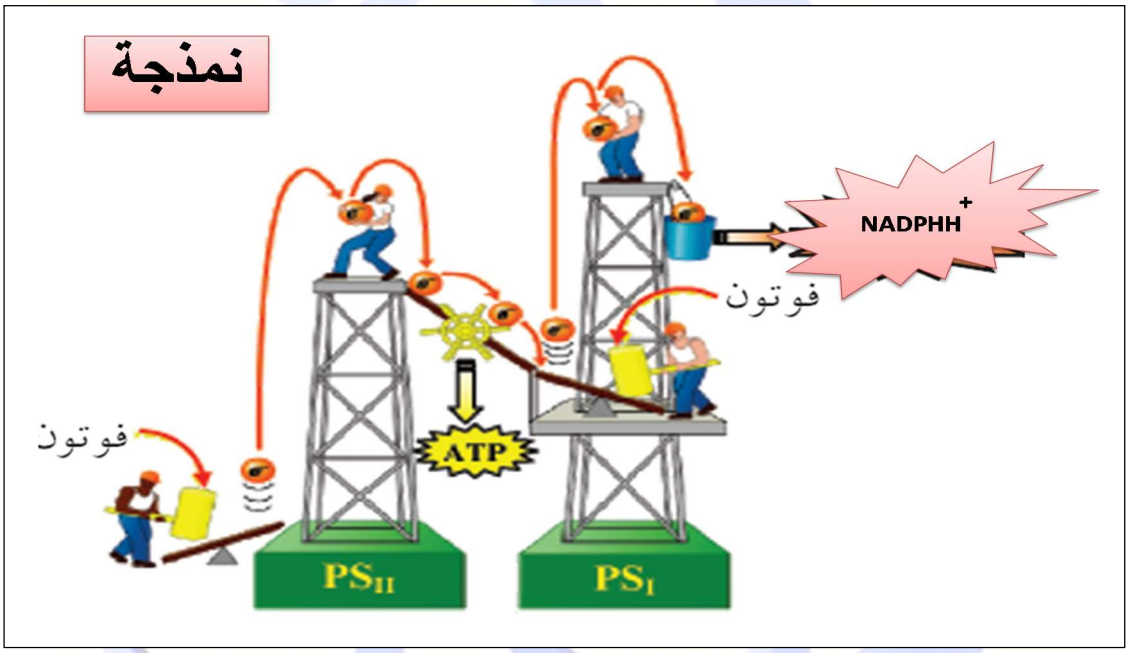
T2=complexe Cytochrome b6f (Cytb6f)

T3=Plastocyanine (PC)

ناقلين تابعين لـPSI

T`1= Ferrodoxine (Fd)

T`2=Ferrodoxin NADP Reductase (FNR)



℘ معلومات إضافية (غير مقرّرة)

لحساب الطاقة المتحررة اثناء تفاعل الاكسدة الارجاعية بين المعطي و المستقبل نطبق القانون

$\Delta G = -nF\,\Delta E$

$\Delta G = -nf(E_{o_2} - E_{o_1})$

معلومات عن قيم كمون الاكسدة الارجاع لمختلف عناصر السلسلة التركيبية الضوئية

Couple redox	E'0 (V)
O_2/ H_20	+ 0,82
P680 / P680+	+ 0,9
P680*/P680	- 0,8
PQ (red/ox)	0
b_6f (red/ox)	- 0,2 & + 0,2
P700 / P700+	+ 0,4
P700* / P700	-1,3
Fd (red/ox)	- 0,42
NADP+ / NADPH	- 0,32

- حيث Eo_1 كمون اكسدة /ارجاع المعطي،Eo_2 مستقل

و n عدد الإلكترونات و f هو ثابت فاراداي

ويساوي 23.062 كيلوكالوري فولت$^{-1}$ مول$^{-1}$

أو 96.5 ك جول فولت$^{-1}$ مول$^{-1}$

– تمثل قيمة الفرق في الكمون الذي تحصل عليه

طاقة متحررة عن نقل الإلكترونات. حيث كلما زاد الفرق في كمون الأكسدة والإرجاع بين المعطي والمستقبل زادت الطاقة المتحررة أثناء انتقال الإلكترونات (الأكسدة والإرجاع).

مثال:

P680*/P680	معطي	- 0,8
P700 / P700+	مستقبل	+ 0,4

=-2*96,5(0,4- (-0,8))=
-193*(1,2)=-231,6 j/vol/mol

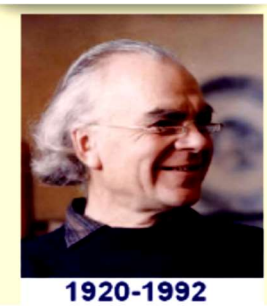
P700* / P700	معطي	-1,3
NADP+ / NADPH	مستقبل	- 0,32

=-2*96,5(-0,32- (-1,3))=
-193*0,98=-189,14kj/vol/mol

نتيجة التعرض المستمر للضوء تتجمع البروتونات الناتجة عن اكسدة الماء والتي يتم نقلها من الستروما الى التجويف. فما مصير البروتونات التي تتجمع في التجويف؟

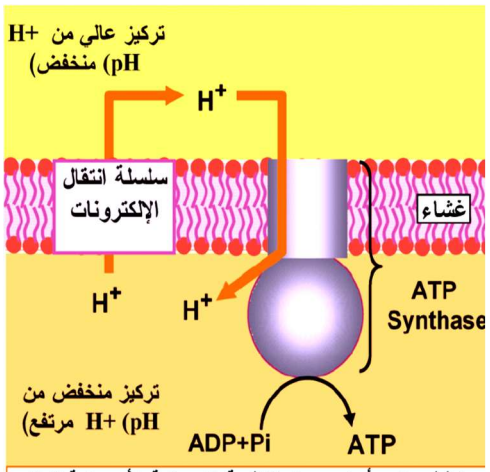
ب) **مصير البروتونات المتجمعة في التجويف:**

- اقترح العالم الإنجليزي بيتر متشال الفرضية الاسموزية التي اثبتت فيما بعد تجريبيا من قبل العالم يانغدورف



العالم **Peter Mitchell**: عالم انجليزي ولد في 1920 في مدينة ساري في انجلترا ودرس في مدينة كامبريدج وتحصل على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية من جامعة كامبريدج سنة 1951. قام بأعمال بحثه التي أثمرت باقتراح الفرضية الكيميوأسموزية في بداية الستينيات والتي أصبحت نظرية بعد أن تم إثباتها علميا وتحصل على جائزة نوبل عام 1978. توفي العالم ميتشل سنة 1992.

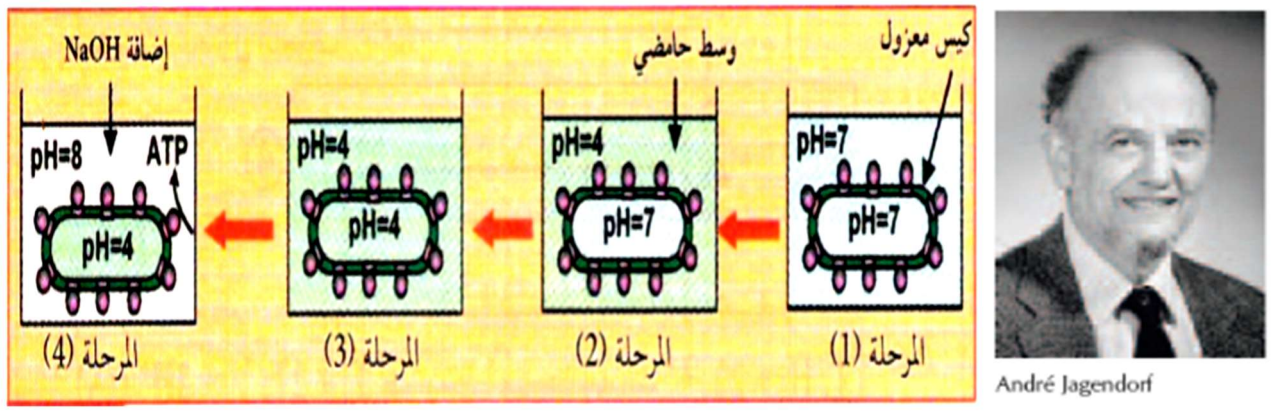
1920-1992



مخطط يوضح أساس عمل النظرية الكيميائية الأسموزية للعالم Peter Mitchell

1- بناء على المخطط الذي وضعت على أساسه النظرية الكيمواسموزية. صغ الفرضية التي توضح مصير البروتونات المتجمعة في التجويف.

2- أجرى الباحث يانغدورف تجربة تم فيها وضع كييسات معزولة في الظلام في وسط يحتوي على ADP , Pi . مع التحكم في PH الوسط. النتائج موضحة في الوثيقة(4).



André Jagendorf

الوثيقة (4)

- باستغلال الوثيقة 4 بيّن كيف حقّقت تجربة يانغدورف فرضية ميتشال.
- **الخلاصة التركيبية:** انطلاقا من المعلومات المستخلصة من الوضعية. لخص في نص علمي الية حدوث التفاعل الكيموضوئي مدعّما اجابتك بمعادلة كيميائية ورسم تخطيطي وظيفي.

حل الوضعية المشكلة (3)

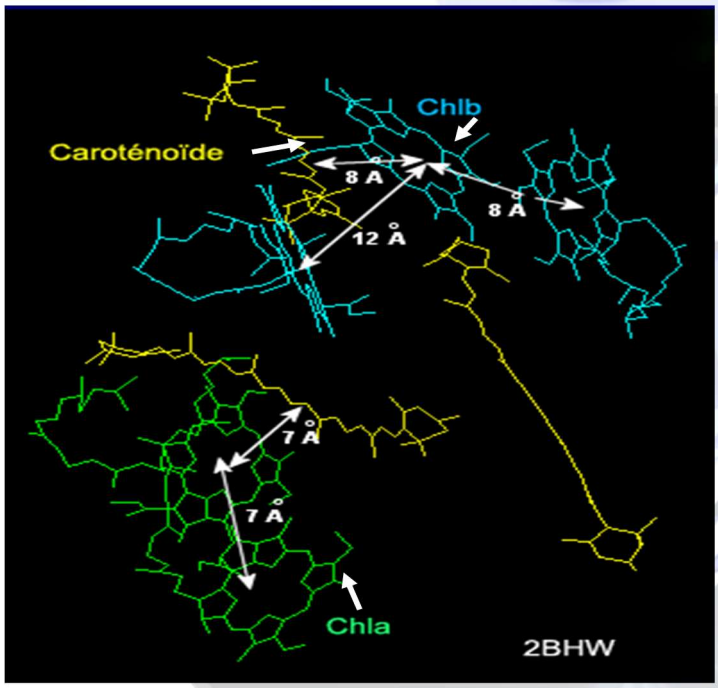
دور الضوء واليخضور في حدوث التفاعل الكيموضوئي

أ) آلية عمل النظام الضوئي:

استغلال أشكال السند(1):

- يتكون النظام الضوئي من مجموعة أصبغة تصنّف من حيث الدور إلى:
  - هوائيات (أصبغة هوائية): وهي العدد الأكبر من الأصبغة (أكثر من 99%) تقوم بدور استقبال الفوتونات الضوئية وينتمي اليها اليخضور (أو ب) وجزء صغير منها إلى اشباه الجزرين.
  - مركز التفاعل: وهو زوج خاص من أصبغة يخضور أ دورها تلقي الطاقة من الهوائيات وتحرير الكترون غني بالطاقة (تفاعل أكسدة).

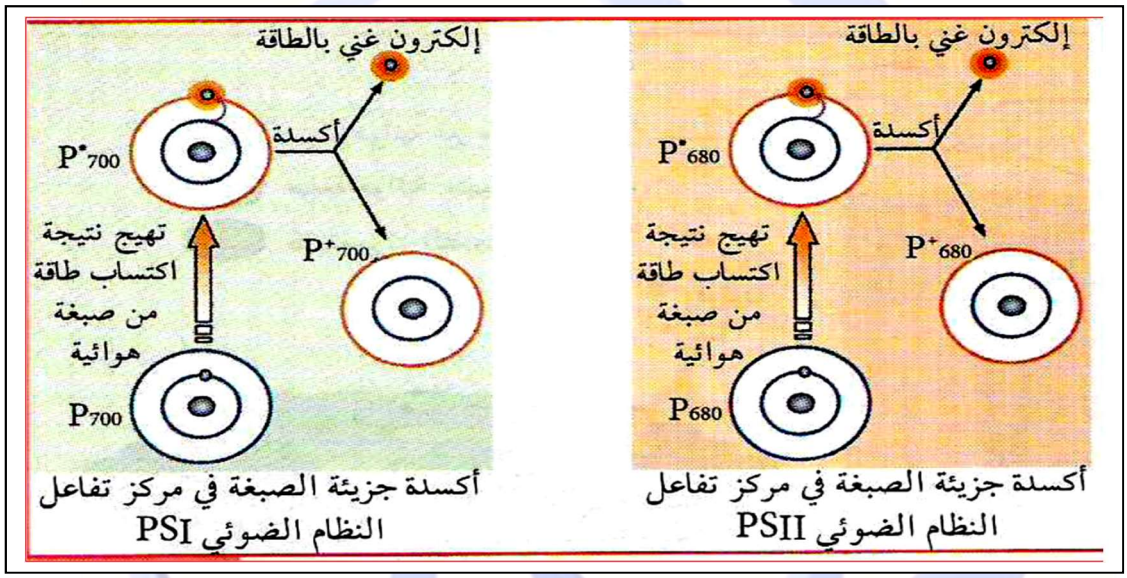
- في الاصبغة الهوائية: بعد تهيج صبغة هوائية ضمن النظام الضوئي تنتقل الطاقة المكتسبة إلى صبغة أخرى مجاورة بالرنين (Resonnace) ويعود الالكترون الى مداره الأصلي (انتقال الطاقة دون انتقال الالكترونات) تتكرر هذه العملية بين عدد من الاصبغة الهوائية

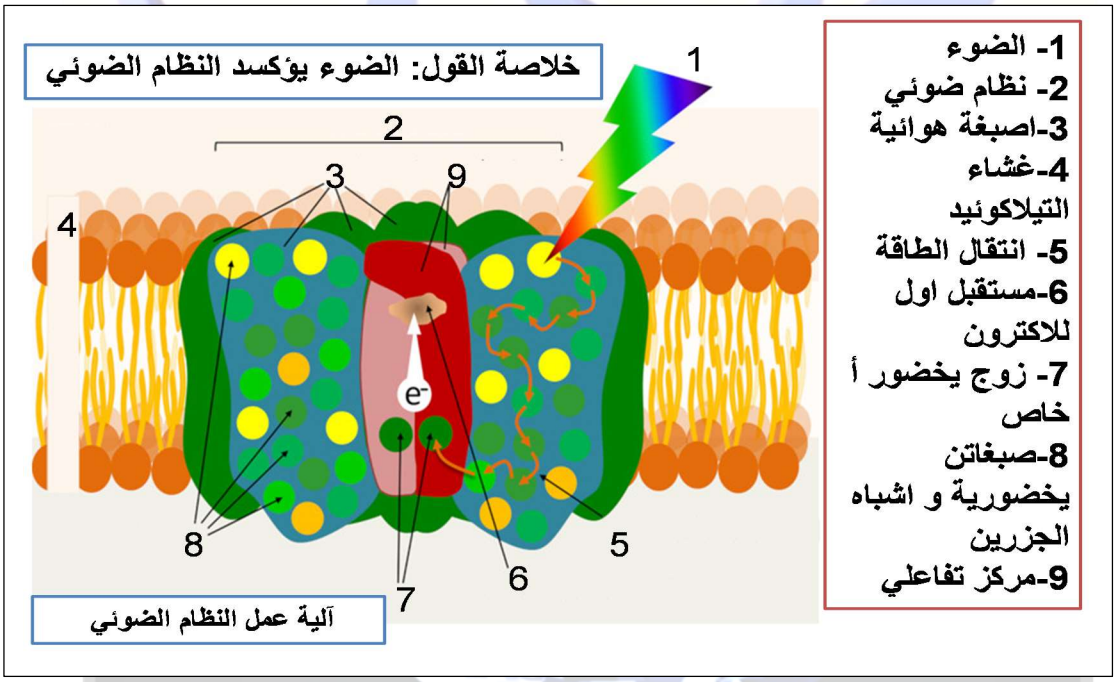


جزيئات الاصبغة الموجودة في النموذج ملونة:
chlaباللون الأخضر ، chlbباللون السماوي ، الكاروتينات باللون الأصفر.
تلعب الكراهية للماء لسلاسل الهيدروجينكربون من الكلوروفيل (فيتول) والكاروتينات دورًا محددًا في التفاعلات بين مكونات المركب وفي وضعها داخل طبقة ثنائية الدهون.
جزيئات الاصبغة قريبة جدا من بعضها البعض.

- في اصبغة المركز التفاعلي (P700, P680): عند تهيج أصبغة مركز التفاعل نتيجة وصول الطاقة إليها من الاصبغة الهوائية أساسا يتم فقد الإلكترون ذو الطاقة العالية من جزيئة الصبغة (أكسدة) و تصبح الصبغة في صورة مؤكسدة($P700^{+}$,$P680^{+}$) . ينخفض كمون الاكسدة الارجاعية لذرة اليخضور المهيجة في المركز التفاعلي باكتسابها الطاقة من الصبغات الهوائية.

للتـــــــــــوضيح:



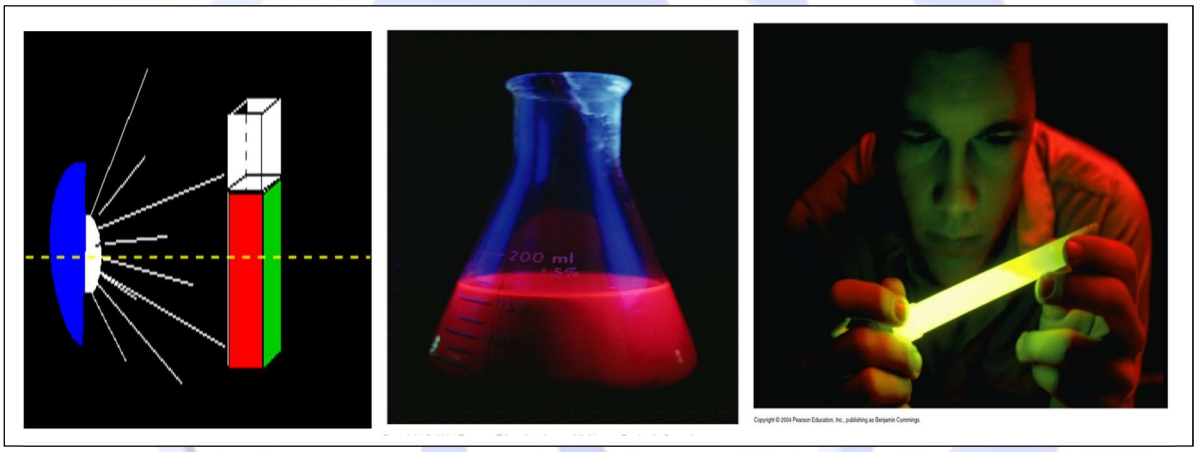


- عند سقوط فوتون ضوئي (كمية من الطاقة) على النظام الضوئي تلتقطه احدى الصبغات الهوائية (يخضور(أ)، يخضور(ب) أو اشباه الجزرين) فتتهيج، ثم تفقد الطاقة دون فقدان الالكترون، لتنتقل الطاقة من صبغة هوائية الى أخرى بظاهرة الرّنيين (نتيجة تقارب الصبغات مع بعضها البعض)، عند وصول الطاقة الى جزئية اليخضور في المركز التفاعلي (P680 فيPSII أو P700 في PSI) تتهيج ثم تتأكسد فاقدة الكترونا محمّلا بالطاقة.

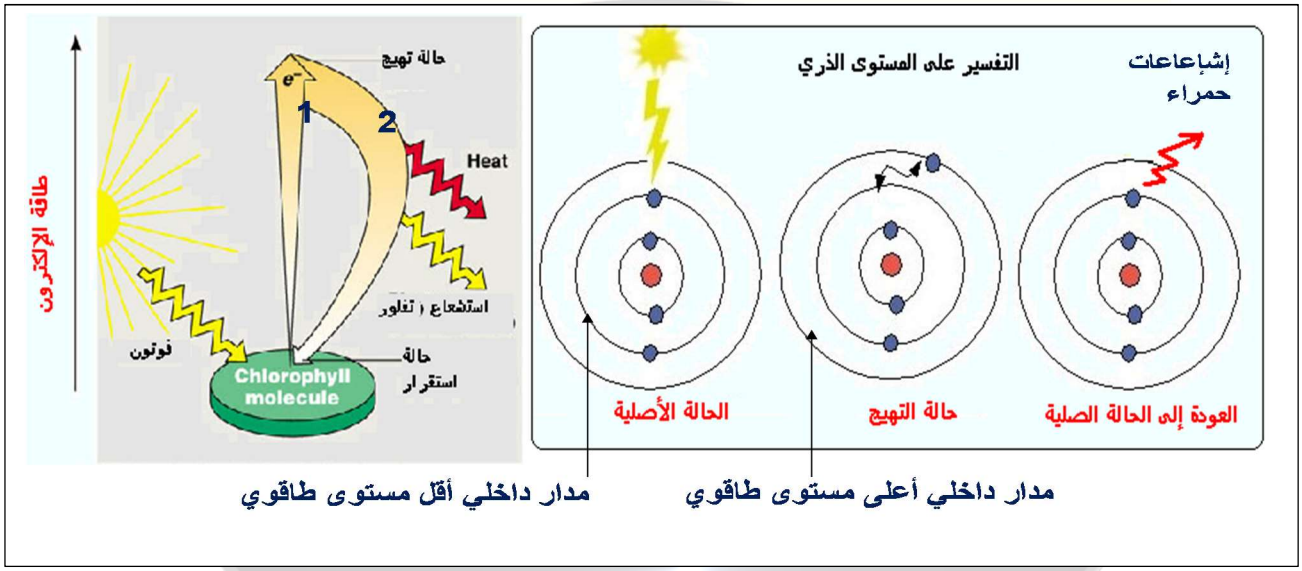
$$2P680 + \text{2فوتون ضوئي} \longrightarrow 2P680^{*} \longrightarrow 2P680^{+} + 2é$$

$$2P700 + \text{2فوتون ضوئي} \longrightarrow 2P700^{*} \longrightarrow 2P700^{+} + 2é$$

- ملاحظة: تم إثبات تأثير الضوء على اليخضور تجريبيا من خلال تجربة التفلور (الاستشعاع).
- التجربة: في غرفة مظلمة، يعرض وعاء زجاجي به محلول اليخضور الخام لحزمة ضوئية بيضاء.

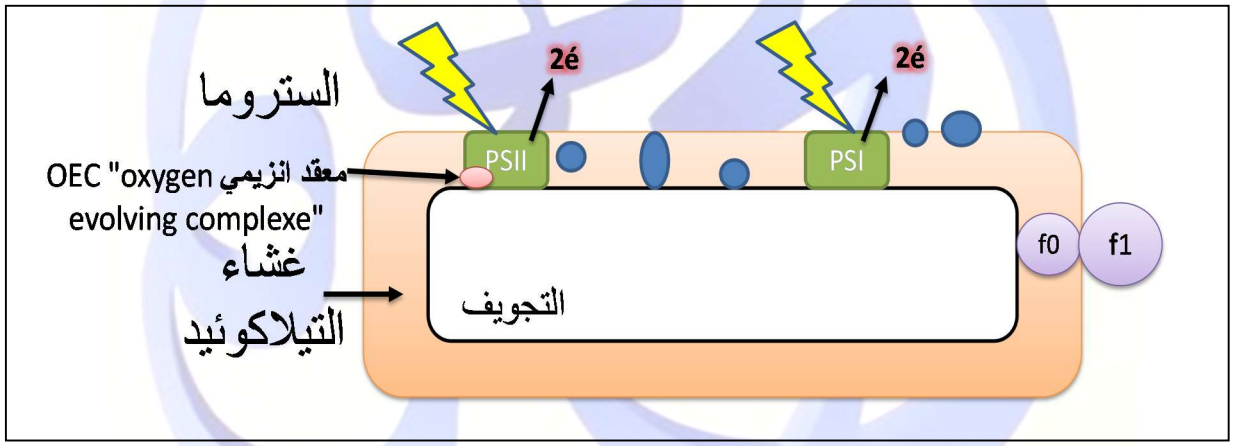


- التفسير على المستوى الذري: في اليخضور الخام يحدث تتهيج الاصبغة اليخضورية الحرة (خارج النظام الضوئي) عند امتصاصها للضوء ولكن الطاقة المكتسبة تضيع على شكل اشعاعات حمراء عند عودة الالكترون الى مداره الأصلي ولا تحدث أكسدة ضوئية ونسمي الظاهرة بالاستشعاع وهي دليل تجريبي على ان الضوء ينبه (يهيج) على اليخضور.



