

## الباب التاسع

### بعض الموضوعات الشائعة في الكيمياء الضوئية

للكيمياء الضوئية دور حيوى فى تاريخ تكوين الأرض، قبل ظهور الحياة من زمن طويل. فالفضاء بطبيعته كتلة بركانية تكوينه من الميثان وثنائى أكسيد الكربون والماء والنروجين، وطول موجى قصير جدا لضوء فوق البنفسجى قادم من الشمس يفكك تلك الجزيئات إلى شقوق نشطة جدا وبناءا عليه تكوين كمية قليلة من الأوكسوجين والأوزون ولكن ظل ثابتا عند تركيزات منخفضة بواسطة تلك الشقوق النشطة ولمعرفة التتابع للأحداث المتواترة يكون التأمل ضروريا. لكن تبدوا كما يلى: أولا، ارتبطت تلك الشقوق لتعطى مركبات بسيطة، هذه المركبات قد ذابت فى البحر وبتفاعل ضوئى إضافى تكونت الأحماض الأمينية إلى آخر تلك الأحماض، ثم تكونت البلمرات (عديدة الجزيئات)، وتكونت المادة الغراونية.

وبعد فترة هائلة من الزمن تكونت الخلايا الأولية التى خرجت من الغرويات وتورطت فى تخمر لا هوائى وتزاوجت فى عمليات بناء البروتوبلازما اللاهوائية لإعادة إنتاجها نفسها واستهلاك جزيئات أخرى متاحة، ثم ظهرت الأصباغ التى أدت إلى تكوين الكلوروفيل (المادة الخضراء الملونة)- والتى تسمى باليخضور. ثم بدأت الفترة الحرجة تقترب فى التكوين الكونى، تحضير ضوئى لا هوائى أنتج الأوكسوجين اللازم لعملية التخمر والتخمر سيتبدل بالتنفس الأوكسوجينى بأربعين ضعف زيادة عن الطاقة الكيميائية المكتسبة. هذه الأحداث قد حدثت فى سطح ماء ضئيل (من ٥ - ١٠ متر عمق فقط)، حيث الضوء فوق البنفسجى سينتاشى أو يقطع ثم بعد ذلك الضوء المرئى يستطيع الاختراق أو النفاذية لما هو أعمق من ذلك. اللاتناسقية الضوئية للمركبات البيولوجية (المركبات الاحيائية) ربما اقترح أن خلية واحدة قد تكونت فى تلك المرحلة والتى كانت تعتبر الأم لكل التطورات المستقبلية لتلك الحياة.

ومع ذلك مازال الخطر ماكث منتظر الحياة البدائية أو الأولية عند تلك النقطة، حيث الأوزون أحد مكونات الأوكسوجين من أن الأوكسوجين يؤدي إنتاج الكيمياء الضوئية لمركب الأوزون حيث أن مركب الأوزون مضر للكائنات الحية، كما أن وجود الكائنات الحية داخل البحر أو فى العمق لها دور مهم. فمع عملية التنفس الأوكسوجينى داخل البحر ما هى إلا عملية غذاء لتلك الكائنات الحية وللتكاثر السريع، الذى به يؤدي إلى تركيز الأوكسوجين للفضاء أصبح مناسباً. عمليات تكوين الأوزون كانت الآن فى حالة بدء تخليق الأوزون فى الفضاء الخارجى، حيث أن تلك العملية تتطلب فى تكوينها طول موجى

قصير جدا يمتص بواسطة الأوكسوجين ولكن عند تكسيرها يتطلب طول موجى طويل (فوق البنفسجية) لتجعله يخثر البروتينات. وبالتالي فإن طبقة الأوزون تعمل كمنخل للفضاء الخارجى من طبقة الطول الموجى لفق البنفسجية أو أنها منخل أمان لوجود الكائنات الحية على الأرض والطول الموجى  $300 \text{ nm} < \lambda$ . فما يهنا حول إمكانية تأثيرات البيئة من السفن الفضائية التى تحدث خلل فى الفضاء الخارجى (سواء بالنسبة للصواريخ، الطائرات أقمار صناعية) وتؤثر على طبقة الأوزون وهو ما يجعل الموضوع وثيق الصلة. بالقرب من سطح الأرض والتفاعلات الكيميائية الحادثة من نواتج الاحتراق للمركبات السيارة (عادم السيارات) لها دور فعال فى تأكسد المركبات الغازية الأخرى مثل النتروجين والكبريت، وكذلك أبخرة الأيروسولات لها تأثير على الحياة اليومية وهى من الواضح مضرة.

### تأثير التحول الناشئ عن الإشعاع

من المعلوم أن الأحماض الأمينية (البروتينات) والأحماض النيوكليك قد يعتبران هما أساس كيمياء الحياة فالمركبات الحيوية عبارة عن جزئ لجزيئات عالية الوزن الجزيئى ما يقرب من  $10^4$  دالتون وهى المسئولة عن حركة نوالد الحياة نفسها ومن هذه المركبات وهى (DNA) حمض دى أوكس رايبو نيوكليك- وهو المسئول عن حركة النوالد للحياة.

وهو يتكون من أربع مكونات أساسية وهم أدينين - A، جيوانين - G، وثايمين - T وسيتوسين - C وكلهم متصلين بفوسفات السكر السلسلة الرئيسية. وقاعدة الإزدواج تعتبر خاصة ومميزة فى عملية تزاوج الأدينين مع الثايمين (A-T) والجيوانين مع السيتوسين (G-C) والتى تحدد الرابطة الملتوية أو الملتفة الخاصة بالشكل أو بالطبعة أو البصمة.

