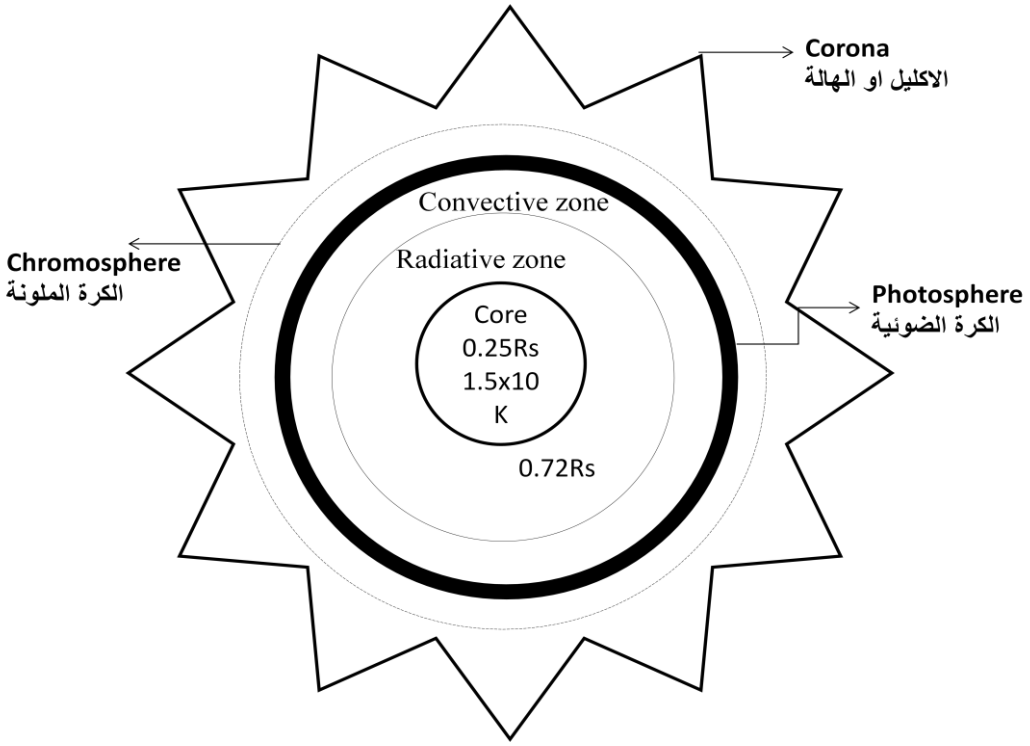
الفصل الثاني : الاشعاع الشمسي

مكونات وتركيب الشمس The Sun Components & Structure

الشمس عبارة عن كرة غازية متهيجة حرارياً بواسطة الاندماج النووي في مركزها . يبلغ قطرالشمس حوالي (696 000 km) أي ما يعادل 109 مرة بقدر قطر الارض،وتبلغ كتلتها حوالي ($1.986x10^{30}kg$) أي ما يعادل 332000 مرة بقدر كتلة الارض، وتشكل كتلة الشمس 99.86% من الكتلة الكلية للنظام الشمسي، ودرجة حرارة سطحها حوالي (6000K). ومكوناتها الاساسية هي الهيدروجين (74.9%) والهليوم (23.8%)والمتبقي يتضمن كميات ضئيلة من بعض العناصر الاخرى كالحديد والسيليكون والنيون والكاربون.



(١) **النواة المركزية Core** : وهي المنطقة التي تقع في مركز الشمس حيث تمتد من مركز الشمس الى 25% من نصف قطر الشمس وهي تتكون من مجموعة من الغازات الواقعة تحت تاثير ضغط عالي (يعادل الضغط 340 مليار مرة الضغط الجوي على سطح البحر في الارض). يتم انتاج معظم الطاقة الحرارية في هذه المنطقة من خلال عملية الاندماج النووي.

الاندماج النووي هو عملية ينتج عنها تكون نواة من اندماج نوى اصغر كتلة منها (كما تتكون نواة الهليوم من نوى الهيدروجين) ليتم انبعاث طاقة كبيرة. تحدث تفاعلات الاندماج النووي عادة في درجات حرارة عالية مما يجعل جميع ذرات المواد المختلفة داخل الشمس متاينة كليا ومكونة غازا مؤينا يحتوي على اعداد من النوى والالكترونات يطلق عليها البلازما. ان حركة النوى في هذا الغاز المؤين وبسرعة عالية يجعلها تتصادم مع بعضها لتندمج محررة طاقة كبيرة جدا.

من اهم تفاعلات الاندماج الاكثر شيوعا في الشمس هي اندماج البروتونات لتكوين الهليوم كالاتي :

اولا: تتحد نواتي ذرتين من الهيدروجين لتكون نواة الديتريوم

ثانيا: يتفاعل الديتريوم مع البروتوبعد 1.4 ثانية فيتكون نظير الهليوم

ثالثا: بعد نحو 10^6 تندمج نواتين من نظير الهليوم لتكوين ذرة الهليوم مع تحرر بروتون مع طاقة

عند انتاج الطاقة في النواة المركزية Core فانها تنساب اشعاعيا الى مسافة $0.72R_s$ وعندها لايكون الاشعاع كافيا لينقل الطاقة جيث يتم نقل الطاقة الى منطقة الفوتوسفير بواسطة تيارات الحمل الحراري . ان سطح الشمس يمتص معظم الطاقة المتولدة من اللب ليبثعثها خارجا كاشعاع جسم اسود تحت درجة حرارة.5778 K

(٢) **الكرة الضوئية Photosphere** وهي الطبقة السفلى للشمس التي تبلغ حرارتها 4300k حيث يبلغ سمكها 500 km وتنطلق منها الاشعاعات الشمسية التي تقع في المنطقة المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي _حيث يصبح ضوء الشمس حرا بالانتقال الى الفضاء بعد هذه المنطقة.

(٣) **الكرة الملونة chromospheres** وهي الطبقة الرقيقة من سطح الشمس المعرضة للفضاء الكوني وهي تعلو منطقة الكرة الملونة واكثر نفاذية منها حيث تكون تبعث اشعة سينية واشعة فوق البنفسجية والراديوية . يبلغ سمكها 2000 k ودركة حرارتها 10^5k

(٤) **الهالة او الاكليل Corona** وهي المنطقة الخارجية للشمس وتمتد الى نحو 1-3 من قطر الشمس خارجا حيث. تكون اشعاعاتها قوية في الاشعة الفوق بنفسجية والراديوية والسينية كيث يرجع ذلك وجود عنصر الجديد الشديد التاين في هذه المنطقة.