- ظاهرة الاستشعاع لا تحدث إلا نادرا، لان الضوء يؤكسد النظام الضوئي وبالتالي لا تفقد الطاقة على شكل اشعاعات حمراء الا في حالات نادرة.

℘ **إضافة الى الاصبغة الهوائية والمركز التفاعلي الذي يتأكسد بوجود الضوء يتكون النظام الضوئي الثاني من معقد انزيمي لأكسدة ال ماء OECاو معقد توليد الاكسجين.«oxygen evolving complexe" فما مصير الالكترونات الناتجة عن اكسدة الانظمة الضوئية؟ وكيف يتم تحفيز المعقد الانزيمي؟**



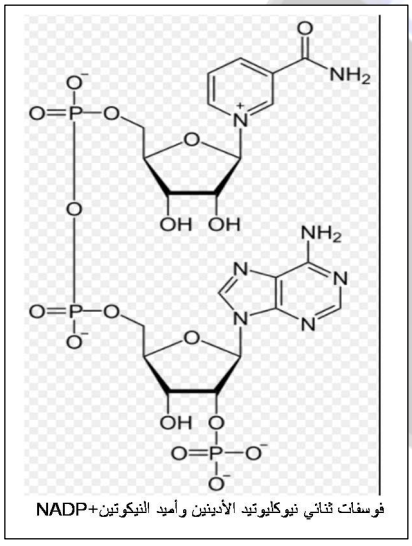
ب) سلسلة التفاعلات الكيموضوئية:

- استغلال السند (2): مخطط انتقال الالكترونات.

- عندما تصل الطاقة الضوئية الى المركز التفاعلي في النظام الضوئي PSII يتهيج وينخفض كمون اكسدته الارجاعية فتحدث عملية الاكسدة ليحرّر زوج من الالكترونات الغنية بالطاقة.
- تنتقل الالكترونات الغنية بالطاقة عبر سلسلة نواقل الالكترونات (T3.T2.T1) وفق تزايد كمون الاكسدة /الارجاع مما يصاحبه فقدان تدريجي للطاقة.

$$2P680 + \text{2فوتون ضوئي} \longrightarrow 2P680^{*} \longrightarrow 2P680^{+} + 2é$$

- في نفس الوقت يؤدي سقوط الفوتونات الضوئية علىPSI إلى نفس المراحل التي حدثت في PSII. لكن الالكترونات المتحررة تنتقل عبر T'1 ;T'2 ولا تفقد طاقة كبيرة وتستقبل من طرف مستقبل نهائي مؤكسد موجود في الستروما ($NADP^{+}$ فوسفات ثنائي نكليوتيد الادنين وأميد النيكوتين) الذي يتحول الى ($NADPH.H^{+}$).



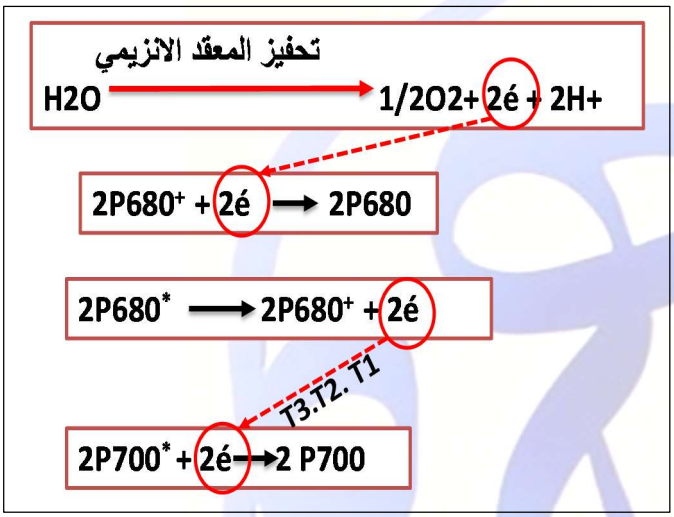
$$2P700 + \text{2فوتون ضوئي} \longrightarrow 2P700^{*} \longrightarrow 2P700^{+} + 2é$$

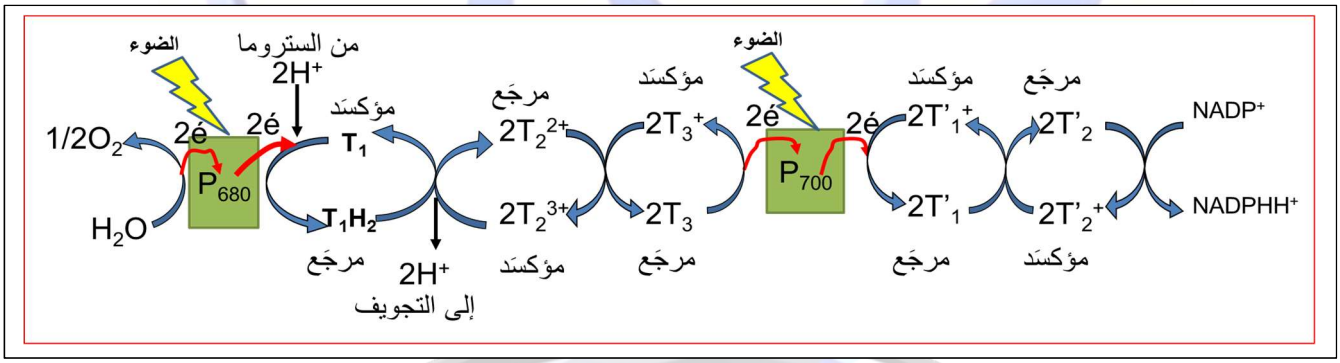
T'1 ;T'2

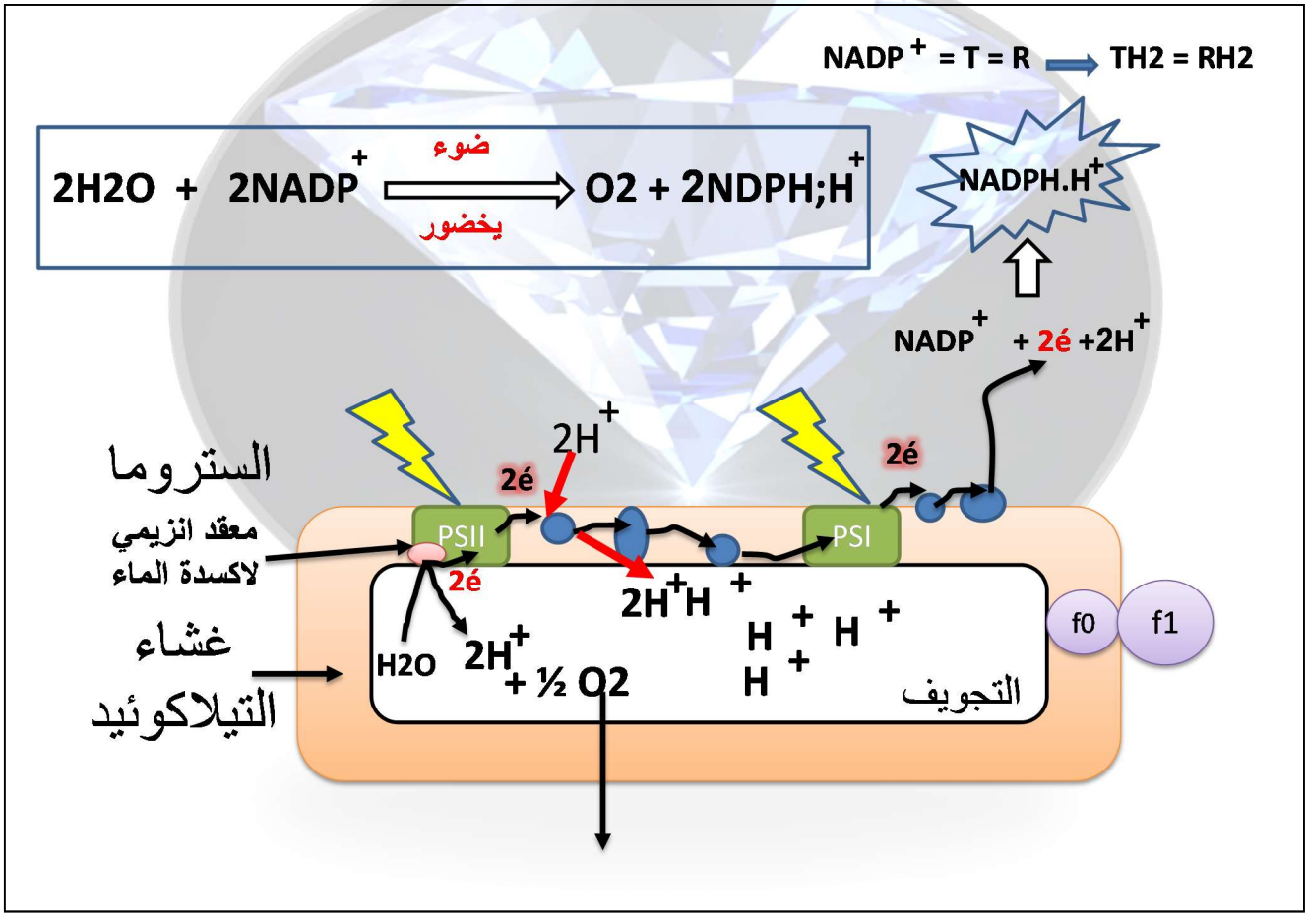
$$NADP^{+} + 2é + 2H^{+} \longrightarrow 2\,NADPH.H^{+}$$

- **لا** يمكن لجزيئة اليخضور في مركز التفاعل ان تستعيد قدرتها على تحرير الالكترونات من جديد إلا إذا استعادت الالكترونات التي فقدتها. لذلك يتم تحفيز المعقد الانزيمي في PSII على تحليل الماء الذي ينتج عنه الكترونات تعوض الكترونات المركز التفاعلي. اما PSI فيعوض الكتروناته بالإلكترونات الناتجة عن اكسدة PSII والتي انتقلت اليه عبر سلسلة النواقلT1. T2. T3.

- يكتسب T1 الالكترونين الناتجين عن اكسدة الـ PSII وبروتونين من الستروما، ثم يتحرك باتجاه T2 الذي يستقبل الالكترون فقط فيتم تحرير البروتون في التجويف.
- ملاحظة: استقبال الكترونين من T1 يتطلب تدخل ناقلين من T2
- يستقبل T3 الكترون من T2 وينقله الى PSI المؤكسد لتعويض الكتروناته



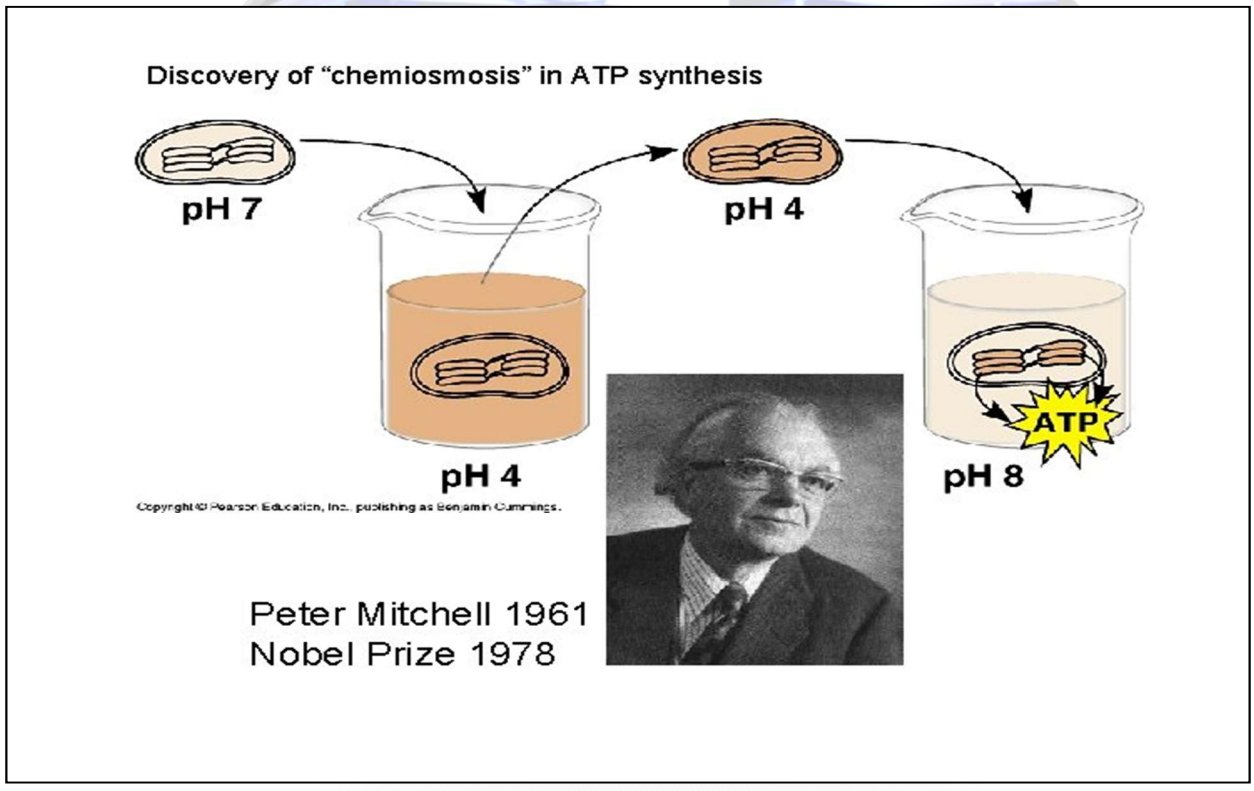


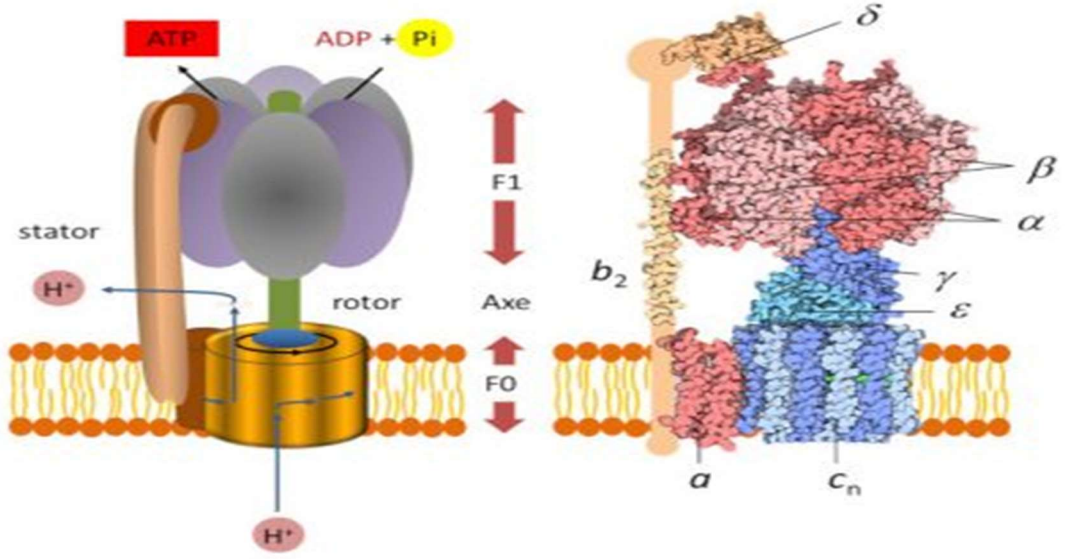


- **استغلال السند (4):**
- **<u>تحليل خطوات التجربة ونتائجها:</u>**

- المرحلة 1: في بداية التجربة وضع يانغدورف كييس معزول في الظلام في وسط ذي PHمساو لـ PHالتجويف = 7.
المرحلة 2: أضاف الى الوسط حمض فأصبح PH=4 و PH التجويف =7.
- المرحلة 3: أصبح PH التجويف =4 نتيجة إدخال البروتونات من الوسط الخارجي الى التجويف (خطوة يتحكم فيها المجرب)
- المرحلة 4: أضاف للوسط قاعدة فأصبح PH الوسط =8 مقارنة بـ PH التجويف = 4 وفي هذه المرحلة نلاحظ تركيب الـ ATP

- نستنتج أن: تركيب الـ ATPيتطلب ان يكون PH التجويف حامضا و PHالوسط قاعديا.
- **<u>التوضيح :</u> بوجود الضوء ومستقبل الالكترونات المؤكسد (NADP+) تستمر أكسدة الأنظمة الضوئية وإرجاع NADP+ ، و خلال ذلك يتم نقل الالكترونات عبر سلسلة النواقل T3.T2.T1 الذي يسمح بضخ البروتونات من الستروما الى التجويف إضافة الى اكسدة الماء الذي ينتج عنه تحرير بروتونات ، و هذا ما يؤدي الى تراكم البروتونات في التجويف مما يخلق فرقا في تركيزها ، حيث يصبح PH التجويف حامضيا (تركيز مرتفع لـ +H) و PH الستروما مرتفعا (تركيز منخفض لـ +H)، فيتشكل سيل من البروتونات يتدفق عبر f0 محفزا انزيم ATP سنتاز على فسفرة الـ ADP بوجود Pi و تحرير الـ ATP على مستوى F1 . <u>انها الفسفرة الضوئية</u>. وهذا ما يتوافق مع الفرضية الكيمواسموزية لمتشال.**





البنية الفراغية للمعقد الانزيمي ATP سنتاز

الخلاصة التركيبية:

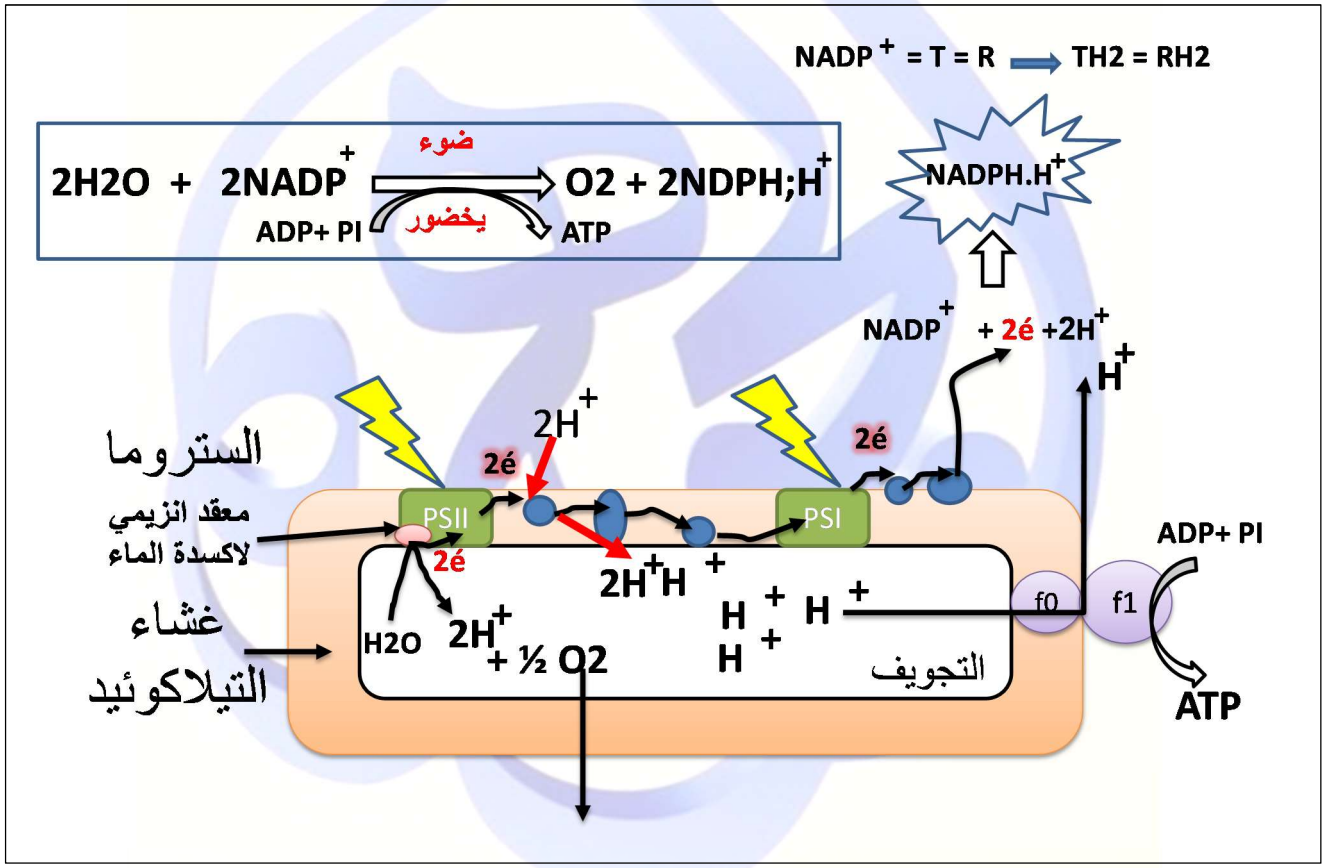
النص العلمي الملخص لآلية حدوث التفاعل الكيموضوئي.

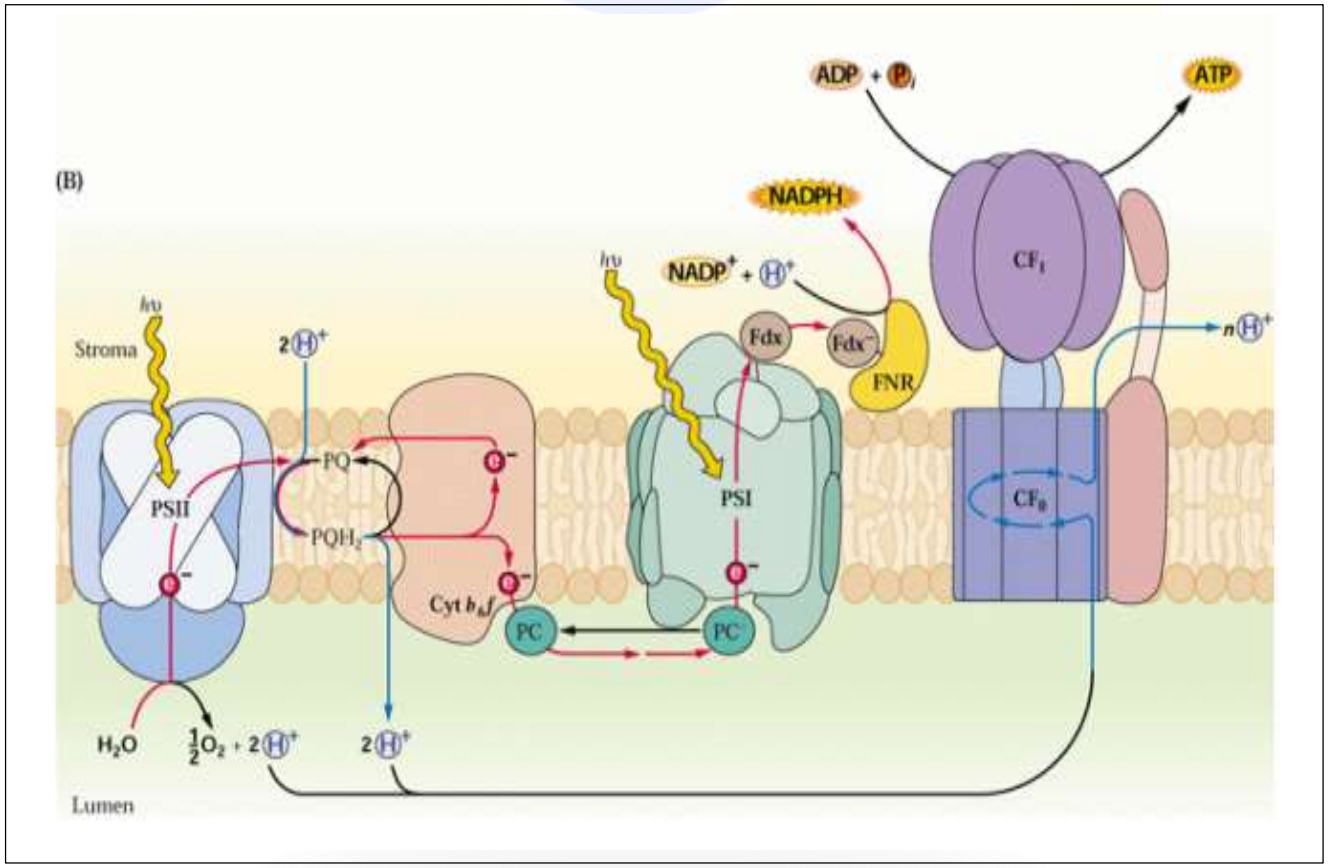
على مستوى غشاء التيلاكوئيد وبوجود الضوء ومستقبل الالكترونات النيكوتين اميد ثنائي النكليوتيد فوسفات $NADP^+$ والـ ADP، Pi تنطلق تفاعلات المرحلة الكيموضوئية وفقا للخطوات التالية:

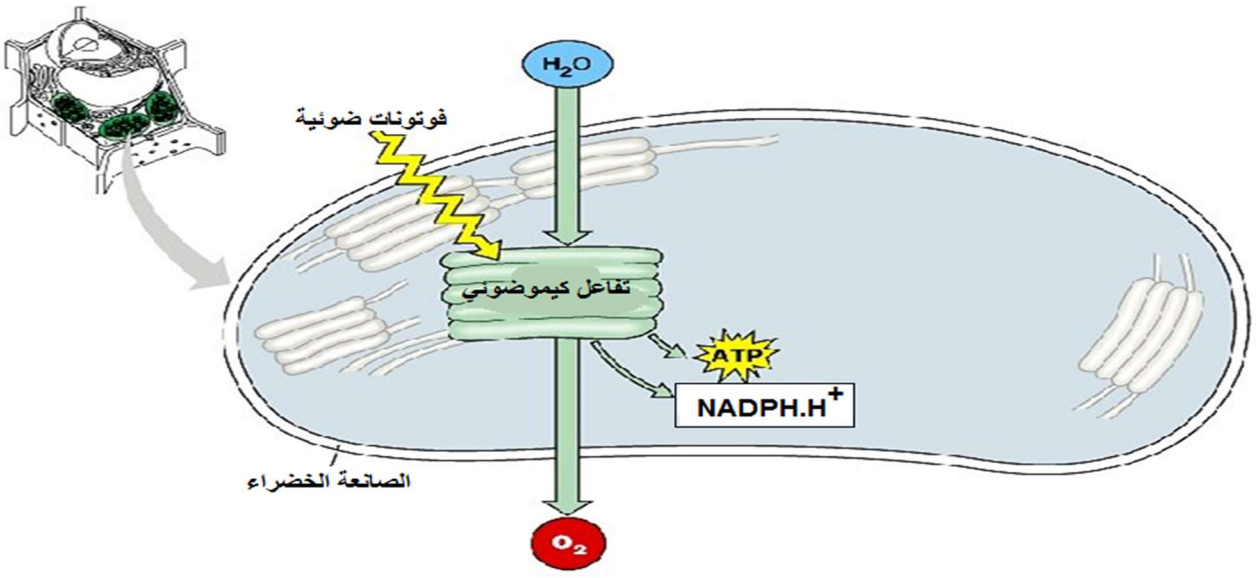
- يمتص النظام الضوئي الفوتونات الضوئية بفضل الصبغات الهوائية (يخضور أ، يخضور ب، أشباه الجزرين) التي تنقل الطاقة دون انتقال الالكترونات الى ان تصل المركز التفاعلي (زوج من اليخضور أ) فيتأكسد متخليا عن الكترونات محمّلة بالطاقة، تنتقل عبر سلسلة النواقل حسب تزايد كمون الاكسدة الارجاعية.
- يسترجع المركز التفاعلي PSII الكتروناته وبالتالي قابلية التنبيه من أكسدة الماء. فتتحرر بروتونات في التجويف وينطلق الـ O2، ويعوض PSI الكتروناته بالكترونات PSII أما الكترونات PSIفتستقبل نهائيا من طرف +NADP الذي يرجع ويتحول الى $NADPH.H^+$.

$$2H2O + 2NADP^+ \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O2 + 2NDPH;H^+$$

- يصاحب نقل الالكترونات على طول سلسلة الاكسدة / ارجاع (السلسلة التركيبية الضوئية) تراكم البروتونات الناتجة عن اكسدة الماء وتلك التي يتم نقلها من الستروما إلى التجويف مما يخلق تدرجا في تركيز البروتونات بين الحشوة والتجويف فتنتشر البروتونات على شكل سيل يخرج عبر الـ ATPسنتاز محفزا إياه على فسفرة الـ ADP إلى ATP بوجودPI إنها الفسفرة الضوئية.


