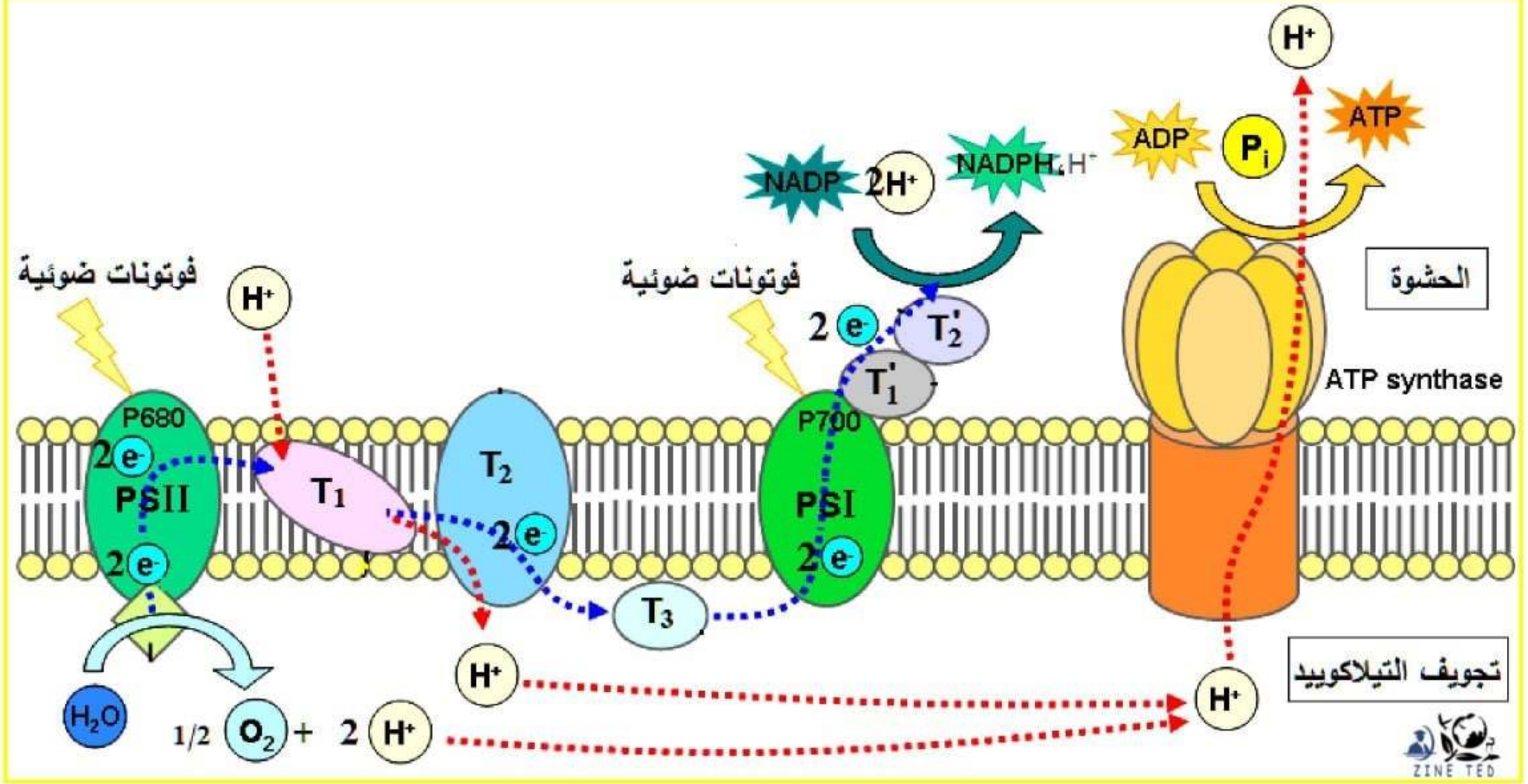
العتبة 4: المرحلة الكيموضوئية



بنية غشاء التيلاكويد :يتكون غشاء التيلاكويد من طبقتين فسفوليبيديتين تحتوي على نظامين ضوئيين PSII وPSI ونواقل للاكترونات وإنزيم ATP سنتاز تدعى في مجموعها بالسلسلة التركيبية الضوئية .

