آليات تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة
Laphotosynthèse

① تذكير بالمكتسبات

② مقر محلية التركيب الضوئي
- بنية الصانعة الخضراء بالمجهر الالكتروني
- التركيب الكيموحيوي للصانعة
  - في الحشوة
  - في اغشية التيلاكويد
- بنية غشاء التيلاكويد
- مراحل محلية التركيب الضوئي
  - الكيموضوئية
  - الكيموحيوية
- اظهار مصدر O_2 المنطلق (وتحديد التفاعلات ك)

③ تفاعلات المرحلة الكيموضوئية
- اشره محل التيلاكويد
- تاثير الضوء على البيخضور وآلية انتقال e⁻
- خصائص النظام الضوئي وآلية عمله.
- آلية انتقال e⁻ في السلسلة التركيبية الضوئية.
- آلية عمل ATP.
- ملخص آلية التفاعل الكيموضوئي (نص علمي/ رسم تخطيطي)

④ تفاعلات المرحلة الكيموحيوية
- آلية دمج CO_2 (ارجاع CO_2 وتركيب الجزيئات العضوية)
- حلقة كالفن وبنسون
- ملخص آلية التفاعل الكيموحيوي (نص علمي)

⑤ العلاقة بين المرحلة الكيموضوئية والكيموحيوية "ازدواجية التفاعل" ← نص علمي شامل

الطاقة: القدرة على القيام بالوظائف (الشغل).

أشكال الطاقة: ميكانيكية، ضوئية، حركية (الرياح)
مغناطيسية (مغناطيس)
كهربائية (استخدام الكهرباء لتشغيل الأجهزة)
الضوئية (الإشعاعية)
الكيميائية (تتواجد في "الـ" مثلاً)

التحولات الطاقوية

- التخليل الشمسية: طاقة شمسية ← طاقة كهربائية
- حركة المياه في السدود: طاقة حركية ← طاقة كهربائية
- اشعال الحطب: طاقة كيميائية ← طاقة حرارية
- التركيب الضوئي: طاقة ضوئية ← طاقة كيميائية كامنة في الجزيئات العضوية
- التنفس/التخمر: طاقة كيميائية كامنة ← طاقة قابلة للاستعمال ATP.

ـ عملية بناء المادة العضوية

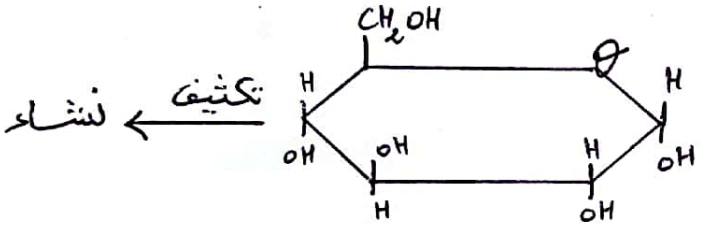
طاقة ضوئية

 # تركيب ضوئي

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

عناصر معدنية + تحتوي طاقة 0KJ

المادة العضوية "غلوكوز" بها طاقة



تكثيف ← نشاء

طاقة كيميائية كامنة في الروابط

$E = 2880\ kJ$

ـ عملية هدم كلي للمادة العضوية

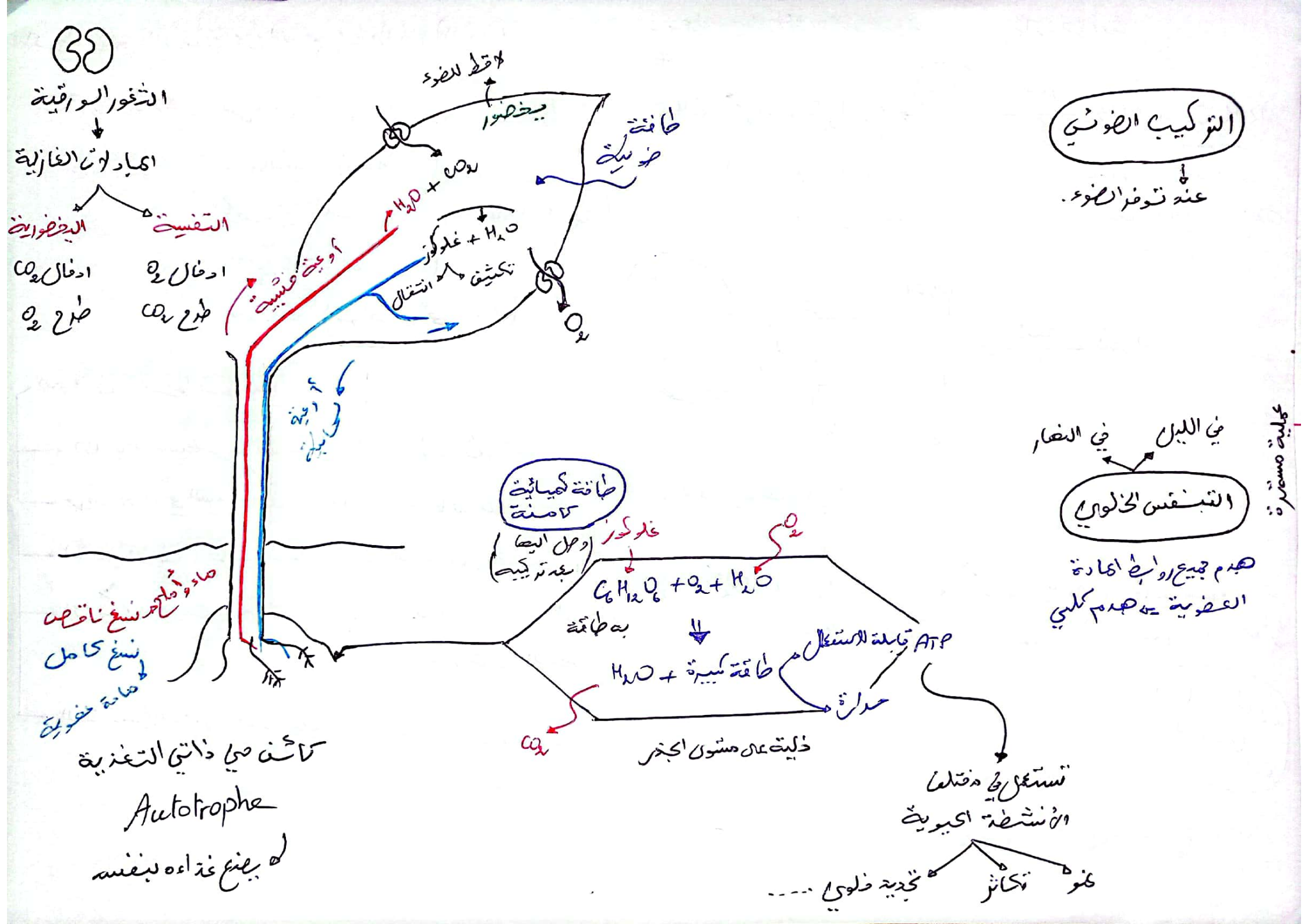
 # التنفس الخلوي

$$C_6H_{12}O_2 + 6O_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{هدم كلي}]{\text{تنفس خلوي}} 12H_2O + 6CO_2 + \text{طاقة كبيرة}$$

$2880\ kJ$ — $0\ kJ$

بشكل ATP + حرارة

طاقة قابلة للاستعمال


الثغور الورقية
اخلايا الغازية
التنفس
البناء الضوئي
ادخال O_2
طرح CO_2
ادخال CO_2
طرح O_2
يحتاج الضوء
يحتاج
طاقة ضوئية
$H_2O + CO_2$
غلوكوز + H_2O
تكثيف
انتقال
O_2
أوعية خشبية
أوعية لبيبرية
طاقة كيميائية كامنة
أدخل أيضا بعد تركيبه
غلوكوز
O_2
$C_6H_{12}O_6 + O_2 + H_2O$
به طاقة
H_2O + طاقة كبيرة
حرارة
ATP قابلة الاستعمال
CO_2
ذليت على مستوى الجذر
صاحبه نسغ ناقص
نسغ كامل
طاقة ضوئية
كائن حي ذاتي التغذية
Autotrophe
يصنع غذاءه بنفسه
تستعمل في مختلف الأنشطة الحيوية
نمو
تكاثر
تجديد خلوي ....
التركيب الضوئي
عند توفر الضوء.
التنفس الخلوي
في الليل
في النهار
هدم جميع روابط المادة العضوية ← هدم كلي
عملية مستمرة

شروط التركيب الضوئي

H_2O

ضوء — بخضور — CO_2

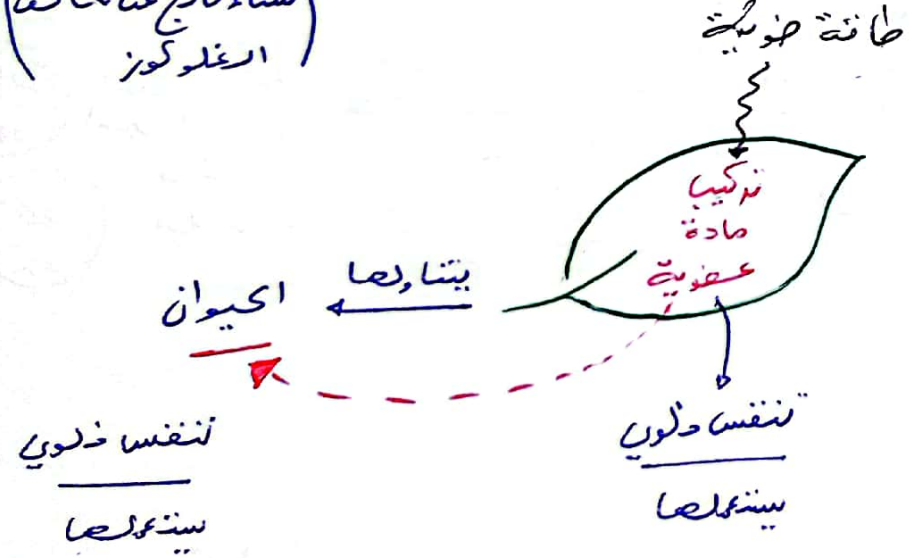
مظاهر عملية التركيب الضوئي

- زيادة امتصاص CO_2 (انخفاض التركيز)
- زيادة انتاج O_2
- زيادة تركيب المادة العضوية

نواتج عملية التركيب الضوئي

H_2O

- المادة العضوية (نشاء ناتج عن تكاثف الغلوكوز)
- غاز O_2



دخول الطاقة الضوئية للسلسلة الغذائية

مواد معدنية 0kj

$CO_2 + H_2O$ —(ضوء + بخضور / تركيب ضوئي)→ $C_6H_{12}O_6 + O_2 + H_2O$

مادة عضوية بها طاقة 2860 kj

$C_6H_{12}O_6 + O_2 + H_2O$ —(انزيمات تنفسية / تنفس)→ $CO_2 + H_2O$ + طاقة كبيرة

- حرارة 60%
- ATP 40%

طاقة ضوئية —(تحول: طاقوي أول)→ طاقة كيميائية كامنة —(تحول: طاقوي ثاني للاستعمال)→ طاقة قابلة

الكائنات الحية

الكائن الحي

نبات أخضر + (بعض أنواع البكتيريا)

↓

تقوم بالتحول 1 و 2

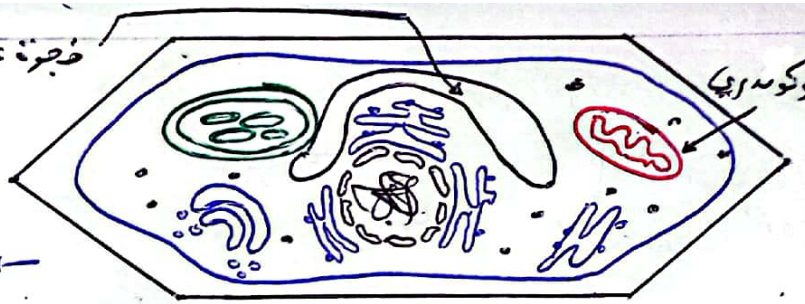
حيوان - انسان ...