دوران الارض حول الشمس

يميل محور الارض بزاوية مقدارها 23.45^0 بعيداً عن العمود بحيث تؤثر دائماً نحو النجمة القطبية (الشمالية). تدور الارض حول الشمس بمدار بيضوي وليس دائري مرة كل 365.25 يوم. ان دوران الارض حول الشمس البيضوي يتسبب في تغير الزاوية المحصورة بين محور الارض والخط الواصل بين الارض والشمس وهي زاوية الانحراف الشمسي δ والتي تعتمد على اليوم من السنة وحسب العلاقة التالية

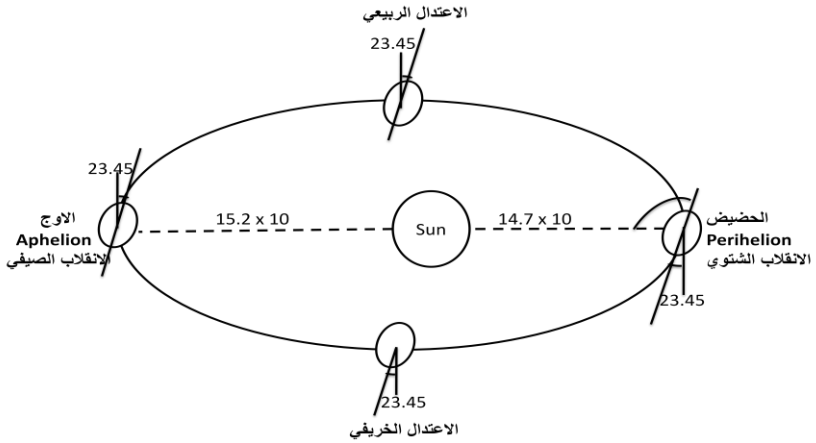
حيث ان n يمثل رقم اليوم من السنة تتراوح قيمته $1 \leq n \geq 365$

ان دوران الارض بالمدار البيضوي يئدي الى تغير بعد الارض عن الشمس على مدار السنة، وهنالك نقطتان مهمتان وهما:

الحضيض Perihelion: وهي نقطة في المدار تكون الارض فيها اقرب مسافة الى الشمس وتحدث في (3-January) وتكون المسافة عند الشمس r=147MKm.

الاوج Aphelion: وهي نقطة في المدار تكون فيها الارض بأبعد نقطة عن الشمس وتحدث خلال الرابع من تموز (4-July) وتكون المسافة عن الشمس r=152MKm.

ويبلغ معدل المسافة بين الارض والشمس 149MKm وتعرف كوحدة فلكية (AU)، والتي تستخدم في حساب المسافات ضمن النظام الشمسي. وعند نقطة الحضيض تميل الارض بعيدا عن الشمس وتكون اقرب الى الشمس بنسبة 4% من نقطة الاوج التي تميل نحو الشمس.

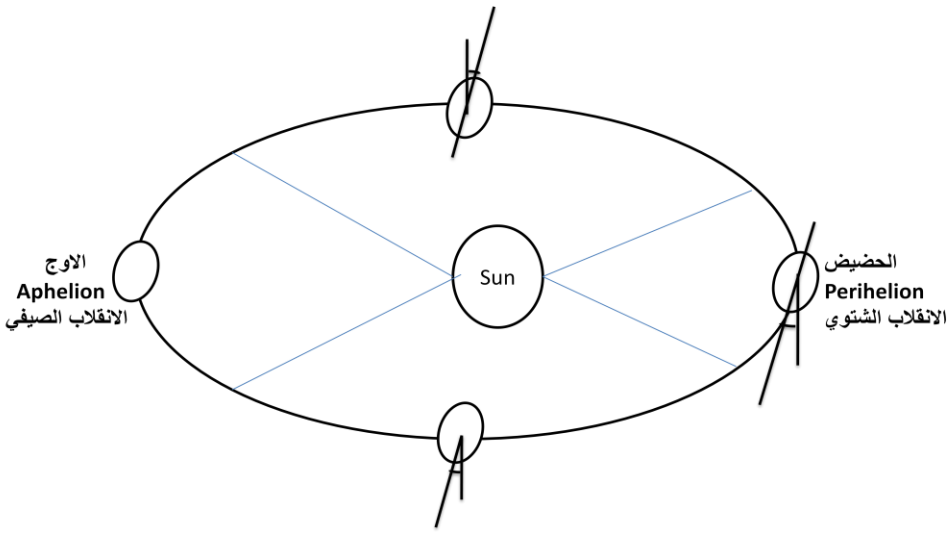


والمسافة بين الارض والشمس (E_o) بوحدات فلكية وبنسبة خطأ عظمى (∓ 0.0001) تعطى بالمعادلة التالية:

$$E_o = 1 + 0.033cos\left(\frac{360n}{365}\right) \ldots\ldots(2.3)$$

سرعة الارض حول الشمس

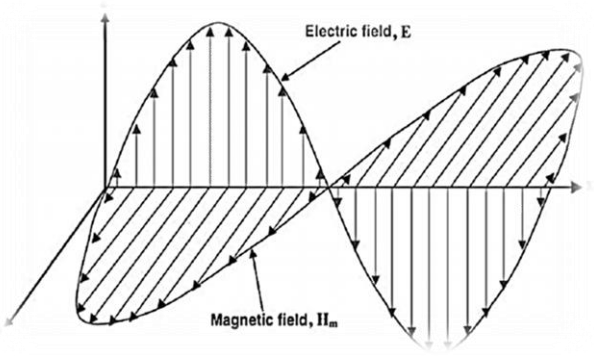
تحقق الارض في دورانها حول الشمس قانون كبلر الثاني (المستقيم الواصل بين الارض والشمس يمسح في الفضاء مساحات متساوية في ازمنة متساوية) وهذا يعني ان سرعة الارض حول الشمس متغيرة. عندما تكون الارض اقرب للشمس فان المستقيم الاقصر يقطع مسارا اطول مما يقطعه المستقيم الاطول ولتساوي المساحات لذا فان سرعة الارض عند الحضيض اكبر من سرعتها عند الاوج.



الاشعاع الشمسي Solar Radiation

تسمى الطاقة الاشعاعية الشمسية الساقطة لوحدة المساحة على سطح افقي على سطح الارض بالإشعاع الشمسي. وتنبعث هذه الاشعة من الشمس بشكل اشعة كهرومغناطيسية ضمن مناطق الاطوال الموجية (فوق البنفسجية، المرئية، وتحت الحمراء) والطول الموجي الاشعاعي الضروري لتطبيقات الطاقة الشمسية يتراوح بين (0.15-3μm) والطول الموجي للمنطقة المرئية يقع (0.38-0.72μm).

وينتشر الاشعاع الكهرومغناطيسي بشكل موجة خلال الفضاء مكونة من مركبتي المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي وهذه المركبتين تتذبذب بزوايا قائمة مع بعضها البعض ولها اتجاه انتشار وطور.



تتميز الموجة الكهرومغناطيسية بطول موجي (λ) وتردد (f) وتنتقل بسرعة الضوء ($c=3x10^8 m/s$)، ويصل الاشعاع الشمسي الى الارض في غضون (8min). وتعتمد طاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي على التردد بموجب معادلة بلانك Planck's Equation:

$$E(eV) = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1.24}{\lambda(\mu m)} \quad \ldots\ldots\ldots (2.6)$$

$h=6.626x10^{-34} J.s$ or $4.135 \mu eV/GHz$, $1eV=1.602x10^{-19} J$

واهم انواع طيف الاشعاع الكهرومغناطيسي هي :

Region	Wavelength range (nm)	Frequency range (Hz
Gamma rays	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{22} - 3 \times 10^{18}$
x-rays	$1 \times 10^{-1} - 10$	$3 \times 10^{18} - 3 \times 10^{16}$
Ultraviolet	$10 - 400$	$3 \times 10^{16} - 7.5 \times 10^{14}$
Visible light	$400 - 800$	$7.5 \times 10^{14} - 3.75 \times 10^{14}$
Infrared	$800 - 1x10^6$	$3.75 \times 10^{14} - 3 \times 10^{11}$
Microwave	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^9$	$3 \times 10^{11} - 3 \times 10^8$
Radio waves	$1 \times 10^9 - 1 \times 10^{13}$	$3 \times 10^8 - 3 \times 10^4$