-النظام الضوئي :معقد بروتيني يوجد ضمن غشاء التيلاكويد يحتوي على عدد كبير من جزيئات أصبغة اليخضور وأشباه الجزرين.

H2O.المصدر الأول للالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية كما ان O_2 المنطلق خلال هذه المرحلة ناتج عن اماهة جزيئة الماء

المستقبل الأخير للالكترونات :الطبيعي $NADP^+$ (النيكوتين أميد أدنين ثنائي النيكليوتيد فوسفات)

اصطناعي: مثل فيروسيانور البوتاسيوم.

-آلية انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية :تنتقل من كمون اكسدة وارجاع منخفض الى كمون اكسدة و ارجاع مرتفع مع تحرير طاقة .

-الضوء الأبيض المرئي يتكون من سبعة أطياف تنحصر الأطوال الموجية لها بين 400 و 700 نانومتر، وهي على الترتيب :الأزرق،البنفسجي، النيلي، الأخضر، الأصفر، البرتقالي، الأحمر.

-الاطياف الاكثر امتصاصا هي الاكثر تاثيرا في عملية التركيب الضوئي حيث تمتص جزيئات اليخضور بنسبة كبيرة الإشعاعت الطرفية وأقل في الاشعاعات الوسطية ومنخفضة جدا في الاشعاع الموافق للون الأخضر.

-التفلور(الاستشعاع) :يكتسب إلكترون من جزيئة اليخضور طاقة فوتونات ضوئية فينتقل من مداره الأصلي إلى مدار ذو مستوى طاقوي أعلى منه فتتهيج جزيئة اليخضور ثم بعد زمن قصير جدا يعود إلى مداره الأصلي ويحرر الطاقة المكتسبة على شكل إشعاع أحمر فتستقر جزيئة اليخضور

-آلية عمل النظام الضوئي :يتكون كل نظام ضوئي من عدد كبير من الأصبغة الهوائية وصبغتين لمركز التفاعل، تستقبل كل صبغة هوائية فوتونات ضوئية فتتهيج بهذا ، فينتقل الالكترون من المدار القريب الى المدار الابعد ثم يعود الالكترون إلى مداره الأصلي وتتحرر منه الطاقة المكتسبة وتنتقل إلى الصبغة المجاورة فتهيجها بنفس الآلية حتى تصل الطاقة إلى صبغة مركز التفاعل فتتهيج بدورها وتحرر الكترونين غنيين بالطاقة(اكسدة.)

-دور الأصبغة الهوائية :التقاط الفوتونات الضوئية ونقلها لأصبغة مركز التفاعل دون تحرير للالكترونات.

-دور أصبغة مركز التفاعل :تتجمع فيها الطاقة الملتقطة من مختلف الجزيئات الهوائية وتتأكسد محررة إلكترونين غنيين بالطاقة.

آلية حدوث المرحلة الكيموضوئية عند سقوط الفتونات الضوئية على غشاء التيلاكويد يتأكسد النظامان الضوئيان PSI و PSII ويحرر كل منهما إلكترونين تنتقل الالكترونات المحررة عبر السلسلة التركيبية الضوئية محررة طاقة(تستعمل في ادخال البروتونات من الحشوة الى تجويف التيلاكويد) لتستقبل في الاخير من طرف +NADP وفقا للمعادلة التالية :