↓

تقوم بالتحول الطاقوي 2 فقط

اذن التركيب الضوئي يمد

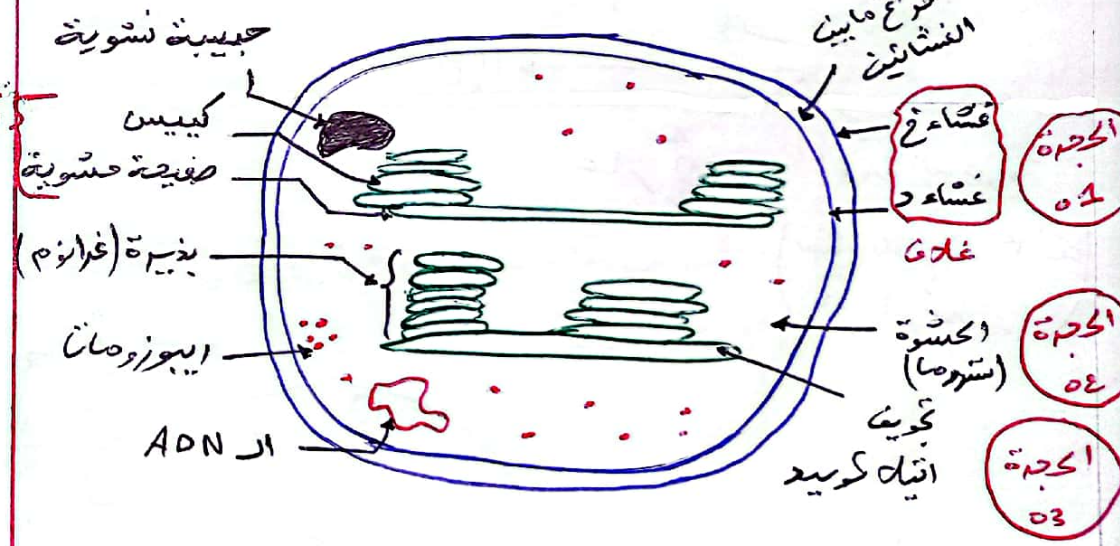
النبات الأخضر ← المنتج في السلسلة الغذائية



يحل عدد الصانعات الخضراء في النباتات الراقية الى الثرمنات كما صانعة في الخلية

← لها أشكال متعددة (مرصية أو عدسية) شريطية كما في طحلب سبيروجيرا أو كاسية كما في طحلب كلاميدوموناس

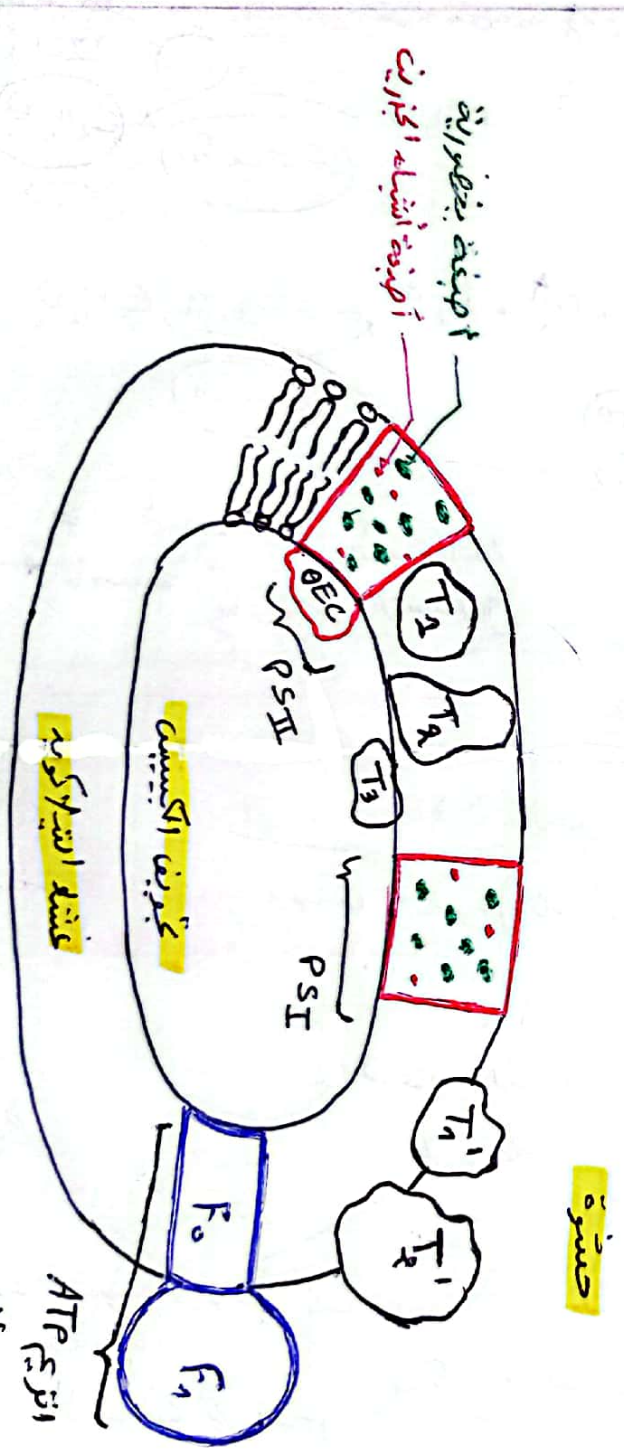
هيولى



البلاستيدة الخضراء

اسم تخليفي تقسيري لكامنوف بنية الصانعة الخضراء.

T: نواقل الالكترونات



T_1 بيتوسيانين
T_2 ضوئي
T_3 سطحي داخلي
T_4 سيطوبلازمي

PSII: يتوضع جهة كوبية
البلاكويد وعقد انزيم OEC الذي يؤكسد الماء في وجود الضوء (ينتج O2)

وصف بنية الصانعة الخضراء

- هي عضية ذات بنية حجيرية، تحاط بغلاف يتكون من غشائين (داخلي وخارجي) بينهما فراغ (الحجرة 01)
- يحيط الغشاء الداخلي بتجويف تملؤه الحشوة (السترومـا) (الحجرة 02) ADN، ايبوزومات كما تسبح فيه تراكيب غشائية تدعى التيلاكويدات منها الصفائح الحشوية التي تحيط عليها الكيسيات المسطحة مشكلة السدية.
- تتكون التيلاكويدات من غشاء التيلاكويد الذي يحيط بالتجويف الداخلي (الحجرة 03).

ملحوظة!!
مكونات الحشوة تختلف عن مكونات غشاء التيلاكويد لذلك فهما يختلفان في الدور وكل منهما يقوم بوظيفة معينة لضمان سيرورة عملية التركيب الضوئي.

وصف ما فوق بنية التيلاكويد

- يحتوي غشاء التيلاكويد على:

نوعين من الأنظمة الضوئية (PS_{II} و PS_I): حيث يعتبر النظام الضوئي معقدا ظهما يكون ضمني في الغشاء وتتكون منه بروتينات كبيرة وعدد كبير من الأصبغة (يخضورية، أشباه الجزرين).

نواقل الالكترونات: معظمها بروتينات حيث تتباين توزعها في الغشاء حيث يوجد 3 نواقل تابعة لـ PS_{II} و ناقلين (T'_2 ، T'_1) تابعين لـ PS_I

انزيم ATP سنتاز: هو معقد بروتيني كبير يقوم بتركيب ATP (فسفرة حزيئات ADP).

PS_{II} T_1 T_2 T_3 PS_I T'_1 T'_2

السلسلة التركيبية الضوئية

معلومات اضافية!

T_1 : البلاستوكينون

T_2 : سيتوكروم B6F

T_3 : البلاستوسيانين

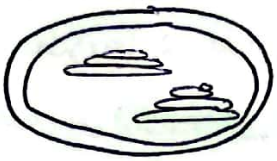
T'_1 : فيريدوكسين

T'_2 : فيريدوكسين NADP+ ريدكتاز

مراحل عملية التركيب الضوئي:

التعليمة: حسب نتائج الوثيقة 3 ص 179 ثم استنتج مراحل عملية التركيب الضوئي.

← توضيح لتسهيل الفهم

الشروط	- وجود الضوء - غياب CO_2 .	- الظلام - وجود CO_2	- وجود الضوء - وجود CO_2
			
النتائج	- انطلاق O_2 / لفترة قصيرة ثم يتوقف ↓ لماذا انطلق؟ ↓ لماذا توقف؟ لوجود الضوء فقط لا يتطلب CO_2 ↓ لغياب CO_2 فهو ضروري لاستمرار انطلاق O_2	- تثبيت CO_2 / لفترة قصيرة ثم تركيب السكر ↓ لوجود CO_2 الذي تم تثبيته ↓ لغياب الضوء الذي يعتبر عنصرا مهما لاستمرار تثبيت CO_2	- انطلاق O_2 ، تثبيت CO_2 باستمرار ↓ لتوفر الشرطين، استمرت التفاعلات الكيموحيوية
سبب / راجع الى			

① CO_2 ليس ضروري لانطلاق O_2 ، انما ضروري لاستمرار انطلاقه ← طاقة كالضوء

← الضوء يسمح بانطلاق O_2 . ← يجدد $NADP^+$ و $ADP+Pi$

② الضوء ليس ضروري لتثبيت CO_2 (تركيب السكر) ، انما ضروري لاستمرار تركيبه .

← CO_2 ضروري لتركيب المادة العضوية . ← مرحلة كيموحيوية ← تحتاج لنواتجها $NADPH,H^+$ و ATP

تكامل

① . تفاعل يتطلب الضوء ↓ يحدث على مستوى الثيلاكويد ↓ يتم فيه انطلاق O_2 . # كيموضوئي

② . تفاعل لا يتطلب الضوء ↓ يحدث على مستوى الستروما ↓ يتم فيه تثبيت CO_2 وتركيب المادة العضوية # كيموحيوي

الإجابة :

← تفسير نتائج الوثيقة 3 ص 199 :

- الشكل (1) : عند تعريض معلق الصانعة الخضراء للضوء وفي غياب CO_2 نلاحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف ، هذا يدل على أن انطلاق O_2 ناتج عن تفاعل كيموحيوي يحدث في وجود الضوء ، ولا يتطلب CO_2 ، لكن توقف انطلاق O_2 بعد مدة يعود لغياب CO_2 الذي يضمن استمرار انطلاقه .

نذكر العلاقة السببية

← الضوء ضروري لانطلاق O_2

- الشكل (2) : عند وضع المعلق السابق في الظلام ، إمداده بـ CO_2 نلاحظ تثبيت CO_2 و تركيب السكر لفترة قصيرة ، هذا يفسر بأن السكر يتم تركيبه بتفاعل كيموحيوي نتيجة تثبيت CO_2 ولا يتطلب ذلك وجود الضوء ، لكنه لم يستمر تركيبه لغياب الضوء الذي يضمن استمرار تركيبه. ← الضوء ليس شرط لتثبيت CO_2 لكنه ضروري لاستمرار تركيب السكر.

- الشكل (3) : عند وضع المعلق في الضوء و CO_2 نلاحظ انطلاق O_2 ، تثبيت CO_2 بصورة مستمرة نتيجة استمرار حدوث التفاعلات الكيموحيوية داخل الصانعة الخضراء لتوفر الشرطين.

← وجود الضوء و CO_2 معا يسمح باستمرار المرحلتين.

← تقديم الاستنتاج :

تحدث عملية التركيب الضوئي على مستوى الصانعة الخضراء وفق مرحلتين متتاليتين فكاملتين

- تفاعل كيموضوئي : يتطلب الضوء وينتج خلاله انطلاق O_2.
- تفاعل كيموحيوي : لا يتطلب الضوء وينتج خلاله تثبيت CO_2 ، تركيب السكر.

O_2 ← المرحلة ① ← يتطلب CO_2 للاستمرار ← تتطلب الضوء

CO_2 ← المرحلة ② ← يتطلب الضوء للاستمرار ← تركيب السكر ← لا تتطلب الضوء

شروط عمل التنفس الخلوي

مهمة مركبة

- استخرج شروط عمل التنفس الخلوي. إستغلال الوثيقة 1 ص 180 و 3 ص 181

الحل:

- استغلال الوثيقة 1: تمثل منحنى تغيرات تركيز O_2 بدلالة الزمن في الوعاء الحاوي على: قطعة كاشف فيروسيانور البوتاسيوم وبتراكيز مختلفة حيث $[O_2]$ ثابت وضعيف في الوعاء، وجود الضوء.

1- قبل اضافة مستقبل e⁻ او الخضاب:

- بعد اضافة 0,1ml من المستقبل في حالة مؤكسدة، في وجود الضوء يتزايد تركيز O_2 كل 1,5 min ثم يثبت، يرافق ذلك تغير لون الكاشف من بني محمر الى الاخضر (عدم ارجاع المستقبل).

- بعد اضافة 0,3ml من المستقبل وفي وجود الضوء يتزايد تركيز O_2 (360 µmol/l)، ولكنه في الظلام يثبت هذا التركيز رغم بقاء كمية كافية من المستقبل.

- فكلما تواجد الضوء ومستقبل e⁻ معا تزايد تركيز O_2.

الاستنتاج: انطلاق O_2 من التنفس الخلوي يتطلب ضوء، ومستقبل e⁻ (في حالة مؤكسدة).

- استغلال الوثيقة 3: تمثل نتائج قياس تركيز O_2، ATP في الضوء، والظلام قبل وبعد اضافة ADP+Pi.

- قبل اضافة ADP+Pi: في الظلام ثبات تركيز O_2، ATP في قيم ضعيفة، ولكن في وجود الضوء نسجل تزايد طفيف في تركيزهما.

- بعد اضافة ADP+Pi: في وجود الضوء تزايد سريع في تركيز كل من O_2 (٪10)، ATP (1,9 µmol/l)، ولكنه في الظلام يثبت تركيز كل منهما.