كل هذه الأمور الأربع (المكونات) تمتص حوالى  $260 \text{ nm}$  فالثايمين والسيتوسين هما الأكثر حساسية للإشعاع. كما يوجد نوعان مهمان لتفاعلات الكيمياء الضوئية ظهرا بالنسبة لقواعد البيرييميدين وهما الهدرة الضوئية والذيمرة الضوئية (عملية التجميع) كما أن التفاعلات فى الأنظمة الحيوية يمكن أن تجرى بواسطة طول موجى قصير أقل من  $300 \text{ nm}$  وهذا التفاعل يحدث داخل الجزيئات بين البروتينات والأحماض النيوكليك.

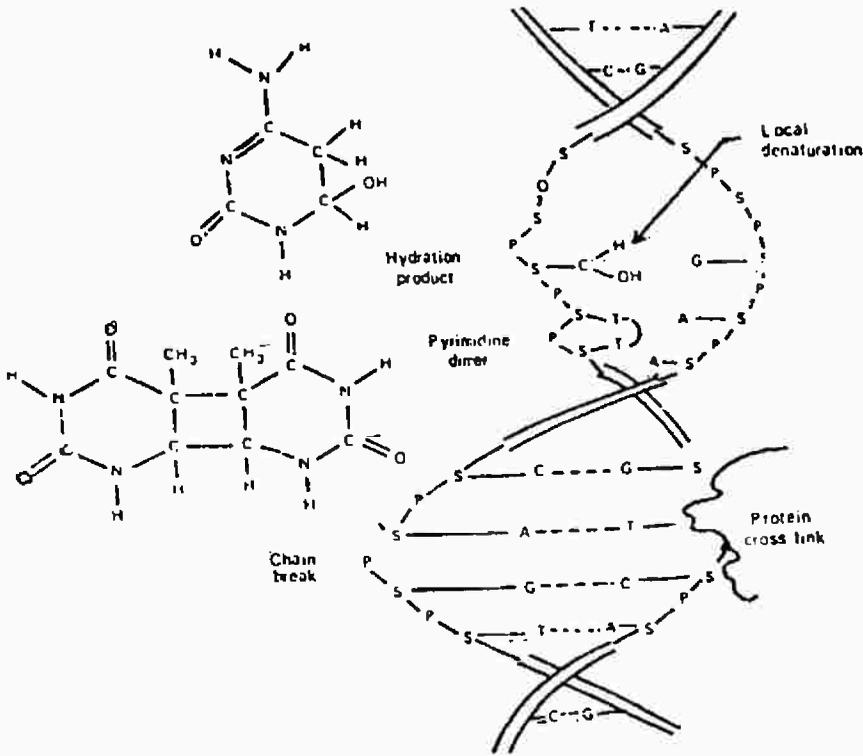
كما أن الهدرة الضوئية تحدث تقريبا عند المواضع  $6,5$  لقاعدة البيرييميدين لتعطى مركب- هيدرو- ٦- هيدروكسى. السيتوسين والليكوسيدات المختلفة بسرعة له تتهدرد ضوئيا فى المحلول المائى كما اكتشف من اختفاء قيمة عند  $260 \text{ nm}$  وظهور قمة

أخرى جديدة عند 240 nm. وبالتسخين يعاد الجزئ مرة أخرى إلى أصله وذلك بفقد جزئ الماء.

تحدث التجمعة الضوئية بين البيريبيدين عندما يتراكم في شكل هندسى مناسب فى جزئ دى إن إيه الحلزونى. كما أن مركب الثايمين هو الأفضل والمناسب لعملية التجمع الثنائى الضوئى حيث أن حدوثه عند 280 nm كما أن التفاعلات تلك يمكن أن تكون عكسية عند 240 nm.

هذه التفاعلات الضوئية المعطاة بواسطة الضوء فوق البنفسجى يمنع رابطة

الأيدروجين بين قاعدة الأزواج التى تعتبر الأساس لتوالد الحياة. شكل (١).



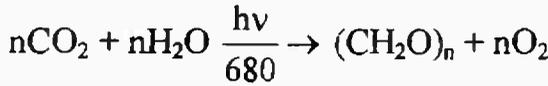
شكل (١): التفاعلات الضوئية فى مركب DNA الحلزونى.

### التركيبات الضوئية:

التحضيرات أو التخليقات الضوئية فى النباتات هى عبارة عن إستمالة ضوئية لتفاعل انتقال إلكترون. جزيئات اليخضور فى النباتات الخضراء ما هى إلا جزيئات الحصد للضوء. ويساعدها فى ذلك بواسطة الصبغة الجرزانية ( أحد مجموعة أصباغ حمراء وصفراء شبيهة كيميائيا بالكاروتين) Carotenoids والفيكوسيانين Phycocyanins فى هذا الفعل هذه الجزيئات السابقة لها امتصاص فى المنطقة المرئية لتغطى كل منطقة الطيف من الضوء الأزرق إلى الأحمر. والطاقة الممتصة بواسطة هذه

الجزيئات ستتحوّل إلى الكلوروفيل a, (chl a) والكلوروفيل b. أيضا يحول طاقته إلى الكلوروفيل a حيث يوجد له قمتين واحدة في منطقة أزرق-بنفسجي والآخر في المنطقة الحمراء لطول موجي 448 nm و 680 nm على التوالي. في داخله يشع فلورسنس أحمر  $\lambda = 680 \text{ nm}$  هذا يشير أن الجزيئات الأخرى تنقل الطاقة الإثارية إلى الكلوروفيل a عملية التحضير الضوئية تستخدم طاقة كم منخفضة مقابلة للضوء الأحمر فقط وهذا يعني أن كفاءة الفلورسنس للكلوروفيل (a) تساوي 0.3 وهذا بالنسبة من الداخل، لكن بالنسبة من الخارج الجزيئات قد يختزل كثيرا وكل هذا أيضا له تأثير على اختزال في كفاءة الفلورسنس  $\phi$ .