الثابت الشمسي The Solar Constant

وهي القدرة الاشعاعية الساقطة على وحدة المساحة العمودية على اتجاه الاشعاع وعلى بعد متوسط المسافة بين الارض والشمس، وتعرف ايضاً بإشعاع كتلة الهواء الصفري AM0 radiation.وتبلغ قيمة الثابت الشمسي $1366\ W/m^2$. فتمثل AM0 الطيف القياسي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي . وتكون كفاءة الخلية الشمسية حساسة الى الاختلافات في القدرة والطيف للاشعاع الشمسي الساقط ولجعل المقارنة بين كفاءة الخلايا الشمسية المقاسة دقيقة في مختلف الاوقات والمواقع فيمكن تحديد الطيف القياسي وكثافة القدرة للإشعاع الشمسي على سطح الارض **AM1.5**

التوزيع الطيفي الشمسي

ينبعث من الاجسام الساخنة عادة اشعاع كهرومغناطيسي بتوزيع طيفي من الاطوال الموجية المختلفة تحدده درجة حرارة الجسم. ويتبع التوزيع الطيفي للإشعاع المنبعث من الجسم الاسود قانون بلاك للإشعاع، القدرة المشعة الطيفية المنبعث من الجسم الاسود في كل الاطوال الموجية ($E_{b\lambda}$) وفي درجة حرارة T هي:

$$E_{b\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5(e^{C_2/\lambda T}-1)} \quad \text{.....(2.8)}$$

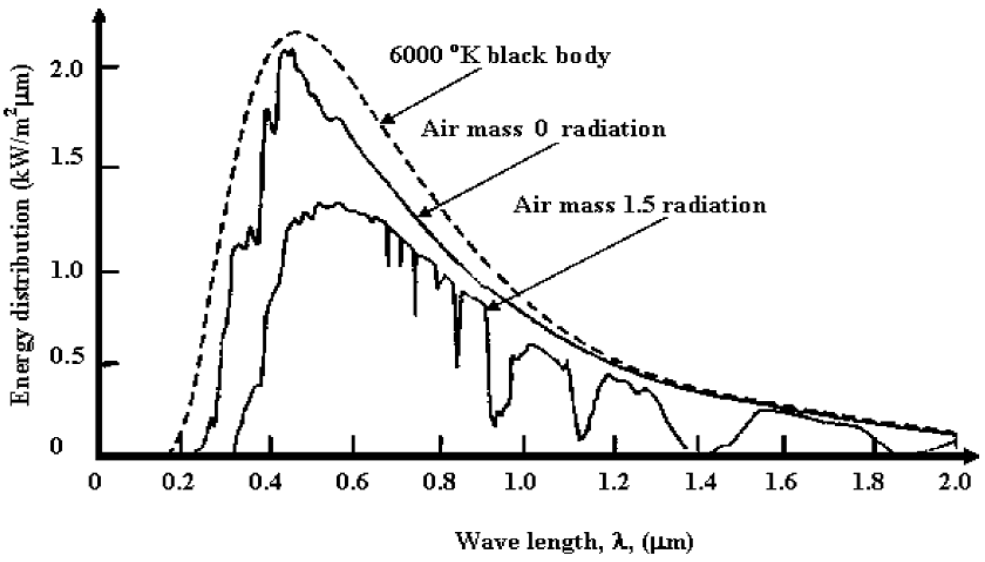
$E_{b\lambda}\ in\ (W/m2\text{-}\mu m)$, λ in (μm), T in (K)

$C_1 = 2\pi hC^2$=3.74 x10^8(w- $\mu m^4/m^2$)

$C_2 = hc/k$=1.44 x10^4(μm-K)

ثابت بولتزمانC=3x10^8(m/s), k=1.38x10^{-23}(j/K)

فعند تسخين الجسم تتزايد الطاقة الكلية للإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث ويتناقص الطول الموجي عند القيمة العظمى للطاقة. يحتوي طيف الطاقة الشمسية على اطوال موجية قصيرة (الفوق بنفسجية والمرئية) واطوال موجية طويلة (تحت الحمراء). ويكافئ الطيف الشمسي الى الجسم الاسود المثالي Black body في درجة حرارة 6000K. وبعد تأثيرات كل من جزيئات الهواء والغازات الموجودة في الغلاف الجوي والغبار وغيرها التي تولد امتصاص واستطارة وانعكاس للإشعاع الشمسي فالطيف المستلم من قبل سطح الارض يصبح مقداره كما في الشكل.



التوزيع الطيفي لضوء الشمس مبيناً الحالات الاشعاعية AM0,AM1.5 والتوزيع الطيفي المتوقع من الشمس اذا اعتبرت كجسم اسود درجة حرارته 6000k.

ان منحني التوزيع الطيفي لاشعاع AM0 يختلف عن منحنى اشعاع الجسم الاسود المثالي بسبب اختلاف نفاذية محيط الشمس للاطوال الموجية المختلفة.

قانون ازاحة واين Wien's Displacement Law

باشتقاق قانون بلانك نحصل على قانون ازاحة واين، فنشتق القدرة المشعة بالنسبة للطول الموجي وجعله يساوي صفر، وان اعظم طول موجي λmax تكون فيه القدرة المشعة للجسم الاسود يعطى بالمعادلة:

$$\lambda_{max}\, T = 2.89x103(\mu m.k) \ldots\ldots (2.9)$$

ونلاحظ انه عند زيادة درجة حرارة الجسم الاسود فان λmax تنزاح الى الاطوال الموجية القصيرة.

قانون ستيفان بولتزمان Stefan-Boltzmann Law

يعطي قانون بلانك التوزيع الطيفي للإشعاع من الجسم الاسود، لكن تعد الطاقة الكلية اكثر اهمية في الحسابات الهندسية. وبواسطة تكامل قانون بلانك لكل الاطوال الموجية فالطاقة الكلية المنبعثة لوحدة المساحة من قبل الجسم الاسود تعطى بالمعادلة:

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda}\, d\lambda \rightarrow E_b = \sigma T4 \ldots\ldots (2.10)$$

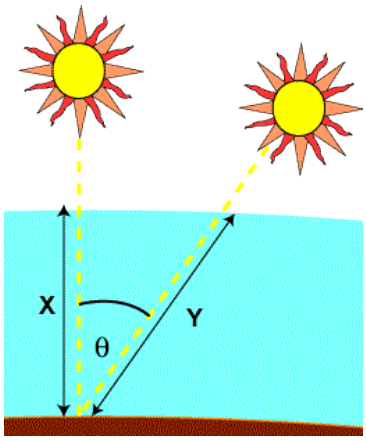
حيث σ هي ثابت ستيفان-بولتزمان وقيمته($5.67x10^{-8} w/m^2k^4$)، وينص قانون ستيفان-بولتزمان على ان القدرة المشعة للجسم الاسود(E_b) تتناسب مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة.