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

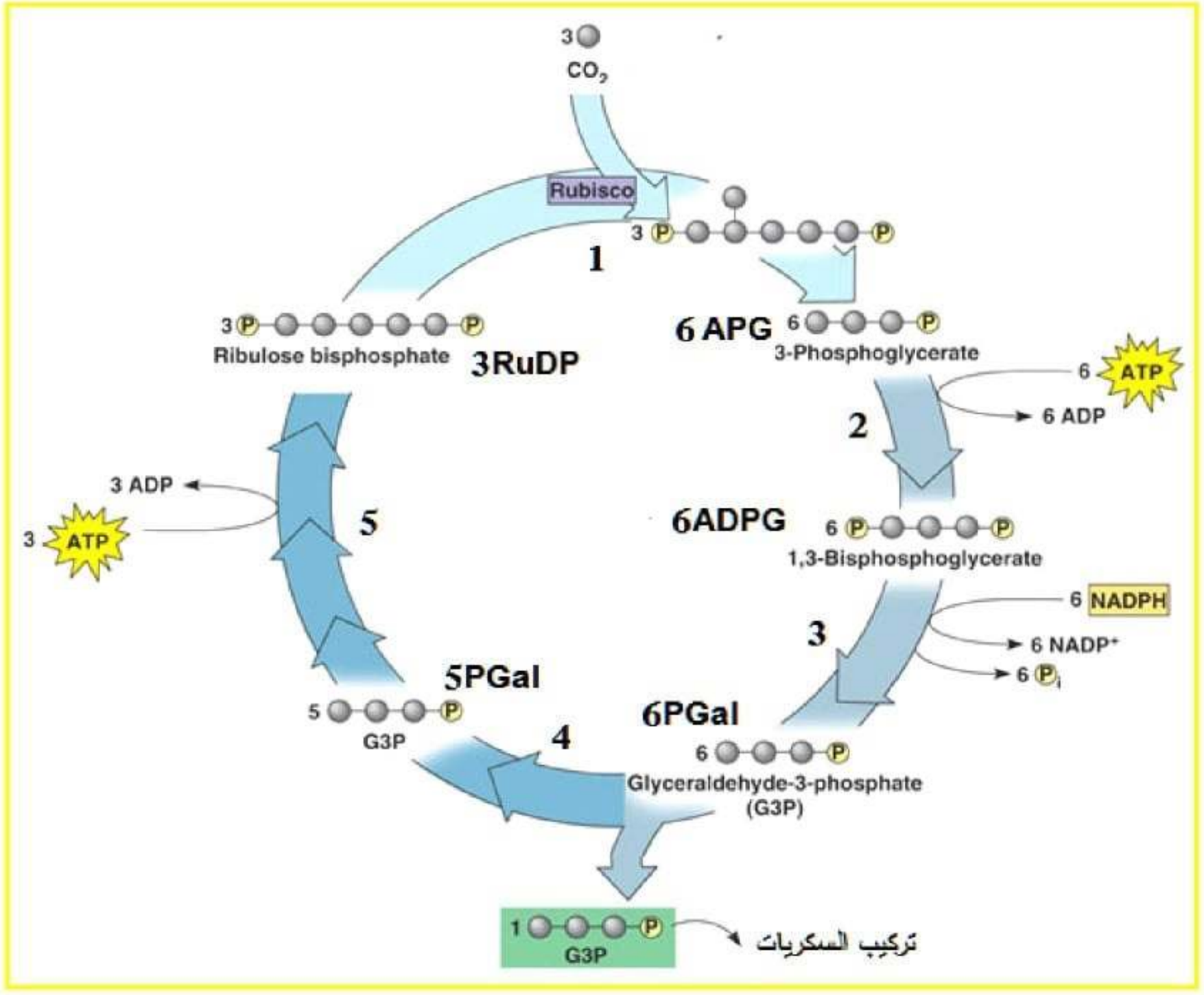
يتم تعويض الالكترونات المفقودة من النظام الضوئي باكسدة الماء حسب المعادلة التالية :

$$H_20 \longrightarrow 2H^+ + 2é + 1/2O_2$$

تتراكم البروتونات في تجويف التيلاكويد الداخلة عبر T_2 اثناء انتقال الالكترونات والناتجة عن اكسدة الماء فيصبح تركيزها اعلى من الحشوة لتتحرر عبر الكرية المذنبة (ATP سنتاز) على شكل سيل من البروتونات مما يولد طاقة تستعمل في فسفرة الـADP وفقا للمعادلة التالية : $ADP + Pi \longrightarrow ATP + H2O$ تدعى هذه العملية بالفسفرة التاكسدية