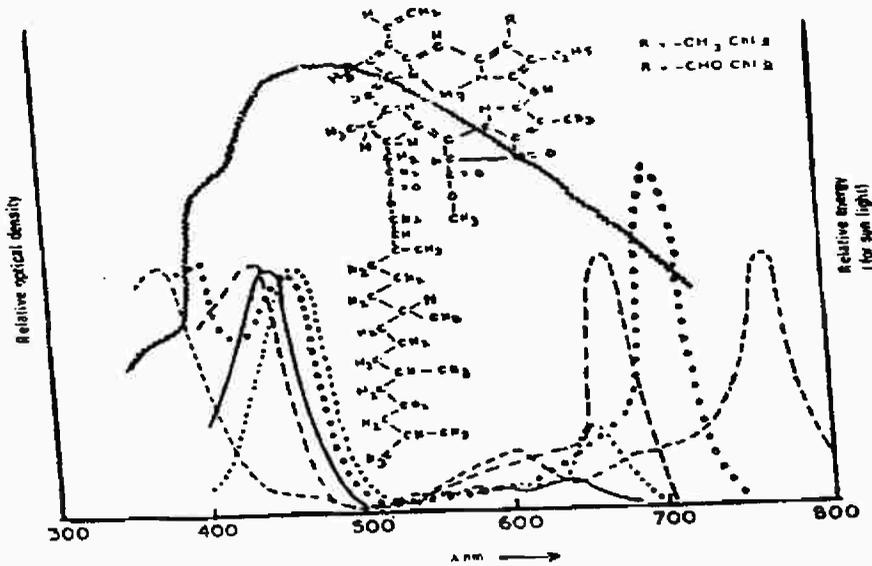
محصلة التفاعل لعملية التحضير الضوئي في النبات كما يلي:



كما أن الطاقة في الحالة الأولى للمنطقة الحمراء تساوي 45 ك سعر حراري ولكن الطاقة الكلية الحقيقية لاختزال واحد مول لثاني أكسيد الكربون إلى الكربوهيدرات 12 ك سعر حراري. وهذا يبين أن ميكانيكية الاختزال لثاني أكسيد الكربون شديدة التعقيد وهذا ما نراه في التفاعل التالي:



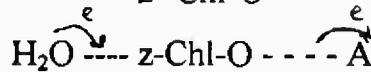
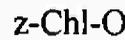
واختزال ثاني أكسيد الكربون إلى الكربوهيدرات تفاعل مظلم ويحدث في عدة خطوات إنزيمية.



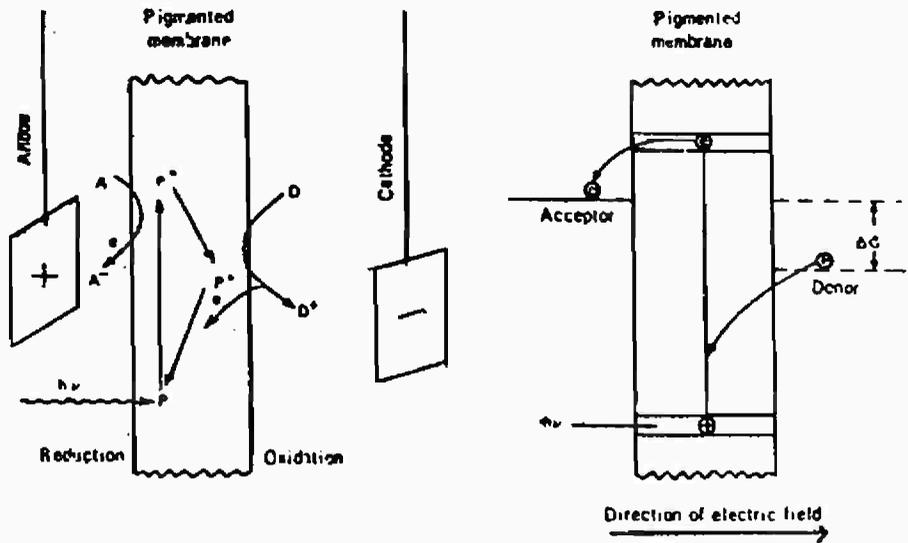
شكل (2): جزيئات الكلوروفيل وظيف الامتصاص للصبغات.

يحدث التحضير الضوئية في النبات في أغشية لها تركيب من عدة رقائق، عديدة الميكرن في أبعاد طولية متراصه في كومة في الورقة الخضراء الكلوروفيل كما توجد عدة مناطق عالية الكثافة والتي تعرف (grana) وتختلف عن (stroma). والغشاء يتكون من متراكبات معقدة للدهون والأصبغ والبروتينات. ويشترط وجود جهد تدرجي لانتقال إلكترون يمر خلال الغشاء من PSII إلى PSI [Photosystem II، Photosystem I] على الترتيب. والازدواجية ليست مواد كيميائية ولكن حالة كيمياء كهربية. الفصل الفيزيائي للإلكترون السالب (-) وفجوة الموجب (+) أو المؤكسد سيحضر حول الغشاء لمنع إعادة التركيب للخلف.

