

SOLAR
ENERGY

الخلايا الشمسية طاقة المستقبل النظيفة والمستدامة

مصطفى الأعصر، أستاذ في جامعة عين شمس، مصر



مقدمة

لتلقي الطاقة الشمسية. على سبيل المثال، بلغ الاستهلاك العالمي للطاقة في عام 2021 حوالي 580 إكسا جول (EJ)، حيث يعادل الإكسا جول الواحد 277 تيراواط/ ساعة. ومن الجدير بالذكر تخيّل حقيقة أن الطاقة الشمسية التي تضرب سطح الأرض في ساعة واحدة فقط تتجاوز الاستهلاك السنوي للطاقة لجميع الأنشطة البشرية. وهذا يبين لنا كيف أن هذه الطاقة كنز يجب استغلاله على المستوى الإقليمي والعالمي

ولعل بعض الأسباب الرئيسية التي تعطي الطاقة الشمسية أهميتها هي الاستدامة، وأنها نظيفة وصديقة للبيئة، ولها كثيرٌ من الفوائد الاقتصادية، وتطبيقاتها متنوعةٌ بمقاييس مختلفة وقدرات كهربية مختلفة، كما أنها في تطوّر مستمرٍ حتى تصبح أكثر كفاءة وموثوقية، وهي رخيصة التكلفة على المدى البعيد، ما يجعلها تحلّ محلّ المصادر الأخرى وخصوصاً في الأزمات

وقد أدركت الكثير من الدول الأهمية الاستراتيجية للطاقة الشمسية على مستوى العالم، حيث تقوم بدمجها في تخطيطاتها وسياساتها المستقبلية للطاقة لضمان حلولٍ طاقة مستدامة ونظيفة وفعالة. ويعتبر هذا الأمر بالغ الأهمية للحد من التأثير البيئي وتعزيز النمو الاقتصادي وتحسين نوعية الحياة على النطاق العالمي

تستعرض هذه المقالة التطوّر التاريخي والحالة الراهنة والتوجهات المستقبلية لتكنولوجيا الخلايا الشمسية، مع التركيز على بعض المبادئ والأسس الفيزيائية للخلايا الشمسية، وأهمية التكامل بين الدول في شبكة طاقة إقليمية أو عالمية موحدة

ماهي الخلايا الشمسية

تعتبر الطاقة الشمسية مصدرًا نظيفًا ووفيرًا ومتجددًا للطاقة الآمنة غير المحدودة، كما أن لديها القدرة على تقليل الاعتماد العالمي على الوقود الأحفوري بشكل كبير. تقوم الخلايا الشمسية (تسمى أيضًا بالخلايا الكهروضوئية PV) بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية يمكن استخدامها في أنشطة الانسان اليومية المختلفة على المستوى الفردي والزراعي والصناعي... الخ. والجدير بالذكر أن ظهور مشكلة تغير المناخ والتأثيرات البيئية لمصادر الطاقة التقليدية أدى إلى استثمارات وأبحاث كثيرة في تكنولوجيا الطاقة الكهروضوئية.

تُعدّ الطاقة المنبعثة من الشمس واحدةً من أكثر الموارد المتاحة للبشرية وفرةً واستدامة. يبلغ متوسط الطاقة الشمسية التي تسقط على سطح الأرض حوالي 1000 واط لكل متر مربع (W/m^2). يمثل هذا الرقم كمية هائلة من الطاقة، قادرة على تلبية بل وحتى تجاوز جميع احتياجات الطاقة البشرية إلى أجل غير مسمى

تتلقى الأرض حوالي 174 بيتا واط (PW) من الإشعاع الشمسي القادم في الغلاف الجوي العلوي. ينعكس ما يقرب من 30% من هذه الطاقة إلى الفضاء، بينما يُمتصّ الباقي في الغلاف الجوي والمحيطات والكتل الأرضية. على الرغم من هذا الانعكاس والامتصاص، فإن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض لا تزال مذهلة. في المتوسط، يتلقى كل متر مربع من سطح الأرض حوالي 1000 واط/م² من الطاقة الشمسية خلال ساعات النهار. يكون تدفق الطاقة هذا كبيرًا عند النظر في مساحة السطح الواسعة المتاحة

المواد العضوية وأنظمة التمثيل الضوئي لتعزيز امتصاص الضوء وكفاءة التحويل. وكان أول ظهور لأبحاث خلايا المواد العضوية في الخمسينات إلا أن التطور في كفاءتها لم يشاهد إلا في التسعينات وبداية ألفينات القرن الحادي والعشرين (2000s)، ولا زالت تلك الخلايا في طور التطوير حتى تنافس مثيلاتها من السيليكون.