اضاءه الشمس The luminosity of the Sun

هي إجمالي الطاقة المنبعثة لوحدة الزمن التي تشع لجميع ترددات الطيف الشمسي والتي تعطى بالعلاقة التالية

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

الكتلة الهوائية Air Mass



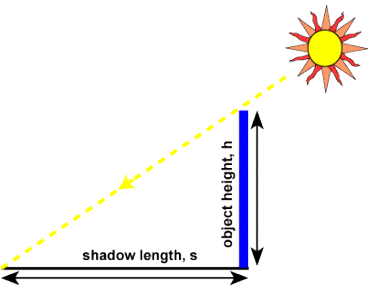
ان طول مسار الضوء خلال الغلاف الجوي يحدد القدرة الكلية الساقطة .

تعرف نسبة طول مسار الضوء المار خلال الغلاف الجوي الى اقصر مسار ممكن (عندما تكون الشمس فوق الراس مباشرة) بالكتلة الهوائية Air mass وهو عامل يحدد القدرة الكلية للضوء الساقط تحت تأثير الغلاف الجوي المار خلاله فضلا عن التأثيرات الاخرى، وعندما تكون الشمس مباشرة فوق الراس يعرف الاشعاع بإشعاع كتلة الهواء

الواحدة AM1 وعندما تكون الشمس بزاوية مع عمود فوق الراس فتعطى الكتلة الهوائية بالعلاقة:

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_z} \quad \ldots\ldots\ldots (2.7)$$

ويمكن تقدير كتلة الهواء عن طريق قياس الظل (s) المتكون لجسم عمودي ذي ارتفاع (h) كما يلي:



$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2} \quad \ldots\ldots\ldots (2.8)$$

وتعتمد حسابات شدة الاشعاع على الكتلة الهوائية لان الشدة المباشرة لضوء الشمس تحدد كدالة لكتلة الهواء بموجب المعادلة التجريبية الاتية:

$$I_D = I_{sc}\ [0.7^{(AM^{0.678})}] \ldots\ldots\ldots (2.9)$$

وتمثل I_D شدة الاشعاع المباشر على المستوي العمودي على اشعة الشمس بوحدات KW/m^2، و S الثابت الشمسي ، والعدد0.7 ناشئ من حقيقة ان 70% من الاشعاع الساقط ينفذ الى الارض، والاس 0.678 ثابت تجريبي يعتمد على عدم الانتظامية في طبقات الغلاف الجوي.

العوامل المؤثرة على الاشعاع الشمسي

الاشعاع الشمسي الواصل الى الارض هو اشعاع تم توهينه نتيجة لتعرضه الى ثلاث عمليات هي الامتصاص والاستطارة والانعكاس من قبل الغازات وبخار الماء والغبار والرذاذ والغيوم.

١. الامتصاص Absorption:

يحدث لامتصاص للإشعاع الشمسي بشكل فعال من قبل الغازات المختلفة الموجودة في الغلاف الجوي (الاوكسجين، ثاني اوكسيد الكاربون، الاوزون، بخار الماء، غاز الميثان، وثاني اوكسيد النيتروجين واوكسيد النيتروز) فتمتص جزءاً من الاطوال الموجية دون اخرى فتمتص هذه الغازات 100% من الاشعاع الشمسي ذي الاطوال الموجية اقل من 0.29µm لذا فان فمقداراً ضئيلاً من الاشعة فوق البنفسجية تخترق الغلاف الجوي وتصل الى الارض.

٢. الاستطارة Scattering:

عندما يصطدم الاشعاع بأحد الجزيئات او الجسيمات العالقة في الغلاف الجوي (جزئيات الهواء، جزيئات الغازات، بخار الماء، الغبار، وغيرها) فانه يستطار ويتشتت في جميع الاتجاهات وهذا الجزء من الاشعاع يسمى بالإشعاع المنتشر Diffusion Radiation. وتعرف هذه الاستطارة باستطارة رايلي Rayleigh Scattering وتحدث عند سقوط الاشعاع الشمسي على جسيمات كروية صغيرة أصغر من الطول الموجي للإشعاع الساقط.

٣. الانعكاس Reflection:

تحدث عملية الانعكاس لجميع الاطوال الموجية للطيف الشمسي حيث ينعكس حوالي 20% من الاشعاع الشمسي الساقط من قبل الغيوم والذي يتناسب طرديا مع سمك السحابة وبحدود 5% من الاشعاع الشمسي من قبل سطح الارض، فضلاً عن الانعكاس من قبل مكونات الغلاف الجوي.

الاشعاع المباشر والاشعاع المنتشرDirect Insolation & Diffusion Insolation

الاشعاع المباشرId: ويعرف بانه الاشعاع الشمسي الذي يصل الارض مباشرة بدون استطارة او انعكاس بسبب مكونات الغلاف الجوي او الغيوم.

الاشعاع المنتشر Idif : وهو الاشعاع الذي يصل الارض من الشمس بعد عمليات الاستطارة والامتصاص والانعكاس من الغيوم او مكونات الغلاف الجوي او اي مواد اخرى.

والاشعاع الشمسي الكلي Global Insolation (I_G) يمثل مجموع الاشعاع المباشر والاشعاع المنتشر.

$$I_G = I_d + I_{dif} \qquad (2.11)$$

الزوايا الشمسية Solar Angles

يتغير موقع الشمس في السماء من يوم الى يوم ومن ساعة الى ساعة، و تستخدم بعض الزوايا الشمسية في وصف موقع الشمس في موقع معين من السماءبالنسبة لسطح افقي على سطح الارض وتحديد التاريخ والوقت ايضاً فضلاً عن عمل حسابات نسبة الاشعاع الشمسي الذي يسقط على الارض عند موقع معين.والزوايا الشمسية هي:

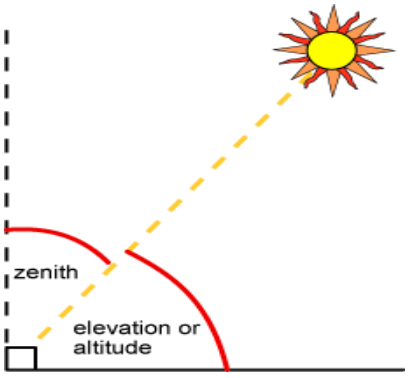
١. زاوية خط العرض Latitude Angle(L) وخط الطول altitude Angle(Ø)
٢. زاوية الانحراف او الميل الشمسي Solar Declination (δ)
٣. زاوية الارتفاع الشمسي Solar Altitude
٤. زاوية فوق الراس الشمسي Solar Zenith Angle
٥. زاوية الزوال (البعد الافقي) الشمسي Solar Azimuth Angle

زاوية خط العرض Latitude Angle وخط الطول Longitude Angle

الزوايا الاساسية الضرورية لتحديد الموقع الجغرافي هي زاوية خط العرض L وزاوية خط الطول φ.

زاوية خط العرض(L) هي المسافة الزاوية المقاسة على طول خط طول من خط الاستواء (الشمال او الجنوب) الى نقطة على سطح الارض. تكون زوايا خط العرض شمال خط الاستواء موجبة وتصل الى اعلى قيمة +90، اما جنوب خط الاستواء تكون سالبة واعلاها 90-، وقيمتها صفر عند خط الاستواء.

زاوية خط الطول (φ) هي المسافة الزاوية من الزوال الاولي (منتصف النهار) خلال غرينتش (الغرب او الشرق) الى نقطة على سطح الارض. تكون زوايا خط الطول غرب الزوال الاولي موجبة، تكون زوايا خط الطول شرق الزوال الاوليسالبة.