NADP+ = T = R
TH2 = RH2
2H2O + 2NADP+
ضوء
يخضور
O2 + 2NDPH;H+
ADP+ PI
ATP
NADPH.H+
NADP+ + 2é +2H+
H+
2H+
2é
2é
الستروما
معقد انزيمي
لاكسدة الماء
PSII
PSI
2é
2H+H+
H + H +
H +
H2O
2H+ + ½ O2
f0
f1
ADP+ PI
ATP
غشاء
التيلاكوئيد
التجويف


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

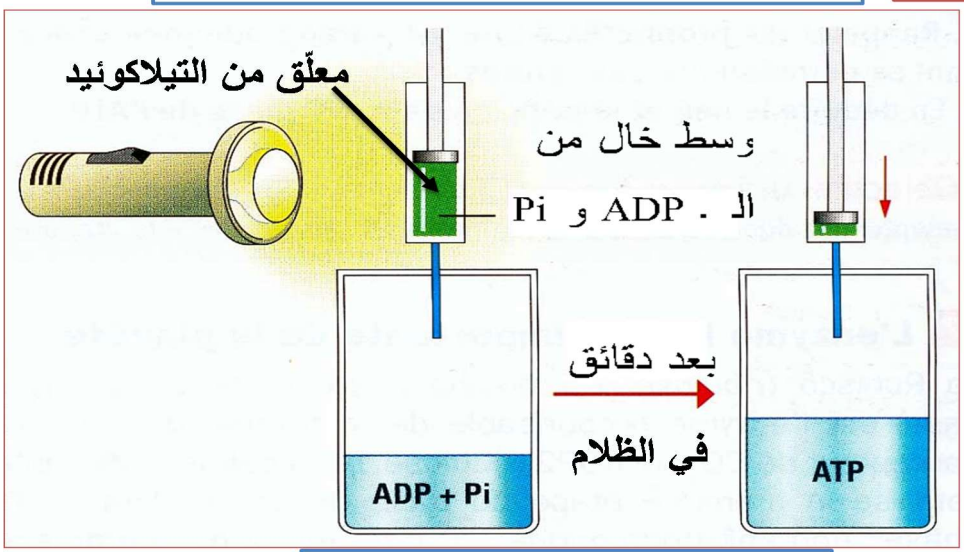


حوصلة وتساؤل: ما مصير نواتج التفاعل الكيموضوئي؟

اهم الأفكار التي تبنى عليها التمارين

الفكرة 1:

إليك التركيب التجريبي التالي :



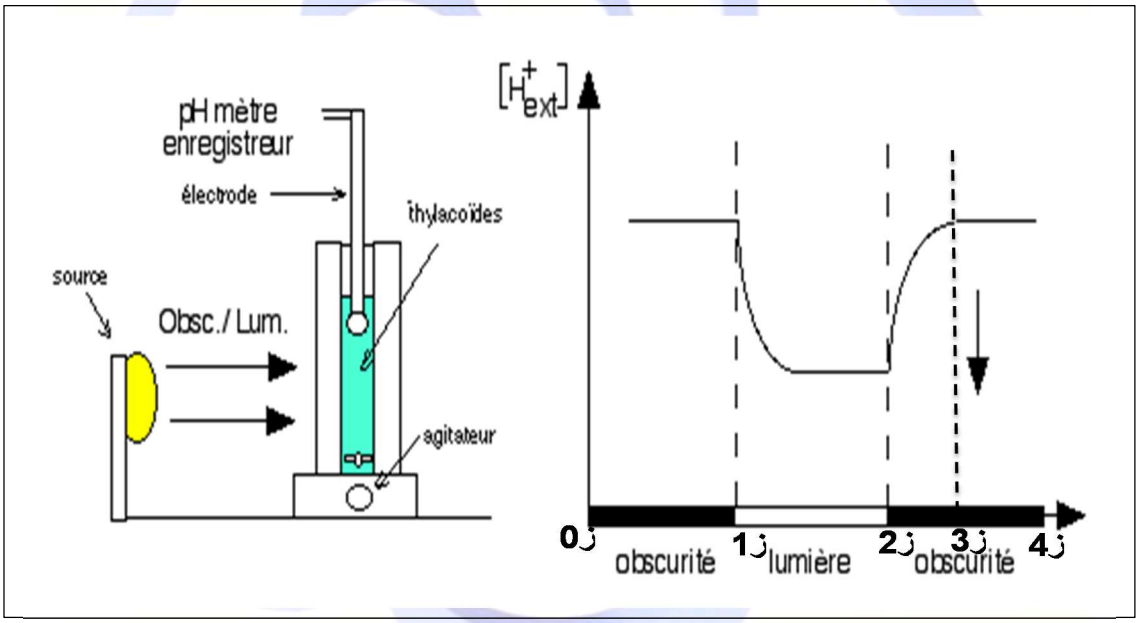
فسّر النتائج التجريبية

التفسير: عند تعريض المعلق للضوء لفترة محدّدة تحدث تفاعلات الاكسدة الارجاعية ويخلق الفرق قي تركيز البروتونات على جانبي غشاء التيلاكوئيد وعند نقلها الى وسط يحتوي ADP+ Pi ورغم غياب الضوء يتم تركيب الـ ATP بسبب استمرار خروج البروتونات وفق تدرج التركيز عبر الكريات المذنبة محفزة انزيم ATPسنتاز على فسفرة الـ ADP.

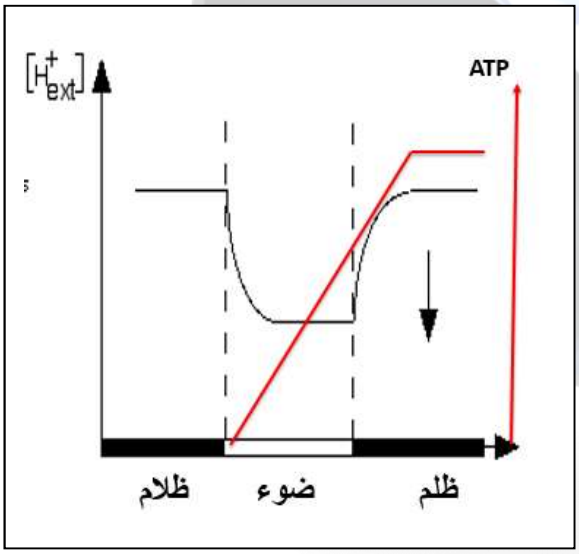
الفكرة 2:

- **باستعمال التركيب التجريبي التالي:**

نقوم بقياس تركيز البروتونات في وسط به معلق تيلاكوئيد معزولة وسليمة يحتوي على ADP + Pi



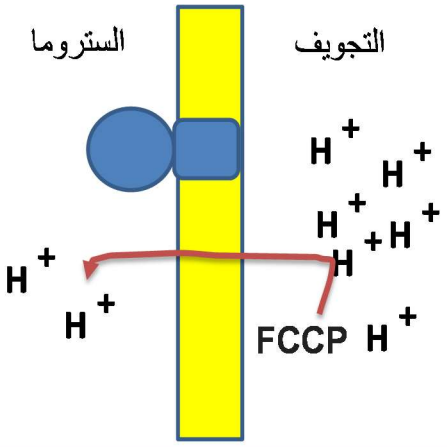
- ز0- ز1 في الظلام: ثبات تركيز البروتونات يعود الى توقف تفاعل اكسدة ارجاع على مستوى غشاء التيلاكوئيد لغياب الضوء.
- ز1-ز2 في وجود الضوء: انخفاض سريع في تركيز البروتونات يعود الى نقلها من الوسط الى التجويف التيلاكوئيد بفضل الطاقة المتحرّرة عن نقل الالكترونات الناتجة عن اكسدة الأنظمة الضوئية بوجود الضوء مع حدوث تفاعل اكسدة الماء وارجاع $NADP^+$ وبقاء التركيز منخفضا وثابتا يعود الى استمرار العملية السابقة
- ز2-ز3 في الظلام: تزايد تركيز البروتونات في الوسط يعود الى توقف تفاعلات الاكسدة ارجاع في غياب الضوء مع استمرار خروج البروتونات وفق تدرج التركيز عبر الكريات المذنبة.



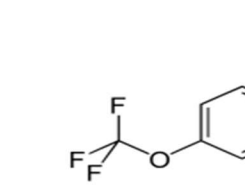
- ز3-ز4: ثبات تركيز البروتونات يعود إلى تساوي التركيز بين التجويف والوسط الخارجي. وبالتالي توقف خروج البروتونات بسبب عدم حدوث تفاعلات الاكسدة الارجاع لغياب الضوء
- المجال الذي يتم فيه تركيب الـ ATP : ز1 الى ز3.

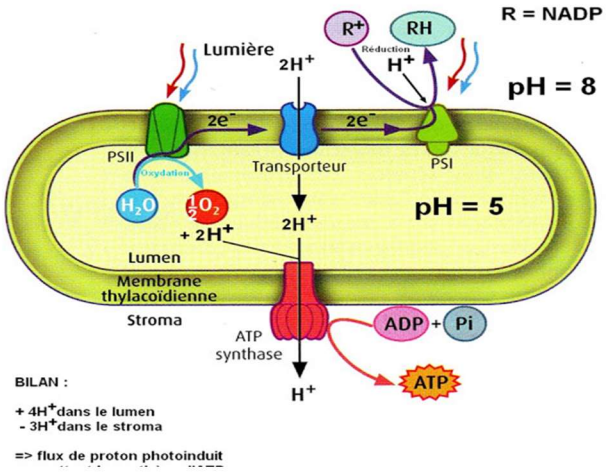
الفكرة 3:

Carbonyl cyanide–*p*–trifluoromethoxyphenylhydrazone (FCCP) :حامل ايون متنقل ، مادة تجعل الغشاء نفوذ للبروتونات حيث تعمل على الارتباط مع البرتون في الوسط الحامضي (التجويف) و تنقله الى الوسط القاعدي (الستروما) مما يمنع تركيب الـ ATP (بوجودها البروتونات لا تخرج عير انزيم ATP سنتاز)



- عند استعمال تيلاكوئيدات معزولة و سليمة في وسط معرض للضوء و يحتوي على كمية وفيرة من مستقبل الكترونات و ADP,Pi بعد إضافة FCCP يستمر انطلاق الـ O2 و لا يتم تركيب الـ ATP حيث يتم فصل الازدواجية في التفاعل (أكسدة ارجاع/ فسفرةADP)





الفكرة 4:

مثبطات سلسلة الاكسدة الارجاعية:

DCMU – مبيد أعشاب يمنع تدفق الإلكترون إلى البلاستوكينون– DBMIBيمنع تدفق الإلكترون إلى السيتوكروم b6–f. – Bipyridylium تمنع تدفق الإلكترون إلى ferrodoxin

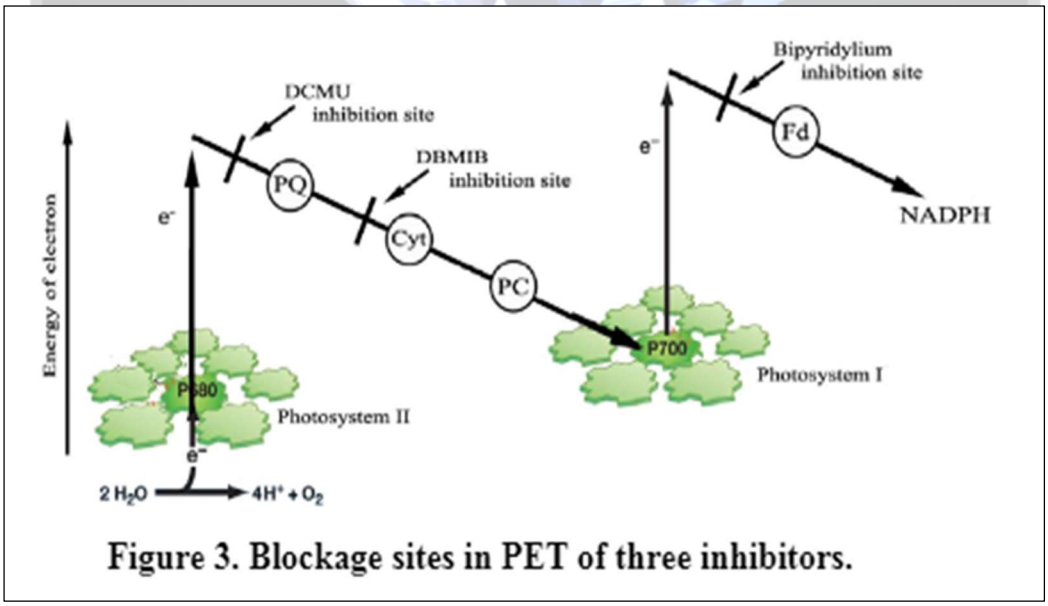
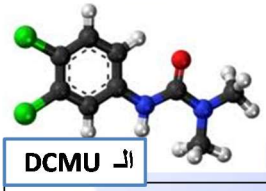


Figure 3. Blockage sites in PET of three inhibitors.

تطبيق: باستعمال معلّق صانعات خضراء معرض للضوء و بوجود DCMU (مركب يستعمل في مبيدات الأعشاب يمنع انتقال الالكترونات من PSII إلى T1).



الـ DCMU

فسّر النتائج المحصل عليها في الحالات التالية :

	الشروط التجريبية	النتائج
1	استعمال DCMU فقط	عدم انطلاق الـ O2 وعدم انتاج +NADPHH و ATP
2	استعمال DCMU + مستقبل الكترونات اصطناعي(DCPIP)	انطلاقO2 وعدم انتاج +NADPHHو ATP
3	استعمال DCMU + معطي الكترونات	عدم انطلاق O2 ، و يتم انتاج +NADHHو ATP

DCPIP،-6ثنائي كلورو فينول-إندولفينول). عندما يستقبل DCPIP الإلكترونات ، فإنه يتحول من حالة زرقاء إلى حالة عديمة اللون

$$DCPIP_{(oxidized)} + 2\,e^- \longrightarrow DCPIP_{(reduced)}$$

أزرق Blue شفاف Colorless

- **التفسير :**

1- عدم انطلاق الـ O2 يعود الى عدم اكسدة الماء بسبب عدم أكسدة PSIIنتيجة وجود DCMUالتي تمنع انتقال الالكترون منه إلى (PQ) T1.

- عدم انتاج $NADPHH^+$يعود الى عدم ارجاع $NADP^+$بسبب عدم اكسدة PSI رغم وجود الضوء نتيجة منع انتقال الالكترونات في سلسلة الاكسدة الارجاعية أي منع تعويض الكتروناته.

- عدم تركيب الـ ATP غياب تفاعل الاكسدة الارجاعية لا تتراكم البروتونات في التجويف مما يمنع الفسفرة الضوئية رغم وجود الضوء وانطلاق O2.

2- انطلاق الـ O2 يدل على اكسدة الماء نتيجة اكسدة PSIIوتحرير الكترونات يستقبلها مستقبل الالكترونات DCPIP وليس T1 بسبب وجود DCMU.

- عدم انتاج $NADPHH^+$وعدم تشكيل ATP نفس التفسير في(1).

3- عدم انطلاق الـ O2 يعود الى وجود DCMU(نفس التفسير في 1)

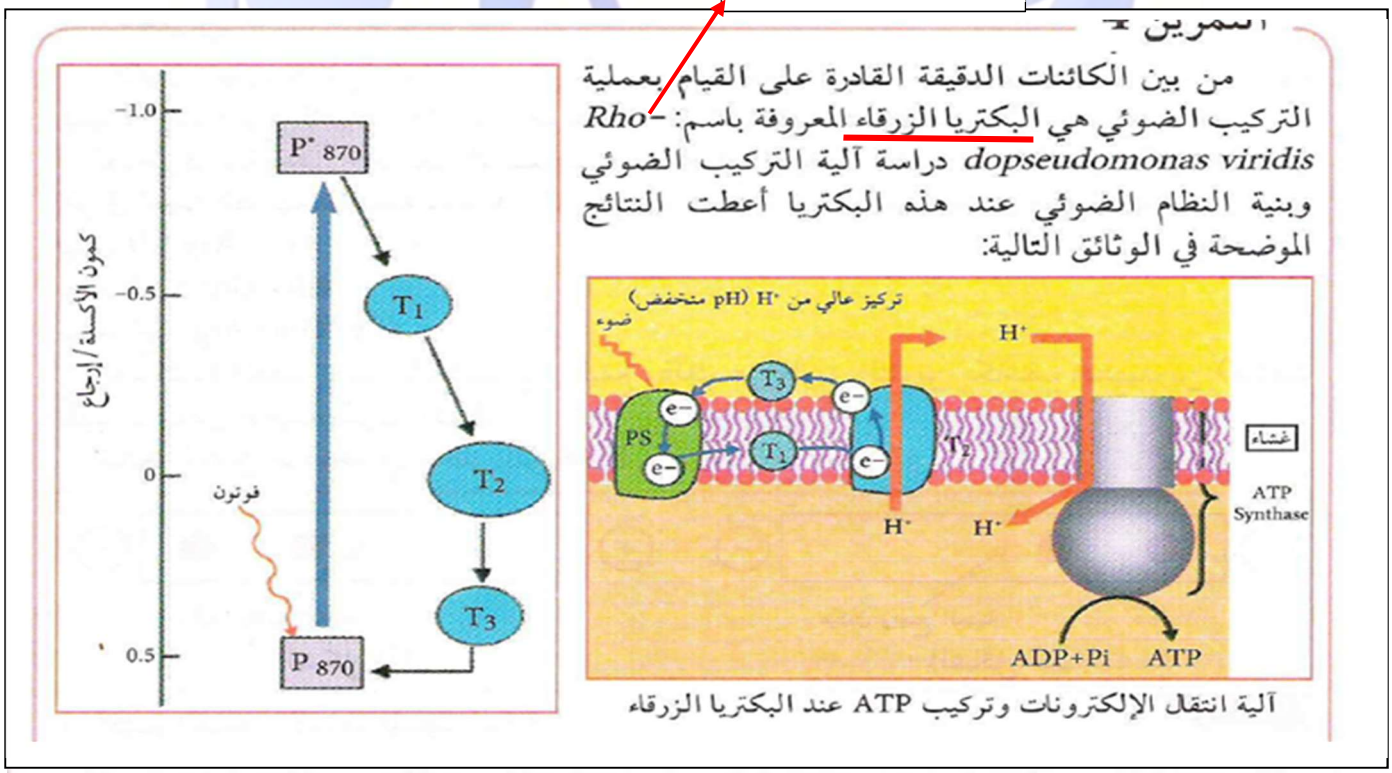
– انتاج NADHH+ يعود الى ارجاع NADP+ بالإلكترونات الناتجة عن اكسدة PSI في وجود معطي الكترونات الذي يضمن استرجاع الكتروناته .

– تركيب الـ ATP يدل على حدوث الفسفرة الضوئية رغم وجود DCMU بوجود معطي الالكترونات حيث ينتقل الالكترونات عبر T1 .T2. T3 مما يسمح بنقل البروتونات من الستروما الى التجويف و تراكمها مما يخلق فؤقا في تركيز البروتونات فيتشكل سيل يخرج عبر الـ ATPسنتاز محفزا إيّاه على فسفرة ADP إلى ATP في وجود Pi.(**الفسفرة الضوئية**)

الفكرة (5): الانتقال الحلقي للإلكترونات.

تمرين رقم 4 ص 204 من الكتاب المدرسي

البكتيريا الارجوانية



1. ما هي أوجه التشابه والإختلاف بين هذه الآلية وآلية انتقال الإلكترونات وتركيب ATP في النباتات الخضراء التي تم التعرف عليها سابقا ؟
2. تعرف هذه الطريقة من انتقال الإلكترونات بالإنتقال الحلقي ويمكن أن تحدث في النباتات الخضراء وتؤدي فقط إلى إنتاج ATP دون إنتاج NADPH. يشارك فيها النظام الضوئي الأول PSI فقط بتدخل النواقل T1، T2، T3 و T_4. تحدث هذه الآلية بنسبة قليلة مقارنة بالحالة العادية وهي الإنتقال غير الحلقي بمشاركة النظامين الضوئيين PSI وPSII. أنجز رسما تخطيطا توضح فيه الإنتقال الحلقي للإلكترونات في النباتات الخضراء.