- خلايا البيروفسكايت الشمسية: برزت خلايا البيروفسكايت الشمسية كتقنية واعدة، وحققت اختراقات كبيرة في الكفاءة في عقد واحد (10 سنوات)، حيث تجاوزت 25% في المختبرات، وقد ظهرت خلايا البيروفسكايت في 2009 ولاتزال في طور التطوير والأبحاث للوصول إلى عمر افتراضي كبير يقارن بخلايا السيليكون، والجدير بالذكر أن انخفاض تكاليف التصنيع وخصائص الامتصاص الممتازة لهذه الخلايا تجعلها بديلاً مستقبلياً قابلاً للتطبيق

التركيب الأساسي لخلية السيليكون البلوري

تُعتبر خلية السيليكون الشمسية، والمعروفة أيضاً باسم الخلية الشمسية المصنوعة من السيليكون البلوري (c-Si)، النوع الأكثر استخداماً من الخلايا الكهروضوئية نظراً لكفاءتها العالية واستقرارها على مدى زمني طويل. يتضمن الهيكل الأساسي لخلية السيليكون الشمسية (شكل 1) عدة طبقات ومكونات رئيسية، لكلٍ منها وظيفة محددة في عملية تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء، ألا وهي:

1. أقطاب التوصيل الأمامية (خطوط الشبكة): غالباً ما تصنع من الفضة (Ag) ودورها هو توصيل الكهرباء المُولَّدة خارج الخلية. تُصمَّم على هيئة شبكةٍ لتقليل تأثير التظليل السلبي مع توفير مقاومة منخفضة للتيار

هي أجهزة (نبائط) إلكتروضوئية (Optoelectronic) ذات تصميم خاص لتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء مستمرة.

التطور التاريخي والتقدم التكنولوجي للخلايا الشمسية

- الاكتشافات المبكرة (1839-1954): لوحظ التأثير الكهروضوئي لأول مرة من قبل ألكسندر إدموند بيكريل في عام 1839. ومع ذلك، لم تتحقق التطبيقات العملية لهذا الاكتشاف حتى منتصف القرن العشرين مع تطوير الخلية الكهروضوئية السيليكونية من قبل مختبرات بيل في عام 1954، مما يمثل بداية الخلايا الشمسية الحديثة.

- ثم تلى ذلك عصرُ السيليكون (1954 إلى الوقت الحاضر) حيث سيطر السيليكون باعتباره المادة الأساسية للخلايا الشمسية نظراً لوفرتة وخصائصه شبه الموصلة. وقد كان التطور من السيليكون أحادي البلورة إلى السيليكون متعدد البلورات مدفوعاً بالحاجة إلى خفض التكلفة وتعزيز الكفاءة.

- ثم توالى الأنواع الأخرى من الخلايا، حيث ظهر مفهوم خلايا الأغشية الرقيقة في السبعينات وتجارياً في الثمانينات، وتستخدم هذه الخلايا طبقاتٍ من المواد شبه الموصلة بسماكة بضعة ميكرومترات مثل خلايا تيلورايد الكادميوم و CIGS التي ظهرت في تسعينات القرن العشرين. وكان الدافع وراء ذلك تقليل استهلاك المواد وبالتالي انخفاض تكاليفها وتحقيق مرونة أكبر مقارنة بخلايا السيليكون التقليدية

- الخلايا الكهروضوئية العضوية والهجينة الحيوية: استكشفت الابتكارات في الخلايا الكهروضوئية العضوية والأنظمة الهجينة الحيوية إمكانيّة استخدام