الغشاء



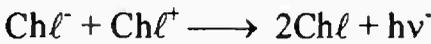
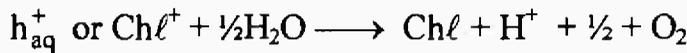
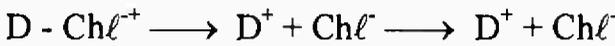
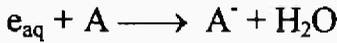
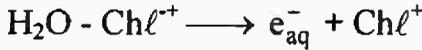
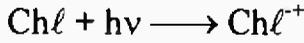
أكسدة جزئ الكلوروفيل  $\text{Ch}^{\ell+}$  بفجوة موجبة (+) تنشئ عامل قوى ويجب أن يكون قادرا لأكسدة المركبات بجهد عال ملائم شكل ٣.



شكل (٣): مجسم لغشاء إلكترون في تفاعل تحضير ضوئي حلقة بمستقبل (A) وماتح D على جانبي الغشاء.

خلية الكهروضوئية الكيمائية يمكن أن تتركب وذلك يوضع قطبين أحدهما مؤكسد والآخر مختزل على جانبي الغشاء بإتمام الخلية بواسطة وسيلة مناسبة، تيار ضوئي سيتولد بإثارة الغشاء بواسطة طاقة ضوئية.

والنتابع التالي للتفاعلات الابتدائية بواسطة الضوء يمكن تلخيصها فيما يلي:



تشير Chl التحضير الضوئي للصبغة (+ -) عبارة عن فجوة زوج الإلكترون أو الإلكترون النشط exciton،  $e_{\text{aq}}^-$  الإلكترون المهرد،  $h_{\text{aq}}^+$  الفجوة المهردة ( $\text{A}^- = \text{Chl}^+$ ،  $\text{D}^+ = \text{Chl}^{\cdot-}$  - انتقال المتراكبات المشحونة بالإلكترونات مستقبلة (A) والإلكترون المانح D على التوالي وآخر خطوة هي المسئولة لعملية الانبعاث من خلية الكلوروفيل.

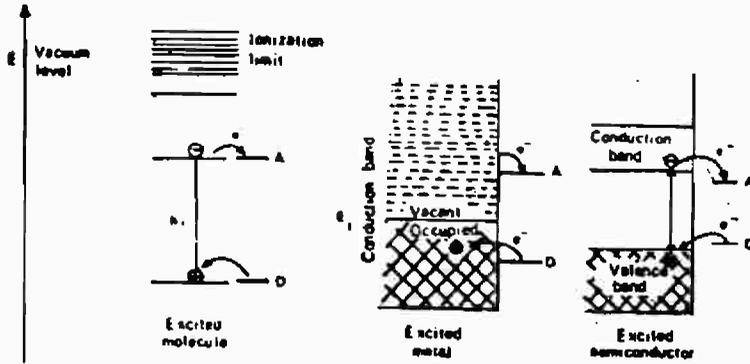
**الكيمياء الكهربائية الضوئية لتفاعلات الأكسدة والاختزال للحالة النشطة:**

من الأنسب دراسة طاقة الأكسدة- الاختزال في المحاليل وذلك بواسطة توزيع النظام في الخلية الكهروكيميائية بحيث أي انتقال من جزئ مشحون أو مثار إلى الصلب يعتبر مكافئ لتفاعل القطب والذي يعرف بتفاعل الأكسدة- الاختزال للجزئ المثار العملية الأنودية وهو القطب الباحث عن الشحنة السالبة تسير بواسطة انتقال إلكترون من الجزئ المثار إلى القطب الصلب. والعملية الكاثودية. وهو القطب الباحث عن الشحنة الموجبة وتسير بواسطة انتقال من القطب الصلب إلى الجزئ المثار أو النشط. مثل تلك التفاعلات القطبية والنشطة إلكترونياً تعتبر صعب الملاحظة مع تلك المعادن القطبية وذلك لسببين أولهما: عملية انتقال الطاقة إلى المعدن ربما تعمل كتقنية إطفاء.

ثانيها: عملية انتقال الإلكترون في اتجاه واحد تعوض في الحال بواسطة انتقال انعكاسي. لكن يجب اتخاذ أقطاب شبه موصلة أو عازلة وذلك لتجنب مثل هذه العمليات شكل (٤)

يمثل مستويات الطاقة والحزم في الجزيئات، والمعادن وأشباه الموصلات لفهم هذه الحقائق.

تشير ميكانيكية الكم للذرات المعزولة أن مجموعة من مستويات الطاقة حيث الأقل انخفاضا من تلك المجموعة في مستوى الطاقة يتبع مبدأ عدم التأكد لباولي- فبواسطة طاقة مناسبة لحدوث إثارة مما يؤدي إلى انتقال إلكترون من مدار أقل طاقة إلى أعلى من مستويات الطاقة غير حامل للإلكترون. وبالنسبة في المواد الصلبة، حدوث الطاقة للمستويات على هيئة حزم ضوئية لأن التقارب في الغلق بين الذرات أو الأيونات مثبتة عند نقاط شبكة مستويات الطاقة للأيونات المستقلة التفاعلية لتعطي  $N$  حيث تكون حزم طاقة تفاعل لكل من المستويات للطاقة  $s, p, d, f \dots$  etc. وأيضا تعامل الفراغ التلاصق للمستويات بين تلك المستويات. ففي المعادن تكون حزم هذه الحزم تتداخل مثل تلك المحيطة بالإلكترونات والمستويات الفارغة تعمل في حالة تبادلية مع الآخر. وعليه في وجود مجال كهربائي يمكن أن يمر التيار بواسطة تحرك حراري للإلكترونات إلى المستويات غير المحيطة. على الناحية الأخرى الأصلاب غير العضوية تعتبر عازلة وذلك بسبب الاحتلال الكامل وهذا يعني مثلا وجود رابطة تكافؤ ومفرغة (حزمة توصيل) حزم الطاقة تكون معزولة أو منفصلة بمانع طوق. فعند حرارة معتدلة تكون الطاقة غير كافية لنقل الإلكترون أو الطاقة الحرارية غير كافية لزعزعة الإلكترونات إلى حزمة الاتصال من حزمة التكافؤ المحيطة.