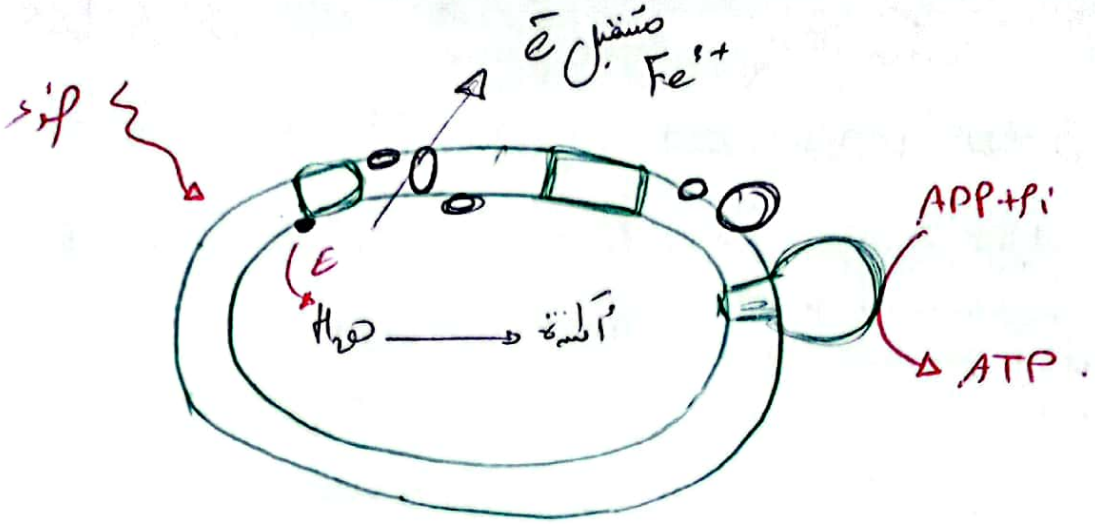
فالمنحنيان متطابقان فكلما تواجد الضوء، ADP+Pi تزايد تركيز O_2، ATP معا.

الاستنتاج: انطلاق O_2 من التنفس الخلوي يرافقه تركيب ATP، يتطلب ضوء، ADP+Pi.

O_2 منطلق حالي في غياب O_2 لكن تستهلك الطاقة المتوفرة في ADP+Pi

- المعلومات المستخرجة:

شروط عمل التنفس الخلوي هي: الضوء، ADP+Pi، مستقبل e⁻، الماء.



$$2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

$$4Fe^{3+} + 4e^- = 4Fe^{2+}$$

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

أكسدة — إرجاع

مستقبل ē صناعي

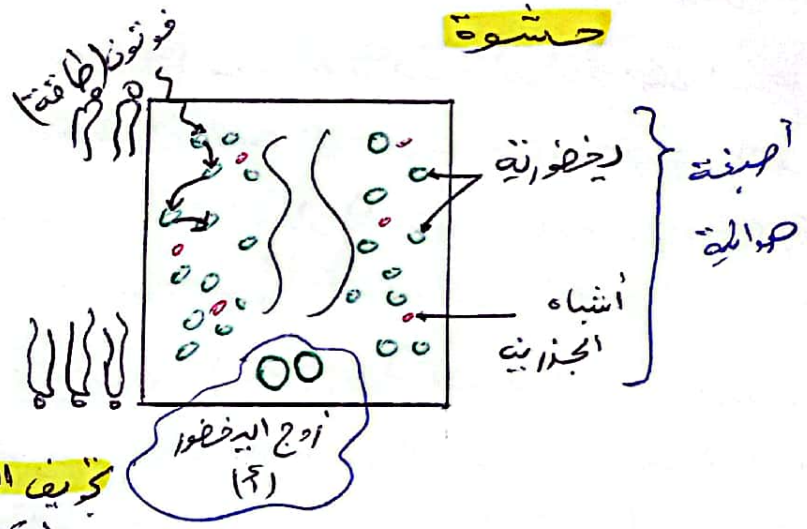
- فيروسيانور البوتاسيوم
  - لونه: بني محمر
  - عند الإرجاع (اكتساب ē) يصبح لونه: أفضر
  - $Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$
- DCPIP
  - لونه: أزرق
  - عند الإرجاع (اكتساب ē) يصبح لونه: شفاف
  - $DCPIP + e^- = \square$

$$2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

- تفاعل أكسدة - إرجاع ⇐ أكسدة الماء + ē الذي يفقده H_2O يتم إرجاعه

آلية عمل الأنظمة الضوئية

حشوة



كريف التيلاكويد (الكيسيس)

النظام الضوئي = معقد بروتيني

النظام الضوئي يتكون من مجموعة أصبغة.

تصنيف الأصبغة حسب النوع

- أشباه الجزارين
- يخضورية
  - أ
  - ب

تصنيف الأصبغة حسب الدور

- هوائية
  - تتواجد على الجوانب
  - يخضورية أ و ب + أشباه الجزارين ← أصبغة مساعدة
- مركز التفاعل
  - م من اليخضور أ
    - PSII ← P680 ← طول الموجة
    - PSI ← P700

- تحليل الوثيقة 6 والجدول 7:

تمثل رسما تخطيطيا لبنية النظام الضوئي ومعطيات حول الأصبغة حيث نلاحظ:

- يتواجد النظام الضوئي في غشاء التيلاكويد، وهو عبارة عن معقد بروتيني.
- يوجد نوعان من الأنظمة الضوئية هما:

النظام الضوئي الأول PSI، والنظام الضوئي الثاني PSII.

- يتكون النظام الضوئي من مجموعة أصبغة تصنف من حيث الدور:

• أصبغة هوائية (هوائيات أو واقطة الفوتونات): تمثل العدد الأكبر من الأصبغة (أكثر من 99٪) تقوم بدور استقبال الفوتونات الضوئية وينتقي إليها اليخضور (أ) و(ب) وجزء صغير من أشباه الجزارين.

- أصبغة مركز التفاعل: هو زوج خاص من أصبغة يخضور (أ) دورها تلقي الطاقة من الهوائيات وتحريرها على شكل طاقة (تفاعل أكسدة): يرمز لكل جزيئة منها بالرمز P_{700} في PSI و P_{680} في PSII.

الاستنتاج:

يتكون النظام الضوئي من معقد بروتيني به نوعين من الأصبغة: أصبغة هوائية، أصبغة مركز التفاعل.

تحليل الوثيقة 7 ص 185 و الوثيقة 8 ص 186 :

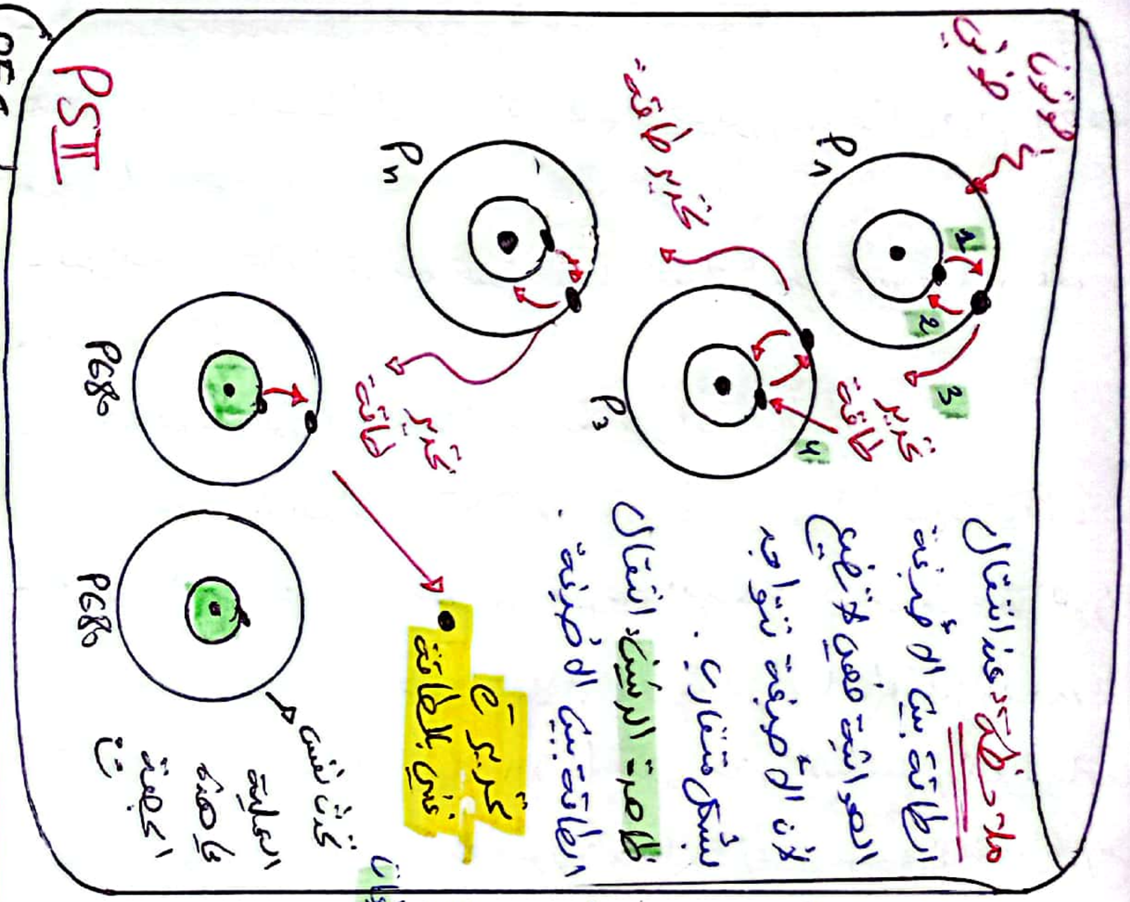
تمثل الوثيقة انتقال الطاقة بين أصبغة انتظام الضوئي حيث نلاحظ

- في الأصبغة الهوائية : بعد تهيج صبغة هوائية ضمن انتظام الضوئي تنتقل الطاقة المكتسبة الى صبغة أخرى مجاورة بظاهرة الرنين ويعود ē الى مداره الأصلي (انتقال الطاقة دون انتقال ē) وتتكرر هذه العملية بين عدد من الأصبغة الهوائية .

- في اصبغة المركز التفاعلي (P680 ; P700) : عند تهيج أصبغة مركز التفاعل نتيجة وصول الطاقة اليها من الأصبغة الهوائية اساسا يتم فقد ē ذو طاقة عالية من جزيئة الصبغة (أكسدة) وتصبح الصبغة في صورة مؤكسدة ($P700^+$; $P680^+$) ، ينخفض كمون الاكسدة الارجاعية لذرة اليخضور المهيجة في المركز التفاعلي باكتسابها الطاقة باكتسابها الطاقة من الصبغات الهوائية .

- عند سقوط فوتون ضوئي (كمية من الطاقة) على انتظام الضوئي تلتقطه احدى الصبغات الهوائية (يخضور أ ، يخضور ب ، أشباه الجزرين) فتتهيج ثم تفقد الطاقة دون فقدان ē ، تنتقل الطاقة من صبغة هوائية الى أخرى بظاهرة الرنين (نتيجة تقارب الصبغات من بعضها) وعند وصول الطاقة الى جزيئة اليخضور في المركز التفاعلي تتهيج وتتأكسد فتفقد ē محمل بالطاقة.

الاستنتاج : تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل متخلية عن ē . تحت تأثير الفوتونات



1. حالة تهيج ← الصعود لمستوى طاقة أعلى = حالة عدم استقرار
2. سرعان ما يعود ē الى مداره الأصلي
3. تحرير الطاقة المكتسبة
4. تنتقلها (تستقبلها) الصبغة الهوائية المجاورة