زاوية الارتفاع الشمسي Solar Altitude or(α)Elevation

تمثل الارتفاع الزاوي لأشعة الشمس المقاسة من الافق. قيمتها 0° وقت شروق الشمس و 90° عندما تكون الشمس عمودية (فوق الراس). وترتبط هذه الزاوية بزاوية سمت الرأس الشمسي Solar Zenith(θ_z) والتي تمثل الارتفاع **الزاوي** لأشعة الشمس المقاسة من العمود أي انها الزاوية التي يصنعها الشعاع الشمسي

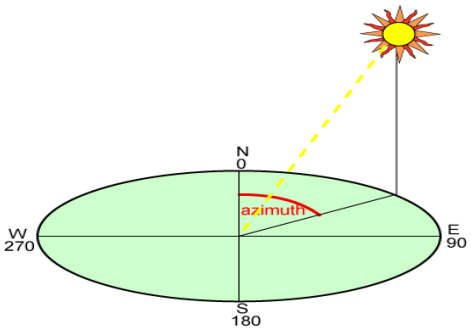
مع العمود المقام على السطح الافقي. والعلاقة التي تربط الارتفاع الزاويبزاوية سمت الرأس الشمسي (θ_z)هي

وتكون زاوية الارتفاع الشمسي α في منتصف النهار كدالة بالنسبة لزاوية خط العرض L وزاوية الانحراف δ وحسب موقعها من نصف الكرة الارضية.

L تمثل زاوية خط العرض المحلي، δ وزاوية الانحراف

زاوية الزوال (البعد الافقي) الشمسي Solar Azimuth Angle

هي الزاوية التي يصنعها مسقط الشعاع الشمسي على مستوي سطح افقي مقاسة نسبة للشمال وقيمتها تتراوح بين (0-180°)



زاوية السقوط Incidence angle(θ)

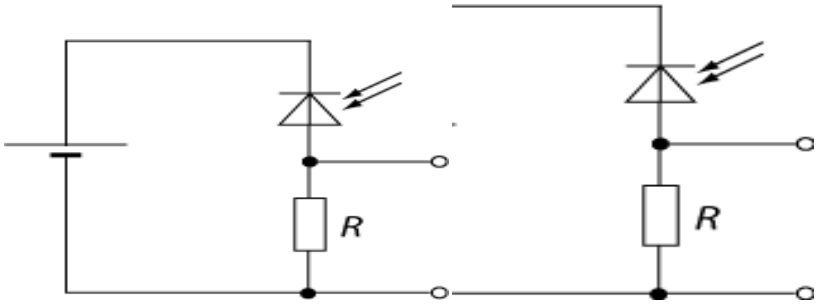
هي الزاوية الواقعة بين أشعة الشمس والعمود على السطح. وللسطح الافقي فان زاوية السقوط هي نفسها زاوية سمت الراس($\theta = \theta_z$)

أجهزة قياس الاشعاع الشمسيSolar Radiation Measuring Equipment

نحتاج الى عدد من بارامترات الاشعاع الشمسي الضرورية لتصميم وتطوير الاداء وبحث تطبيقات الطاقة الشمسية. وهي تتضمن قياسات الاشعاع الشمسي الاساسية قياس مركبات الاشعاع الشمسي (المباشر، المنتشر، والاشعاع الكلي). وتعتمد معظم الاجهزة المستخدمة عموماً لقياس الاشعاع الشمسي على اما التأثير الثرموكهربائي Thermoelectric أو التأثيرالفوتو كهربائيPhotoelectric. فالتأثير الثرموكهربائي يتضمن توليد فولتية بواسطة الاختلاف بدرجة الحرارة عبر وصلتي معدنين مختلفين. اما التأثيرالفوتوفولطائية يتضمن توليد تيار كهربائي بواسطة الضوء.

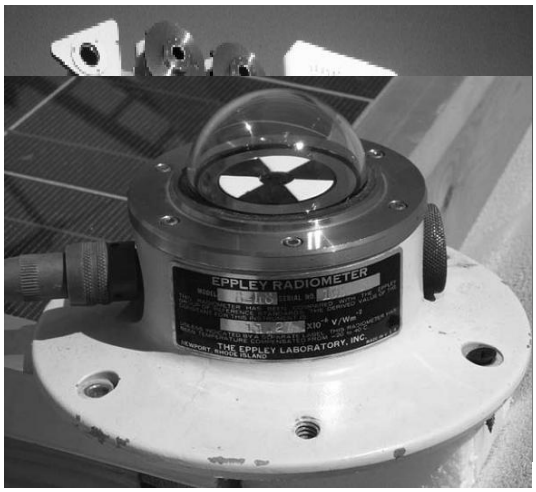
المتحسسات الفوتوفولطائيةPV sensors

وهي متحسسات بسيطة وتمتلك استجابة انية واستقرار جيد، وتعتمد في مبدأ عملها على التأثيرالفوتو كهربائي فيحدث عندما يسقط الاشعاع الشمسي على كاشف متحسس للضوء (المتحسسات الفوتوفولطائيةPV sensors)، فتمتص الذرات في الكاشف بعضاً من طاقة الفوتون، في هذه الحالة المتهيجة التي قد تُنتج فقط بواسطة الضوء في مدى معين من الاطوال الموجية عندها سوف تطلق الذرات الالكترونات التي يمكن ان تنحدر خلال موصل لا نتاج التيار الكهربائي. وتكون قراءة التيار المسجلة نسبة الى شدة الاشعاع الشمسي الساقط على الكاشف. وان العائق الرئيسي لهذه المتحسسات هو عدم انتظام استجابتها الطيفية في حزمة الشمس.



البايرهليوميترPyrheliometer

وهو جهاز يقيس الاشعاع المباشر كدالة لزاوية السقوط. ويعتمد عمل هذا الجهاز على التسخين الحراري الذي يقاس بواسطة الثرموبايل متعدد الوصلةMulti-Junction Thermopileوالذي يعتمد على مبدأ التأثير الثرموكهربائي. وينجز التأثير الثرموكهربائي باستخدام الثرموبايل الذي يتكون من مجموعة من المزدوجات الحرارية Thermocouples التي تتكون من مجموعة من المعادن المختلفة المترابطة مع بعضها البعض ميكانيكياً (وهي عبارة عن وصلتين وصلة حارة والوصلة باردة)، فهي تنتج تيار كهربائي صغير نسبة الى درجة حرارتها. فترتبط كمية الاشعاع الشمسي بدرجة الحرارة المرتفعة المنجزة بواسطة الوصلة الحارة والقوى الكهرومغناطيسية المتولدة. وتكون الاستجابة خطية ومعايرة لكي يمكن تحويل الفولتية الناتجة الى فيض مشع.



البايرانوميترPyranometer

ويتعمد مبدأ عمل هذا الجهاز على التأثير الثرموكهربائي. وتوضع حلقة تضليل في طريق سقوط الاشعاع المباشر والمنتشر على الجهاز لحجب الاشعاع المباشر الساقط على العنصر الحساس (المجس) فيقاس فقط الاشعاع المنتشر. بعد ذلك يسمح للإشعاع الشمسي بالسقوط على سطح اسود حيث يوضع الطرف الحار للثرموبايل بينما يوضع الطرف البارد بطريقة معينة تضمن عدم تأثره بالأشعة الشمسية فيقاس الجهد الناتج.