العتبة 5: المرحلة الكيموحيوية

بواسطة الإنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco يثبت CO_2 على جزيئة خماسية الكربون RuDP (الريبولوز ثنائي الفوسفات) مشكلا مركب سداسي الكربون سرعان ما ينشطر إلى جزيئتين من APG (حمض الفوسفوغليسيريك ثلاثي الكربون)



العلاقة بين APG و RuDP

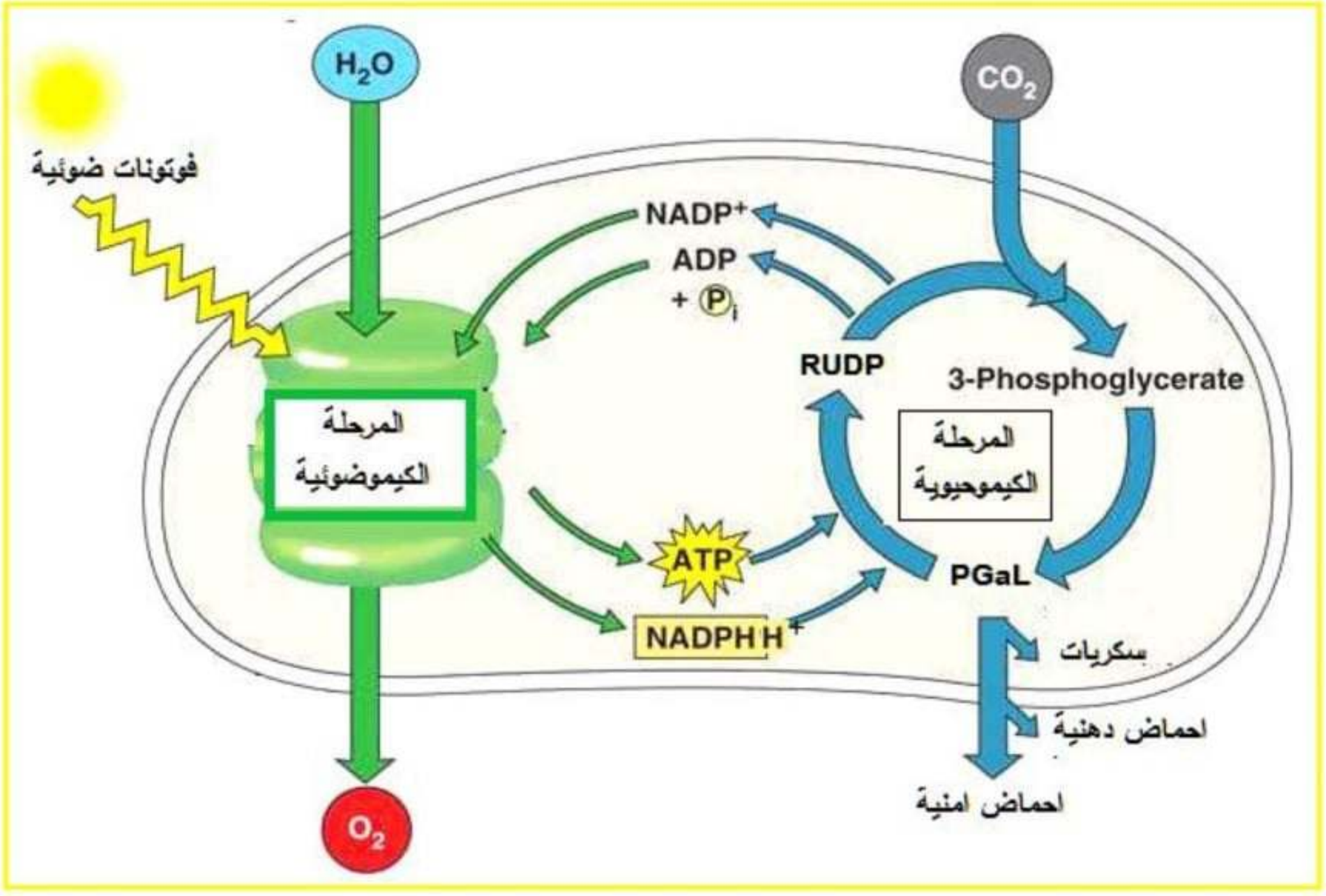
يتحول APG و RuDP إلى بعضهما بشكل حلقي(ثبات ديناميكي) في الحالة الطبيعية أي في وجود CO_2 و الضوء