- تتكرر العملية مع باقي الصبغات

{ انتقال الطاقة دون انتقال ē }

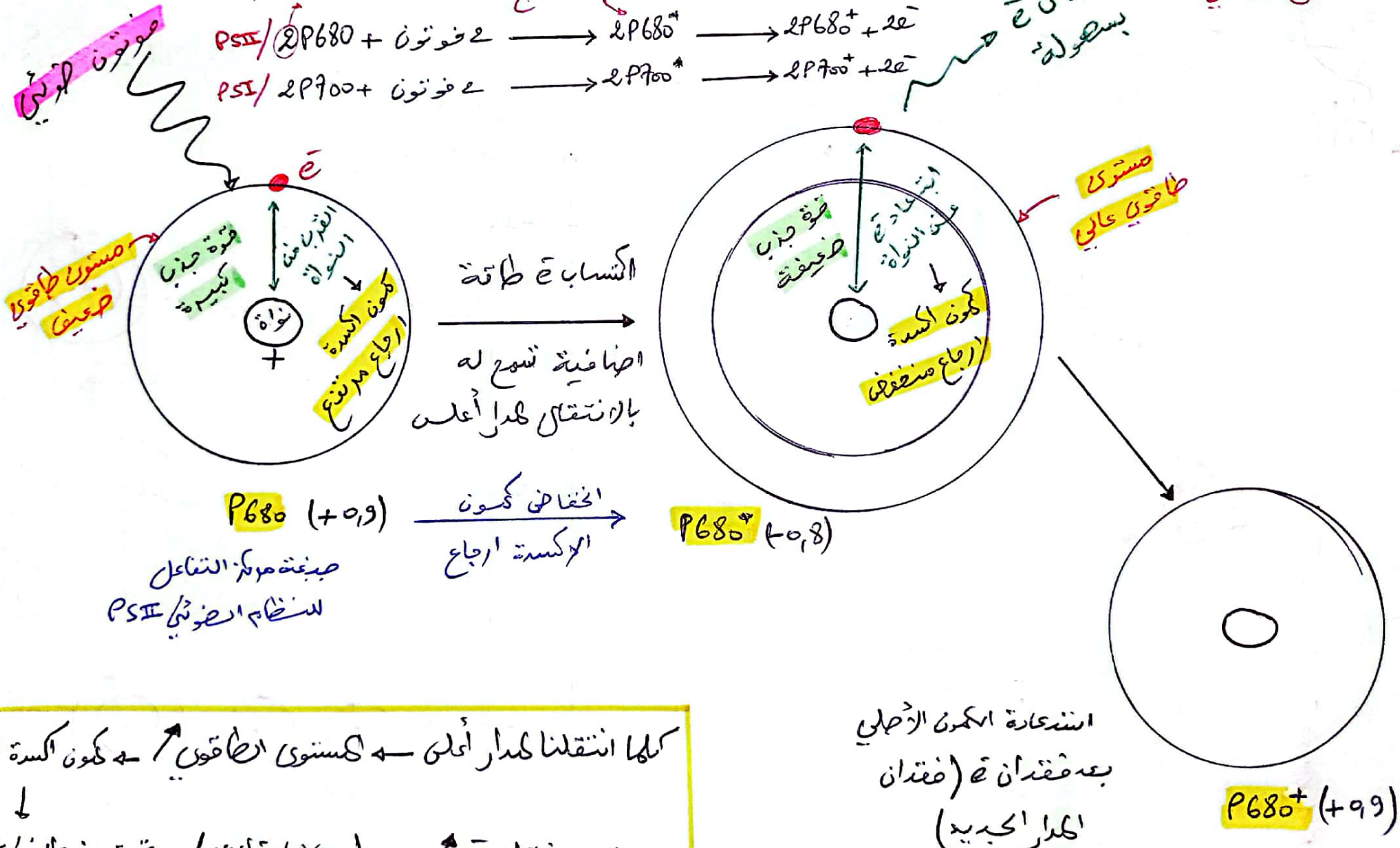
{ تحرير ē غني بالطاقة }

مكون الأكسدة إرجاع: قدرة المركبات أو الذرات على تحرير أو اكتساب e^- ، يقاس بـ (V).

- **التهييج**: صعود e^- الى مدار أعلى (الى مستوى طاقوي أعلى نتيجة اكتساب طاقة اضافية).

- تنتقل e^- من مركب ذو مكون اكسدة ارجاع منخفض الى مركب ذو مكون مرتفع.

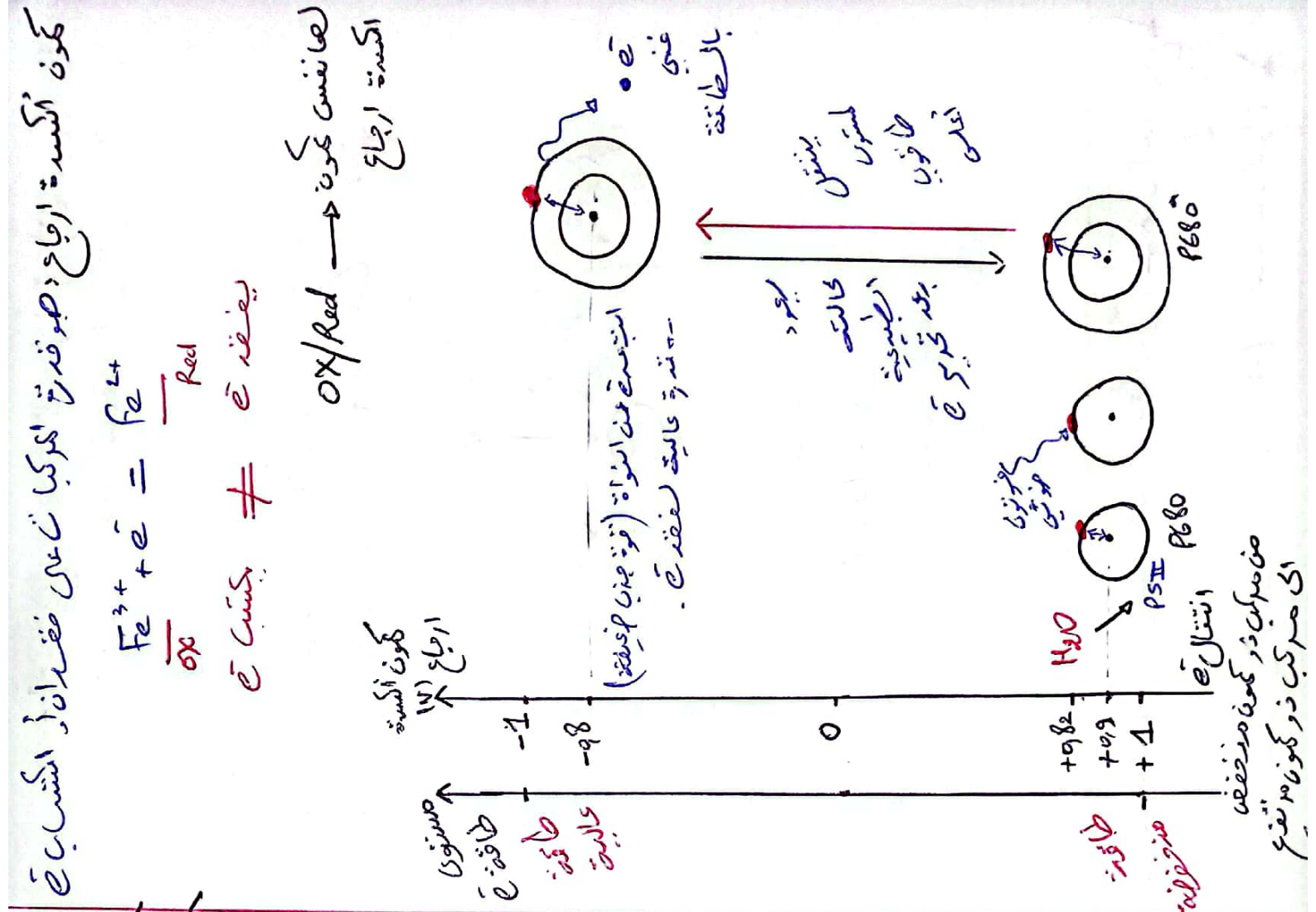
لا انتقال تلقائي.

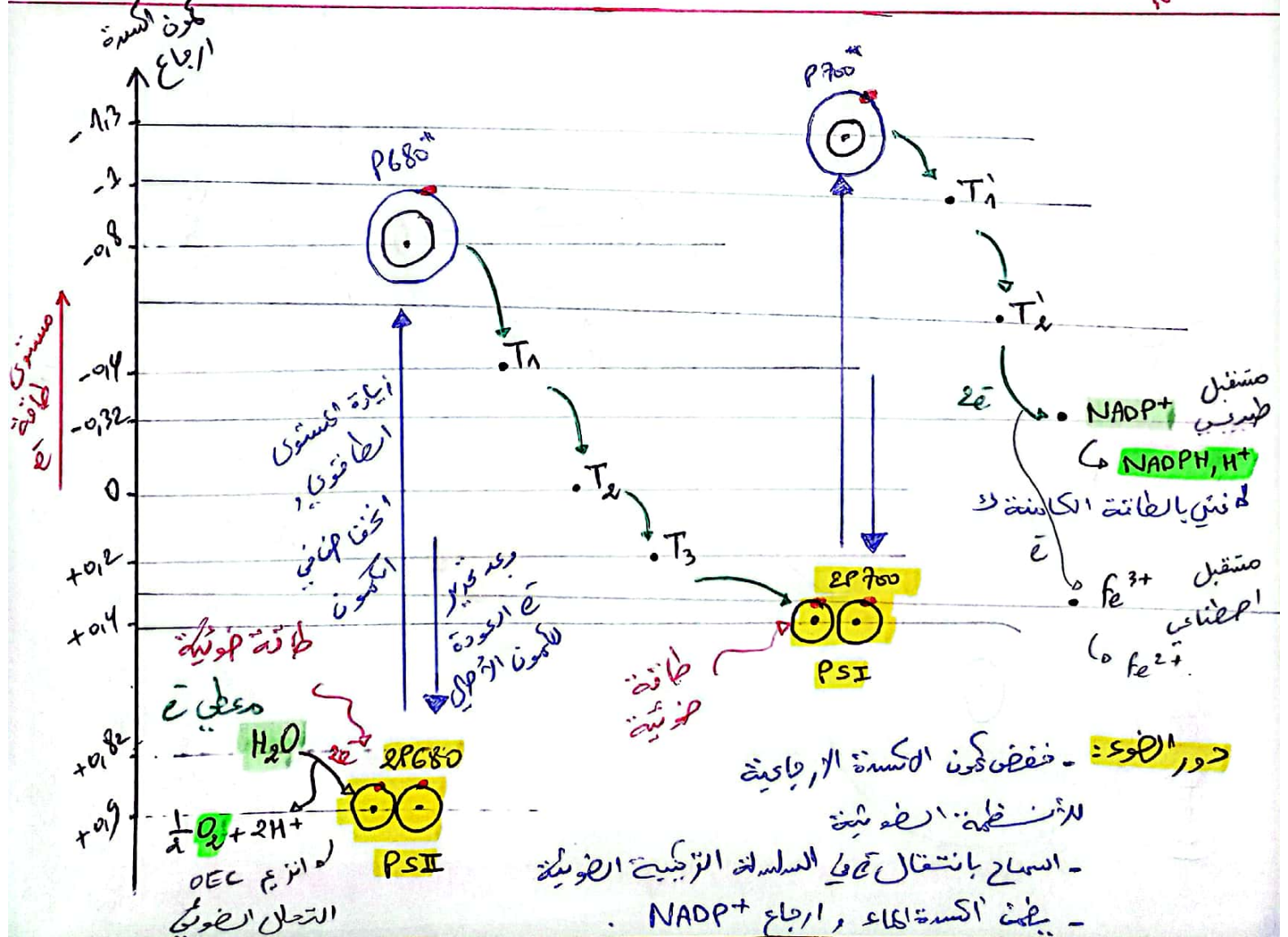


كلما انتقلنا لمدار أعلى ← لمستوى طاقوي ↗ ← مكون أكسدة إرجاع ↘

↓

قدرة فقدان e^- ↗ ← (بسبب زيادة البعد) ← قوة جذب النواة ↘





دور الضوء:
- خفض كمون الأكسدة الإرجاعية للأنظمة الضوئية
- السماح بانتقال e⁻ في السلسلة التركيبية الضوئية
- يتم أكسدة الماء، وإرجاع $NADP^+$.

فقرة ؟ضيف طعلوماتك مع أستاذة الخفاء ♡ !!



فوق البنفسجية
UV
طاقة عالية ← تسبب Cancer
طول الموجة قصير



طول الموجة < 400 nm

- بزيادة التردد يقل طول الموجة وتزيد الطاقة

طيف الضوء المرئي (7)
قوس قزح

تحت الحمراء
IR
طاقة قليلة
طول الموجة كبير



طول الموجة > 700 nm

- بزيادة طول الموجة يقل التردد وتقل الطاقة.

الضوء ← أشعة كهرومغناطيسية (موجات)
← فوتونات ضوئية متعددة تحمل كميات مختلفة من الطاقة

- الأطياف الأكثر امتصاصا هي الأطياف الطاقية
- الأقل امتصاصا هي الأطياف الوسطية.
- الطيف الأخضر لا يمتص ويتم انعكاسه.

← لا يصبح اليخضور ← كمية طاقته لا تسمح للانتقال لمستوى طاقي أعلى.

أفكار غاية في الأهمية !!

$2P680 \xrightarrow{\text{أكسدة}} 2P680^+ + 2e^-$.

عندما يفقد PSII إلكترونا ينشأ انزيم أكسدة الماء OEC

فيقوم بأكسدة الماء $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$ (جهة النحوية)

لا تعود لـ PSII

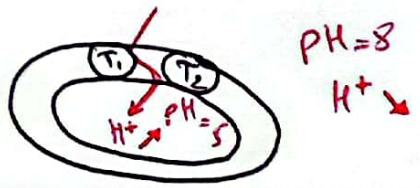
$2P680^+ + 2e^- \xrightarrow{\text{إرجاع}} 2P680$.

فيعود النظام الضوئي لحالته المستقرة مما يمكنه من استقبال التنبيه الضوئي مجددا .

⇐ خلل في انزيم OEC يمنع أكسدة الماء , بالتالي لايسترجع PSII حالته المستقرة فلايتوقف عن العمل .

ملاحظة مهمة !

انتقال الإلكترونات
- وفق تدرج التركيز ← لا يحتاج طاقة
- عكس تدرج التركيز ← يحتاج طاقة



- انتقال H^+ عكس تدرج التركيز يتطلب طاقة ← جاءت من حركة $\bar{e}$ (E_c) .

وأنتم ظهرا بالمفتاح في هذه الحكاية ت

الأنظمة الضوئية ← أكسدة ثم إرجاع .