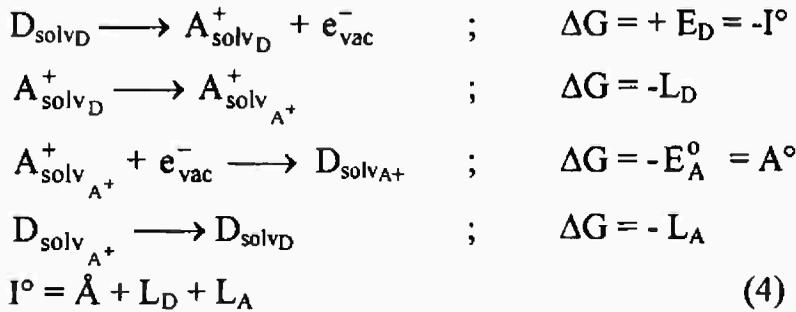


شكل (٤): يبين مستويات الطاقة والحزم في الجزيئات والمعادن وأشباه الموصلات.

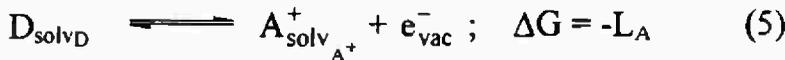
ففي أشباه الموصلات عند إضافة مواد شوائب حيث توضع مستويات طاقة خلال هذا الفراغ لهذه الطاقة أما تحت حزمة الاتصالية (نوع-  $n$ ) أو على الأقل أعلى من

المستوى (نوع- p) وفي هذه الحالة الاتصالية الضوئية طاقة الفراغ تستطيع عمل قنطرة بواسطة الإثارة الضوئية، زحزحة الإلكترون إلى حزمة الاتصالية تاركة في الخلف وراءها شحنة موجبة.

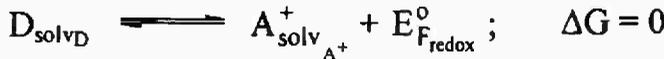
ففي الاتصالية الضوئية (نوع- n) الشحنات الحاملة إلكترونات سالبة وفي الاتصالية الضوئية (نوع- π) تكتسب المستويات الشائبة إلكترون من حزمة التكافؤ حاقنة فجوة موجبة في الحزمة، وعليه لتلك الشحنات الحاملة فجوات موجبة وتؤدي إلى الزحزحة تجاه القطب السالب وذلك بواسطة اكتساب إلكترون من المجاور والفجوة الناشئة في الجار، تكتسب مرة أخرى إلكترون من الجار الآخر وهكذا بالتتابع وسرعة الإلكترون كبيرة جدا تقريبا  $10^{-12}$  ثانية، وتتبع- فرانك- كوندون مبدأ تحويل الطاقة خصوصية الطاقات للمانح- المستقبل الذي يمكن أن يوصف في الشكل (٥) بناء على أخذ أحد الأقطاب كمرجع مثل الأقطاب القياسية حيث (E = 0)



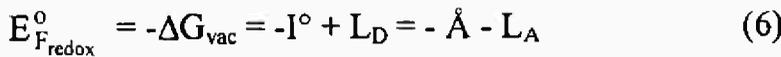
حيث تمثل  $i$ - جهد التأين للمانح،  $\dot{A}$  - الميل الإلكتروني للمستقبل  $L_D$ ،  $L_A$ ، إعادة التنظيم للغلاف المماه على الترتيب. إذا تفاعل الأكسدة والاختزال مع انتقال إلكترون لمستوى الفراغ تحت عوامل إتران حرارى يمكن ايجاده كما يلي:



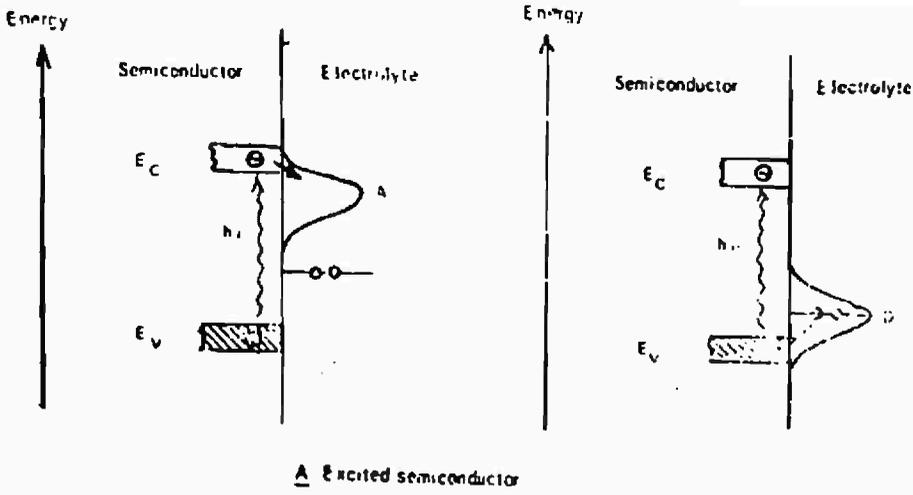
ولو أن الإلكترون القادم من الفراغ يذهب إلى مستوى الطاقة  $\Delta G^\circ$  حيث يحدث إتران موضعى بطاقة حرة  $\Delta G^\circ = 0$  وطاقة الوضع للأقطاب الاتزانى سوف ستعطى بواسطة هذه العلاقة:



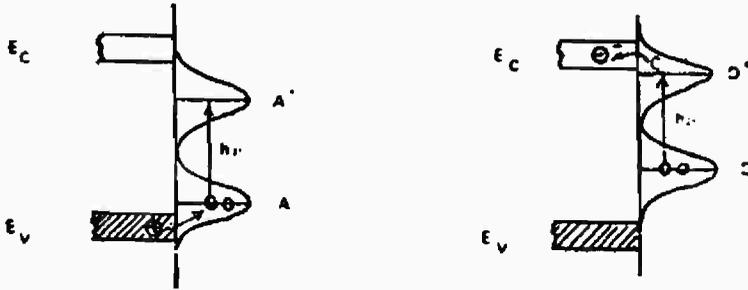
حيث  $E_{\text{redox}}$  - مستوى فيرمى- المستوى الملى للمعدن. الجهد الكيميائى للإلكترون فى المعدن  $E_{\text{F}_{\text{redox}}}^\circ$  من الشكل (٥).







**A** Excited semiconductor



**B** Excited donor - acceptor in solution

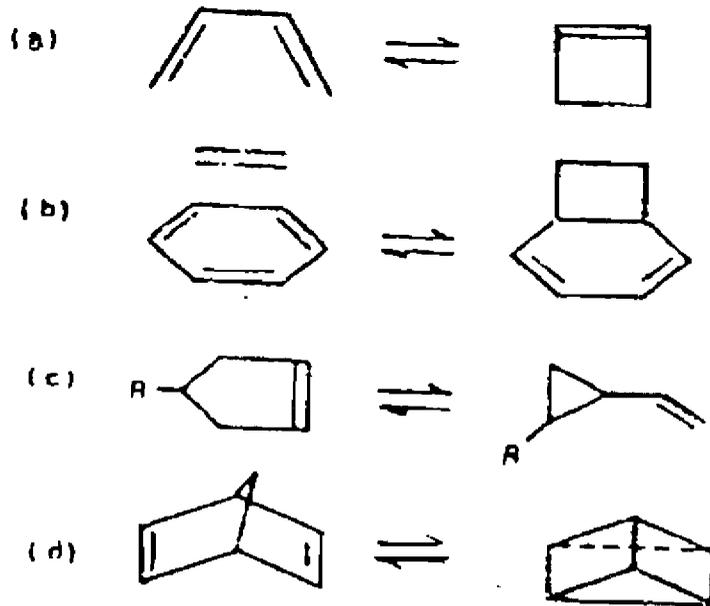
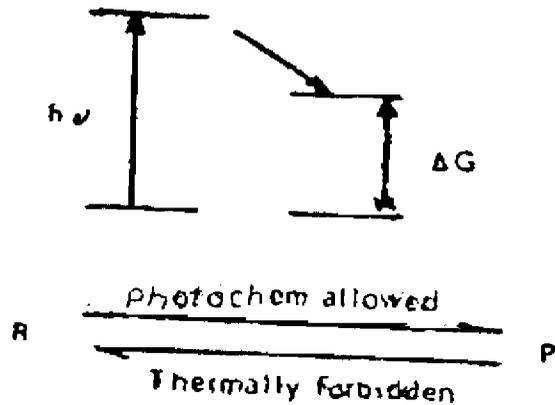
شكل (٦): الطاقات الإلكترونية للأكسدة والاختزال في محلول موصل بشبه موصل (قطب أ) - شبه موصل إثارة ضوئية: حقن إلكترون إلى المحلول، حقن فراغ. ب- متاح أو مستقبل إثارة ضوئية في المحلول: حقن فراغ حقن إلكترون إلى القطب المشبع الكالوميل.

### تحويل وتخزين الطاقة الشمسية:

التحضير الضوئي لغشاء النبات الأخضر يشابه القطب شبه الموصل من ذلك يمكن فصل الشحنات المحمولة الموجبة والسالبة. هذا التصور سيؤكد بواسطة القياسات المباشرة على سلامة الخلية الخضراء التي توضح تأثير الحجرة على الوهج في وجود المجال المغناطيسي، حيث ينتج شحنات مختلفة أحدها موجب والآخر سالب لها فترة عمر مختلفة وحركية مختلفة وسعة الغشاء لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية في التفاعل الداخلي للطاقة في حلقة تحضير ضوئية، التي تعتبر حافز مهم لتلك الأنظمة النموذجية للتخزين ووسيلة للطاقة الشمسية للتحويل المباشر لضوء الكم. في التحضير

الضوئي للطاقة الشمسية يخزن في ناتجين الأول الكربوهيدرات والأكسوجين، حيث الطاقة ستخرج عند حرق الكربوهيدرات في الهواء.

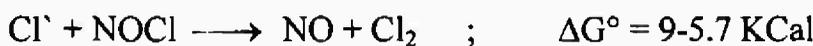
وسيلة تحويل طاقة الكم الشمسية يمكن وضعها على هدفين وهما تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية وذلك بواسطة طاقة تخزين مناسبة أو تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية بواسطة وسيلة طاقة كيميائية كهربية ضوئية مناسبة وتحدث التفاعلات الضوئية للطاقة المخزنة بطاقة حرة ( $+\Delta G$ ) متغيرة ومن هنا غير ثابت حراريا شكل (٧).



شكل (٧) أيسومرة تكافؤ، ب- إضافة حلقية، ج- تأثير سيجما استوائية، د- تحول توربورنا داينين إلى حلقة رباعية.