- **تصحيح: البكتيريا Rhodopseudomonas viridis هي بكتيريا ارجوانية ولسيت زرقاء**
- **البكتيريا الزرقاء او الزرقاء المخضرة هي cyanobacter لها الية عمل تشبه الصانعة الخضراء (باك 2018)**

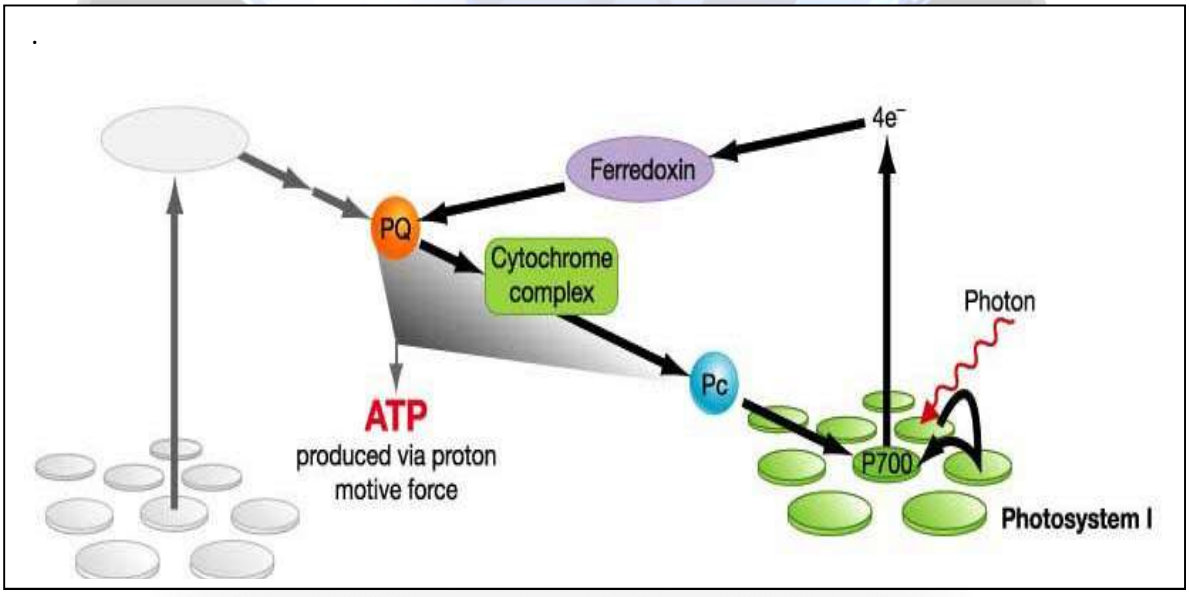
الإجابة

1-المقارنة بين الية انتقال الالكترونات وتركيب الـ ATP بين البكتيريا الارجوانية والنباتات الخضراء.

	النباتات الخضراء	البكتيريا الارجوانية
أوجه التشابه	-وجود نظام ضوئي يمتص الفوتونات الضوئية ويتهيج (ينخفض كمون اكسدته الارجاعية) فيتأكسد. -نقل الالكترونات عبر سلسلة النواقل حسب تزايد كمون الاكسدة الارجاعية، يرافقه نقل البروتونات على جانبي الغشاء من اجل خلق فرق التركيز الذي يتسبب في تشكيل سيل من البروتونات يخرج عبر انزيم ATPسنتاز ليحفزه على تركيب ATP (فسفرة تأكسدية ضوئية)	
أوجه الاختلاف	-تضم السلسلة التركيبية نظامين ضوئيين PSI مركزه التفاعلي P700و PSII مركزه التفاعلي P680. و5 نواقل الكترونات -تنتقل الالكترونات في مسار مفتوح (خط Z) من H2O الى المستقبل النهائي $NADP^+$ ما يرافقه انطلاق O2	-تضم السلسلة التركيبية نظام ضوئي واحد مركزه التفاعلي P870.و3 نواقل الكترونات تنتقل الالكترونات في مسار حلقي حيث تنطلق من النظام الضوئي وتعود اليه.وبالتالي لا يوجد مستقبل نهائي يتم ارجاعه ولا ينطلق O2 (غياب معقد انزيمي لأكسدة الماء).

الاستنتاج: كل كل من البكتيريا الارجوانية والصانعات الخضراء عند النباتات الخضراء لها القدرة على الفسفرة الضوئية (تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية قابلة للاستعمال (ATP)) من خلال التفاعل الكيموضوئي مع اختلاف في النواتج حيث ينطلق الـ O2و تتشكل +NADPHH عند الصانعات الخضراء ولا ينطلق الـ O2ولا يتم انتاج مستقبل نهائي مرجع عند البكتيريا.

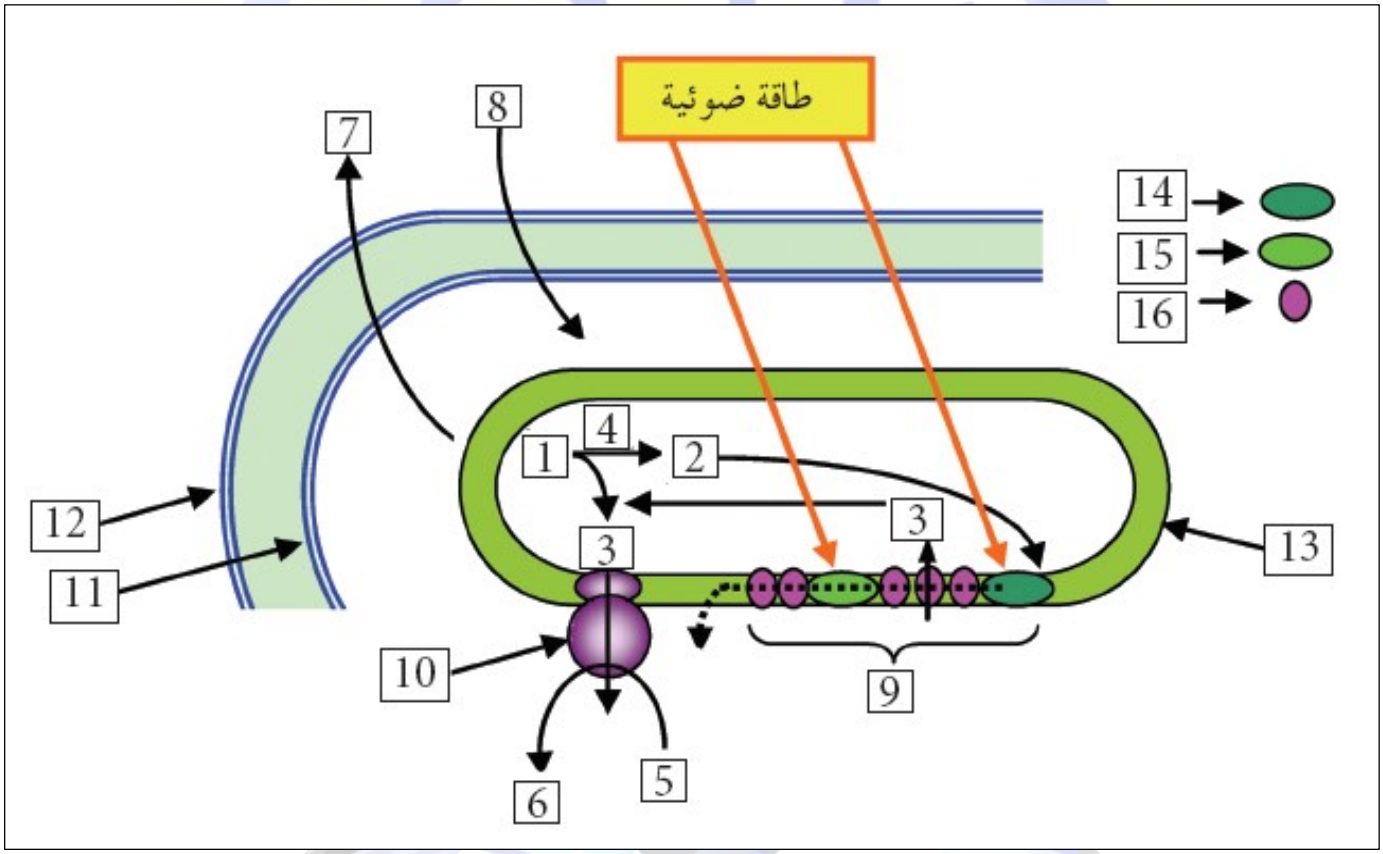
2-انجاز رسم تخطيطي يوضح الانتقال الحلقي للالكترونات عند النباتات الخضراء



- **يسمح الانتقال الحلقي للـ é بتراكم البروتونات داخل التجويف وبالتالي تعزيز انتاج الـATP عند النباتات الخضراء.**

تقويم تشخيصي

- **اليك الوثيقة 13 ص 191 من الكتاب المدرسي**



- اعتمادا على المعلومات المتوصّل اليها من النشاطات السابقة:

1- أكتب البيانات المرقمة

2- استخلص نواتج المرحبة الكيموضوئية.

3- حدّد دور العنصرين (14-15) من هذه المرحلة.

4- انجز رسما تخطيطيا وظيفيا تبيذن فيه آلية حدوث النرحلة الكيموضوئية على مستوى الصانعة الخضراء.

الإجابة

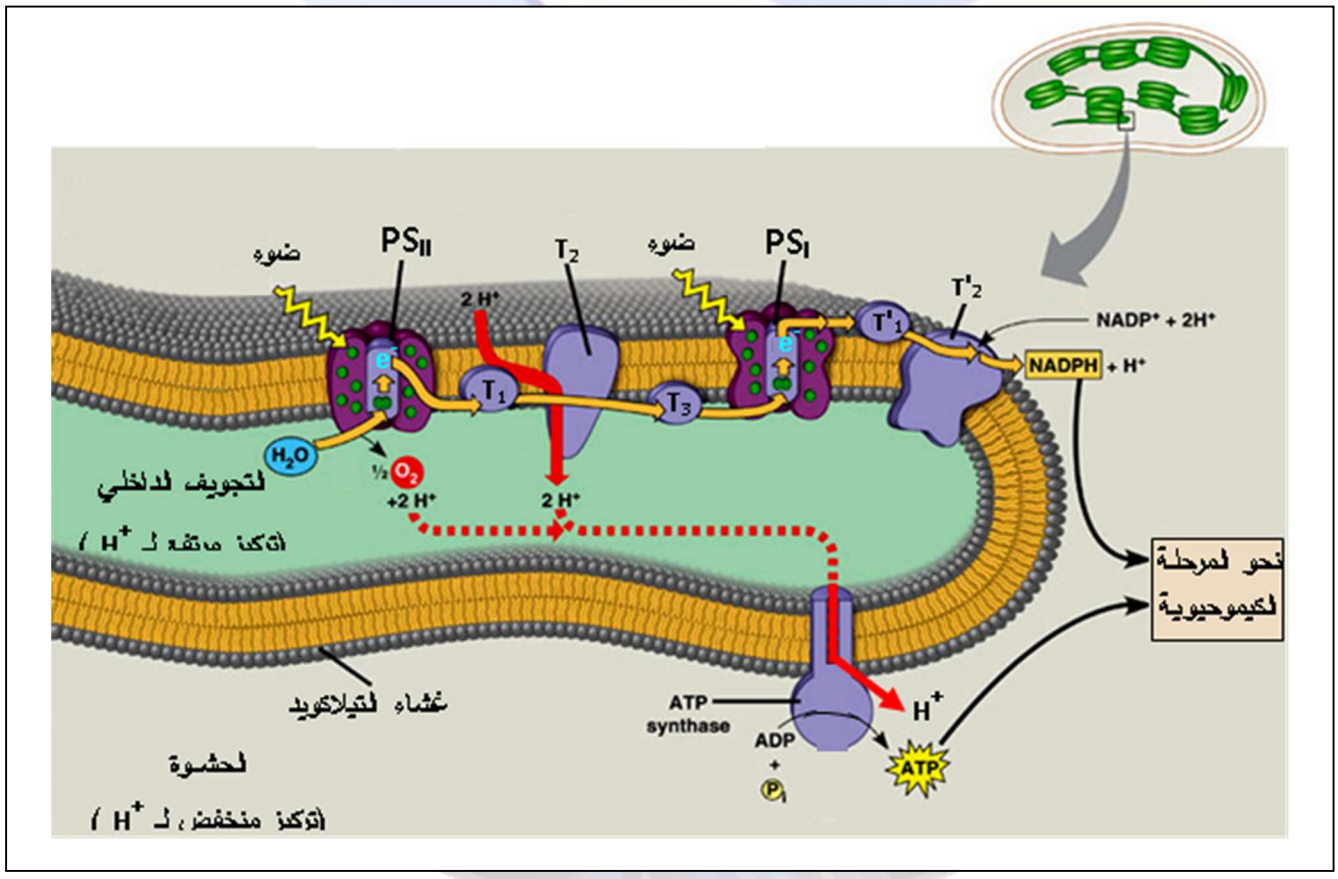
1- البيانات الرقمة:

H_2O=1	ADP+Pi=5	السلسلة التركيبية الضوئية=9	غشاء التيلاكويد=13
إلكترونات=2	ATP=6	ATP Synthase=10	PSII=14
H^+=3	O_2=7	غشاء داخلي=11	PSI=15

2- نواتج المرحلة الكيموضوئية وهي ATP و NADPH,H+ .

3- العنصران 14 و 15 يمثلان الأنظمة الضوئية وهي الأنظمة المسؤولة على استقبال وتحويل الطاقة الضوئية في صورة إلكترونات غنية بالطاقة.

4- انجاز رسم تخطيطي وظيفي يبين الية حدوث التفاعل الكينموضوئي



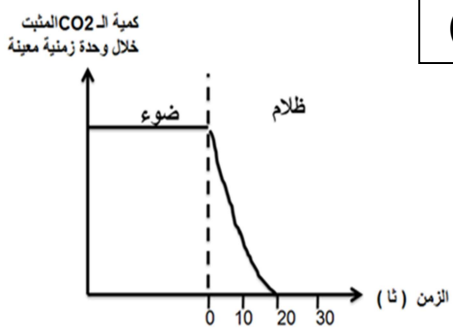
الوضعية المشكلة (4)

على مستوى التلاكوئيد وبوجود الضوء ومستقبل الالكترونات الطبيعي والـ ADP. PI يحدث التفاعل الكيموضوئي منتجا الـ $NADPHH^+$ و الـ ATP، ومن جهة أخرى على مستوى الستروما يتم دمج الـ CO_2 و انتاج المادة العضوية وفق تفاعل كيموحيوي لا يتطلب ضوء. نريد في هذه الدراسة البحث عن آلية دمج الـ CO_2.

الجزء الأول:

في عام 1951 قام غافرون ومساعدوه بتجربة نتائجها موضحة في الوثيقة (1-أ) حيث تم قياس كمية الـ CO_2 المشع المثبت من قبل معلّق كلوريال (كائن وحيد الخلية) معرض للضوء بشدة كافية ولمدة كافية (10 د)، ثم نقل الى الظلام.

الوثيقة (1-أ)

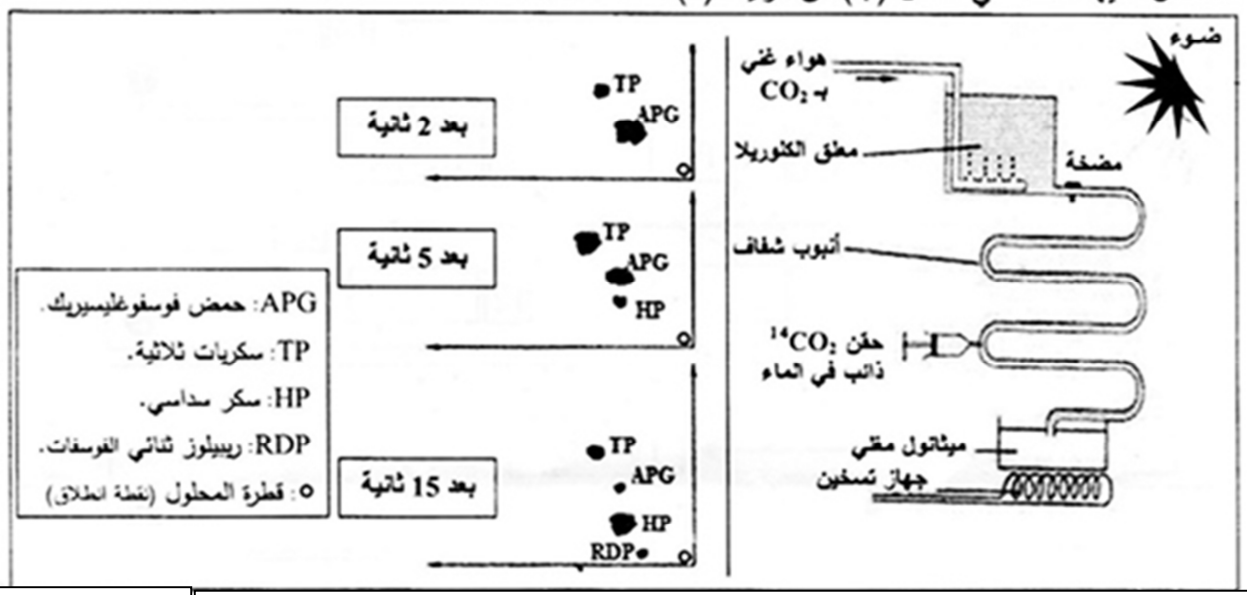


نتائج تجربة غافرون ومساعديه 1951

1- باستغلال نتائج اعمال غافرون ومساعديه. صغ المشكل العلمي المطروح.

للإجابة عن المشكل المطروح قام العالم كالفن ومساعده بنسون بتجربة خطواتها ونتائجها موضحة في الوثيقة(1-ب)

وضع طحلب أخضر وحيد الخلية (الكلوريلا) في وعاء شفاف ضمن محلول معدني غني بـ CO_2 في شروط ثابتة من الحرارة والإضاءة كما هو موضّح في الشكل (أ) من الوثيقة (2)، يحقن المعلّق بـ $^{14}CO_2$ المشع على فترات زمنية متتالية ثم ينجز الفصل الكروماتوغرافي ذو البعدين متبوعا بالتصوير الإشعاعي الذاتي لمستخلص الطحلب، النتائج المحصّل عليها ممثّلة في الشكل (ب) من الوثيقة (2).



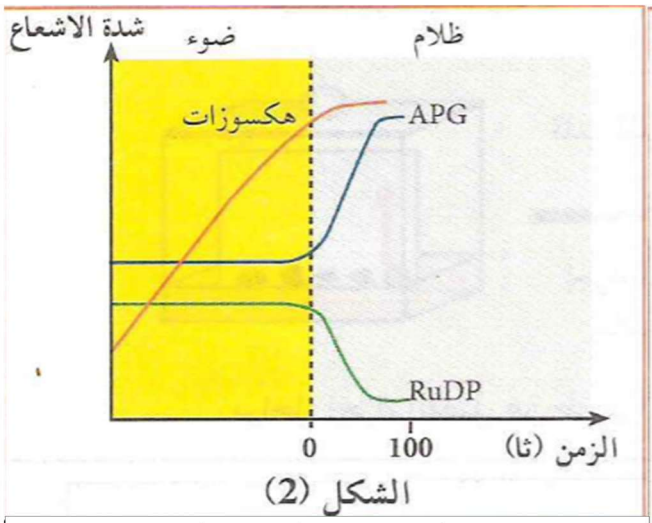
الوثيقة (1-ب)

ملاحظة: APG (حمض فوسفو غليسيريك3CP)، TP (سكر ثلاثي3CP).HP (سكر سداسي مفسفر= هكسوز6CP)، RuDP(سكر خماسي = ريبيلوز ثنائي الفوسفات 5CDP)

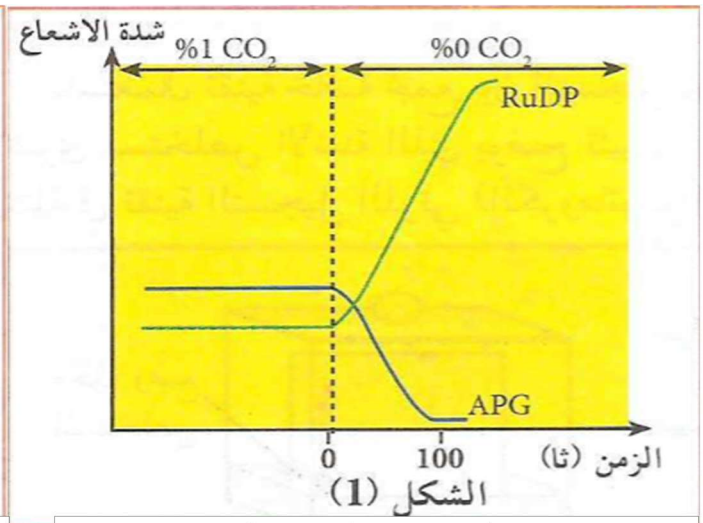
2- باستغلال نتائج تجربة كالفن ومساعده. اقترح فرضيتين على الاقل حول مصدر المركب العضوي APG .

الجزء الثاني: للتحقق من صحة إحدى الفرضيات والإجابة عن المشكل المطروح نجري الدراسة التجريبية التالية:

يتم قياس كمية المركبات المشعة (APG، RuDP، هكسوزات) في ظروف تجريبية مختلفة من ضوء/ ظلام، في وجود الـ CO2وفي غيابه. النتائج المحصل عليها موضحة في الشكلين (1 و2) من الوثيقة (2).



وجود الـ CO2خلال فترة التجربة

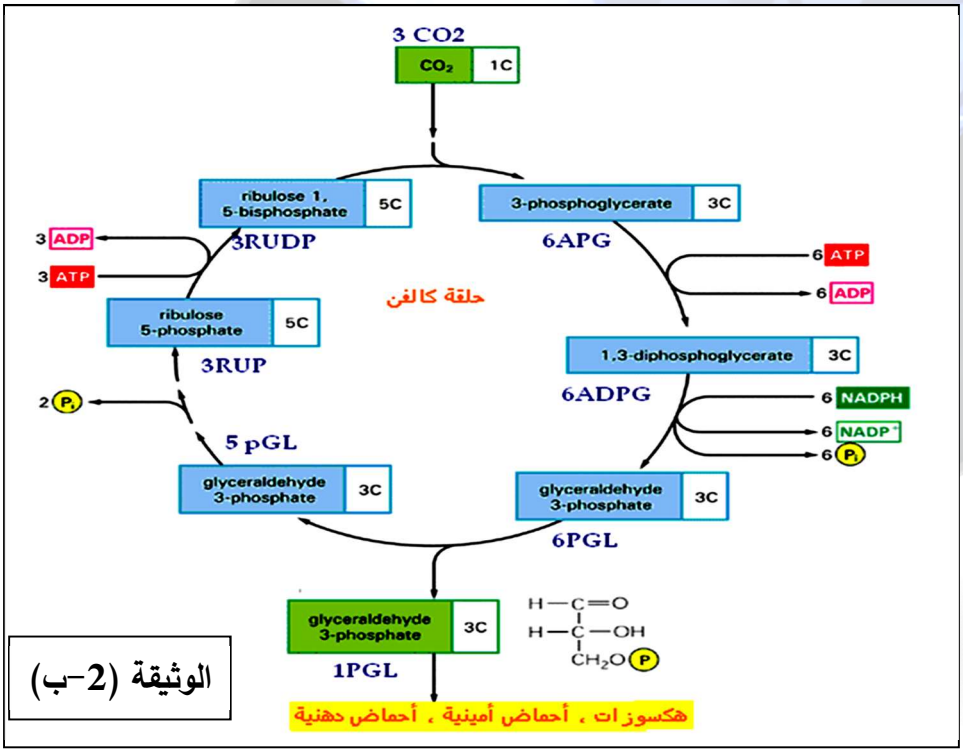


وجود الضوء خلال فترة التجربة

الوثيقة (2-أ)

1- فسّر النتائج التجريبية مدعّما الفرضية الصحيحة. ثمّ اقترح مخططا بسيطا يبرز العلاقة بين مختلف المركبات العضوية التي ظهرت في نتائج اعمال كالفن ومساعده.

2- توصّل كالفن ومساعدوه إلى تحديد تفاعلات تثبيت الـ CO2والمركبات الوسيطية الناتجة في شكل حلقة سميت بحلقة كافن (نسبة للعالم الذي اكتشفها).



الوثيقة (2-ب)

- أعد رسم الحلقة بما يسمح تركيب جزيئة هكسوز (سكر سداسي الكربون) واحدة.

الجزء الثالث:

بناء على ما جاء في الموضوع قدّم خلاصة توضح الية دمج الـ CO2 على مستوى الصانعة الخضراء.

حل الوضعية المشكلة (4)

الجزء الأول:

1- استغلال نتائج اعمال غافرون ومساعدوه:

- تحليل المنحنى: يمثل تغير كمية الCO2 المشع المثبت من قبل طحلب اخضر في الضوء والظلام:
- في وجود الضوء بشدة ومدة كافية نسجل ثبات كمية الت CO2 المثبت عند قيمة عالية.
- في الظلام نسجل استمرار تثبيت الـ CO2 بالتناقص حتى ينعدم خلال 20 ثا.

الاستنتاج: تثبيت الـ CO2 لا يتطلب ضوء ولكنّه يتطلب نواتج التفاعل الكيموضوئي.

❖ المشكل العلمي المطروح: كيف يتم استعمال نواتج التفاعل الكيموضوئي في تثبيت الـ CO2؟

2- استغلال نتائج اعمال كالفن ومساعده:

- تحليل النتائج: تمثل نتائج تتبع المركبات العضوية الناتجة عن تثبيت الـ CO2 المشع خلال فترات زمنية متغيرة عن طريق تقنية التحليل الكروماتوغرافي ذي البعدين.
- بعد 2ثا: ظهور بقعة بحجم كبير لمركب عضوي يسمى APG (حمض فوسفو غليسيريك3CP) وبقعة بحجم أصغر لمركب عضوي يسمى TP (سكر ثلاثي 3CP).
- بعد 5ثا: ظهور بقعة الـ APG بحجم أصغر وبقعة TP بحجم أكبر مقارنة بالفترة السابقة مع ظهور بقعة بحجم أصغر لمركب يسمى HP (سكر سداسي مفسفر = هكسوز 6CP).
- بعد15 ثا: يصغر حجم كل من بقعة الـ APG و TP مقارنة بالفترة السابقة يزداد حجم بقعةHP، مع ظهور بقة لمركب يسمى RuDP (ريبيلوز ثنائي الفوسفات 5CDP)
- **الاستنتاج:** تظهر المركبات العضوية الناتجة عن تثبيت الـ CO2 وفق التسلسل الزمني التالي:

اول مركب يظهر هو الـ APG يليه TP ثم HP ثم RuDP.