النواقل ← إرجاع ثم أكسدة

أكسدة الماء

أكسدة ← إرجاع الأنظمة الضوئية

إرجاع ← أكسدة النواقل

إرجاع $NADP^+$

← انتقال: H_2O ← Fe^{3+} : عكس الاتجاه التلقائي

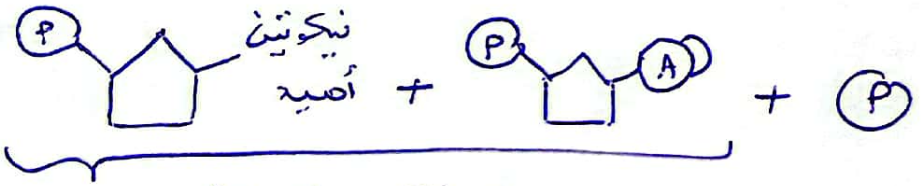
بسبب تدخل عناصر أخرى يتم عكس الانتقال التلقائي .

انتقال $\bar{e}$

- حلقي (بعض أنواع البكتيريا) : تنتقل من عنصر ثم تعود لنفس العنصر
- غير حلقي : $\bar{e}$ لا تنتقل من عنصر وتعود إليه

ما هو NADP+ ؟ ← يمكن يسمى R أو T.

له مستقبل e طبيعي



ـ نيكوتين أميد أدينين ثنائي النيكليوتيد فوسفات.

فكرة تمرين!

نعم أن غشاء الثيلاكويد غير نفوذ لـ H^+.

له يتم استعمال مواد تعمل على ادخال H^+ من الخارج للداخل.

ـ الضوء يسمح بإدخال H^+ الى التجويف وهذا ما يسمح بخفض PH التجويف فيكون الوسط حامضي طبيعيا، تركيب ATP.

ـ كلما كان التجويف حامضي، الحشوة قاعدي تم تركيب ATP.

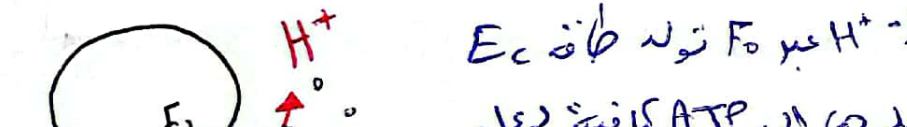
ما هي الكرية الكذبة ؟

معقد بروتيني ذو نشاط انزيمي (F_1).

وظيفتها تركيب ATP ← فسفرة ADP.

$$ADP + P_i \longrightarrow ATP$$

$$S_1 + S_2 \longrightarrow P$$



ـ حركة H^+ عبر F_o تولد طاقة E_c يتم تحويلها الى ATP كافية لعمل الكرية وتأدية نشاطها الانزيمي.

فكرة معقدة!

خلال في F_o يمنع حركة H^+، تمنع حركة F_o، بالتالي تمنع تركيب ATP في F_1 رغم وجود P_i و ADP.

ـ يجب دوران F_1 لتركيب ATP.

تشكل رابطة يعني فقدان H, OH وتشكل H_2O

$$ADP + P_i = ATP + H_2O$$

أفكار تدريبية !!

صبيه اتى الأعشاب ← تنشط كل الأعشاب ارضاً

تنشط من التركيب الضوئي ←

- تؤثر على F_0 لانها مذنبة

تتنبه بـ F_0 تمنح ضوج H^+ ← لتوجه حركة F_1 وبالتالي ←

يتم تركيب ATP ، ليستمر انطلاق O_2.

- تؤثر على F_1 فتكبح تركيب ATP رغم دخ H^+ عبر F_0 .

مصير H^+ الناتج أكثر أكسدة الماء في تركيب النشاء كيميائي

الأكسدة الضوئية للماء

الأكسدة الضوئية للماء تتم في الطبقة الداخلية للثايلاكويد بواسطة أنزيم يحتوي على 4 ذرات منغنيز وذرتين كلور وذرتين كالسيوم، حيث تلاحظ:

الخطوة 1: في بداية التجربة نضع كيس مغشاوي في الظلام في وسط ذو pH متعادل (pH=7) ثم يدخل تركيب ATP.

الخطوة 2: خلال التجربة نضع الوسط الخارجي أصبح pH=4 و الداخلي pH=7 ثم يدخل أيضا تركيب ATP.

الخطوة 3: خلال التجربة انتقل H^+ من الوسط الخارجي الأكثر تركيزا إلى الداخلي الأقل تركيزا فأصبح pH=4 ثم يدخل تركيب ATP.

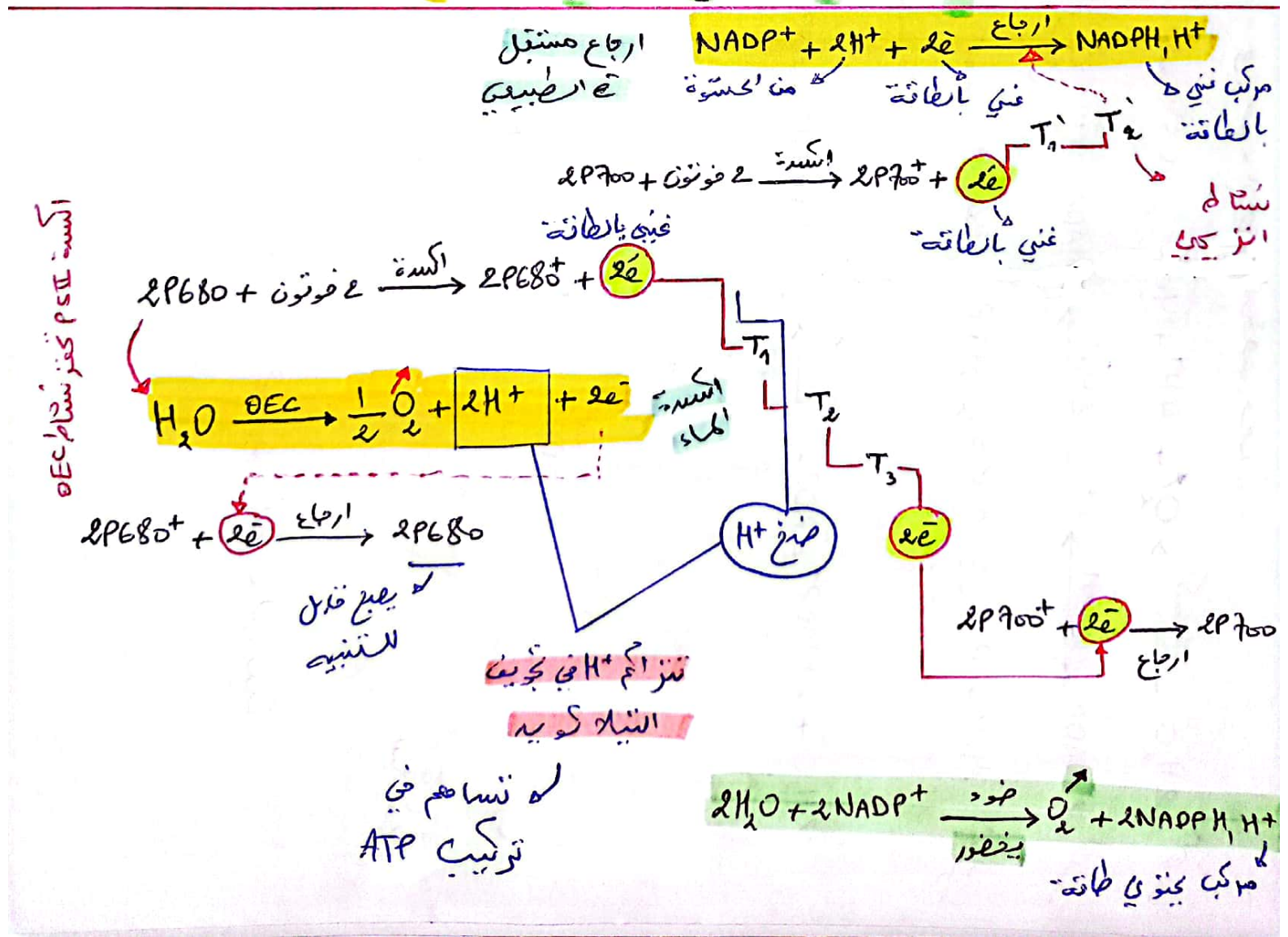
الخطوة 4: عند نهاية التجربة نضع الوسط الخارجي pH=8 ، في الداخلي pH=4 ثم يدخل تركيب ATP في هذه الحالة.

الاستنتاج: يتطلب تركيب ATP على مستوى الثيلاكويد:

- وجود تدرج في تركيز H^+ على جانبي غشاء الثيلاكويد حيث تخزين الثيلاكويد حامضي (pH منخفض وتركيز H^+ مرتفع) وخارجه قاعدي (pH مرتفع وتركيز H^+ منخفض).

لا ضياعات! سلامة الكتلة (E. ATP synthase)، سلامة غشاء الثيلاكويد صم أيضا.

← مجرى الخبرة في الظلام يمنع صنع تفاعلات أضواء (انتاج H^+).



توضيح آلية تركيب ATP على مستوى التيلاكويد

- بوجود الضوء ومستقبل ē طبيعي تنشط محلية أكسدة الأنظمة الضوئية، إرجاع المستقبل النهائي لـ ē، وصاحب نقل ē على طول السلسلة التركيبية الضوئية تحرر جزء من الطاقة التي يستغل في نقل H^+ من الحشوة الى تجويف التيلاكويد بواسطة T_0 (عكس تدرج التركيز) الذي يقوم بدور المضخة (نقل فعال)، هما يخلق فرقا في تركيز H^+ إضافة الى تراكم H^+ الناتج عن أكسدة الماء.

- ان تدرج تركيز H^+ المتولد بينه تجويف التيلاكويد وحشوة الصانعة الخضراء يبشر على شكل سيل من H^+ الخارجة عبر الكريات المذنبة، بالضغط عبر F_0.

- تتمم الطاقة المصدرة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة ADP الى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (P_i) وذلك على مستوى F_1: الفسفرة الضوئية

$$ADP + P_i \xrightarrow[E]{ATP.S} ATP + H_2O$$

هي طاقة ناتجة من حركة H^+ وفق تدرج التركيز من تجويف التيلاكويد نحو الحشوة

- على مستوى التيلاكويد (به يحضور) وبوجود الضوء ومستقبل ē الطبيعي $NADP^+$ والماء و $ADP+P_i$، يحدث التفاعل الكيموضوئي منتجا: $NADPH,H^+$ و ATP.

TH_2 RH_2

في وجود الضوء الأكسجين يحدث:

أكسدة الماء التجويف $2H_2O \xrightarrow{\text{أكسدة}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$

إرجاع المستقبل الحشوة $2NADP^+ + 4e^- + 4H^+ \xrightarrow{\text{إرجاع}} 2NADPH,H^+$

الفسفرة الضوئية الحشوة $ADP + P_i \xrightarrow{E.ATPS} ATP$

$$2H_2O + 2NADP^+ + ADP + P_i \xrightarrow[\text{يحضور}]{\text{ضوء}} O_2 + NADPH,H^+ + ATP$$

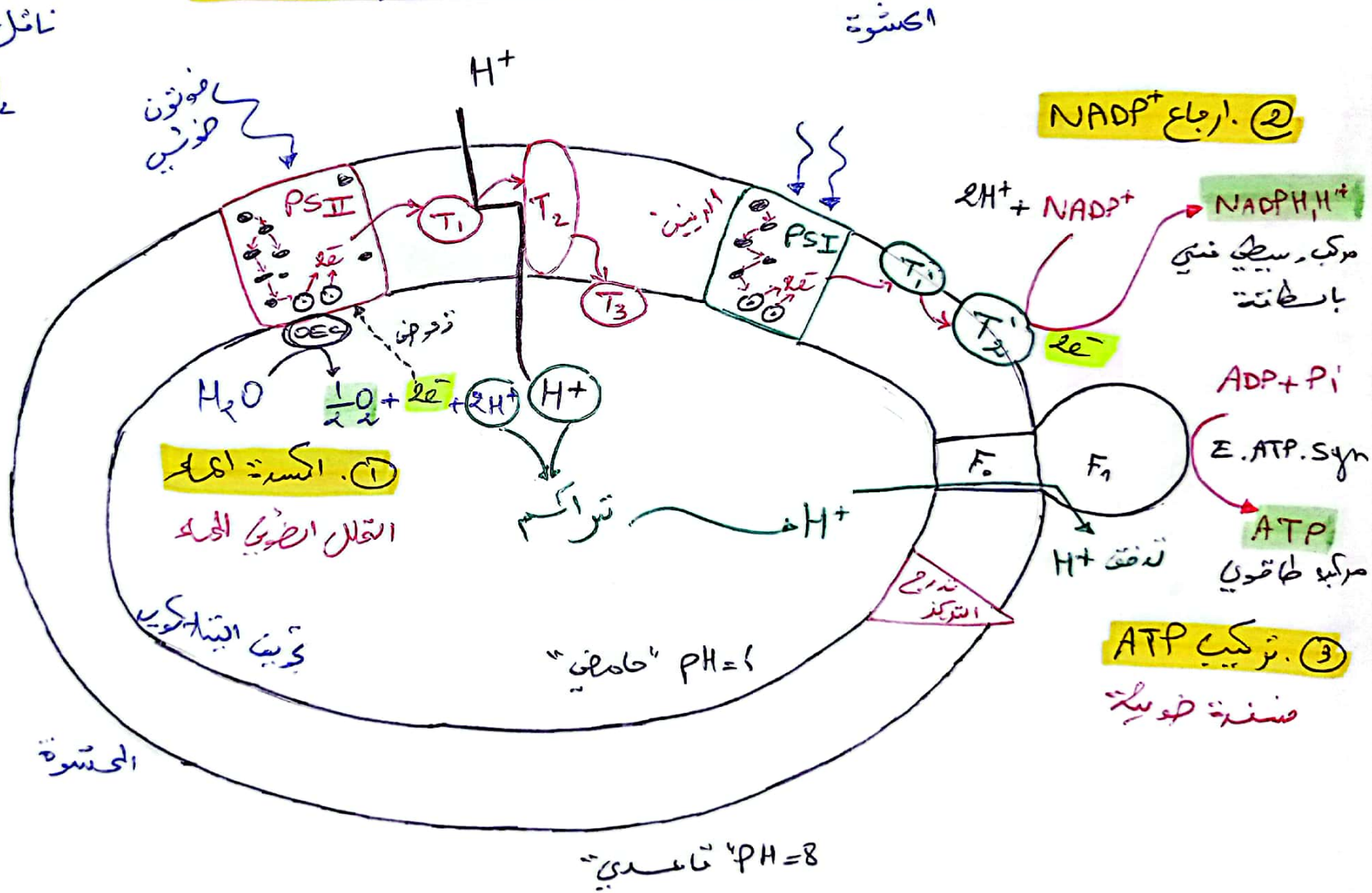
- أكسدة الماء: تجويف التيلاكويد
- إرجاع $NADP^+$، فسفرة ADP: الحشوة
- إطلاق O_2
- إنتاج مركب وسيطي به طاقة كامنة
- تركيب ATP