وتوجد انواع من البايرانوميتر هي:

1. ابلي بايرانوميتر Epply Pyranometer.
2. مقياس يلوت (الخلية الفوتوفولطائية) Yellot-Solarimeter
3. مقياس مول(الخلية الفوتوفولطائية) Moll-Solarimeter
4. البايرانوميتر الثرموكهربائي Thermoelectric Pyranometer

الفصل الثالث :التحويل المباشر للطاقة الشمسية

Direct Conversion of Solar Energy

مقدمة

ان تحويل ضوء الشمس الى طاقة كهربائية يتم بواسطة الظاهرة الفوتوفولطائية وتعرف الظاهرة الفوتوفولطائية على انها توليد قوة دافعة كهربائية، Photovoltaic Effect نتيجة امتصاص الضوء، وان اجهزة تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية بواسطة الظاهرة، PV Cell واحياناً بالخلايا الفوتوفولطائية Solar Cell الفوتوفولطائية تسمى بالخلايا الشمسية وان الخلايا الشمسية المفردة قد تجمع على التوالي او التوازي لزيادة القدرة الخارجة وتسمى المصفوفة الشمسية Solar Arrayاو بالألواح الشمسية Solar Panels.

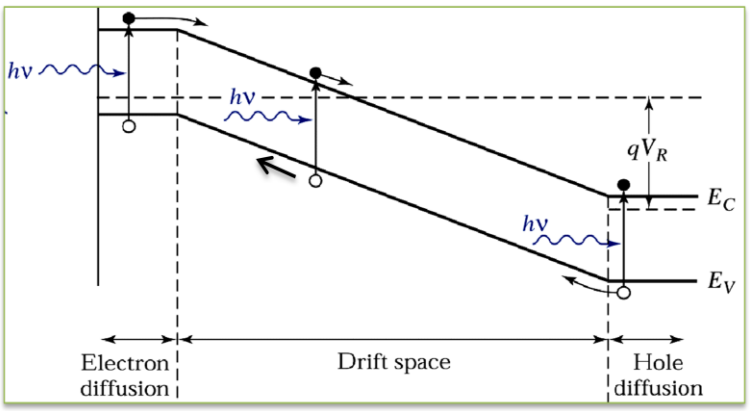
الخلايا الشمسية Solar Cell

مبدأ عمل الخلية الشمسية

ان الظاهرة الفوتوفولطائية يمكن مشاهدتها في اغلب المواد الموجودة في الطبيعة ولكن المواد التي تمتلك افضل أداء في ضوء الشمس هي اشباه الموصلات .ان امتصاص الفوتون من قبل شبه الموصل يولد الكترونات حرة بطاقة اعلى من طاقات ارتباط هذه الالكترونات مع المادة .لكي يستفاد من الالكترونات المتولدة يجب ان يكون هناك مجال كهربائي لسحب الكترونات ذات الطاقة العالية للانسياب خارج شبه الموصل لإنجاز شغل مفيد، ان المجال الكهربائي يتولد بواسطة الخلية مصنوعة من مواد تمتلك خواص كهربائية الشمسية والتي هي عبارة عن وصلة مختلفة.

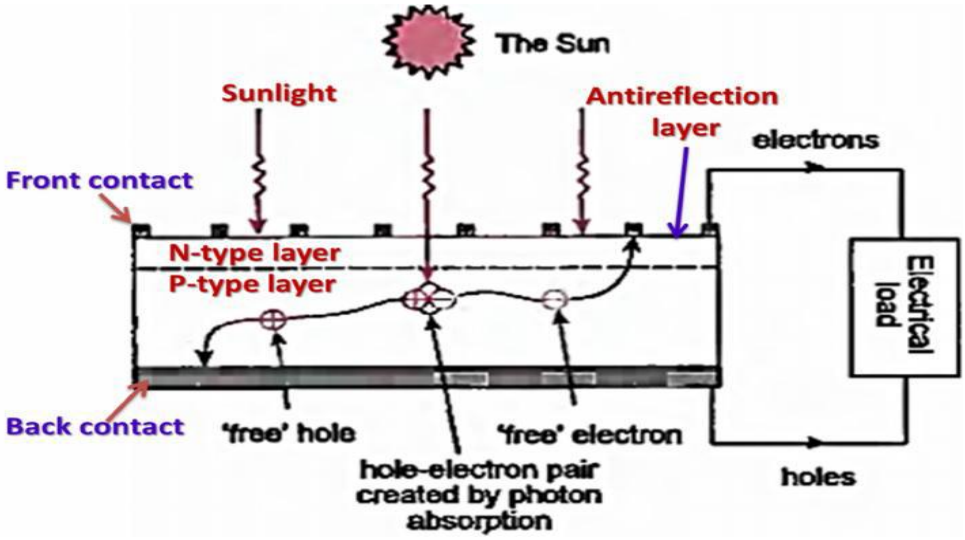
ان الحصول على قدرة خارجة مفيدة من تفاعل الفوتون مع الوصلة يتضمن ثلاث عمليات وهي-:

١. ان الفوتونات الساقطة على الخلية سوف تمتص وتولد زوج الكترون - فجوة اذا كانت طاقة الفوتون الساقط على مادة الخلية اكبر او تساوي طاقة فجوة الطاقة لها ($E_g < h\nu$).
٢. ان ازواج الكترون - فجوة المتولدة بالامتصاص في الجزء الفعال (منطقة الاستنزاف) في الوصلة سوف تفصل موقعيا (بتاثير جهد الوصلة) وتتحرك الى حافات الوصلة (الخلية) بحركة انسياقية Drift Motion اما تلك المتولدة في منطقة n او p فانها ستتحرك باتجاه الوصلة حركة انتشاريةDiffusion Motion (نتيجة للاختلاف في كثافة حاملات الشحنة).
٣. ان حاملات الشحنة سوف تسحب من الخلية لتتجميع على الاقطاب المعدنية وتساق الى الحمل قبل ان تخسر طاقتها



تصنيع الخلية الشمسية

ان الخلية الشمسية تصنع باستخدام المواد شبه الموصلة مثل (**Si,GaAs, GaInP,** Cu(InGa)Se2,CdTe,CdS فمثلاً الخلايا السيليكونية تصنع من بلورة احادية Single Crystal من مادة السيلكون والتي عندم تطعم بشوائب خماسية التكافؤ مثل (P, AS,Sb,..) يصبح شبه الموصل نوعN وعندما تطعم بعناصر ثلاثية التكافؤ (B,Al,In,…)، تصبح شبه موصل نوع P . وهناك طرق كثيرة لتصنيع وصلة PN ومن بينها طريقة الانتشار، حيث توضع قاعدة(بلورة نوع P) في فرن الانتشار والذي يحتوي شائبة من نوع N في الحالة الغازية، ويسمح للشائبة نوع N بالانتشار داخل البلورة مسافة 0.2 µm حيث ان الوصلة تتكون تحت السطح بمسافة قليلة . ان السطح الخلفي يطلى بكامله بطلاء معدني يعمل كقطب لجمع الشحنات المتولدة، اما تجميع الشحنات من القطب الامامي فيتم بعمل شبكة معدنية رقيقة ودقيقة)على شكل اصابع (تغطي 5 % من السطح فقط، وذلك للسماح للضوء الساقط بالوصول الى المنطقة الفعالة في الوصلة.