❖ اقتراح فرضيات حول مصدر الـ APG:

- يتطلب تركيب الـ APG انطلاقا من CO2تدخل مركب يلعب دور مستقبل الـ CO2.

$$CO2\ (1C) + X\ (?) \longrightarrow ?APG(3CP)$$

✓ **الفرضية1:** المستقبل مركب ثنائي الكربون (2C) حيث تثبيت جزيئة من الـ CO2 على مركب 2C يعطي جزيئة واحدة من الـ APG.

✓ **الفرضية 2:** المستقبل مركب خماسي الكربون (5C) حيث تثبيت جزيئة من الـ CO2 على مركب 5C يعطي جزيئتين من الـ APG.

الجزء الثاني:

1- تفسير نتائج التجربة الموضحة في الوثيقة(2أ):

- **في وجود الضوء والـ CO2:** نسجل ثبات في كمية كل من الـ APGو RuDP حيث تكون كمية الـAPG أكبر من RuDPويعود ذلك الى ان كل منهما يركب ويستهلك بنفس السرعة (توازن ديناميكي)
- **في وجود الضوء وغياب الـCO2 :**
- تتناقص كمية الـ APG حتى تنعدم، ويعود ذلك الى انه يستهلك ولا يركب لغياب الـ CO2.
- تتزايد كمية الـ RuDPثم تثبت، ويعود ذلك الى انه يركب ولا يستهلك لغياب الـ CO2.
- تساير العمليتين يدل على أن الـ CO2ضروري لاستهلاك الـ RuDP في تركيب الـ APG:
- $CO_2 + RuDP \rightarrow APG$
- بما أن RuDP مركب خماسي الكربون فان تثبيت الـ CO2 عليه يعطي جزيئتين من الـ APG وهذا ما يفسر ان كمية الـ APG أكبر من الـ RuDP خلال التوزان الديناميكي **ويؤكد صحة الفرضية 2.**

في وجود الضوء والـ CO2: نسجل نفس النتائج السابقة بالنسبة للـ APGو RuDP

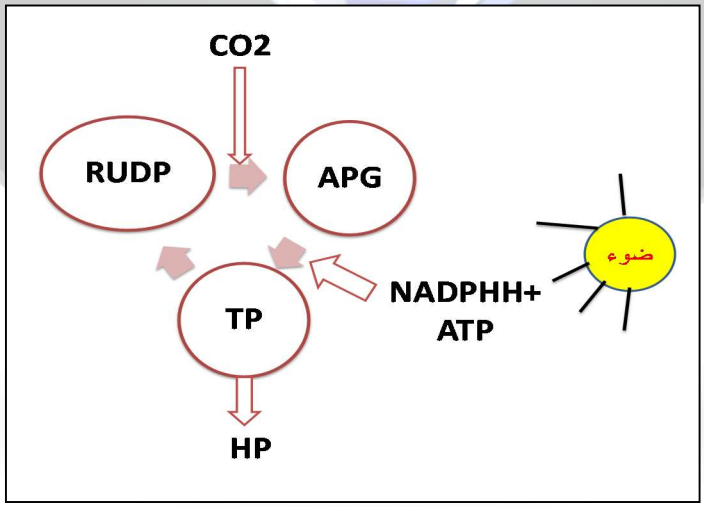
كما نسجل تزايد في كمية الهكسوز HP ما يدل على انه يركّب باستمرار بشكل مساير للتوازن الديناميكي بين APG و RuDP.

في وجود الـ CO2 وغياب الضوء:

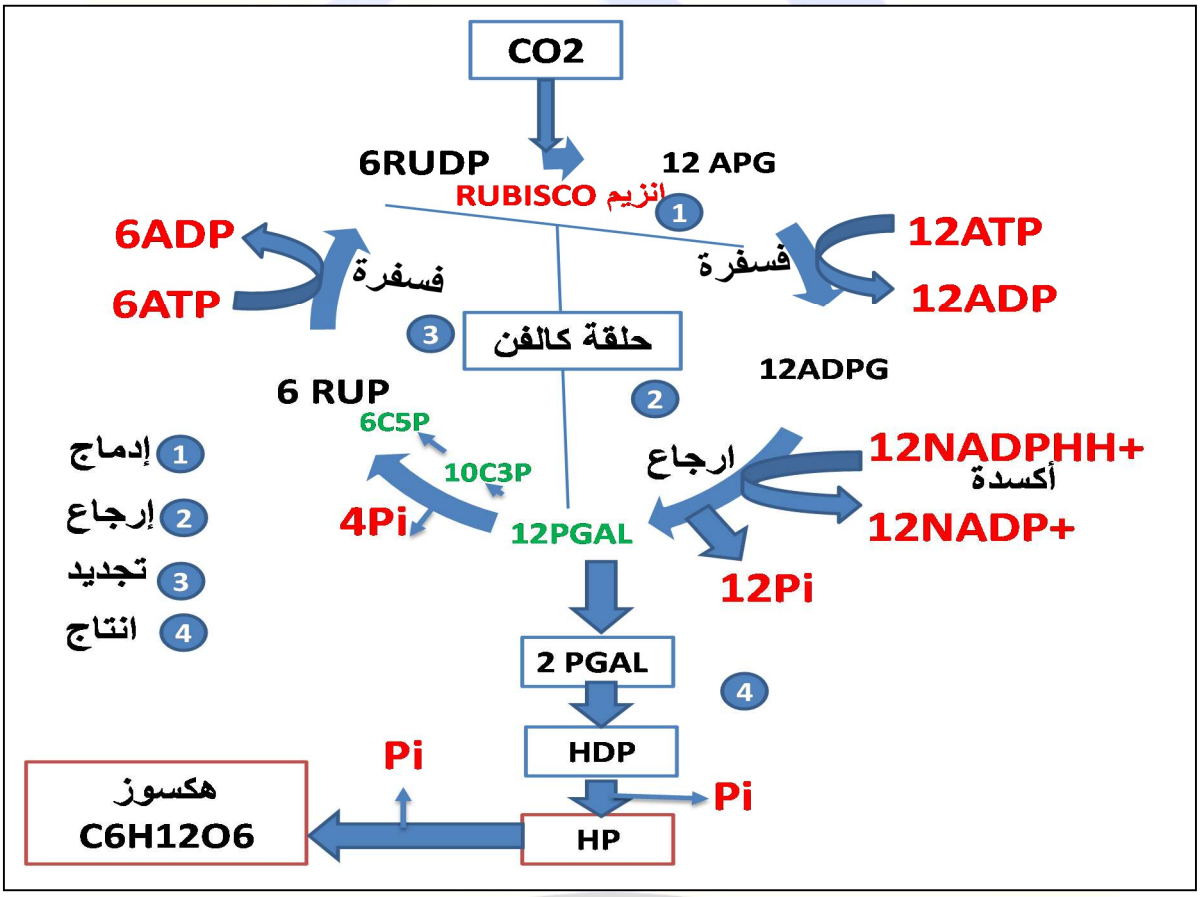
- تتزايد كمية الـ APG ثم تثبت، ويعود ذلك الى انه يركب ولا يستهلك لغياب الضوء.
- تتناقص كمية الـ RuDPحتى تنعدم، ويعود ذلك الى انه يستهلك ولا يركب لغياب الضوء.
- تساير العمليتين يدل على أن الضوء (نواتج التفاعل الكيموضوئي) ضروري لتركيب (تجديد) الـ RuDP انطلاقا من الـ APG.

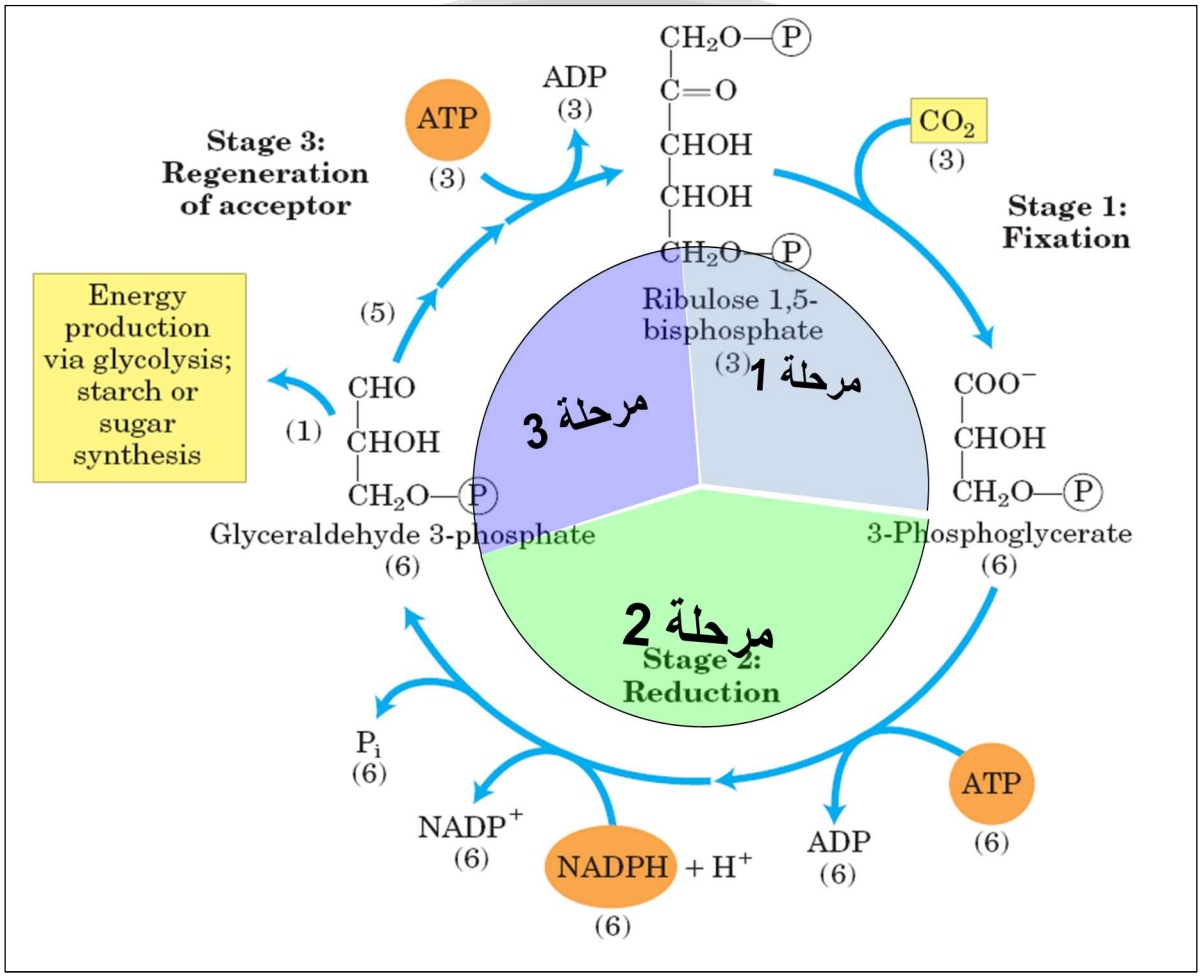
$APG + NADPHH^{+} + ATP \rightarrow RuDP$

- اقتراح مخطط بسيط يربط علاقة بين المركبات التي ظهرت في نتائج تجربة كالفن:



2- حلقة كالفن تسمح بإنتاج جزيئة من الهكسوز.

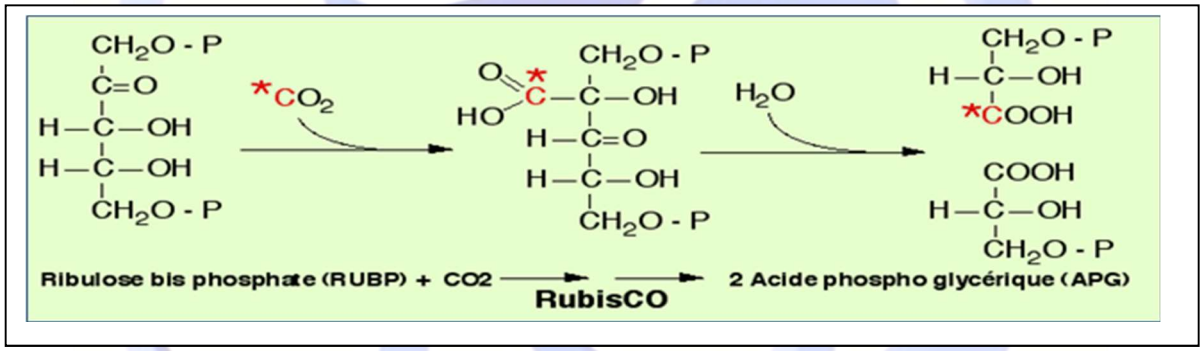




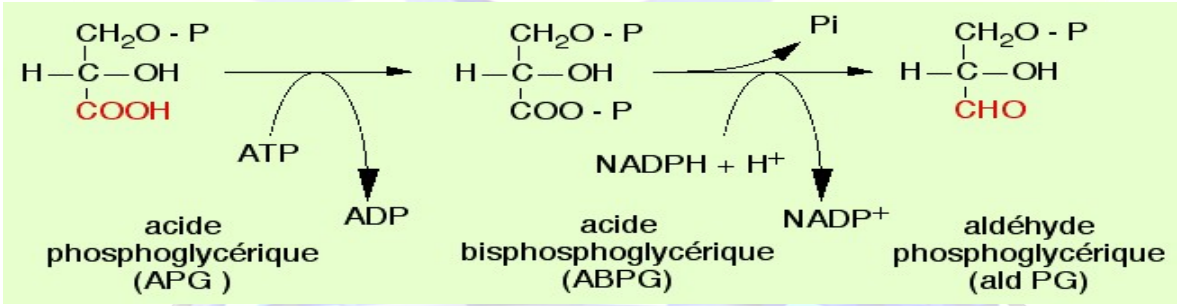
الجزء الثالث:

خلاصة آلية دمج ثاني أكسيد الكربون على مستوى الصانعة الخضراء .

- **يقوم أنزيم RUBISCO بتثبيت جزيئة CO2 على جزيئة RUDP ليتشكل مركب سداسي الكربون سريع الانشطار الى 2APG**



- **تستعمل نواتج التفاعل الكيموضوئي حيث ينشط APG بواسطة الـ ATPثم يرجع الى سكر ثلاثي PGAL (فوسفو غليسر الدهيد) باكسدة $NADPH.H^+$.**



- **يستعمل جزء من السكر الثلاثي في تجديد RUDP باستعمال المزيد من الـ ATP ويستعمل الجزء الاخر من السكر المرجع في تركيب السكريات سداسية الكربون (هكسوزات)، الاحماض الامينية، الدسم.**

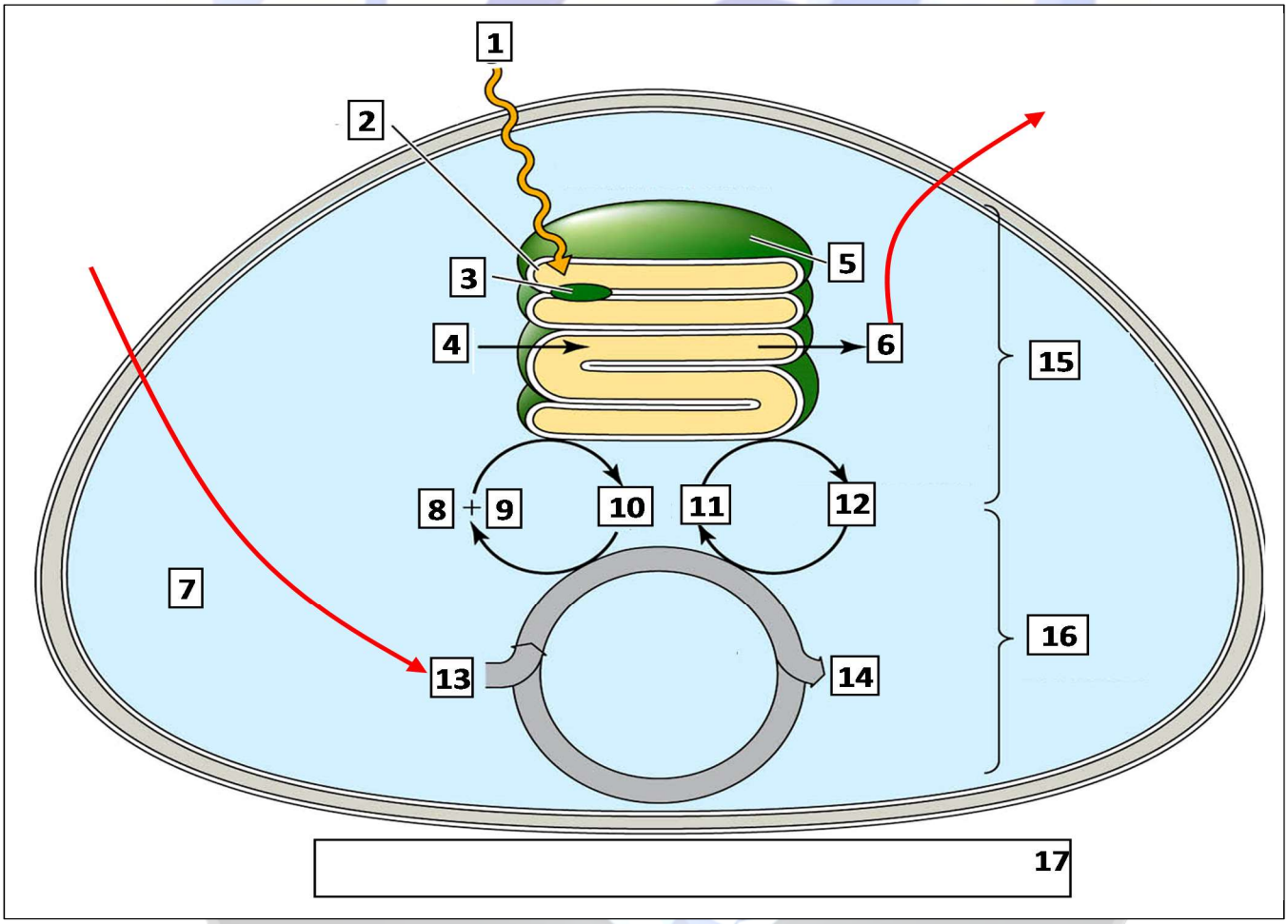
- **معادلة التفاعل الكيموحيوي**

$$6CO_2 + 12\ NADPH;H^+ + 18\ ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12\ NADP^+ + 18(ADP + Pi) + 6H_2O$$

العلاقة بين التفاعل الكيموضوئي و الكيموحيوي

عند الخلايا النباتية الخضراء تعتبر الصانعة الخضراء ببنيتها الحجيرية المميزة مقر عملية التركيب الضوئي التي تتضمن تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيمائية كامنة.وفق تفاعلين أحدهما يتطلب طاقة ضوئية والأخر لا يتطلب ضوء.

- تمثل الوثيقة رسما تخطيطيا يوضح التكامل بين التفاعل الكيموضوئي والكيموحيوي لعملية التركيب الضوئي.



1- تعرف على البيانات المرقمة.

2- علّل انطلاق الـ O2 لفترة قصيرة ثم يتوقف عند تعريض صانعة خضراء للضوء وفي غياب الـ CO2، وتثبيت الـ CO2وتركيب السكر لفترة قصيرة ثم يتوقف عند نقل الصانعات الخضراء من وسط به ضوء الى وسط مظلم لام مع وجود الـ CO2.دعّم اجابتك بمعادلات كيميائية تبرز العلاقة التكاملية.

3- لخص في نص علمي العلاقة بين التفاعلين الكيموضوئي والكيموحيوي.ثم انجز رسما تخطيطا يبرز هذه العلاقة

4- لخص في نص علمي العلاقة بين التفاعلين الكيموضوئي والكيموحيوي مبرزا التحولات الطاقوية التي تحدث على مستوى الصانعة الخضراء. ثم انجز رسما تخطيطا يبرز هذه العلاقة

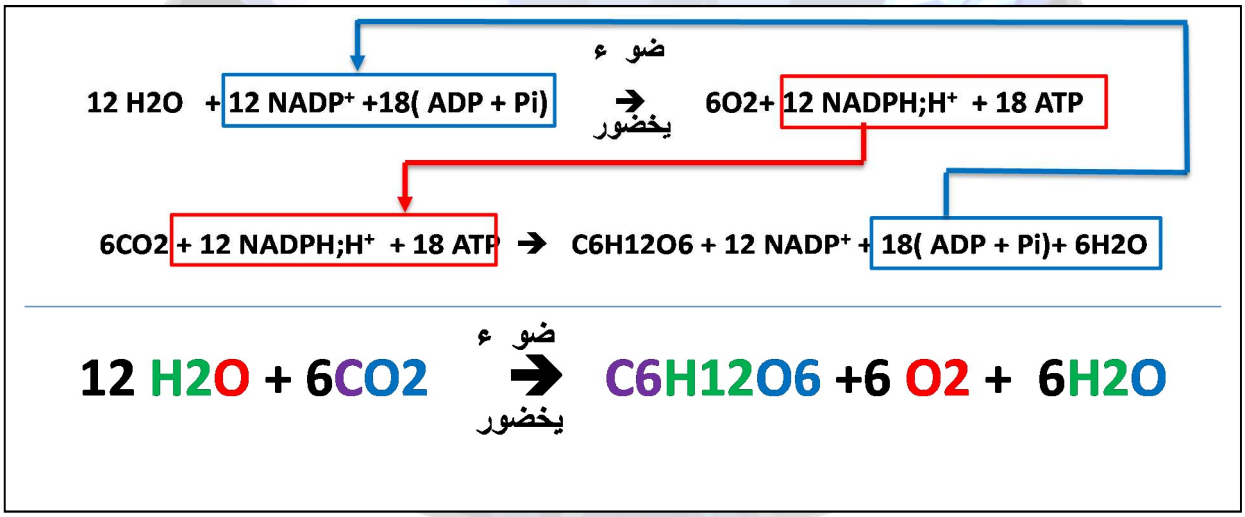
الإجابة

1- البيانات المرقمة:

1= ضوء	7= الحشوة	CO2 =13	
2= غشاء التيلاكويد	8= ADP	14= سكر	
3= نظام ضوئي	9= Pi	15= المرحلة الكيموضوئية	
H_2O =4	10= ATP	16= المرحلة الكيموحيوية	
5=تيلاكويد (كييس)	11= NADP+	17= مخطط يوضح التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي.	
6=اكسجين	12= $NADPH,H^+$		

2- انطلاق O_2 لفترة قصيرة فقط في غياب CO_2 يعود إلى توفر كمية من ADP و Pi و $NADP^+$ استعملت في المرحلة الكيموضوئية ولكنها لم تتجدد بسبب عدم حدوث المرحلة الكيموحيوية نظرا لغياب CO_2.

- تثبيت الـ CO2 لفترة قصيرة ثم يتوقف يعود الى توفير كمية محدودة مم نواتج التفاعل الكيموضوئي وعند نفادها تتوقف حلقة كافن بسبب عدم انتاجها في غياب الضوء.