المرحلة 1 من التركيب الضوئي: الكيموضوئية

$$12H_2O + 12NADP^+ + n(ADP+P_i) \xrightarrow[\text{يفرز}]{\text{ضوء}} 6O_2 + 12NADPH,H^+ + n\,ATP$$

تفاعلات المرحلة الكيموضوئية ومعادلتها

$\begin{cases} NADP^+ = T = R & \text{: تأمل} \\ NADPH,H^+ = TH_2 = RH_2 \end{cases}$

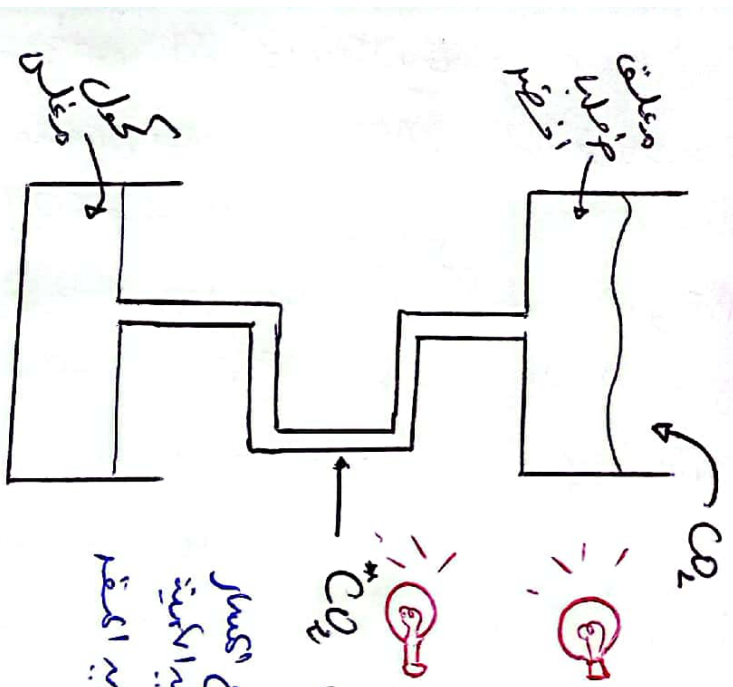


① . أكسدة الماء
التحلل الضوئي للماء

② . إرجاع $NADP^+$

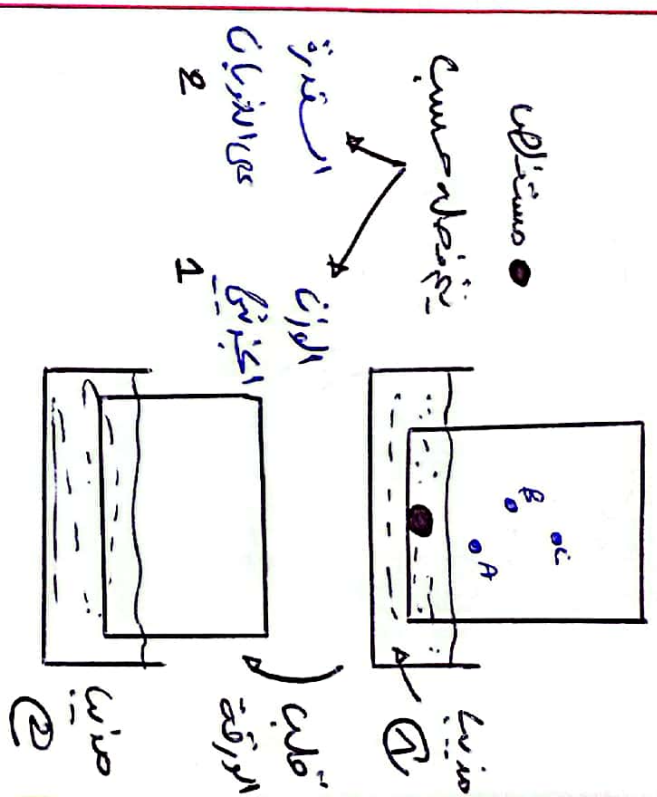
③ . تركيب ATP
صنعة ضوئية

التجربة كالفن ملفين وصيرورة CO_2



الفعل الضوئي
وإيقاف الفعل

الفصل الكروماتوغرافي ذو البعدين



← الهدف من تقنية الفصل ذي البعدين:
الفصل الكلي لمركبات المكونة للمستخلص.
(إزالة احتمال أن يكون مركبان كيميائيان في نفس البقعة لهما نفس الوزن الجزيئي).

تساؤل: ما هي آلية ارجاع CO_2 وتركيب جزيئات عضوية؟

- **وض:** آلية ارجاع CO_2 وتركيب جزيئات عضوية (ص2 ص193/ ص3 ص194)
- **اشرح:** تفاعلات الحلقة الكيموحيوية انطلاقا من حلقة كالفن (ص4 ص194)

← تمثل الوثيقة 2 ص 193 نتائج تتبع المركبات العضوية الناتجة عن تثبيت CO_2 المشع خلال فترات زمنية متغيرة عن طريق تقنية التحليل الكروماتوغرافي ذو البعدين حيث نلاحظ:

- بعد 5s: ظهور بقعة بحجم كبير لمركب عضوي يسمى APG (حمض فوسفوغليسيريك 3CP) وبقعة بحجم أصغر لمركب عضوي يسمى TP (سكر ثلاثي مفسفر = تريوز 3CP).
- بعد 5s: ظهور بقعة APG بحجم أصغر وبقعة TP بحجم أكبر مقارنة بالفترة السابقة مع ظهور بقعة بحجم أصغر لمركب HP (هكسوز 6CP).
- بعد 5s: يصغر حجم كل من بقعة APG و TP مقارنة بالفترة السابقة ويزداد حجم بقعة HP مع ظهور بقعة لمركب يسمى RuDP (ريبولوز ثنائي الفوسفات).

الاستنتاج: تظهر المركبات العضوية الناتجة عن تثبيت CO_2 وفق التسلسل الزمني التالي: APG، TP، HP ثم RuDP.

$$APG \longrightarrow TP \longrightarrow HP \longrightarrow RuDP$$

تجارب كالفن وبنسون

- الهدف من استعمال النبوية بشفافة ملونة.
  - السماح بمرور الضوء
  - التحكم في سرعة حركة الخلايا

- استعمال CO_2 مشع (^{14}C) = لانه مادة معدنية تدخل في تركيب المادة العضوية.

الاشعاع
- تتبع المسار
- تحديد الكمية
- تحديد الموقع

- استعمال الكحول المغلي: لقتل الخلايا وتوقيف جميع التفاعلات التي تحدث داخلها.

- تقنية الكروماتوغرافيا ذات البعدين: ← نستعمل مذيبين
  - فصل المركبات حسب الوزن الجزيئي.
  - حسب معامل الذوبان في المذيب.

← نتمم بفصل المواد عن بعضها البعض فهناك تاما فقد توجد بعض المركبات لها نفس الوزن الجزيئي وتختلف في معامل الذوبان.

← نتمم بمعرفة عدد ونوع المواد التي تدخل في تكوين المستخلص الكلوروفيلي.

← الوثيقة 3 ص 194 الى تشكيل:

- يمثل الشكل (أ): منحنيي تطور كمية APG و RuDP في وجود الضوء و في وجود وغياب CO_2 حيث نلاحظ:

- في وجود الضوء و CO_2: نسجل بثبات في كمية كل من RuDP و APG حيث تكون كمية APG اكبر من RuDP ويعود ذلك الى أن كل منهما يتحرك ويستهلك بنفس السرعة (توازن ديناميكي). تفسير

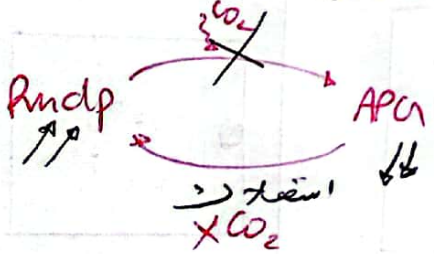
بينما في وجود الضوء وغياب CO_2: تحليل مقارنة

- تناقص كمية APG حتى تنعدم ويعود ذلك الى أنه يستهلك ولا يتحرك لغياب CO_2.

- تتزايد كمية RuDP ثم تثبت ويعود ذلك الى أنه يتحرك ولا يستهلك لغياب CO_2.

الاستنتاج: يتركب (يتجدد) APG انطلاقا من تثبيت CO_2 على RuDP (CO_2 ضروري لتركيب APG انطلاقا من RuDP).

$$CO_2 + RuDP \longrightarrow APG$$



- يمثل الشكل (ب) منحنيي تطور كمية RuDiP, APG في وجود CO_2 و في وجود غياب الضوء حيث نلاحظ:

- في وجود الضوء و CO_2: نسجل نفس التتابع السابقة بالنسبة لكل من APG و RuDP.

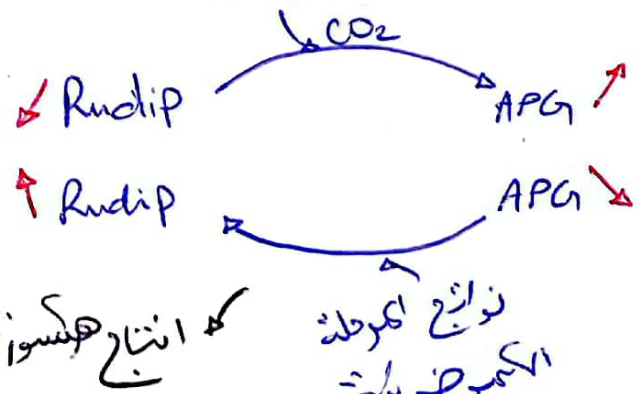
كما نسجل تزايد في كمية الهكسوز HP هايدل على أنه يركب باستمرار بشكل مساير للتوازن الديناميكي بين RuDP, APG.

بينما في وجود CO_2 وغياب الضوء:

- تزايد كمية APG ثم تثبت، يعود ذلك الى انه يركب لا يستهلك في الظلام
- في حين بالمزامنة تتناقص كمية RuDP حتى تنعدم ويعود ذلك الى أنه يستهلك ولا يركب لغياب الضوء.