مخطط تقليدي مبسط لخلية شمسية وتوليد الكترون -فجوة

أنواع الخلايا الشمسيةType Of Solar Cell

تصنف الخلايا الشمسية بعدة طرق منها:

١. الخلايا الشمسية حسب نوع الوصلة

اولا: خلايا وصلة PN وهي مصنعة من اشباه موصلات P-type واخرى N-type

ثانيا: ويوجد نوعين من الخلايا الشمسية المعتمدة على تجانسية الوصلة وهي خلايا شمسية متجانسة الوصلة Homojunction Solar Cell ويكون طرفاها من نفس شبه الموصل وخلايا شمسية غير متجانسة الوصلة Hetrojunction Solar Cell ويكون طرفاها من مادتين مختلفتين CdS/Cu_2S .

ثالثا: خلايا وصلة شوتكي Schottky Diode وتتألف من شبه موصل ومعدن وتصنع بترسيب طبقة رقيقة من موصل معدني (Al ,Pt) على شبه موصل نوع P او N .

رابعا: خلايا شبه موصل -عازل -معدن MIS وهي نفس خلايا شوتكي ما عدا اضافة طبقة رقيقةعازلة سمكها

(0.1-0.3µm) ترسب بين المعدن وشبه الموصل .

خامسا: خلايا سائل -شبه موصل Photoelectrochemical Cell وهي تصنع من اشباه.موصلات موضوعة في محاليل الكتروليتية وبوجود ضوء الشمس يحدث تفاعل كيميائي داخل الخلية وينتج عنه تيار كهربائي.

٢. الخلايا الشمسية حسب تركيب المواد

اولا: الخلايا الشمسية احادية التبلور مثل Crystal cells Si, GaAs

ثانيا: الخلايا الشمسية متعددة التبلور Polycrystalline cells او غير متبلورة Amorphous cells

ثالثا: الخلايا الشمسية المصنعة من مواد عضوية وهي خلايا شمسية صبغية DSSC،خلايا شمسية عضوية Organic solar cells ،خلايا شمسية بوليمرية polymer solar cells.

الخلايا الشمسية حسب التطور التاريخي

1. الجيل الاول :وصنعت من Si عام 1954 م في معامل Bell وكانت كفاءتها حوالي 12 % وتصل كفاءتها النظرية الى 25 %
2. الجيل الثاني : بداية عام 1980 م تم انتاج خلايا شمسية ذات اغشية رقيقة Thin Films Solar Cell مصنعة من مواد غير بلورية تمتاز هذه الخلايا بانها مؤلفة من طبقات صغيرة السمك جداً وكميات قليلة من المواد شبه الموصلة المكلفة، وتصل كفاءتها الى . 10 % والقيمة النظرية هي20 %
3. الجيل الثالث : وهي خلايا شمسية مصنعة من اشباه الموصلات (III-V) ذات الفعالية العالية، واثبتت كفاءتها في رحلات الفضاء لأنها طويلة العمر، وتصل كفاءتها العملية الى 35% والنظرية الى 40 % ، وتصنع من طبقات رقيقة جداً سمكها بالنانومترمن مواد مثل (Ga,In,P,..) وتكون على شكل سلسلة من الخلايا قد يصل عددها الى 144 خلية في السلسلة والواحدة، وتكون هذه الخلايا ذات فجوات طاقة مختلفة، ولذلك تستجيب هذه الخلايا الى القسم الاكبر من الطيف الشمسي.

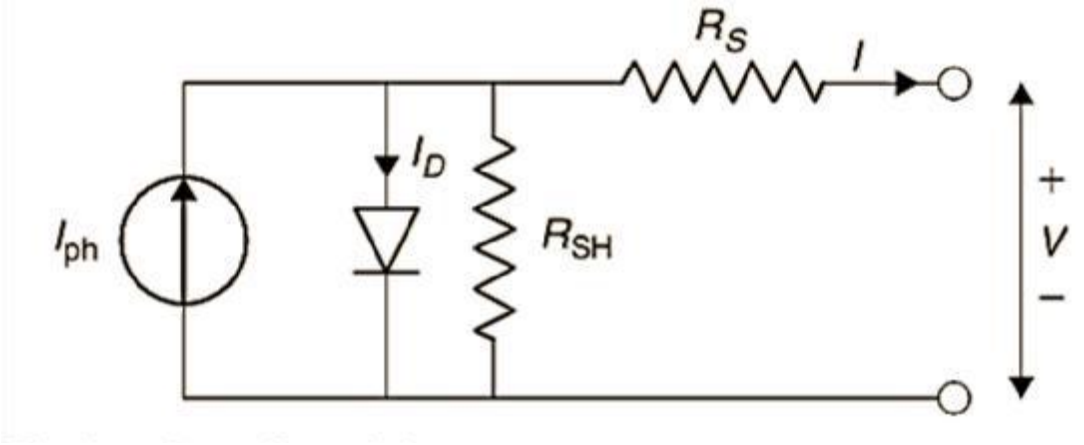
مميزات الخلية الشمسية Solar Cell Characteristics

تكون الخلية الشمسية غير فعالة خلال الظلام وتعمل كثنائي بلوري(Diode) اي ان وصلة PN لا تنتج اي تيار او فولتية . وعند ربط مصدر خارجي (مجهز فولتية) يتولد تيار يعرف بتيار الدايود (تيار الظلام) I_D وان العلاقة بين التيار والفولتية لوصلة PN تعطى بالعلاقة:

حيث ان

V:الفولتية عبر الوصلة، I_o : تيار الاشباع في حالة الظلام والذي يعتمد بقوة على درجة الحرارة ، T:درجة الحرارة المطلقة، K : ثابت بولتزمان (1.38x10-23J/K) ، e: شحنة الالكترون (1.602x10-19J/V)

وعند سقوط الضوء على الخلية الشمسية تتولد ازواج الكترون -فجوة بمعدل ثابت وتولد تياراً كهربائياً ينساب عبر الوصلة، والدائرة المكافئة للخلية الشمسية موضحة في الشكل .



حيث ان

R_S : مقاومة التوالي (المقاومة الداخلية للخلية) وهي مجموعة مقاومات المواد والتوصيلات الكهربائية .

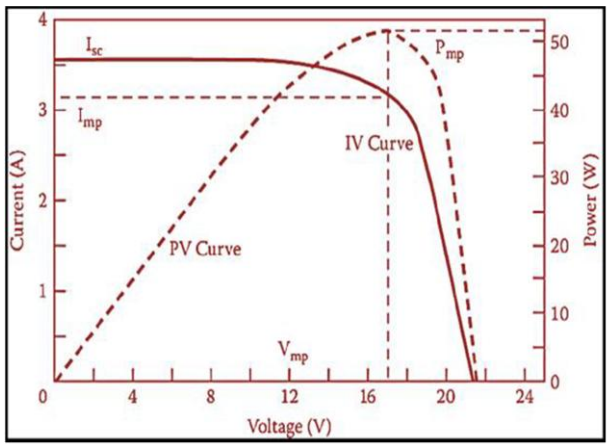
R_{SH} : مقاومة التوازي او مقاومة مسارات مرور او تسرب التيار سطحياً او داخلياً.