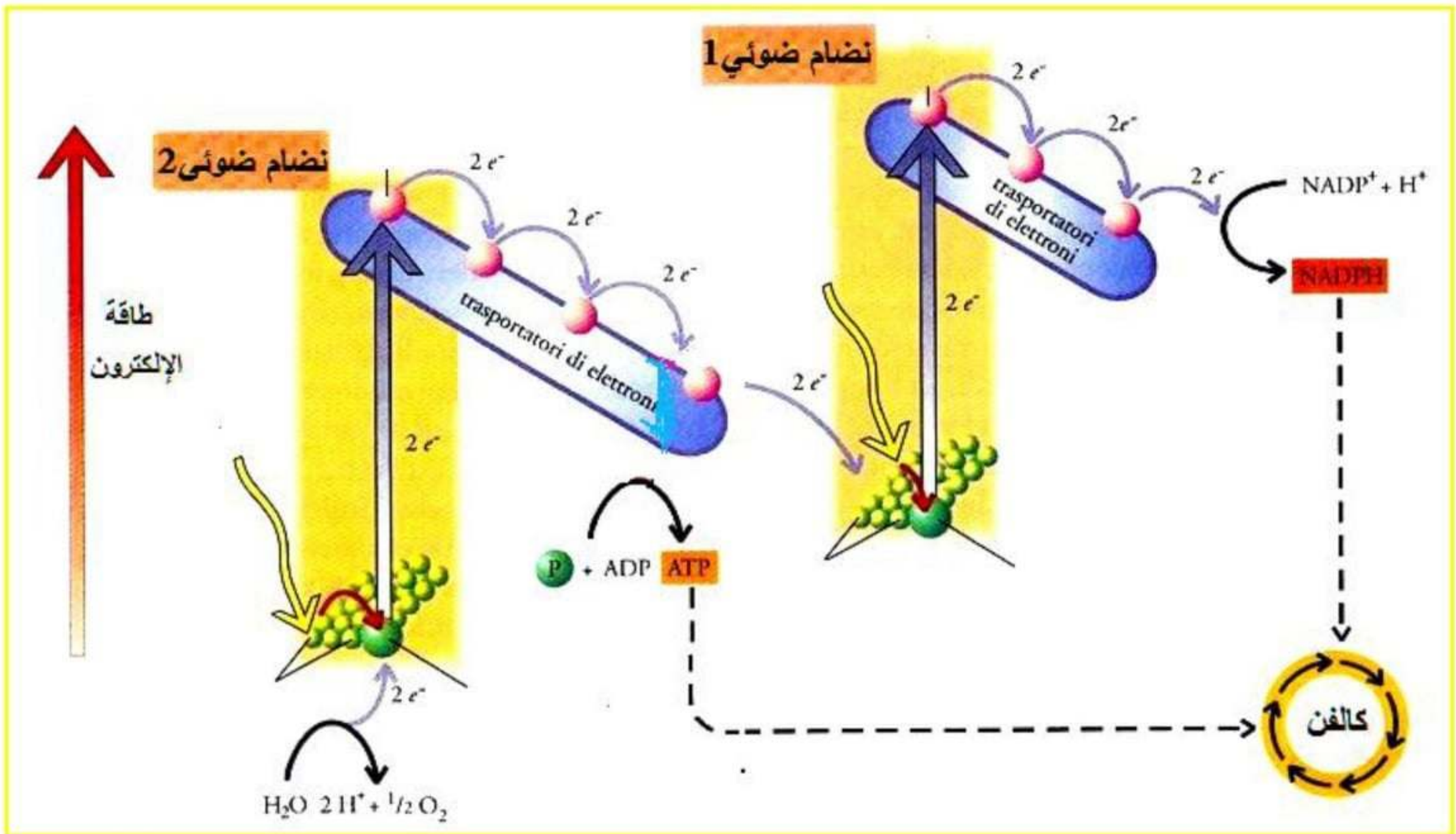
-في غياب الضوء يتراكم APG الناتج عن تحول RuDP ، بذلك ينفذ RuDP ويتوقف تجديد المرافقات الانزيمية وATP وبالتالي المرحلة الكيموضوئية ثم التركيب الضوئي