ولو التفاعل الانعكاسي الحلقى يسمح أو يمنع بإعتبارات أخرى، الطاقة المخزنة تظل ثابتة في النواتج الضوئية. بعض التفاعلات البسيطة المرتبة والتي محكومة بواسطة قاعدة وودوارد- هوفمان التي يمكن استعمالها. (Woodward - Hoffmann rule) هذه القواعد موضوعة على الصفات التماثلية للمدارات الجزيئية العالية الاحتلال (HOMO) وكذلك بالنسبة للمدارات غير المحتلة الأقل (LUMO) للجزيئات الباب الثامن الجزء السادس. والتفاعل الذي يسمح للكيمياء الضوئية ربما يمنع حراريا.

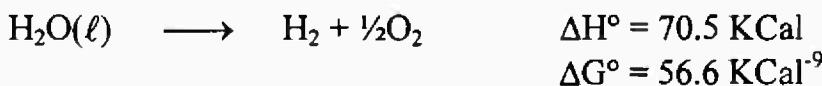
وحدة التفاعلات التفسير الضوئية يمكنها أن تخزن طاقة منفصلة كوقود لنظام ذا كفاءة. فلو كان الناتج غازات، المشكلة تكون سهلة كثيرا بالرغم من فقد لبعض الطاقة الحرة وهذا يعود إلى زيادة في العشوائية فالناتج الثابت يمكن أن يخزن ثم بعد ذلك يسمح للإعادة مرة أخرى فاقتدا طاقة حرارية أو طاقة كهربائية. التفسير الضوئي (NOCI) يحدث بناتج طاقة كم عالية في خطوتين كما يلي:



والناتج يمكن تركيبه ثانيا في خلية الوقود.



التحضير الضوئي لتكسير الماء هو الأهم والذي يحدث بنجاح عمليا وهو تفاعل ماص للحرارة كما يلي:



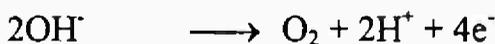
طاقة التكسير الحرارية للماء ١,٢٣ إليكترون فولت. التكسير الكهرو- كيميائي

للماء يتطلب إثنتين من الإلكترونات

عند القطب الكاثود



عند القطب الأنود

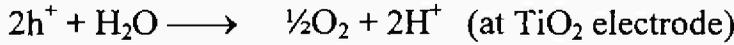
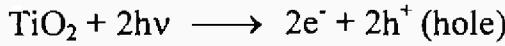


عند تحلل للماء في محلول هيدروكسيد الصوديوم ٠,١ م باستخدام أقطاب شبه

موصلة من أكسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) كقطب أنود والقطب الكاثود- البلاطين فعند القطب

المظلم يخرج الأيدروجين (شكل ٨).

عملية التحلل الضوئي للماء عند الأقطاب:



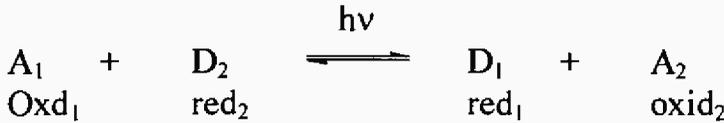
الأكسوجين والهيدروجين يمكن جمعها منفصلين ثم يعاد مرة أخرى في خلية وقود

ليعطى طاقة كهربائية.

وسيلة الكيمياء الكهربائية الضوئية لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية تقتضى

تركيب لبطارية تخضع لشحن دورى وعمليات تفريغ الطاقة الضوئية ستتحوّل إلى طاقة

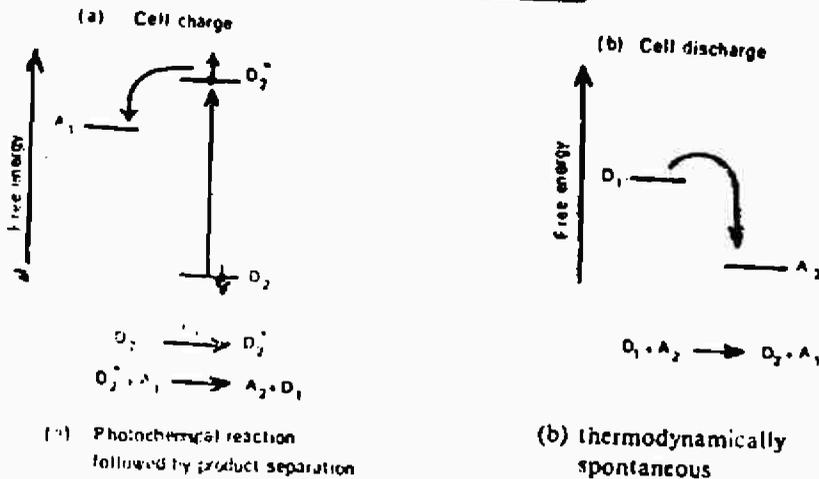
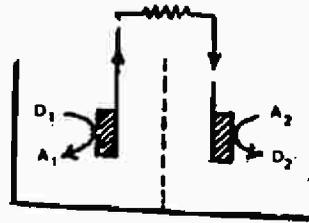
كيميائية وذلك بواسطة الأكسدة-الاختزال مقابل تدرج الجهد شكل (٩).



حيث D، A- شكل الاختزال وشكل الأكسدة على الترتيب لكل من المانح والمستقبل فى

عملية الطاقة الكيميائية التى ستتحوّل إلى طاقة كهربائية وتفقد الخلية شحنتها شكل (٩ب).

وإذا لم يحدث استهلاك.