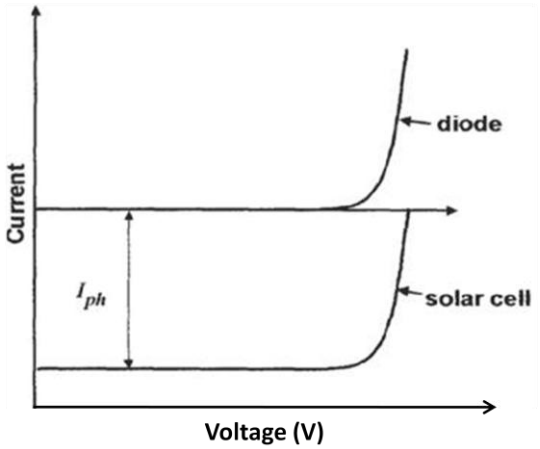
ان التيار المتولد بفعل الضوء يعمل كمصدر تيار ثابت يزود اما الى الوصلة او الى الحمل اعتماداً على خواص الوصلة وقيمة مقاومة الحمل الخارجية، وبما ان مقاومة التوازي اكبر بكثير من مقاومة الحمل، في حين ان مقاومة التوالي اصغر بكثير من مقاومة الحمل، لذلك فان اقل قدرة هي متشتتة داخلياً داخل الخلية، لذلك تهمل هاتين المقاومتين .ويكون صافي تيار الخلية هو الفرق بين تيار الثنائي الاعتيادي والتيار المتولد بفعل الضوء(التيار الضوئيI_L) الذي يوصف بالعلاقة:

n :عامل النوعية او المعيارية(n=1 في الظروف المثالية).

مميزات تيار - فولتية للخلية الشمسية Solar Cell I-V Characteristics

تستخدم العلاقة بين التيار-الفولتية لقياس الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية، والشكل التالي يوضح منحنى التيار - الفولتية ومنحنى القدرة-الفولتية.





ومن منحنى التيار -الفولتية يمكن ايجاد عدد من المتغيرات المهمة لدراسة اداء الخلية الشمسية في الحالة المثالية وهي:

تيار الدائرة القصيرة Short-Circuit Current (Isc)

هو اعظم تيار متولد من قبل الخلية ويقاس عندما تكون الدائرة الخارجية غير مربوطة الى مقاومة الحمل (R_L =0) حالة عدم وجود فولتية .وقيمته تعتمد على المساحة السطحية للخلية وكمية الاشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلية .أي ان الفولتية بين اطراف الدائرة هو صفر معتمدا على مقاومة الحمل التي تساوي صفر($I_{SC} = I_L , V = 0$) .

فولتية الدائرة المفتوحة(V_{oc}) Open-Circuit Voltage

وهي اعظم فولتية متولدة من قبل الخلية وتقاس هذه الفولتية عندما تكون الدائرة الخارجية مربوطة أي ان قيمة مقاومة الحمل لانهائية ($R_L = \infty$). في هذه الحاله فان التيار الكلي للخلية الشمسية سوف يساوي صفر (I =0) ($V = V_{oc}$).

لتصبح معادلة (3.2) :

لأن قيمة I_L دائما اكبر بكثير من قيمة I_o لذلك فان معادلة (3.3) يمكن ان تكتب كالاتي :

$\mathbf{V_{th}=\frac{KT}{e}}$ وتمثل الفولتية الحرارية وتساوي 0.025 v عند درجة حرارة 300 k .

القدرة العظمى(P_{max}) Maximum Power

تحسب القدرة من حاصل ضرب التيار في الفولتية، ونحصل على اعظم قدرة خارجة للخلية الشمسية عندما تكون مقاومة الحمل اعلى ما يمكن، وتعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{P_{max}=V_{mp}\ I_{mp}} \text{ .....(3.5)}$$

(V_{mp})و(I_{mp})وهي قيم الفولتية وكثافة التيار في نقطة القدرة العظمى.

أما القدرة الخارجة لوحدة مساحة الناتجة بواسطة الخلية الشمسية فهي:

$$\mathbf{P= VJ}\text{.....(3.8)}$$

عامل المليء Fill Factor (FF)

ويعرف بانه النسبة بين القدرة العظمى الى حاصل ضرب فولتية الدائرة المفتوحة في تيار الدائرة القصيرة .وهو مقياس لجودة خلية فكلما اقتربت قيمتة من الواحد كلما كانت نوعية الخلية جيدة.

من الناحية المثالية فان عامل النوعية هو دالة لفولتية الدائرة المفتوحة حيث يمكن حسابه من العلاقة التجريبية التالية:

حيث (v_{oc}) تمثل الفولتية العيارية (القياسية) وتحسب كالاتي $\boldsymbol{v_{oc} = \frac{V_{oc}}{V_{th}}}$

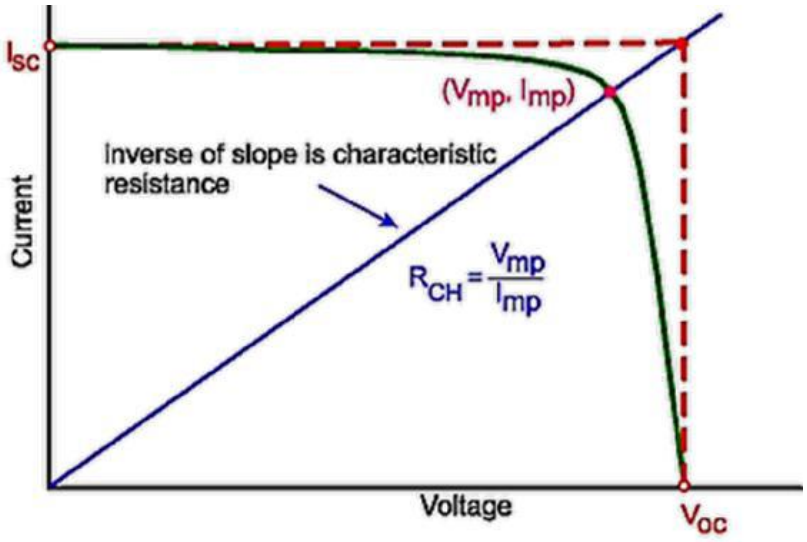
كفاءة الخلية الشمسية Efficiency of Solar Cell (η)

وهي النسبة القدرة الكهربائية الخارجة من الخلية الشمسية الى القدرة الضوئية القياسية الساقطة عليها في نقطة الاعظم قدرة .

$\mathbf{P_{in}}$: القدرة الضوئية الساقطة.

المقاومة المميزة (R_{CH}) Characteristic Resistance

هي المقاومة المقاومة المميزة الخارجة للخلية الشمسية عند نقطة القدرة العظمى .اذا مقاومة الحمل مساوية الى المقاومة المميزة للخلية الشمسية تتحول القدرة العظمى الى الحمل والخلية الشمسية المشتغلة عند نقطة القدرة العظمى . المقاومة المميزة عامل مفيد في تحليل الخلية الشمسية خصوصا عند فحص آليات تأثير الخسارة.



Q: A silicon solar cell (bandgap 1.12 eV) is uniformly illuminated by monochromatic light of wavelength 800 nm and intensity 20 mW/cm$_2$. Given that its quantum efficiency at this wavelength is 0.80, calculate the short circuit current of the cell if its area is 4 cm$_2$.

Q: For the silicon cell of part (a), calculate the open circuit voltage, fill factor and energy conversion efficiency, given that its ideality factor is 1.2 and dark saturation current density is 1 □A/cm$_2$.