3- النص العلمي:

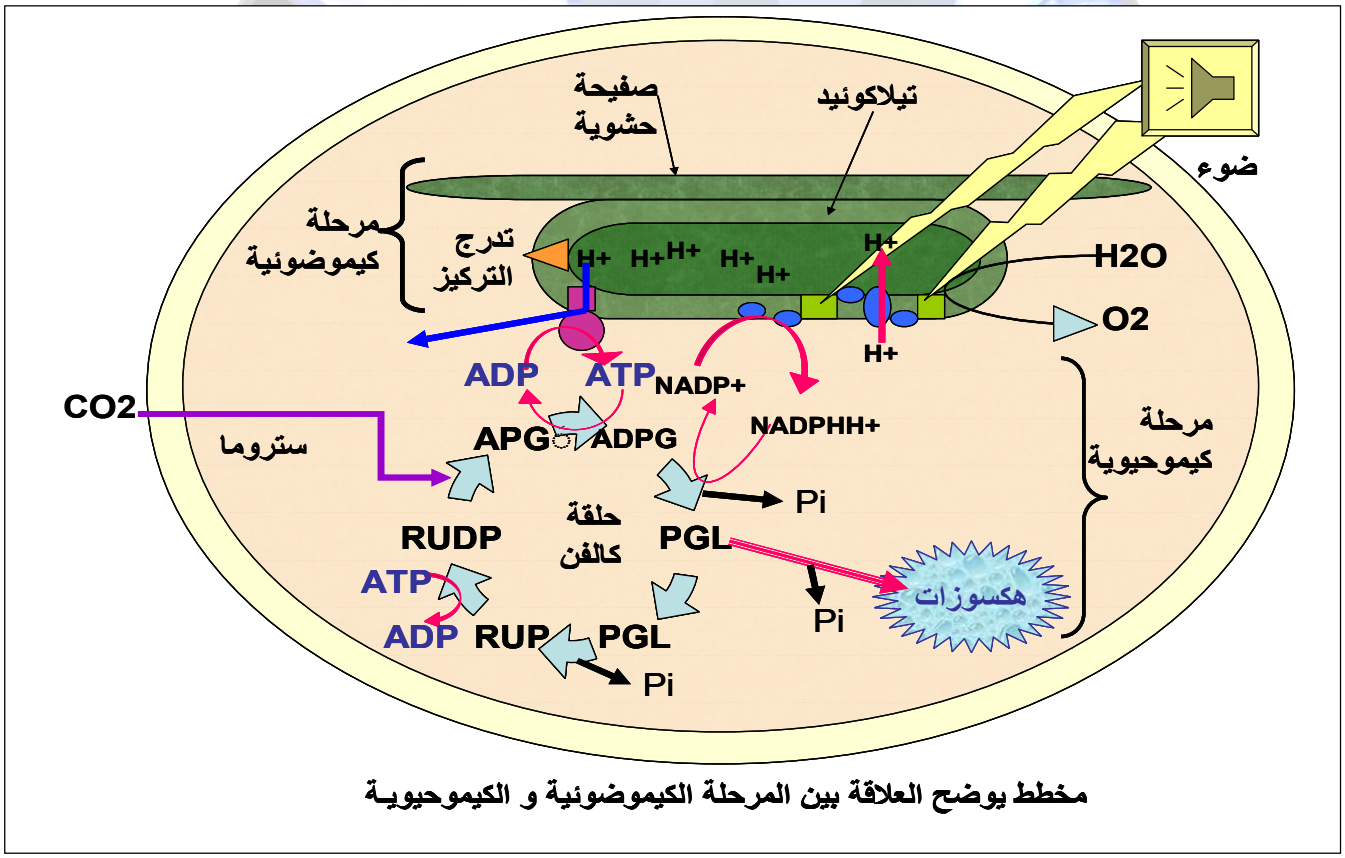
تحدث عملية التركيب على مستوى الصانعات الخضراء وفق تفاعلين متواليين ومتكاملين. مما يسمح بحدوث تحولات طاقوية هامة. فكيف تسمح علاقة التكامل بين التفاعل الكيموضوئي و الكيموحيوي بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة؟

على مستوى التيلاكوئيد يحدث التفاعل الكيموضوئي بتدخل السلسلة التركيبية الضوئية التي تتكون من نظامين ضوئيين يعملان على استقبال الطاقة الضوئية وتحويلها الى الكترونات محملة بالطاقة تنقلها سلسلة نواقل الكترونات مما يضمن اكسدة الماء مع انطلاق ثنائي الاكسجين و ارجاع مستقبل نهائي $NADP^+$ و تحويله الى $NADPH,H^+$ بالإضافة الى تدخل انزيم الـ ATP سنتاز. الذي يعمل على فسفرة الـ ADP بوجود Pi وتركيب الـ ATP (الفسفرة الضوئية) و بهذا يتم تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية في جزيئات أيضية وسيطية ($ATP, NADPH,H^+$).

تستعمل نواتج التفاعل الكيموضوئي في التفاعل الكيموحيوي الذي يحدث على مستوى الستروما، والذي يتم فيه تثبيت الـ CO_2 وارجاع المادة العضوية وفق حلقة من التفاعلات التي لا تتطلب الضوء وتسمى حلقة كالفن وبنسون بتدخل انزيمات نوعية أهمها RUBISCO و خلال ذلك يتم تحويل الطاقة الكيميائية في الجزيئات الايضية الوسيطية الى طاقة كيميائية كامنة في روابط الجزيئات العضوية كما يتم تجديد الـ $ADP,Pi, NADP^+$ الضرورية لاستمرار التفاعل الكيموضوئي.

ان علاقة التكامل التي تربط بين التفاعلين الكيموضوئي والكيموحيوي هو ما يضمن استمرار عملية التركيب الضوئي بوجود الضوء والـ CO_2 وتوقف أحدهما يؤدي الى توقف الاخر وبالتالي توقف عملية التركيب الضوئي.

الرسم التخطيطي

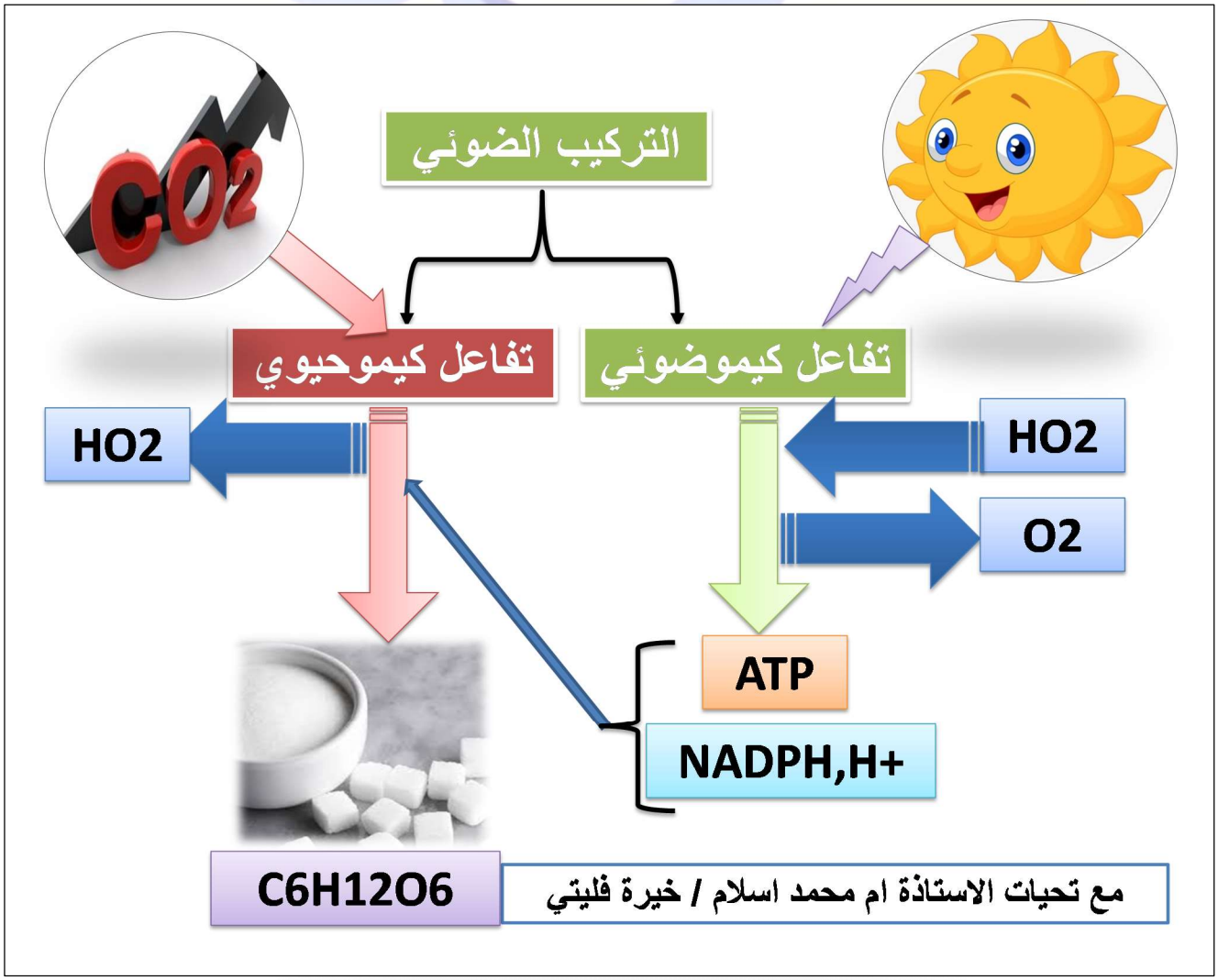


مخطط يوضح العلاقة بين المرحلة الكيموضوئية و الكيموحيوية

قصة قصيرة تحدث داخل الصانعة الخضراء تتكرر مادام النور موجودا لتسعد جميع الكائنات الحية.

وكل صباح تستيقظ مسرعةً صبغات اليخضور النائمة في اسرّة الأنظمة الضوئية على هزّات الفوتونات الضوئية فاقدة ثمارا الكترونية ما يلبث NADP+ أن يلتقطها و يتحول الى NADPH.H+، يفتح PSIIحنفية الماء ويعطي الاوامر لسكاكين الـ OEC(انزيم اكسدة الماء) لتحلّل جزيئات الماء و تغذيه بثمارالكترونية عذبة و بينما ينطلق الـ 02 مغرّدا في الهواء الطلق ترحب به الكائنات الحية ، تتراكم القشور البروتونية في تجويف المغسلة(التيلاكوئيد) و في جانب اخر ها هي مروحيات الـ ATPسنتاز تدور بحركة البروتونات مفسفرة الـ ADP تصرخ البذيرات انها الفسفرة الضوئية.

يستعدّ الـ CO2 ليمسح ماضيه الاسود فيدخل مسرعا في عملية تجميلية كيمايئية حيوية تثبّته وتبيّض وجهه وسرعان ما يبتسم داخل جزيئات السكر.



للمراجعة :تمرين مقترح في موضوع باك 2015

التمرين الثالث: (7 نقاط)

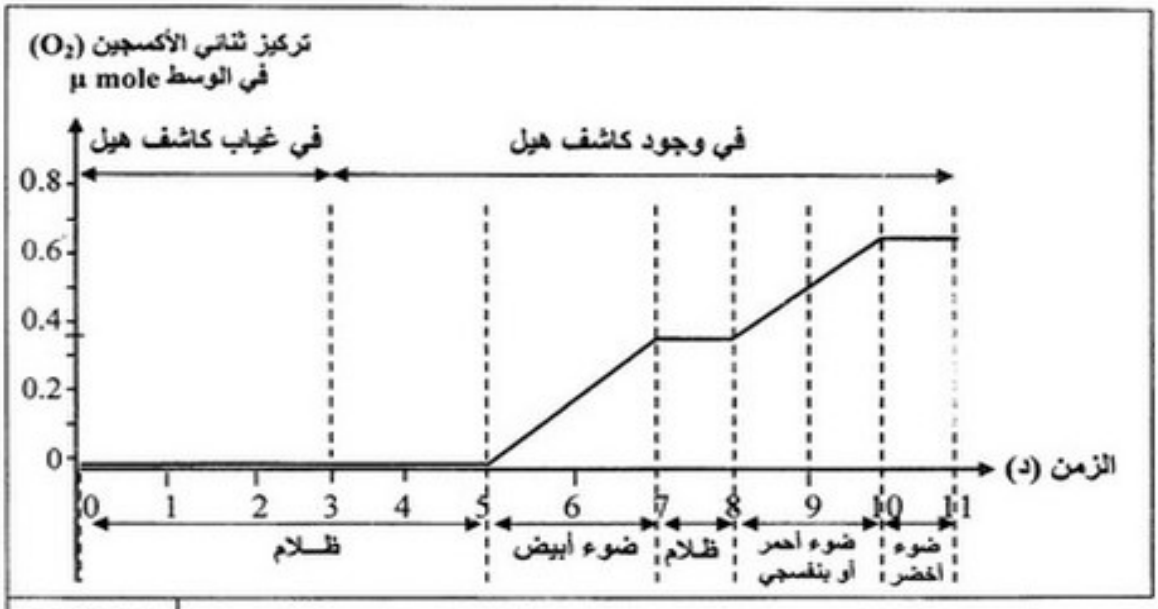
الخلايا اليخضورية، بتَعَضِّيها الخاص كائنات ذاتية التغذية وقادرة على تحويل الطاقة.

I- الصانعات الخضراء عضيات سيتوبلازمية متخصصة تُحَوِّلُ الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة.

- بيّن برسم عليه البيانات تبرز من خلاله أن الصانعة الخضراء عضية ذات بنية ونشاط بيوكيميائي حجيري.

II- قصد التعرف على بعض آليات التركيب الضوئي أُنجِزَتْ خطوات تجريبية باستعمال التجريب المدعم بالحاسوب (ExAO) على معلق صانعات خضراء مفتوحة الغلاف موضوعة ضمن مفاعل حيوي خال من CO_2 ومصدر إشعاعات ضوئية مختلفة وكاشف هيل (Hill) وهو محلول مُؤكْسِد يحتوي على شوارد الحديد Fe^{3+}.

الشروط والنتائج التجريبية مبينة في الوثيقة (1):



الوثيقة(1)

1- أ- حلّل النتائج الممثّلة في الوثيقة (1).

ب- استنتج الشروط التجريبية اللازمة لحدوث تفاعلات المرحلة الكيموضوئية في الكيس (التيلاكويد).

ج- وضّح تسلسل آليات هذه المرحلة في الحالة الطبيعية.

2- اكتب المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضوئية في الحالة الطبيعية.

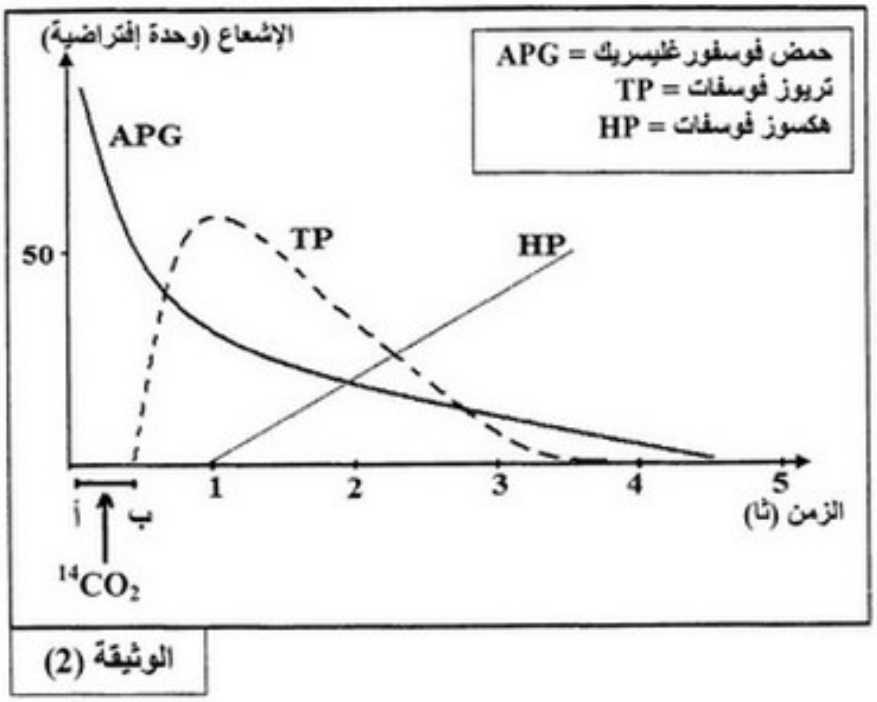
3- ما أهمية هذه التجربة بخصوص إظهار ما يلي:

أ- علاقة أكسدة الماء بتثبيت CO_2.

ب- مصدر الأكسجين المنطلق أثناء عملية التركيب الضوئي.

ج- مراحل التركيب الضوئي.

III- يُزود معلق أشنات خضراء بـ $^{14}CO_2$ (المشع) خلال الفترة الزمنية [أ – ب] الموضحة في الوثيقة (2)، ويُقاس تغير نسبة الإشعاع بدلالة الزمن لثلاث أنواع من المركبات العضوية هي: TP,HP,APG.
النتائج ممثلة في الوثيقة (2).

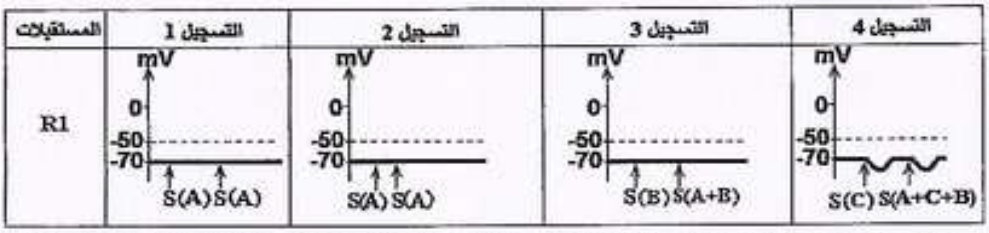
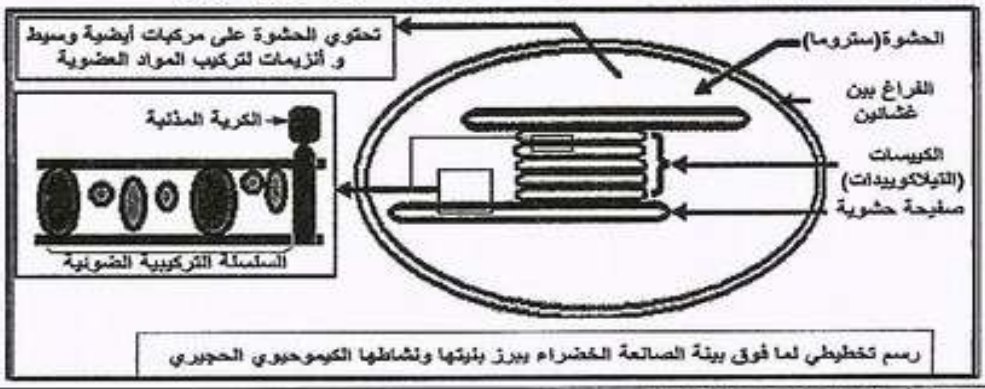


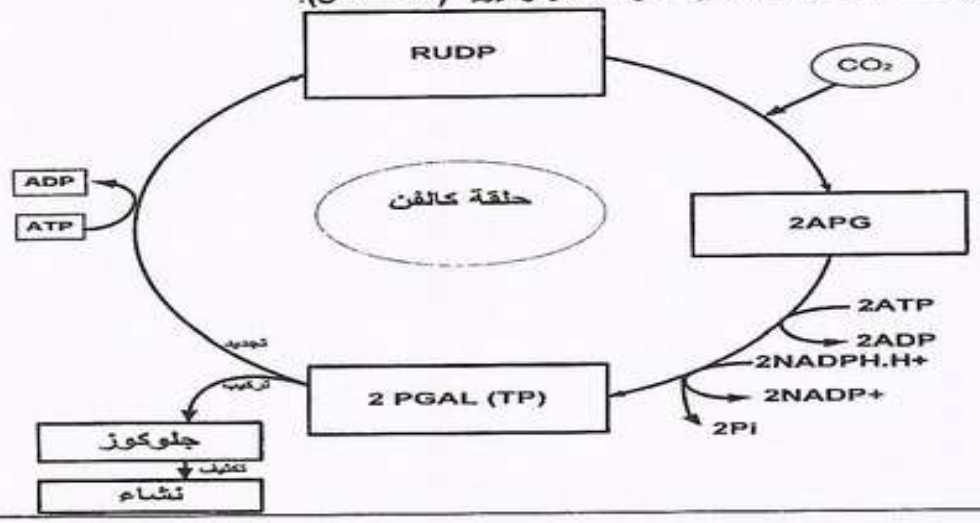
الوثيقة (2)

1- ما هي المعلومات الأساسية المستخرجة من نتائج الوثيقة (2)؟ ماذا تستخلص؟
2- مما سبق ومن معلوماتك المكتسبة في القسم، بيّن بمخطط التفاعلات الأساسية للمرحلة الكيموحيوية.

الإجابة

(تابع) الإجابة النموذجية وسلم التنقيط لاختبار مادة: علوم الطبيعة والحياة الشعبة: علوم تجريبية

2- استنتاج أثر العصبونات قبل مشبكية (A، B،C) على العصبون المحرك: - العصبون قبل مشبكي (A) و العصبون قبل مشبكي (B) عصبونان منبهان للعصبون المحرك. - العصبون قبل مشبكي (C) عصبون مثبط للعصبون المحرك.	0.25 2×	0.50
III – رسم التسجيلات :  ملاحظة: للتوضيح فقط (حقن أنزيم الأستيل كولين إستيراز في المشبكين (1) و(3) يفكك الأستيل كولين ولا يؤثر على الـ GABA في المشبك (2)، لذلك يبقى فرط استقطاب في التسجيل (4) ولا نسجل أي زوال الاستقطاب).	0.25 4×	1
التمرين الثالث: (7 نقاط) I - رسم تخطيطي يبرز أن الصانعة الخضراء ذات بنية ونشاط بيوكميائي حجيري.  رسم تخطيطي لما فوق بنية الصانعة الخضراء يبرز بنيتها ونشاطها الكيموحيوي الحجيري	0.25 4×	1
II -1- أ- تحليل نتائج الوثيقة (1) - من 0 إلى 5 د: في الظلام و في غياب أو بوجود كاشف هيل(مُؤكْسِد يحتوي Fe^{3+})، يبقى تركيز ثنائي الأكسجين(O_2) معدوما في الوسط. - من 5 إلى 7 د: في وجود الضوء الأبيض وكاشف هيل يتزايد تركيز الـ O_2 في الوسط ليصل إلى القيمة 0.3(µmole). - من7 إلى 8 د: في الظلام وبوجود كاشف هيل يبقى تركيز الـ O_2 ثابتا عند القيمة 0.3(µmole). - من 8 إلى 10 د: في وجود ضوء أحمر أو بنفسجي وكاشف هيل يتزايد تركيز الـ O_2 ليصل إلى 0.65 (µmole). - من 10 إلى 11 د : في وجود ضوء أخضر وكاشف هيل يبقى تركيز الـ O_2 ثابتا عند القيمة 0.65 (µmole).	0.25 5×	1.25
ب- الاستنتاج: الشروط التجريبية اللازمة لحدوث تفاعلات المرحلة الكيموضوئية: - توفر الضوء الأبيض (الإشعاعات الحمراء أو البنفسجية). - وجود مستقبل للإلكترونات الاصطناعي التجريبي (Fe^{3+}) في الوسط.	0.25 2×	0.5

ج- **توضيح تسلسل الآليات في الحالة الطبيعية**: عند تعرض الصانعات الخضراء للضوء الأبيض (الفوتونات) ويوجود المستقبل النهائي الطبيعي الفيزيولوجي للإلكترونات($NADP^+$)، تحدث تفاعلات أكسدة وإرجاع على مستوى الكيس (الغشاء)، حيث تتأكسد الأنظمة الضوئية مسببة أكسدة الماء فيتحرر الـ O_2 والبروتونات(H^+) والإلكترونات (e^-) التي تستقبل في نهاية السلسلة التركيبية الضوئية بواسطة المستقبل النهائي $NADP^+$ (حالة مؤكسدة) الذي يرجع إلى $NADPH.H^+$(حالة مرجعة).	0.25 3×	0.75
2- **كتابة المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضوئية:** $2H_2O + 2NADP^+ + (ADP+Pi) \xrightarrow[\text{بحضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 2(NADPH.H^+) + ATP$	0.25 3×	0.75
3- **أهمية هذه التجربة بخصوص إظهار ما يلي:** أ- **علاقة أكسدة الماء بتثبيت CO_2**: التجربة تبين أن أكسدة الماء تتوقف على وجود الضوء، أكسدة الماء تمت في غياب CO_2 فهي **غير مرتبطة مباشرة** بتثبيت CO_2. ب - **مصدر الأكسجين المنطلق أثناء عملية التركيب الضوئي**: التجربة تبين أنه في غياب CO_2 ينطلق O_2 ، لذلك فمصدر O_2 المنطلق أثناء عملية التركيب الضوئي ينتج عن أكسدة الماء. جـ - **مراحل التركيب الضوئي**: التجربة تبين أن عملية التركيب الضوئي تتم في مرحلتين منفصلتين: - مرحلة كيموضوئية حدثت فيها أكسدة الماء وإرجاع المستقبل (كاشف هيل). - ومرحلة كيموحيوية لم تحدث لغياب CO_2.	0.25 3×	0.75
III -1- **المعلومات الأساسية المستخرجة:** - جزيئات الـ APG هي أول جزيئة عضوية تتركب بعد تثبيت CO_2 في الجزيئات العضوية. - جزيئات APG تتحول إلى جزيئات TP. - جزيئات TP تتحول إلى جزيئات HP. • **الاستخلاص** : أثناء المرحلة الكيموحيوية يثبت CO_2 خلال مركبات أيضية وسيطة لتركيب المادة العضوية حيث تتكون جزيئات APG كأول مركب عضوي ثم يحول إلى TP الذي يُشكل HP.	0.25 3× 0.25	1
2- **مخطط التفاعلات الأساسية للمرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن):**  	0.25 4×	1

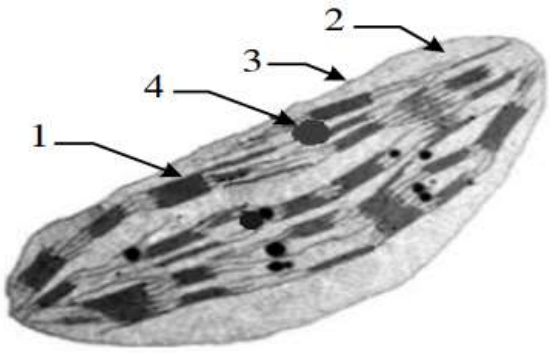
5

باك دورة 2016

التمرين الثاني: (07 نقاط)

تمتلك الخلية عضيات يتم على مستواها ظواهر طاقوية ضرورية لحياتها، والدراسة التالية تهدف لتوضيح بعض جوانب ذلك على مستوى ما فوق البنية الخلوية.