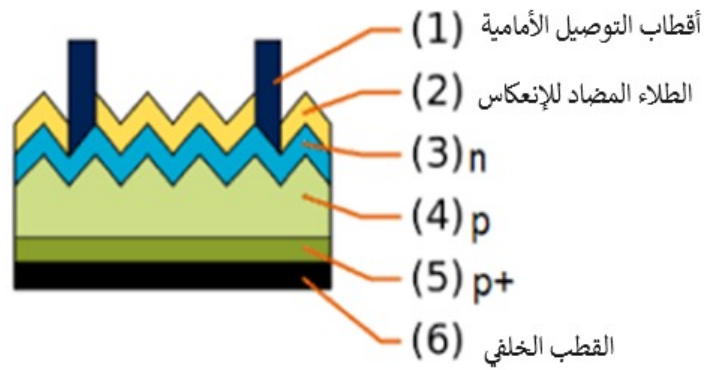
مبدأ عمل خلية السيليكون الشمسية

يتم تصميم الهيكل الأساسي لخلية السيليكون الشمسية بهدف حصد أكبر كمية من ضوء الشمس وتحويله إلى طاقة كهربائية. لكل طبقة دور أو وظيفة محددة تساهم في الأداء الكلي للخلية وتحديد كفاءتها. يُعدّ فهم هذا الهيكل أمرًا أساسيًا لتطوير تكنولوجيا الخلايا الشمسية وتحسين كفاءة أنظمة الطاقة الشمسية. وكما تتحول الطاقة من النطاق الضوئي إلى النطاق الكهربائي هناك بعض العمليات التي تتم في الخلية، ألا وهي امتصاص الفوتونات وتوليد أزواج من الإلكترون-فجوة وفصل الشحنات عن بعضها ثم الانجراف (drift) والانتشار (diffusion) ثم تجميع ناقلات الشحن - بتناسقٍ لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. إن فهم هذه العمليات يساعد في تحسين تصميم وكفاءة الخلايا الشمسية، مما يمهد الطريق لتقنيات طاقة شمسية أكثر فعالية. ولذلك عندما يضرب ضوء الشمس الخلية

الشمسية المصنوعة من السيليكون، تحدث العمليات الفيزيائية التالية

امتصاص الفوتونات: تمتص طبقات السيليكون الفوتونات (ذات طاقة \leq فجوة النطاق) من ضوء الشمس، مما يؤدي إلى توليد أزواج من الإلكترونات والفجوات في حالة من الارتباط (تسمى الإكسيتونات).
فصل الشحنات: يعمل المجال الكهربائي (قوة تدفع الشحنات الموجبة في اتجاه المجال والسالبة عكس المجال) عند الوصلة p-n على فصل أزواج الإلكترون-فجوة، مما يؤدي إلى دفع الإلكترونات نحو طبقة n-type والثقوب نحو طبقة p-type

الانجراف والانتشار: تتحرك ناقلات الشحنة المنفصلة خلال مادة السيليكون عبر آليتين



الشكل 1. الهيكل الأساسي لخلية السيليكون البلوري

2. الطلاء المضاد للانعكاس (ARC): يُصنع من نيتريد السيليكون (SiNx) أو ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO₂) والهدف منه تقليل انعكاس ضوء الشمس عن سطح الخلية، ممّا يسمح بدخول المزيد من الضوء إلى الخلية وزيادة الكفاءة

3. طبقة السيليكون من النوع N: وهي سيليكون مشبع بالفوسفور (أو عنصر خماسي التكافؤ) وتحمل فائضًا كبيرًا من الإلكترونات (حاملات الشحنة السالبة) في الطبقة العليا للخلية، ممّا يشكل الجانب السالب من الوصلة p-n.

4. طبقة السيليكون من النوع P: وهي طبقة من السيليكون المشبع بالبورون (أو عنصر ثلاثي التكافؤ) وتحمل فائضًا كبيرًا من الفجوات (حاملات الشحنة الموجبة) في الطبقة السفلية للخلية، ممّا يشكل الجانب الموجب من الوصلة p-n.

5. طبقة حقل السطح الخلفي (BSF): وهي طبقة من الألومنيوم أو السيليكون من النوع p المشبع بشكل كبير جدًا (+p) والذي بدوره يقلل من إعادة اتحاد الإلكترونات الفجوات على السطح الخلفي، مما يعزّز كفاءة الخلية عن طريق عكس الإلكترونات مرة أخرى إلى الخلية

6. أقطاب التوصيل الخلفية: تكون من الألومنيوم (Al) وتقوم بتوصيل الكهرباء المُولّدة في الخلية

STC. يتأثر V_{oc} بخصائص المادة ودرجة حرارة الخلية
3. القدرة النظرية: وهي حاصل ضرب V_{oc} و I_{sc} ،
 حيث لا يمكن الوصول إليها، والقدرة الفعلية للخلية
 دائما أقل منها

4. نقطة الطاقة القصوى (P_m): هي نقطة على
 منحنى I-V حيث يكون حاصل ضرب التيار والجهد هو
 الحد الأقصى، ويمثل أعلى طاقة يمكن أن توفرها
 الخلية. يعتبر P_m هاتفاً في تحديد كفاءة الخلية
 الشمسية ويمكن حسابها باستخدام العلاقة

$$P_m = V_m \times I_m$$

5. عامل التعبئة (FF): هو النسبة بين أقصى نقطة
 طاقة (P_m) إلى القدرة النظرية، ويشير إلى جودة
 الخلية الشمسية، حيث تُشير قيمة أعلى له إلى
 خلية شمسية أكثر كفاءة