الاستنتاج: يتركب (يتجدد) RuDiP انطلاقا من APG باستعمال نواتج المرحلة الكيموضوئية.

$$APG + NADPH,H^+ + ATP \longrightarrow RuDP$$



حلقة كالفن

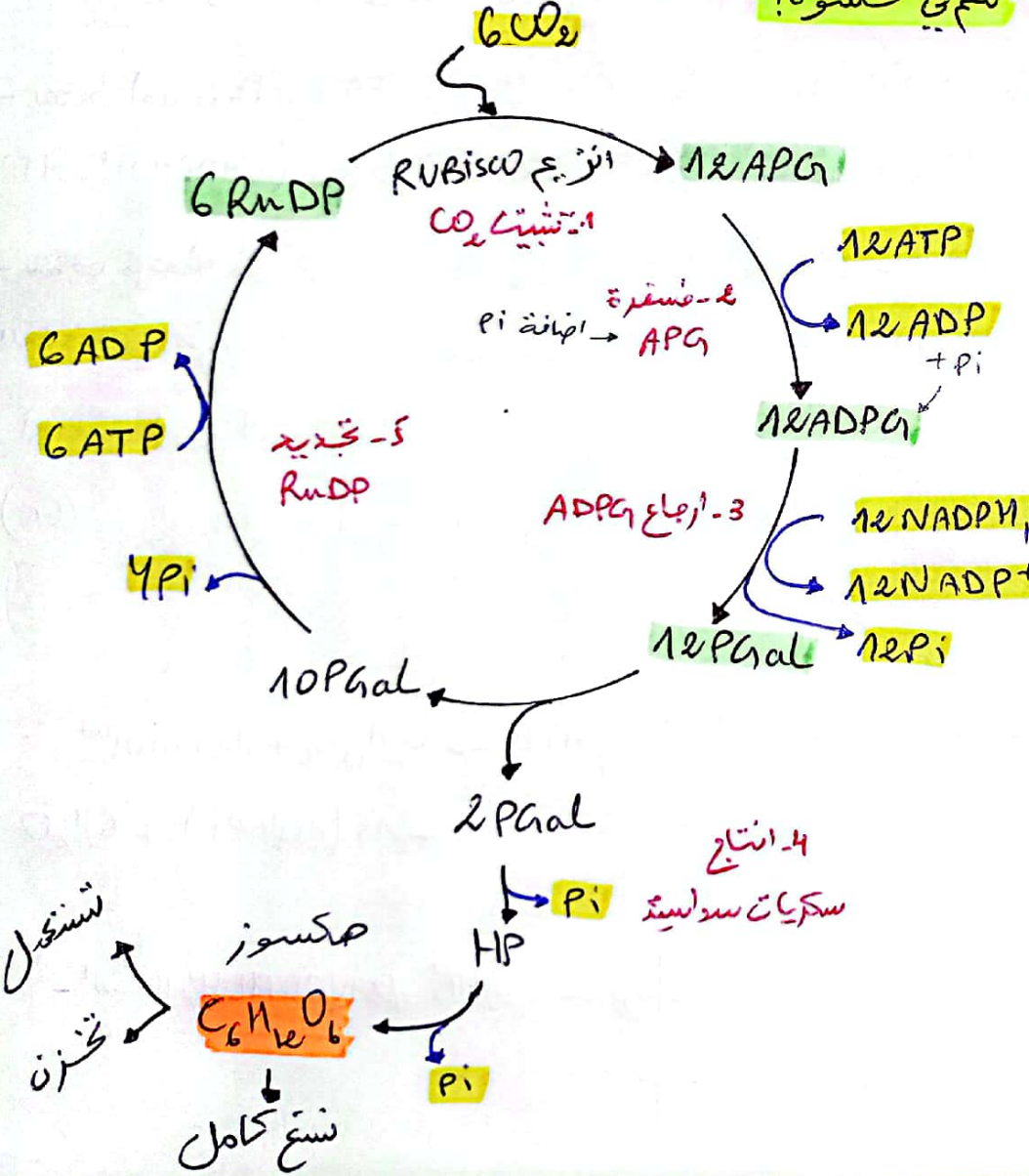
RuDP → 5C ⓟ○○○○○ⓟ → سكر

APG → 3C ○○○ⓟ

ADPG → 3C ⓟ○○○ⓟ → حمض (غني بطاقة)

PGal → 3C ○○○ⓟ → سكر

تتم في الحشوة!



شرح تفاعلات المرحلة الكيموحيوية "حلقة كالفن"

- أثناء المرحلة الكيموحيوية، يتم تثبيت CO_2 (الممتص أثناء المبادلات الغازية النهارية) على جزيئة RuDP (5C) مشكلا مركب (6C) سرعان ما ينشطر الى جزيئتين من APG (3C) ويتم دمج CO_2 بـ RuDP بواسطة الزيم Rubisco (المرحلة 1).

- ينشط (فسفرة) كل APG ثم يرجع بواسطة نواتج المرحلة الكيموضوئية (NADPH,H+ , ATP) معطيا PGal (3C) (المراحل 2-3).

- يستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة (TP = PGal) الناتجة في تجديد RuDP (خلال الحلقة) باستعمال ATP (مرحلة 3)

- أما الجزء الأخير (2PGal) فيستعمل في تركيب سكريات سداسية (HP) (6C) ومواد عضوية أخرى (أحماض أمينة، دسم) (المرحلة 4).

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

- استعمال 18ATP و 12NADPH,H+ لتركيب $1.C_6H_{12}O_6$ وتجديد 6 RuDP.

- تتم المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن) في الحشوة و هي لا تحتاج الضوء بالحدث — لكنه تحتاجه للاستمرار لأنها تحتاج نواتج المرحلة الكيموضوئية

NADPH,H+ , ATP

التركيب الضوئي
La photosynthèse

I/ مفاهيم أولية أساسية:

تتواجد الطاقة في الطبيعة على عدة أشكال و تتحول من شكل لآخر.

يقوم النبات الأخضر بالتركيب الضوئي بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة في الجزيئات العضوية التي يركبها.

- الصانعة الخضراء (مقر عملية التركيب الضوئي)
- البيخضور (الجزيئة التي تلتقط الضوء)
- التركيب الضوئي ← مرحلة كيموضوئية
  ← مرحلة كيموحيوية

- **النباتات الخضراء كائنات ذاتية التغذية:** لأنها تقوم بتركيب المواد العضوية اللازمة لنموها وتكاثرها انطلاقا من مواد أولية معدنية (غير عضوية): H_2O و CO_2 وذلك بفضل عملية التركيب الضوئي.

- **النباتات الخضراء بوابة طاقة للعالم الحي:** لأنها تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية (مصدرها الشمس) وتخزينها في روابط الجزيئات العضوية، نعتمد عليها حياة كل الكائنات الأخرى حيوانية أو متنوعة في كل السلاسل الغذائية.

- **الخلية النباتية:** تتميز باحتوائها على عضية خاصة الصانعة الخضراء أو البلاستيدة، التي تحتوي على جزيئات لها القدرة على امتصاص الطاقة الضوئية: وهي البيخضور.

← الاسم التخطيطي

- **التركيب الضوئي:** هو ظاهرة فيزيائية تقوم بها الخلية النباتية للنبات الأخضر على مستوى الصانعات الخضراء، يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة في روابط المادة العضوية

- **شروط العملية:**

لها ضرورية وتتوقف العملية في غيابها.

- الضوء - البيخضور - H_2O - CO_2.

- **مظاهر الأولية**

لها التغيرات الملاحظة أثناء حدوثها

- مبادلات غازية بخضورية (امتصاص CO_2، طرح O_2).
- زيادة تركيب المادة العضوية - امتصاص H_2O.

- **نواتج العملية**

H_2O - O_2 - المادة العضوية (نشاء ناتج عن تكاثف سنيزيات سكر)

ملاحظة:

- يمكن الكشف عن وجود النشاء في أوراق النبات الأخضر عن طريق استعمال كواشف مناسبة "ماء اليود"، أو فحص الصانعات الخضراء بالمجهر الالكتروني حيث تظهر بقع سوداء كبيرة (حبيبات النشاء)

- نستدل على حدوث التركيب الضوئي عن طريق:

- قياس زيادة / انطلاق O_2.
- قياس انخفاض / امتصاص CO_2.

II/ مقر عملية التركيب الضوئي:

- الصانعة الخضراء (البلاستيدة):

الاسم التخطيطي + الوصف الدقيق.

- البنية الحجيرية للصانعة الخضراء:

يتم تقسيم الصانعة الخضراء الى حجيرات:

- الفراغ الموجود بين الغشائين.
- الفراغ الموجود بين الغشاء الداخلي، أغشية التيلاكويدات (التجويف الذي تملؤه الحشوة)
- الفراغ الموجود داخل التيلاكويدات (التجويف).

← هذه الأوساط مفصولة عن بعضها البعض.

أهمية البنية الحجيرية؟ احتواء الصانعة الخضراء على حجيرات يسمح بتوفير 3 أوساط مختلفة من pH، التركيب الحيوي مما يسمح بتنظيم تفاعلات التركيب الضوئي داخلها.

- التركيب الكيموحيوي للصانعة الخضراء:

• الحشوة:

- مرافقات انزيمية (NADP+)
- مواد أيضية لتركيب الجزيئات العضوية
- ATP، ADP، Pi.
- انزيمات خاصة أهمها Rubisco

• غشاء التيلاكويد:

- أصبغة (يخضورية + أشباه الجزائر)
- نواقل الالكترونات
- أنظمة ضوئية (PS_I، PS_{II}).
- انزيم ATP Synthase (الكرية القاعدية)

← لكل من الحشوة، التيلاكويد تركيب كيموحيوي مختلف، وبالتالي لكل منهما دور مختلف في عملية التركيب الضوئي.

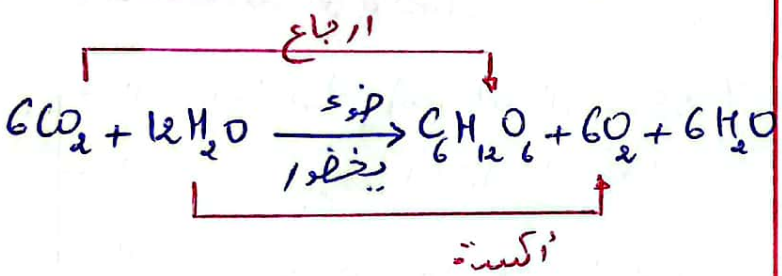
- بنية غشاء التيلاكويد:

الاسم التخطيطي + الوصف الدقيق

- مراحل عملية التركيب الضوئي:

طبيعة تفاعلات التركيب الضوئي هي تفاعلات (أكسدة/إرجاع)

- أكسدة H_2O الى O_2 ← كيموضوئية.
- إرجاع CO_2 الى $C_6H_{12}O_6$ ← كيموحيوية



• المرحلة الكيموضوئية:

- مفاعل: التيلاكويد
- شرط: وجود الضوء
- مظاهر: انطلاق O_2

• المرحلة الكيموحيوية:

- مفاعل: الحشوة
- شرط: وجود CO_2 نواتج المرحلة الكيموضوئية
- مظاهر: تثبيت CO_2 / تركيب المادة العضوية

- اظهار مصدر O_2 المنطلق:

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

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

← مصدر O_2 المنطلق أثناء عملية التركيب الضوئي هو H_2O وليس CO_2.

• طبيعة التفاعلات في التركيب الضوئي:

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

ارجاع — أكسدة

من أكسدة: $12H_2O = 6O_2 + 24H^+ + 24e^-$

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

من ارجاع

III/ تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:

- شروط عمل النيلاكويد:

الضوء، ADP+Pi، مستقبل e^- أولي.

- تأثير الضوء على اليخضور وآلية انتقال e^-:

• خصائص النظام الضوئي، آلية عمله:

الأصبغة: أصبغة اليخضور أ $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

أصبغة اليخضور ب $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

أصبغة أنبياه الجذرية (أصبغة مساعدة)

← لها نفس الدور = امتصاص الفوتونات الضوئية

- امتصاص الفوتونات الضوئية:

له تجربة التفلور = الاستشعاع.

تجربة: نعرض وعاء به يخضور للضوء (بعد سحقه، تباعه الذرات، الأصبغة).

ملاحظة: ظهور لون أحمر + حمرة.

تفسير: عند سقوط الفوتون على e^- يصعد لمدار أعلى وعند هبوطه يحرر طاقة بجزء كبير منها على شكل حمرة والجزء الأخير استشعاع فيظهر لون أحمر (أقل طاقة).

نتيجة: جذرية اليخضور تمتص الفوتونات الضوئية

- تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:

1. الأكسدة الضوئية للماء: في وجود الضوء

يتأكسد الماء وفق المعادلة: $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$

- جذرية H_2O هي مصدر e^-، O_2 المتطاير.

- انتقال e^- الناتجة عن الأكسدة الضوئية للماء:

تنتقل هذه e^- الناتجة من أكسدة الماء في سلسلة تركيبية ضوئية، يستقبلها في النهاية مستقبل.

← مصير في السلسلة التركيبية:

e^-/A الماء:

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

$2PG8O^+ + 2e^- \longrightarrow PG8O$

توجه لـ PSII المؤكسد ضوئيا ليسترجع قابليته التبيه.

e^-/B الـ PSII:

$2PG8O \longrightarrow 2PG8O^+ + 2e^-$

$2e^- + 2P700^+ \longrightarrow 2P700$

توجه PSI المؤكسد ضوئيا ليسترجع قابليته التبيه.

2- ارجاع مستقبل e^-:

e^-/C الـ PS_I:

$2P700 \longrightarrow 2P700^+ + 2e^-$

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

توجه المستقبل الأخير لـ e^- ← $NADP^+$.

(وجود $2e^-$ الناتجة عن أكسدة الماء وتوفر H^+ في وجود $NADP^+$ يارجاع المستقبل $NADP_R$).

3/ تركيب ATP :

- شروطها ؟

- تدرج تركيز H^+ ، سلامة الكريات الغشائية

توفر ADP و Pi ، سلامة غشاء الثيلاكويد

- آلية : انتقال e^- .

- آلية المرحلة الكيموضوئية

تلتقط PS_I و PS_{II} الفوتونات الضوئية فتتأكسد

ويحرر كل منها e^- ، يتأكسد H_2O ويطلق O_2 وترجع

e^- إلى PS_{II}^+ .

تنتقل e^- من PS_I^+ ثم إلى $NADP^+$ الذي يرجع بواسطة

E NADP Reductase وفق المعادلة :

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

تتزايد H^+ الناتجة عن أكسدة H_2O والتي يضخها T_4

من الحشوة أثناء انتقال e^- فيصبح تركيز H^+ في

التجويف البرهني في الحشوة فتنتقل عبر الكريات

الغشائية حسب تدرج التركيز .