I-1- تمثل الوثيقة (1) ما فوق البنية الخلوية لعضية تعتبر مقر مجموع التفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء تحويل الطاقة خلال ظاهرة بيولوجية معينة.



الوثيقة (1)

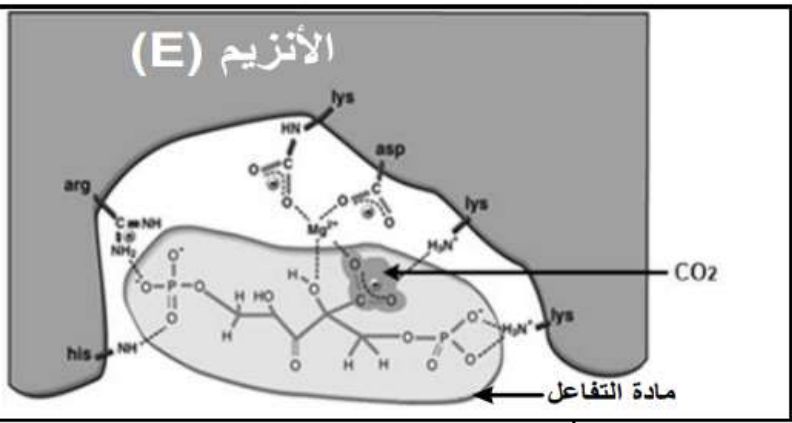
أ- تعرّف على هذه العضية.

ب- اكتب بيانات العناصر المرقمة.

2- أ- حدّد نمط التحويل الطاقوي الذي يحدث على مستوى هذه العضية.

ب- ما هي الظاهرة البيولوجية المعنية؟ اكتب معادلتها الإجمالية.

II- يؤدي كل من العنصر (1) و(2) للوثيقة (1) وظيفة خاصة في سيرورة الظاهرة المدروسة بفضل تركيبهما الجزيئي النوعي، يمثل الشكل (أ) للوثيقة (2) جزيئة من العنصر(1) بينما الشكل (ب) من الوثيقة (2) يوضّح أحد أنزيمات العنصر(2) أثناء نشاطه.



الشكل (أ)

الوثيقة (2)

الشكل (ب)

1- تُنشط جزيئة الشكل(أ) تفاعلا أساسيا خلال مرحلة من الظاهرة المدروسة.

أ- تعرّف على جزيئة الشكل (أ) محدّدا طبيعتها الكيميائية.

ب- سمّ المرحلة المعنية واكتب معادلتها الكيميائية.

2- أُجريت تجربة على العنصر(1) من الوثيقة (1) في الظلام بوجود ADP و Pi بكمية كافية، المراحل والشروط والنتائج موضحة في الجدول التالي:

المراحل	الشروط التجريبية	النتائج
①	. يوضع العنصر (1) من الوثيقة (1) وسطه الداخلي حامضي في وسط قاعدي.	. تدفق H^+ . تركيب الـ ATP
②	. يوضع العنصر (1) من الوثيقة (1) وسطه الداخلي حامضي في وسط حامضي بنفس درجة الحموضة.	. عدم تدفق H^+ . عدم تركيب الـ ATP
③	. نعيد المرحلة (1) بعد نزع الجزء (س) لجزيئة الشكل(أ).	. تدفق H^+ . عدم تركيب الـ ATP
④	. نعيد المرحلة (1) مع إضافة Fluoro-aluminate (FAL) التي ترتبط في مكان تثبيت الـ ADP على مستوى الجزء (س) لجزيئة الشكل(أ).	. تدفق H^+ . عدم تركيب الـ ATP
⑤	. نعيد المرحلة (1) مع إضافة dicyclohexylcarbodiimide (DCCD) التي ترتبط بالجزء (ع) لجزيئة الشكل(أ).	. عدم تدفق H^+ . عدم تركيب الـ ATP

3- يتدخل الأنزيم (E) للشكل(ب) من للوثيقة (2) في المرحلة التي تلي المرحلة السابقة في الظاهرة المدروسة.

أ- تعرف على الأنزيم (E) ثم حدّد مادة تفاعله (الركيزة S) والناتج المتحرر (P).

ب- حدّد المرحلة التي يتدخل فيها الأنزيم (E).

جـ- يتوقف استمرار عمل الأنزيم (E) على نشاط جزيئة الشكل(أ)، بيّن ذلك وحدد دور الأنزيم (E) في هذه الظاهرة.

III- من معلوماتك ومما سبق، وَضّح برسم تخطيطي آلية تحويل الطاقة خلال الظاهرة البيولوجية المدروسة.

التمرين الثاني:(07 نقاط)		
I-1-أ- التعرف على العضية: الصانعة الخضراء.	0.25	**1.25**
ب- كتابة بيانات العناصر المرقمة: 1 – تيلاكوئيد(كيس). 2 – الحشوة (Stroma). 3 – غلاف البلاستيدة. 4 – حبيبات نشاء.	4x0.25	
2- أ- تحديد نمط التحويل الطاقوي الذي يحدث في الصانعة الخضراء:		**0.75**
تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة في المادة العضوية مخزنة في الروابط الكيميائية	0.25	
ب- الظاهرة البيولوجية المعنية: التركيب الضوئي.	0.25	
- كتابة المعادلة الإجمالية للظاهرة البيولوجية:		
$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{يحضور}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$	0.25	
II-1- أ- التعرف على الجزيئة:هي الكرية المذنبة ATP synthétase.	0.25	**1**
- الطبيعة الكميائية للجزيئة: جزيئة بروتينية.	0.25	
ب- اسم المرحلة: المرحلة الكيموضوئية.	0.25	
- كتابة المعادلة الكميائية للمرحلة الكيموضوئية:		
$12H_2O + 12NADP^+ + 18(ADP + Pi) \xrightarrow[\text{يحضور}]{\text{ضوء}} 12NADPH.H^+ + 18ATP + 6O_2\uparrow$	0.25	
تقبل المعادلة:		
$2H_2O + 2NADP^+ + ADP + Pi \xrightarrow[\text{يحضور}]{\text{ضوء}} 2NADPH.H^+ + ATP + O_2\uparrow$		
2- أ- تعليل سبب إجراء التجربة في الظلام:لمنع أكسدة الماء وانتقال (H^+) التي تتم بوجود الضوء وبالتالي التحكم في الشروط التجريبية الخاصة بدرجة الـ pH.	0.25	**1.25**
ب- المعلومات المستخلصة من النتائج التجريبية:		
•يتطلب تشكيل الـ ATP:- أن يكون pHداخل التيلاكوئيد أصغر منpH الوسط الخارجي (H^+ وجود تدرج في تركيز)	4x0.25	
- وجود وسلامة الكريات المذنبة الأنزيم المُركِب للـATP		
•الكريات المذنبة أنزيمATP synthétase يشتمل على:- الجزء(ع) ممرا لتدفق H^+ نحو الحشوة.		
- الجزء(س) خاص بفسفرة الـ ADP.		
3- أ-التعرف على الأنزيم (E):الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز (RubisCO).		**1.50**
- مادة تفاعله (الركيزة S): الريبولوز ثنائي الفوسفاتRudip.	3x0.25	
- الناتج (P) المتحرر:جزيئتان من حمض الفوسفوغيلسريك APG.		
ب- المرحلة التي يتدخل فيها الأنزيم (E): المرحلة الكيموحيوية.	0.25	
جـ -التبيان: تُنْتِجُ الكرية المذنبة الـATP الضروري لتجديد ركيزة أنزيم RubisCO وهيRudip.	0.25	
- دور أنزيم RubisCO في عملية التركيب الضوئي: يُثبِّتCO₂ في الحشوة فيُدمِج بذلك الكربون المعدني في المادة العضوية الناتجة عن التركيب الضوئي.	0.25	
III-الرسم التخطيطي:	5x0.25	**1.25**

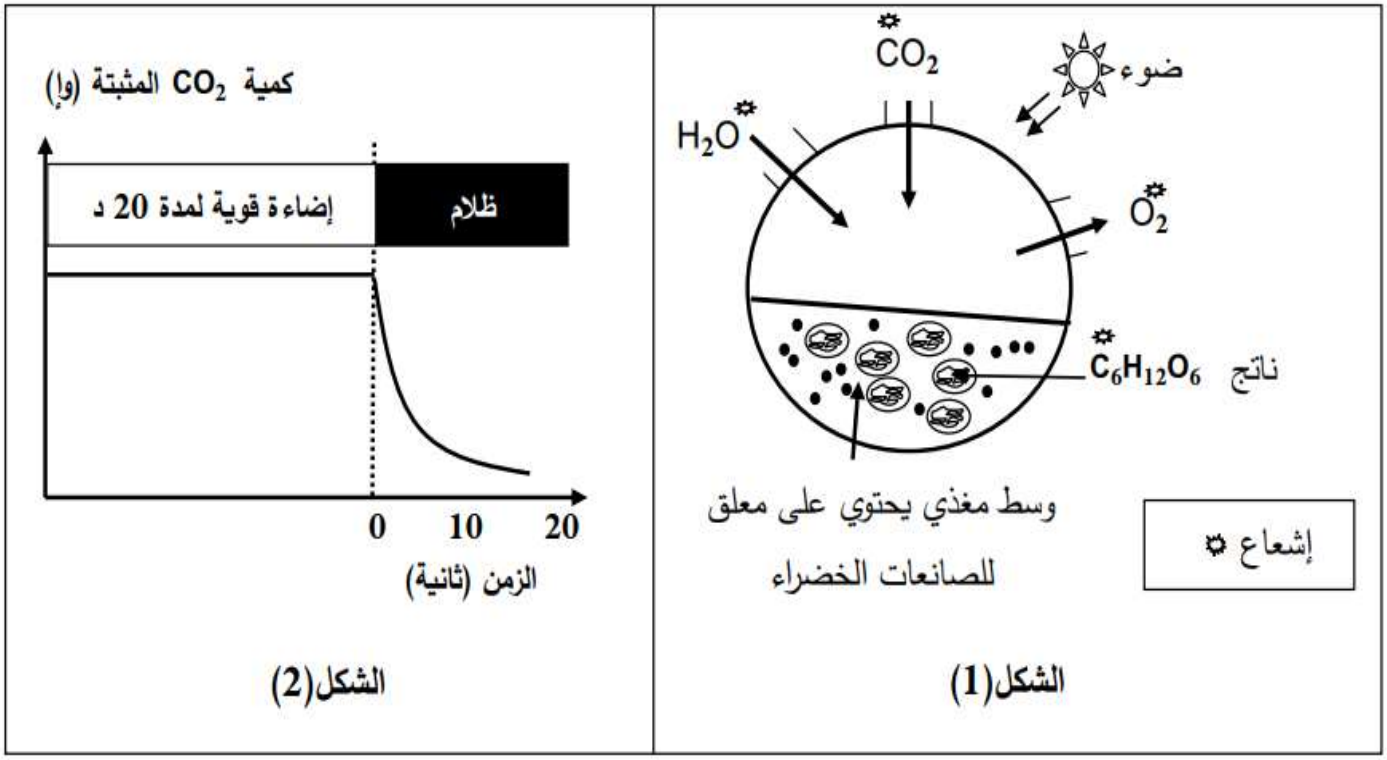
باك دورة 2017

التمرين الثالث: (08 نقاط)

تعتبر النباتات الخضراء مقرا لظاهرة حيوية تسمح بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة في جزيئات المادة العضوية وفق سلسلة من التفاعلات الحيوية الخلوية.

I- بهدف معرفة مراحل هذه الظاهرة وشروطها نجري التجارب التالية:

1) الشكل (1) من الوثيقة 1 يمثّل التركيب التجريبي والنتائج المحصل عليها باستعمال معلق لصانعات خضراء.



الوثيقة 1

أ) استخرج المعلومات التي تقدمها نتائج تجربة الشكل(1) من الوثيقة 1.

ب) سمّ الظاهرة المدروسة في الشكل (1) من الوثيقة 1.

جـ) اكتب المعادلة الإجمالية التي تعبر عن الظاهرة المدروسة.

2) الشكل(2) من الوثيقة 1 يمثل نتائج تجريبية لدراسة على أشنة خضراء (الكلوريلا) في وسط مناسب غني بـ CO_2 وفي درجة حرارة ثابتة مع تعريضه لفترة إضاءة قوية ثم نقله إلى الظلام مع قياس كمية CO_2 المثبتة.

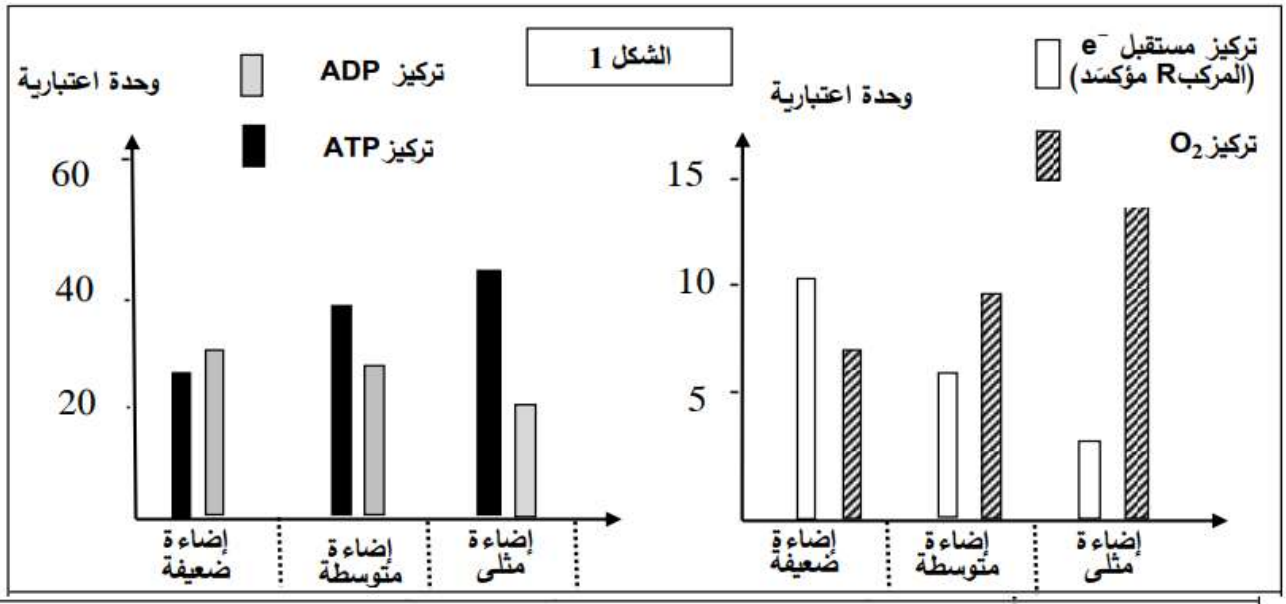
- حلّل المنحنى وماذا تستنتج؟

II- لتحديد بعض تفاعلات ونتائج مراحل الظاهرة السابقة نستعرض التجربتين التاليتين:

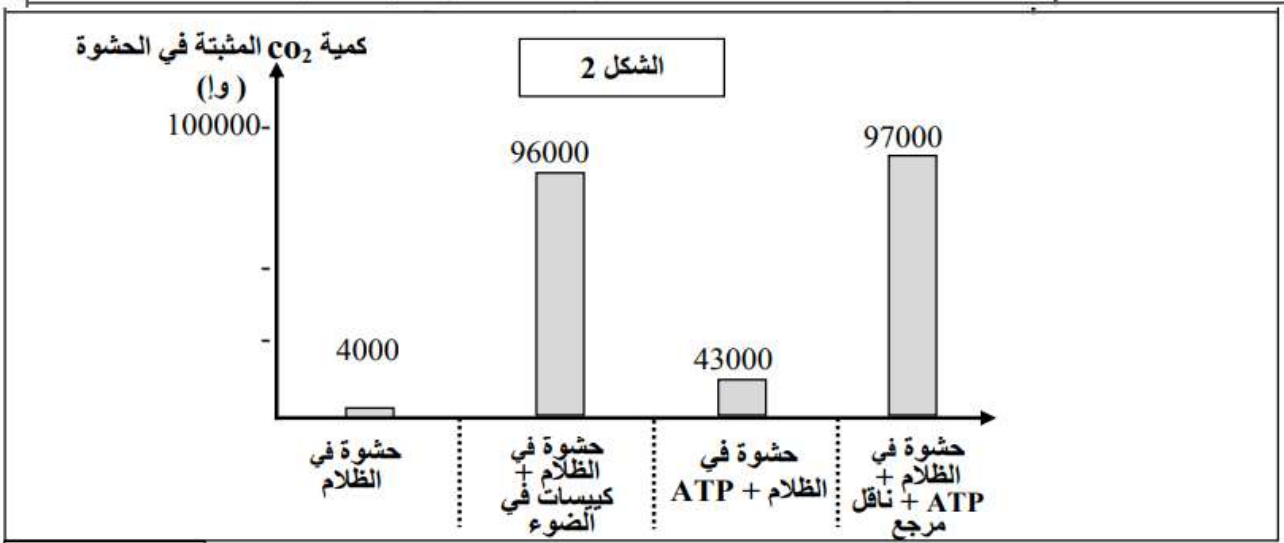
التجربة 1: يُعَرّضُ معلق من الصانعات الخضراء في درجة حرارة 25^{o} لشدّة إضاءة مختلفة، يتم إيقاف التفاعلات الحيوية بعد كل ثلاث دقائق ويقاس تركيز كل من الـATP ، الـADP ، المركب R مؤكسَدا (مستقبل الكترونات) وتركيز غاز الـ O_2. النتائج موضحة في الشكل(1) من الوثيقة 2.

التجربة 2: عُرضت صانعات معزولة لشدة إضاءة مثلى ولمدة كافية في وجود CO_2 ثم تمّت تجزئتها. زُوّدت الحشوة بـ CO_2 ذي الكربون المشع، الشروط التجريبية والنتائج ممثلة بالشكل (2) من الوثيقة 2.

الشكل 1



الشكل 2



الوثيقة 2

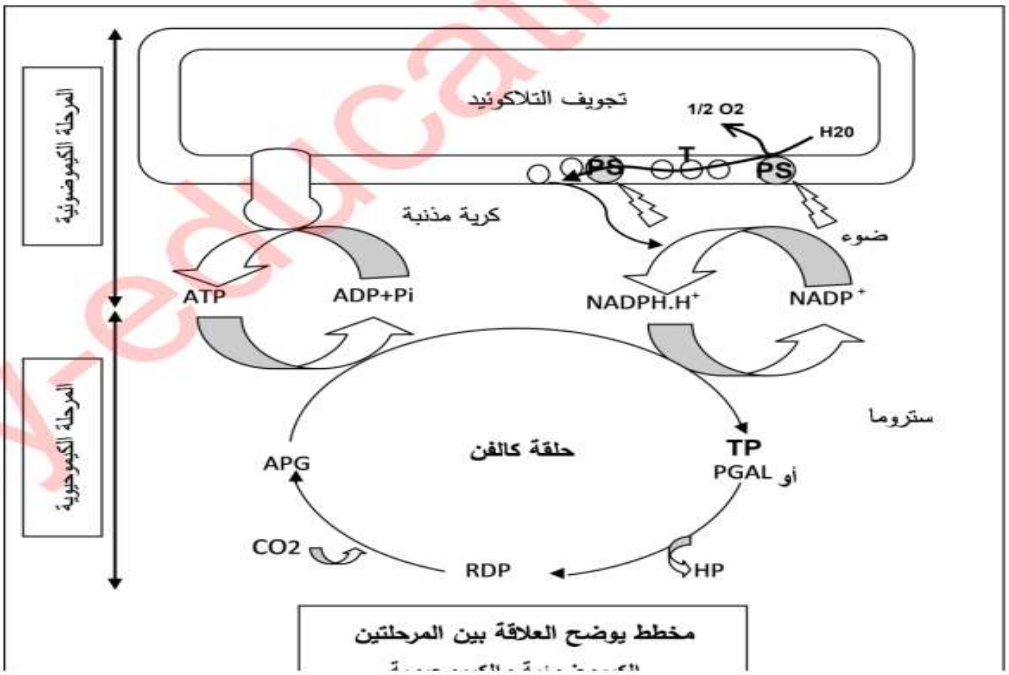
1-أ) فسّر النتائج التجريبية الممثلة بالشكل (1) من الوثيقة 2 مع إبراز نواتج المرحلة المعنية.

ب) لخّص بمعادلات كيميائية مختلف التفاعلات التي تسمح بتشكيل نواتج هذه المرحلة.

2- باستغلال نتائج التجربة 2 استنتج المرحلة المعنية من الظاهرة المدروسة؛ مقرها وشروط حدوثها.

III- من خلال نتائج الدراسة السابقة ومعلوماتك المكتسبة أنجز رسما تخطيطيا وظيفيا تبرز فيه العلاقة بين مراحل الظاهرة المعنية في هذه الدراسة.

انتهى الموضوع الأول

التمرين الثالث: (08 نقاط) I – 1)– أ) المعلومات المستخرجة : – في وجود الـCO_2 والماء تقوم الصانعة الخضراء المعرضة للضوء بتركيب مادة عضوية و تحرير ثنائي الاكسيجين. – مصدر ثنائي الأوكسجين المنطلق هو الماء – مصدر كربون المادة العضوية هو غاز الفحم الممتص	**3×0.25**	**0.75**
ب) الظاهرة المدروسة : التركيب الضوئي أو تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة	**0.5**	**0.5**
جـ) المعادلة الإجمالية للتركيب الضوئي : $6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$	**0.5**	**0.5**
2) تحليل المنحنى: (مؤشرات الإجابة: الشروط، النتائج، العلاقات) – في وسط غني بغاز الفحم و إضاءة قوية يثبت غاز الفحم بكمية عالية وتابثة – عند النقل مباشرة إلى وسط مظلم يستمر تثبيت غاز الفحم بكميات متناقصة لمدة 20 ثا ومنه استمرار تثبيت الـ CO2 لا يتطلب ضوء مباشرة وتوقف تثبيته بعد 20 ثا يدل على ضرورة نواتج مرحلة سابقة. الاستنتاج : يتم التركيب الضوئي وفق مرحلتين؛ مرحلة كيموضوئية تحتاج تفاعلاتها للضوء و مرحلة كيموحيوية لا تحتاج تفاعلاتها للضوء .	**2×0.25** **0.5**	**1**
II –1– أ) تفسير النتائج التجريبية للشكل(1) : – يفسر تناقص الـ ADP و تزايد الـ ATP عند زيادة شدة الإضاءة بفسفرة الـ ADP إلى ATP. – يفسر تناقص المؤكسَد R و تزايد كمية O_2 المنطلق عند زيادة شدة الإضاءة بأكسدة الماء و انطلاق O_2 و تحرر إلكترونات ترجع المستقبل (المؤكسد R).	**0.5×3**	**1.5**
ب– المعادلات الكيميائية لمختلف تفاعلات المرحلة الكيموضوئية : 1– التحلل الضوئي للماء: $2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$ 2– ارجاع النواقل : $2NADP^+ + 4\,e^- + 4H^+ \rightarrow 2(NADPH.H^+)$ (يمكن استبدال $NADP^+$ بـ R) أو $2NADP^+ + 4e^- + 2H^+ \longrightarrow 2NADPH$ 3– الفسفرة الضوئية للADP : $ADP + Pi + E \rightarrow ATP + H_2O$ ATP سنتاز	**3×0.25** **تقبل المعادلة بدون H_2O**	**0.75**
2– المرحلة المعنية هي المرحلة الكيموحيوية / مقرها : الحشوة شروطها : CO_2، نواتج المرحة الكيموضوئية (ATP ، نواقل مرجعة)	**0.25 ×2** **0.5**	**1**
III – الرسم التخطيطي الوظيفي  مخطط يوضح العلاقة بين المرحلتين	0.5 تفاعلات المرحلة الكيموضوئية 0.5 تفاعلات المرحلة الكيموحيوية 0.5 للعلاقة 0.5 للشكل	2

التمرين الثاني: (07 نقاط)

تتخصص عضيات خلوية مثل الصانعة الخضراء والميتوكوندري في توفير طاقة قابلة للاستعمال وفق شروط يُطْلَبُ تحديدها من خلال الدراسات التالية:

الجزء 1:

1) عُزِلَتْ صانعات خضراء مفتوحة الغلاف وَوُضِعَتْ في وسط خال من CO_2 و معرضة للضوء يُضَافُ إليه باستمرار $NADP^+$ و ADP و Pi. فلوحظ انطلاق O_2، إلا أنه لم يتم اصطناع الجزيئات العضوية.