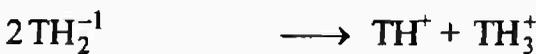
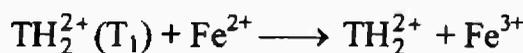
شكل ٩ (أ-ب) تفاعل ضوئى، تفاعل حرارى مستمر على الترتيب.

خلال عملية الشحن والتفريغ الدورية لهذا في الأنظمة المثالية يعتبر النظام دالة أثناء عملية تفريغ البطارية بدون أى فقد لكفاءة البطارية وهذه العملية تعرف بما يسمى بالخلية الضوئية الجلفانية. مثال لتلك العملية هي عملية التبييض الضوئي لمركب الثيونين بواسطة أيون الحديدوز شكل (١٠).

وجود الثيونين- كاتيون عند أس أيديروجيني منخفض ويمكن تمثيله بالرمز  $TH^+$  والتفاعل الكلى.



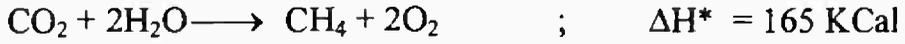
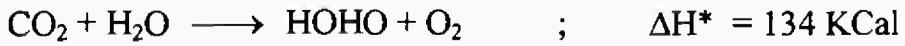
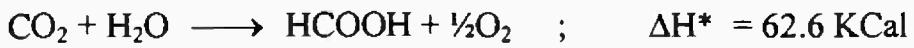
وعملية التفاعلات عند الأقطاب كما يلي:



$TH^+(S_1)$  الحالة الفردية لكاتيون الصبغة  $TH_2^+(T_1)$  الحالة الثلاثية للصبغة الحاملة شحنة موجبة protonated،  $T(H_2^+)$  شبه ثيونين نصف- مختزل شق أيون و  $TH_3^+$  ثيونين عديم اللون.

وسيلة كفاءة الخلية الجلفانية لتحويل الطاقة الشمسية ليست جيدة وذلك بسبب الصعوبات التى تواجه تفاعلات الإعادة مرة أخرى المستمرة. وعلى العموم الخلايا الضوئية- سيكون قد تستخدم بشكل جيد كوسيلة لتحويل كفاءة الكم. وهذه العمليات تحدث دون فقد تفاعلات كيميائية. كما أن التيار الضوئي قد يستخدم لشحن البطارية الشمسية. لهذا فإن السيليكون يعتبر مهم فى اتخاذه لمثل هذه الاستعمالات النقية.

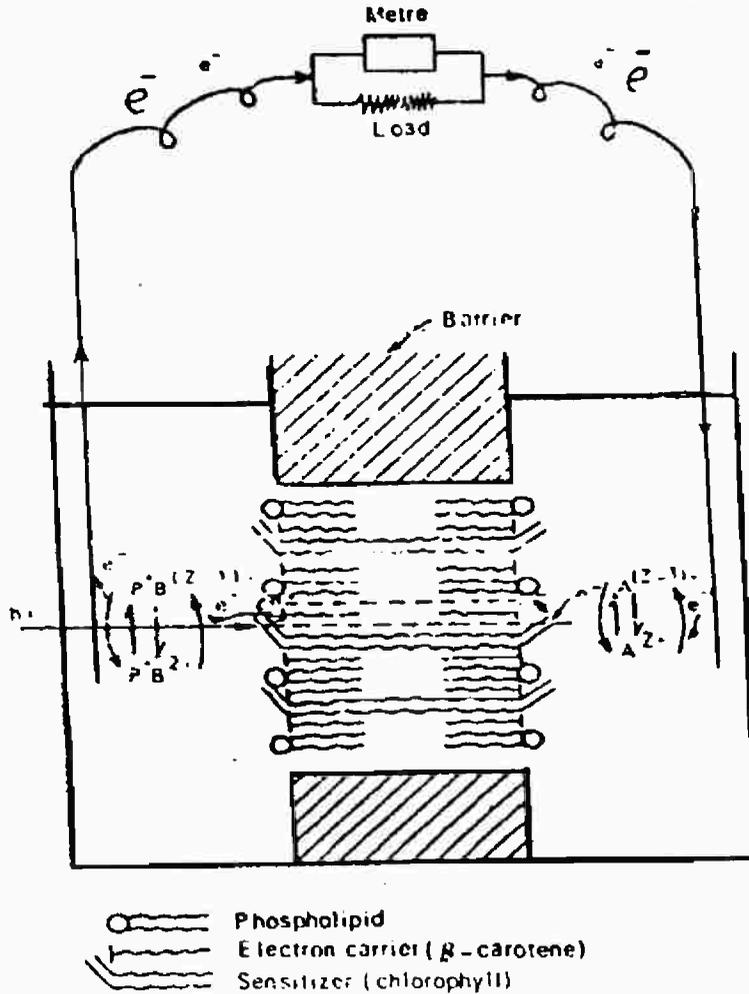
وكثير من التفاعلات تعتبر تفاعلات ماصة للحرارة وإن كانت المواد المتفاعلة واحدة كما يلي:



وناتج هذه التفاعلات تعتبر كوقود مولد للحرارة.

والخلية الموضوعية شكل الأغشية للتحضير الضوئي كما في (شكل ١٠).

يجهز الغشاء ليكون أحادي الاتجاه للإلكترونات للمرور ويمنع الاستمرار ويوجه لإعادة التكوين للعناصر النشطة الضوئية. وهذه العملية تحدث وذلك بواسطة خلية خارجية فقط تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية هذه الأنواع لتلك الأنظمة لمحضرة حيث تعتبر فيما بعد مماثلة كمنبع للطاقة.



شكل (١٠) خلية الأغشية الضوئية.