تسمح الطاقة المحررة من سيل H^+ بفسفرة ADP إلى

ATP في وجود Pi وفق المعادلة :

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

- تفاعلات المرحلة الكيموضوئية متسلسلة ومترابطة

توقف أحدها يؤدي لتوقف المرحلة كلها .

ملاحظة !

- غشاء الثيلاكويد ينقل H^+ في اتجاهين :

• عكس تدرج التركيز : نقل فعال يتطلب الطاقة

يتم عبر الناقل T_4 من الحشوة إلى تجويف الثيلاكويد .

• حسب تدرج التركيز : انتشار لا يتطلب طاقة

يتم عبر أنزيم ATP synthetase من التجويف إلى الحشوة .

IV / تفاعلات المرحلة الكيموحيوية

- أهم شرط فيزيائي هو هذه المرحلة .

رغم أنه ضروري لاستمرارها (تحتاج نواتج المرحلة

الكيموضوئية من ATP, $NADPH, H^+$) .

مراحل حلقة كالفن :

1. تثبيت CO_2 : بواسطة أنزيم Rubisco

$$3CO_2 + 3RuBP \longrightarrow 6APG$$

2. فسفرة APG :

$$6APG + 6Pi \xrightarrow[6ADP]{6ATP} 6ADPG$$

3- إرجاع ADPG :

$$6ADPG \xrightarrow[6NADPH,H^+ \; 6NADP^+]{6Pi} 6PGAL$$

4. تركيب $C_6H_{12}O_6$:

$$PGAL \xrightarrow{-2Pi} C_6H_{12}O_6$$

5- تجديد RuBP :

$$5PGAL \xrightarrow[3ATP \; 3ADP]{} 3RuBP$$

ملاحظة:

في جزيئة $C_6H_{12}O_6$ المتشكلة:

- مصدر O/C ؟ ⇐ CO_2 .

- مصدر H ⇐ أكسدة $NADPH,H^+$.

الذي اكتسبها من أكسدة H_2O ، انتقل انفعال في المرحلة الكيموضوئية .

V/ العلاقة بين مراحل التركيب الضوئي:

تحدث المرحلتان بالتواري ، وهما متكاملتان .

1 - المرحلة الكيموضوئية:

تنتج العناصر الضرورية (شروط) المرحلة الكيموحيوية ($NADPH,H^+$ ، ATP) .

2 - المرحلة الكيموحيوية:

تجدد العناصر الآزمة (شروط) المرحلة الكيموضوئية ($NADP^+$ ، $Pi+APP$) .

الحصيلة الضوئية:

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

نص علمي حول: آلية حدوث التفاعل الكيموضوئي

المقدمة: التركيب الضوئي هو آلية تسمح بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة في روابط المادة العضوية، تتم وفق مرحلتين: مرحلة كيموضوئية، و مرحلة كيموحيوية. فما هي آلية حدوث التفاعل الكيموضوئي على مستوى الثيلاكويد؟

الجواب: على مستوى غشاء الثيلاكويد وبوجود الضوء، مستقبل e^- طبيعي $NADP^+$ و $ADP+Pi$، الماء تنطلق تفاعلات المرحلة الكيموضوئية حيث:

- يمتص النظام الضوئي الفوتونات الضوئية بفضل الصبغات الضوائية (يخضورات أ و ب، اشباه الجزائين) فبعد تهييجها تنتقل الطاقة الممتصة الى صبغة مجاورة بظاهرة الانبية دون انتقال e^-، الى أن تصل الطاقة الى آخر صبغة مركز التفاعل (زوج يخضورات أ) فيتأكسد متخليا عن e^- ذو طاقة عالية، تصبح الصبغة في صورة مؤكسدة ($P680^+$ الخاصة بـ PS II و $P700^+$ الخاصة بـ PS I) حيث كل 2 فوتون ضوئي يؤدي لتحرير $2e^-$ من كل نظام ضوئي (كل صبغة تفقد e^-): $2P680 \longrightarrow 2P680^+ + 2e^-$

- تنتقل e^- الغنية بالطاقة عبر سلسلة نواقل e^- حسب تدرج متزايد في كمون الاكسدة / ارجاع مما يصاحبه فقد تدريجي لطاقة e^-.

- تنتقل e^- المفقودة من PS II عبر نواقل T_1، T_2، T_3 حيث أثناء هذا الانتقال يقوم الناقل T_2 بضخ بروتونات H^+ التي تأتي من الحشوة عن طريق T_1 (نقل فعال) مما يؤدي لزيادة تركيز H^+ داخل تجويف الثيلاكويد، يصبح بذلك حامضيا (pH منخفض)، أما e^- المفقودة من PS I فتنتقل عبر سلسلة أخرى من نواقل e^- T'_1، T'_2 ولكن في هذه الحالة لا يتم ضخ طاقة كبيرة أثناء انتقال e^-، يتم استقبالها من طرف مستقبل e^- طبيعي $NADP^+$ فيتم ارجاعه الى $NADPH,H^+$ حسب المعادلة:

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \xrightarrow[T'_2]{} NADPH,H^+$$

كما نشاط انزيمي

- يسترجع المركز التفاعلي لـ PS_{II} الكتروناته (حالة مرجعة) وبالتالي قابلية التنبيه مرة أخرى من أكسدة الماء بواسطة انزيم نوعي OEC تابع لـ PS_{II} : $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^- + 2H^+$ فيتم تحرير H^+ في التجويف، ينطلق O_2، أما PS_I فيعوض الكتروناته من PS_{II} القادمة من الناقل T_3 (ناقل متموضع على السطح الداخلي للتيلاكويد).

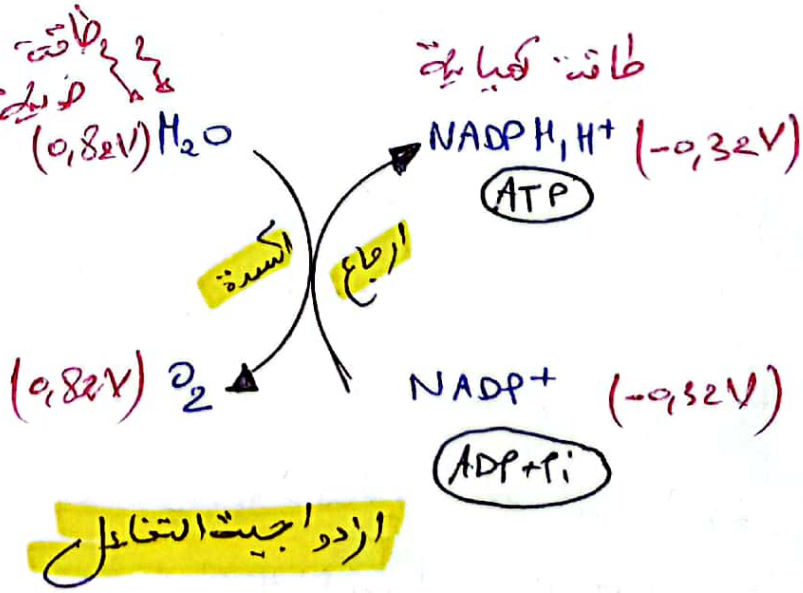
- ان تراكم البروتونات H^+ الناتجة عن أكسدة الماء وتلك التي يتم نقلها من الحشوة الى تجويف التيلاكويد يخلق تدرجا في تركيز H^+ على جانبي الغشاء (عال في التجويف = وسط قاعدي، منخفض في الحشوة = وسط قاعدي). هايدروجين H^+ من الوسط الأغنى تركيز (التجويف) الى الأقل تركيز عبر انزيم ATP Synthèse (الكرية القذنبية) (الجزء F_0)؛ هايسمح بتحفيز فسفرة ADP الى ATP في وجود P_i (الجزء F_1)، انها الفسفرة الضوئية: $ADP + P_i \xrightarrow{E} ATP + H_2O$

الخاتمة: تؤدي المرحلة الكيموضوئية الى انتاج عنصرين مهمين هما:

ATP: جزيئات ذات طاقة عالية نتيجة لعمل PS_{II} (بسبب دخول H^+).

$NADPH,H^+$: مرافقان انزيميان محملان ذات طاقة عالية نتيجة لعمل PS_I ففيهما يتم تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية في المركبات الوسيطية (ATP, $NADPH,H^+$).

ملحوظة: دور الأنظمة الضوئية هو استقبال الطاقة الضوئية، وتحويلها في صورة غنية بالطاقة.



نص علمي حول: المرحلة الكيموحيوية

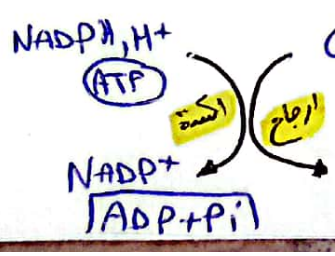
المقدمة: من شروط عملية التركيب الضوئي توفر غاز CO_2، حيث أن التركيب الضوئي يؤدي لتصنيع جزيئات عضوية، ذلك خلال المرحلة الكيموحيوية، بعد أن يتم انتاج مركبات وسيطية غنية بالطاقة خلال المرحلة الكيموضوئية ($NADPH,H^+$ و ATP). فما هو مصير CO_2 المثبت؟ وكيف تحدث تفاعلات المرحلة ؟ من عملية التركيب الضوئي؟

العرض: تحدث المرحلة الكيموحيوية لعملية التركيب الضوئي في الستروما، فيها يتم استعمال نواتج التفاعل الكيموضوئي، حيث يسمح بتثبيت CO_2، انتاج جزيئات العادة العضوية

- شروطه: CO_2، انزيم Rubisco، مواد أيضية وسيطية RuDP، $NADPH,H^+$، ATP.
- تتم هذه التفاعلات في شكل سلسلة حلقية تعرف بحلقة كالفن-بنسون، حيث يتم تثبيت جزيئة CO_2 على جزيئة RuDP بواسطة انزيم Rubisco ليتشكل مركب سداسي سريع الانشطار فيتكون 2 APG (مرحلة التثبيت).
- تستعمل نواتج المرحلة الكيموضوئية حيث يتحول APG الى PGal (يشبع "فسفرة") باستعمال ATP حيث يرجع بعدها ADPG الى PGal بواسطة اكسدة $NADPH,H^+$
- يستعمل جزء من السكر الثلاثي PGal في تجديد RuDP باستعمال المزيد من الطاقة ATP، ويستعمل الجزء الآخر من PGal في تركيب السكريات السداسية (هكسوزات) اما هي أمينية، دهون (مرحلة تجديد RuDP، انتاج السكريات).

الخاتمة: ان التفاعلات في المرحلة الكيموحيوية يتم فيها تحويل الطاقة الكيميائية في الجزيئات الوسيطية $NADPH,H^+$، ATP الى طاقة كامنة في الروابط الكيميائية المادة العضوية، ويتم فيها تجديد $NADP^+$، $Pi + ADP$ التي تعتبر ضرورية للتفاعل الكيموضوئي.

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



لا حظ!!

الحوصلة التفاعل

المرحلة الكيموضوئية

- مقرها: التيلاكويد
- تفاعلاتها الأساسية: - أكسدة الماء
  - ارجاع $NADP^+$
  - تركيب ATP
- نواتجها النهائية: انطلاق غاز O_2
- التحويل الطاقوي: من طاقة ضوئية
  ↓
  الى طاقة كيميائية في الجزيئات الوسيطية $NADPH,H^+$ و ATP

المرحلة الكيموحيوية

- مقرها: الحشوة
- تفاعلاتها الأساسية: - ارجاع CO_2
  - أكسدة $NADPH,H^+$
  - اماهة ATP
- نواتجها النهائية: تركيب المادة العضوية $(C_6H_{12}O_6)$
- التحويل الطاقوي: من طاقة كيميائية في $NADPH,H^+$ و ATP
  ↓
  الى طاقة كيميائية كامنة في جزيئات المادة العضوية

تخديد العناصر الضرورية الكيموضوئية ⟲ توفير متطلبات الكيموحيوية

$$12H_2O + 12NADP^+ + 18(ADP+P_i) \xrightarrow[\text{يخضر}]{\text{ضوء}} 6O_2 + 12NADPH,H^+ + 18ATP$$

(ارجاع: $NADP^+$، فسفرة: $ADP+P_i$)

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

($NADPH,H^+$: أكسدة، ATP: اماهة)

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

أسرة الخفاء ♥

BAC 2023

الحياة اليومية

تستعمل في عدة أنشطة

$C_6H_{12}O_6$

طاقة مخزنة في ذهانكم بشكل معلومات منظمة

H_2O

حب العلوم

تلاميذ الخفاء

م كيميوحيوية

ثنائي الأوكسجين

O_2

معلومات كثيرة وغير منظمة

$NADP^+$
$ADP+Pi$

طاقة مخزنة في الدروس المشروحة بطريقة مبسطة

$NADPH, H^+$
ATP

أستاذة الخفاء

م كيميوظيفية

H_2O

حب العلوم

طاقة معرفية

الضوء

انطلاق رسالة العلوم

O_2

هنا تنتهي رحلتنا الشاقة، المتعبة
أتمنى لكم كل التوفيق ♡
دعواتكم بالخير لأستاذتنا على مجهدها
ولا تنسونني من صالح دعائكم.

LOVE You all!

Hana