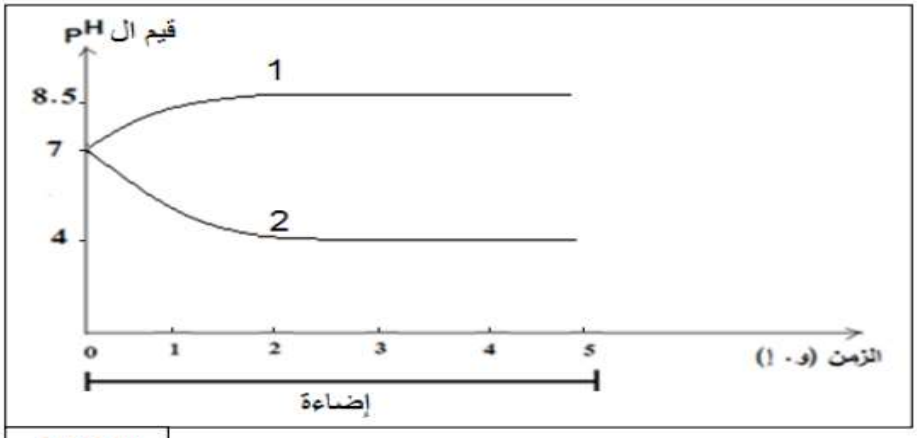
إذا أعيدت التجربة السابقة مع إضافة كمية محدودة من $NADP^+$ و ADP و Pi، فإنه بعد مدة يتوقف انطلاق O_2.

وعند تزويد الوسط بـ CO_2 ينطلق O_2 من جديد ويتم بناء المادة العضوية.

ـ أُنْشِئُ علاقة بين المواد المضافة وانطلاق الـ O_2 وتركيب المادة العضوية.

2) في تجربة أخرى وُضِعَ مُعلقُ تيلاكويدات في أنبوب اختبار يحتوى على وسط حيوي تركيبه مماثل للستروما وعُرِّضَ للضوء ثم قِيسَ تغير قيمة الـ pH في كل من تجويف التيلاكويدات والوسط المحيط بها.

النتائج المتحصل عليها توضحها الوثيقة (1).



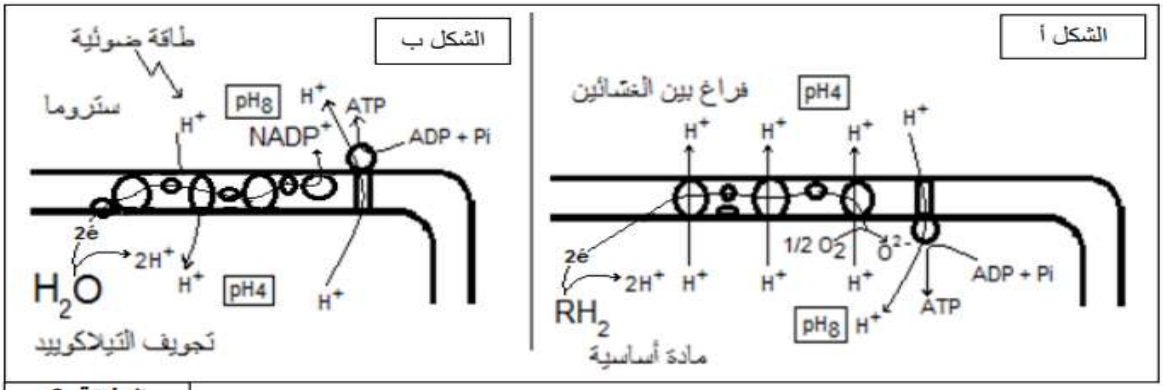
الوثيقة 1

أ) انسب كل منحنى إلى الوسط المناسب له.

ب) فسّر تغير قيم الـ pH.

ج) إذا علمت أن تغير قيم الـpH يرافقه إنتاج الـATP ، اقترح فرضية تفسر بها تشكل ATP.

الجزء 2: تمثل الوثيقة (2) آلية تشكل الطاقة القابلة للاستعمال على مستوى ما فوق بنية الصانعة الخضراء والميتوكوندري.



الوثيقة 2

1) سَمِّ الظاهرة الموافقة لكل شكل من شكلي الوثيقة (2).

2) تَحَقَّقْ من صحة الفرضية المقترحة في الجزء 1.

3) إسْتَدِلْ بمعطيات الوثيقة (2) كي تثبت بأن الظاهرتين الممثلتين بشكلي الوثيقة(2) هما ظاهرتان متشابهتان.

التمرين الثاني: (07 نقاط)

الجزء الأول:

1) علاقة بين المواد المضافة وانطلاق ال O_2 وتركيب المادة العضوية: — 1 — 1

في وجود الضوء و $NADP^+$ و ADP و Pi تتم مرحلة كيموضوئية ينتج عنها انطلاق O_2 وتشكل NADPH و ATP . تشكل المادة العضوية أثناء المرحلة الكيموحيوية يتم بإرجاع CO_2 باستعمال نواتج المرحلة الكيموضوئية.

2) أ ـ المنحنى 1 يوافق الوسط المحيط المماثل للستروما؛ — 0.25X2 — 2

المنحنى 2 يوافق تجويف التيلاكويد

ب ـ إثر تعرض التيلاكويدات للضوء تتحفز الأنظمة الضوئية ويتحلل الماء ضوئيا، تنتقل الإلكترونات عبر السلسلة التركيبية الضوئية إلى أن تصل إلى المستقبل $NADP^+$، تتحرر طاقة تستعمل في ضخ H^+ نحو تجويف التيلاكويدات مما يؤدي إلى تناقص تركيز H^+ في الوسط المحيط المماثل للستروما. يرفق ذلك بتراكم H^+ وزيادة تركيزه في تجويف — 1

ج ـ **اقتراح فرضية تفسيرية:** — 0.5

خروج البروتونات المتراكمة في تجويف التيلاكويدات من التجويف إلى الستروما يؤدي إلى تشكل ال ATP.

تقبل أي فرضية وجيهة.

الجزء الثاني:

1) . تسمية الظاهرة الممثلة في الشكل أ: فسفرة تأكسدية — 0.25X2 — 0.5

ـ تسمية الظاهرة الممثلة في الشكل ب: فسفرة ضوئية

2) **التحقق من صحة الفرضية:** — 1.25 — 1.25

يبين الشكل ب من الوثيقة 2 أن تراكم H^+ وزيادة تركيزه في تجويف التيلاكويد يؤدي إلى ظهور تدرج كهروكيميائي يولد كمون غشائي محرك ينقل البروتونات عبر الكريات المذنبة، مما يؤدي إلى فسفرة ال ADP إلى ATP بتدخل أنزيم ال ATP سانتاز ، وهو ما يؤكد صحة الفرضية.

3) استدلال يثبت تشابه الظاهرتين: — 0.25X7 — 2.25

في كلا الظاهرتين نسجل حدوث ما يلي:

- حدوث أكسدة؛
- انتقال إلكترونات عبر نظام أكسدة وإرجاع لتصل إلى مستقبل نهائي؛
- تحرر طاقة؛
- الطاقة المحررة تستعمل في ضخ H^+ من الوسط الأقل حموضة إلى الوسط الأعلى حموضة من جهة من الغشاء إلى الجهة الأخرى؛
- حدوث تراكم H^+ في الجهة الأخرى؛
- ظهور تدرج كهروكيميائي يولد كمون غشائي محرك ينقل البروتونات عبر الكريات المذنبة؛
- تحدث فسفرة لل ADP وتشكل الATP بتدخل أنزيم ال ATP سانتاز ؛

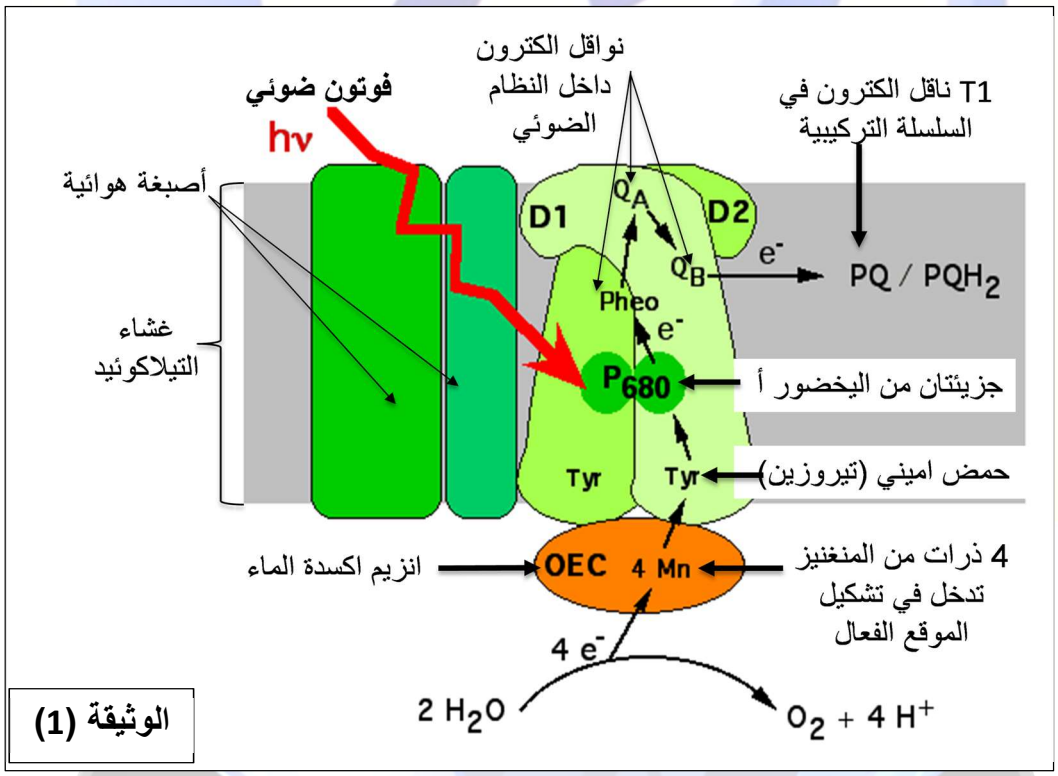
فالظاهرتان المدروستان متشابهتان (فسفرتان تسمحان بتركيب الATP). — 0.5

تمرين مقترح:ممارسة الاستدلال العلمي ضمن مسعى علمي

يرافق حدوث التفاعل الكيموضوئي على مستوى التيلاكوئيد إنطلاق الـO2 بتدخل النظام الضوئي الثانيPSII الذي يتكون من (اصبغة هوائية – مركز تفاعلي (2 جزيئات يخضور ا) – معقد انزيمي لتوليد الأكسجين (OEC "oxygen evolving complexe") . فماهي العلاقة الوظيفية بين عناصر النظام الضوئي الثاني؟

الجزء الأول: ان تحرير **جزيئة واحدة** من الـ O2 يتطلب أكسدة **جزيئتين** من الـ H2O بوجود الضوء كما هو موضح في معادلة تحلل الماء، إلاّ أن جزيئة اليخضور (أ P680) في المركز التفاعلي للنظام الضوئي **لا تحرّر الا الكترونا واحدا فقط** إثر تهيجها بالفوتون الضوئي.

تمثل الوثيقة (1) العلاقة البنيوية بين المركز التفاعلي للنظام الضوئي II ومعقد OEC.



الوثيقة (1)

- باستغلال الوثيقة (1):

1- حدّد مصير الالكترون الذي تفقده صبغة اليخضور أ P680 ومصدر تعويضه.

2-يسمى المعقد OEC الذي يضم 4 ذرات من المنغنيز بالجسم S الذي له القدرة على استقبال 4é في نفس الوقت وفق المعادلة التالية:

$$S^{++++} + 4é \longrightarrow S_0$$

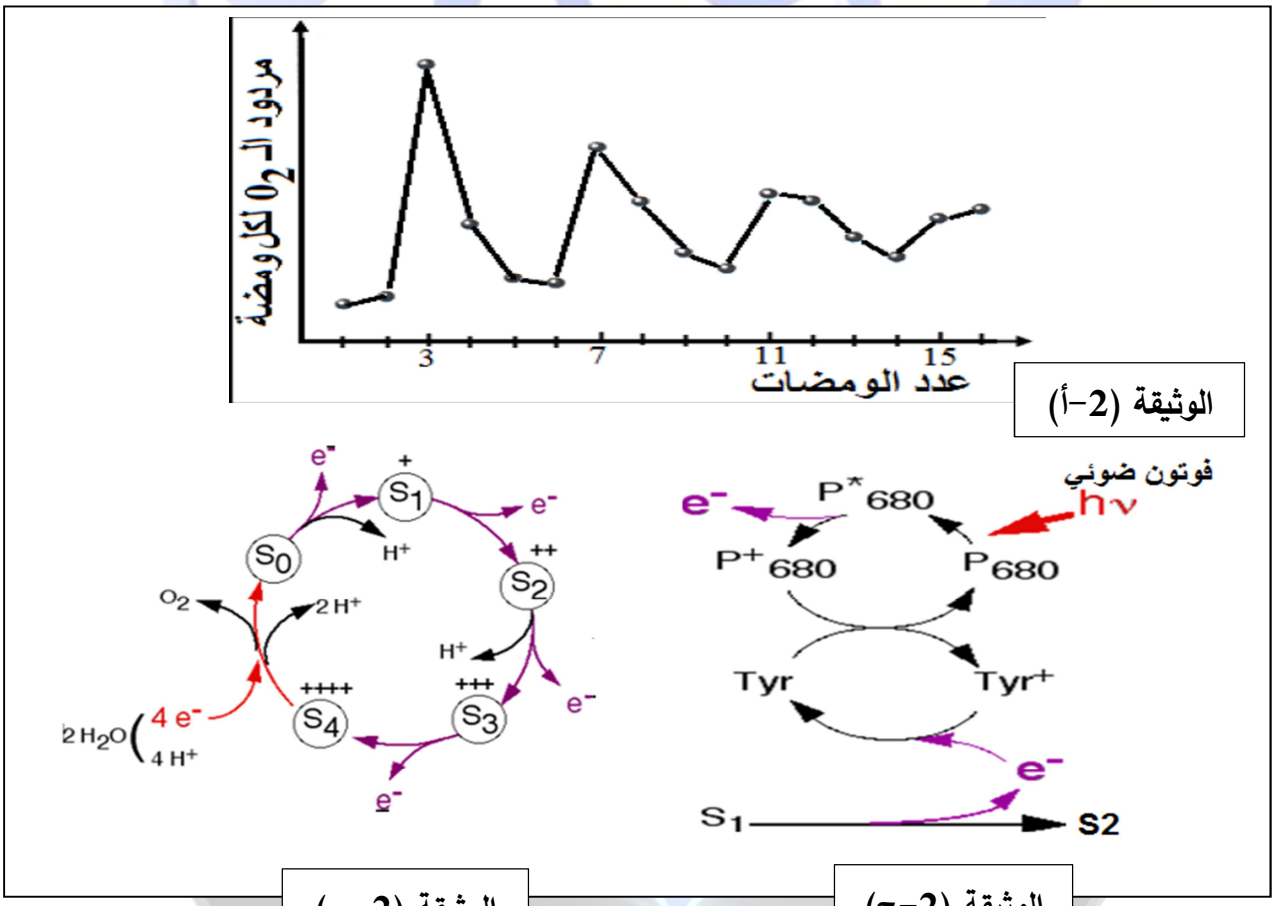
- اقترح فرضية تفسّر بها آلية طرح جزيئة واحدة من الـ O2 (آلية انتاج الـ O2)؟

الجزء الثاني: للتحقق من صحة الفرضية نقدم الدراسة التجريبية التالية:

في عام 1969 تمكن العالم جوليو "Pierre Joliot " ومساعدوه (Barbieri et Chabaud) من انجاز تجربة على معلق من طحلب اخضر و هو كائن وحيد الخلية (Alga Chlorella) حيث :

- تم تعريض المعلق الى **ومضات ضوئية متقطعة** بشدة عالية ولمدة **قصيرة جدا** من فئة ms100 حيث تمكّن الشدة من اضاءة كل الانظمة الضوئية (حالة التشبع). اما المدة فهي قصيرة جدا لذلك فكل نظام ضوئي لا يحفّز الا **مرة واحدة وبفوتون ضوئي واحد**. مكّن قياس كمية الـ O2 (مردود ثنائي الاكسجين) المتحرّرة بعد كل ومضة انطلاقا **من فترة ظلام** بواسطة الكترود سريع الالتقاط. النتائج المحصل عليها ممثلة في الوثيقة (2-أ).
- من جهة أخرى تجربة جوليو "Joliot " ومساعدوه حفّزت Bassel Kok ومساعديه في عام 1970 على البحث من أجل تفسير النّتائج فطوّروا نموذجا يدعى بـ "**نموذج كوك**" أو بعبارة أخرى "حلقة أكسدة الماء " التي يتدخل فيها المعقد المحفّز لإنتاج الـ O2 (OEC) الموجودة على مستوى PSII. الشكل (2-ب) يوضح نموذج كوك.
- اما الشكل (2-ج) فيوضّح ما يحدث بين المركز التفاعلي للـ PSII وإحدى مراحل دورة كوك. علما ان المركب S في الظلام يكون مستقرا عند الحالة S1.

الوثيقة (2-أ)



الوثيقة (2-ج) **الوثيقة (2-ب)**

- باستغلال (الوثيقة 2) بيّن كيف سمحت اعمال كوك من تفسير نتائج تجربة جوليو مدعما اجابتك برسم تفسيري وإثبات صحة الفرضية.

<u>الجزء الثالث:</u> اعتمادا على معلوماتك والمعلومات المستخرجة من الموضوع أنجز رسما تخطيطيا يوضح الية التفاعل الذي يضمن انطلاق الـ O2 مبرزا نتائجه في معادلة كيميائية.

الإجابة:

الجزء الأول:

1- مصير الالكترون الذي تفقده صبغة اليخضور أ P680: ينتقل عبر سلسلة النواقل داخل النظام الضوئي حيث يكون اول مستقبل له Pheo ثم QA ثم QB ثم يلتقطه اول ناقل في سلسلة الالكترونات الغشائية PQ فيرجع ويتحوّل الى PQH2 بعد التقاطه 2é من تهيج الصبغتين ولـ $2H^+$ من الستروما.

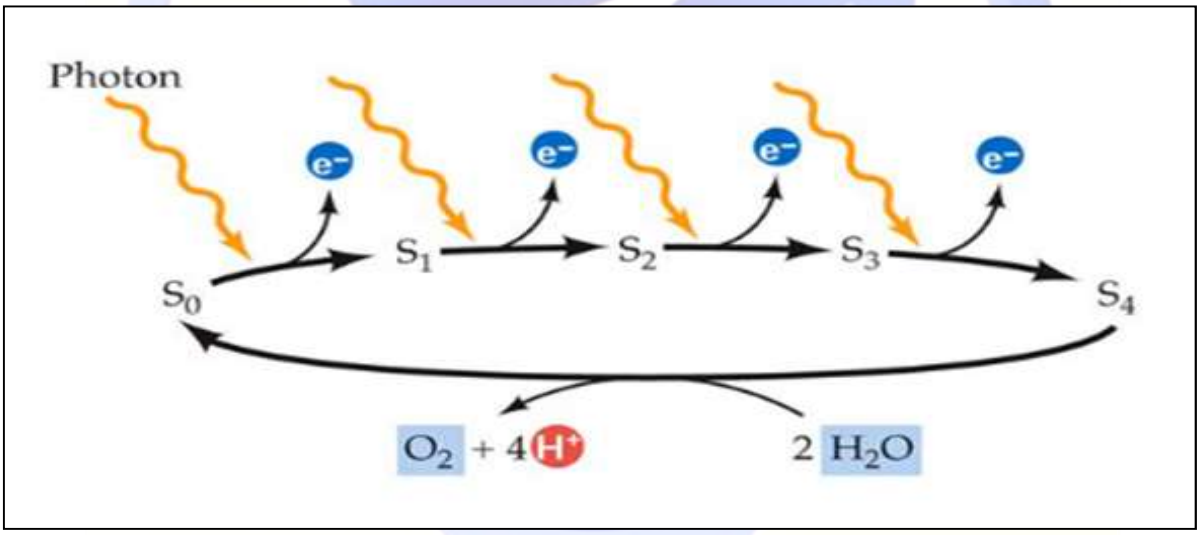
- مصدر تعويض الالكترون هو تحلّل H2O بتدخل معقد انزيمي OEC.

2- **الفرضية التفسيرية:** بما انp680 تفقد الكترون واحدا عندما تتهيج بفوتون ضوئي واحد، وانتاج O2 يتحرر عنه 4 الكترونات لتعوض الكترونات المركز التفاعلي فانه يتطلب امتصاص 4 فوتونات ضوئية لأكسدة النظام الضوئي وفقدان 4 الكترونات من أجل تحفيز الانزيم على اكسدة جزيئتين من الماء وتحرير 4 الكترونات فينتج جزئي من الماء.

الجزء الثاني:

- الشكل (أ) : تحليل النتائج
- في بداية التجربة يبلغ مردود الاكسجين أقصاه عند الومضة الثالثة وبعد ذلك نسجل المردود الاقصى للأكسجين عند كل أربع ومضات (7 ثم 11 ثم 15 .) الى ان يبلغ مردوده كمية متوسطة مع مرور الزمن
- نستنتج ان انتاج الاكسجين لا يتم إلا بعد الومضة الرابعة. (يتطلب انتاج جزيئة من الـ O2 أربع ومضات من الضوء)
- استغلال الشكل (ب): شرح نموذج كوك:
- يمر المعقد OEC الذي يرمز له بـ S بخمس حالات 5 حالات:
- الحالة S4 يكون أكثر اكسدة يحمل 4 شحن موجبة فيكتسب دفعة واحدة 4 الكترونات ناتجة عن اكسدة جزيئتين من الماء. كما يكتسب +H 2 فقط. ليتحول الى الحالة S0. ويرافق ذلك انتاج جزيئة من الـ O2
- يتحول من الحالة S0 الى الحالة S1 بتحرير الكترون واحد وبروتون. ثم يتحول من الحالة S1 الى الحالة S2 بتحرير الكترون واحد فقط،
- يتحول من الحالة S2 الى الحالة S3 بتحرير الكترون واحد وبروتون. ثم يتحول من الحالة S3 الى الحالة S4 بتحرير الكترون واحد فقط، وبذلك يسترجع حالته الأكثر اكسدة ليعيد الكرة من جديد.
- باستغلال الشكل (ج): عند التقاط P680 لطاقة الفوتون الضوئي يتهيج فتأكسد فاقدا الكترونا محمّلا بالطاقة.
- يرجع $P680^+$ باكتسابه الكترون من اكسدة الحمض الاميني Tyr. الذي يُرجَع بالكترون الناتج عن اكسدة S1 الذي ينتقل الى الحالة .S2
- باستغلال المعلومات السابقة يمكن تفسير نتائج تجربة جوليو:
- حسب المعلومات المقدمة: في الظلام يكون هذا المعقد في الحالة الأكثر استقرارا وهي S1 باعتبارها أكثر أكسدة.

- في بداية التجربة بعد الومضة الضوئية الأولى يتأكسد المركز التفاعلي للنظام الضوئي الثاني فيتحول P6 80 إلى P680+ ، وحسب كوك عودة $P680^+$ إلى P680 ينتج عنه انتقال المعقد من S1 إلى S2.
-بعد الومضة الثانية يتأين P680 ما يؤدي إلى انتقال المعقد من S2 إلى S3.-
- بعد الومضة الثالثة يتأين P680 فيتحول المعقد من S3 إلى S4.
- عندما يكون المعقد في الحالة (S4) يكون قد حرر 4 إلكترونات. وباستطاعته تفكيك جزيئات الماء (2 جزيئة) باقتناص 4 é من 2H2O محرّرا جزيئة O2 ويعود إلى حالته S0 غير المستقرة.
- لذلك تتكرر الذروة بعد كل 4 ومضات حيث يتمكن المعقد Sمن استرجاع الحالة الأكثر اكسدة.



- وعليه فان تحرير جزيئة واحدة من الـ O2 يتطلب سقوط 4 فوتونات ضوئية على النظام الضوئي مما يحفّز انزيم اكسدة الماء على تحليل الماء واستقبال 4 الكترونات لتمريرها الى المركز التفاعلي لتعويض الالكترون المفقود إثر الاكسدة بالفتون الضوئي.وهذا ما يثبت صحة الفرضية.

<u>الجزء الثالث:</u> انجاز رسم تخطيطي لالية حدوث التفاعل الكيموضوئي