في غياب CO_2 يتراكم RuDP الناتج عن تحول APG في وجود نواتج المرحلة الكيموضوئية بذلك ينفذ APG وتتوقف حلقة كالفن بالتالي التركيب الضوئي

العتبة 6: التكامل بين المرحلة الكيموضوئية والكيموحيوية

تتكامل مرحلتي التركيب الضوئي بصورة منظمة حيث توفر المرحلة الكيموضوئية ATP و +NADPH,H لحدوث المرحلة الكيموحيوية كما توفر المرحلة الكيموحيوية المواد الأولية (ADP, Pi, +NADP) لتركيب ATP و +NADPH,H لاستمرار المرحلة الكيموضوئية.، تحدث المرحلتان معا لكي يتم انتاج الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية





العتبة 3: مميزات مرحلتي التركيب الضوئي

المرحلة	المرحلة الكيموضوئية	المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن)
تعليل التسمية	كيموضوئية :سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية يشترط حدوثها توفر الضوء	كيموحيوية :سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية لاتتطلب الضوء بشكل مباشر
مقر الحدوث	غشاء التيلاكويد(السلسلة التركيبية الضوئية)	الحشوة
الشروط	خارجية :الضوء داخلية :التيلاكويد، مستقبل الالكترونات ADP و Pi ، بالإضافة للانزيمات	خارجية : CO_2 داخلية: نواتج المرحلة الكيموضوئية (NADPH,H+ATP) ، الانزيمات
النواتج	إرجاع مستقبل الالكترونات NADPH,H+ ، انطلاق O_2 ، تركيب ATP	تركيب المادة العضوية ، تجديد مرافق الإنزيم NADP+ و ADP + Pi
العناصر المتدخلة و الدور	أنظمة ضوئية :تقتنص الفوتونات الضوئية وتحرير الكترونات(تأكسد) نواقل الالكترونات :تنقل الالكترونات المتحررة من النظام الضوئي حسب كمون الاكسدة والارجاع الكرية المذنبة :تركب الـATP NADPH,H+: ناقلل الالكترونات والبروتونات اللازمة لحدوث المرحلة الكيموحيوية إنزيم أكسدة الماء ،وإنزيم NADP ريدوكتاز لإرجاع مرافق الانزيم NADP+.	RuDP: مادة ايضية وسطية مستقبلة لـ CO_2 لبدأ سلسلة تفاعلات حلقة كالفن إنزيمRubisco ريبيلوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز يدمج CO_2 مع RuDP ATP : فسفرة المواد الأيضية الوسيطة NADPH,H+ نقل البروتونات والالكترونات اللازمة لتفاعلات الإرجاع
المعادلة	$H_2O + NADP^+ + ADP + Pi \longrightarrow 1/2O_2 +$ NADPH,H+ + ATP	$6CO_2 + 18ATP + 12NADPH,H+ \longrightarrow$ $C_6H_{12}O_6 + 18ADP + 18Pi + 12\ NADP^+$ $+6\ H_2O$