6. الكفاءة (η): نسبة خرج القدرة الكهربائية (P_m)
 إلى طاقة الضوء الساقط، وهي تقيس الكفاءة
 ومدى فعالية الخلية الشمسية في تحويل ضوء
 الشمس إلى طاقة كهربائية. تشير الكفاءة الأعلى
 إلى خلية شمسية أفضل أداءً

7. مقاومة السلسلة (على التسلسل) (R_s): هي
 المقاومة التي يواجهها التيار المتدفق عبر الخلية
 الشمسية، بما في ذلك أقطاب التوصيل والمادة
 نفسها. تقلل المقاومة على التسلسل العالية من
 عامل التعبئة والكفاءة الإجمالية، وتؤثر على ميل
 منحنى I-V بالقرب من تيار الدائرة القصيرة

8. مقاومة التوازي (R_{sh}): وتمثل المقاومة عبر
 أطراف الخلية الشمسية بسبب تيارات التسرب. تُعتبر
 مقاومة التوازي العالية مرغوبة لأنها تقلل من تيار
 التسرب وتحسّن عامل التعبئة والكفاءة. تتسبب
 مقاومة التوازي المنخفضة في فقد الطاقة وتقليل

1. الانجراف: حركة ناقلات الشحنة بسبب المجال
 الكهربائي في منطقة الاستنزاف (الناضبة depletion)
 2. الانتثار: حركة ناقلات الشحنة بسبب تدرج تركيزها
 خارج منطقة الاستنزاف

تجميع الشحنات: يتم تجميع الشحنات المنفصلة
 بواسطة أقطاب التوصيل الأمامية والخلفية. تتدفق
 الإلكترونات عبر الدائرة الخارجية، بينما تتدفق الفجوات
 إلى جهة الاتصال الخلفية لتوليد تيار كهربائي

المعاملات الكهربائية للخلية الشمسية

تعتبر المعاملات الكهربائية الرئيسية للخلية الشمسية
 (تيار الدائرة القصيرة (I_{sc})، وجهد الدائرة المفتوحة
 (V_{oc})، ونقطة الطاقة القصوى (P_m)، والتيار والجهد
 عند أقصى نقطة طاقة (I_m و V_m)، ومعامل التعبئة
 (FF)، والكفاءة (η)، ومقاومة التوالي (R_s)، ومقاومة
 التحويل (R_{sh}) (ضرورية جداً لفهم أداء الخلية
 وتحسينه.

توفر هذه المعاملات رؤى حول كفاءة الخلية
 الشمسية وسلوكها في ظل ظروف مختلفة. وفيما
 يلي أهم تلك المعاملات

1. تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}): هو التيار المار عبر
 الخلية الشمسية عندما تكون أطراف الخرج تميل
 دائرةً قصيرةً (دائرة قصر) بدون مقاومة (أي عندما
 يكون الجهد عبر الخلية صفرًا). وهو يمثل الحد
 الأقصى للتيار الذي يمكن أن تنتجه الخلية في ظل
 ظروف الاختبار القياسية (STC). I_{sc} يتناسب طرديًا مع

شدة الضوء الساقط ومع مساحة سطح الخلية
2. الجهد في حالة الدائرة المفتوحة (V_{oc}): هو
 جهد الخلية الشمسية عندما تكون أطراف الخرج
 مفتوحة (أي عندما يكون التيار المار عبر الخلية صفرًا).
 ويشير إلى أقصى جهد يمكن أن تنتجه الخلية تحت

.V_{oc}

9. معاملات درجة الحرارة: وهي التي تصف كيف يتغير V_{oc} و I_{sc} والكفاءة مع درجة الحرارة، إذ يعتمد أداء الخلية الشمسية على درجة الحرارة. عادةً ما يتناقص V_{oc} مع زيادة درجة الحرارة، بينما يزداد I_{sc} بشكل طفيف

تساعد هذه المعاملات في تقييم فعالية الخلايا الشمسية وتصميم أنظمة الطاقة الشمسية لتحقيق أقصى إنتاج للطاقة الحدود القصوى النظرية لكفاءة الخلايا الشمسية

الحد النظري الأقصى لكفاءة الخلايا الشمسية هو مفهوم حاسم في أبحاث الطاقة الكهروضوئية لأنه يحدّ الإمكانيات والقيود للمواد والتقنيات الحالية، كما يرشد الى تطوير ابتكارات جديدة مثل الخلايا الترادفية (Tandem cells) لتسخير الطاقة الشمسية بشكل أفضل

يُشير الحدّ النظري لكفاءة الخلايا الشمسية، والذي غالبًا ما تتم الإشارة إليه في سياق حد شوكللي - كوايسر (Shockley-Queisser)، إلى الحد الأقصى للكفاءة التي يمكن أن تحققها الخلية الشمسية ذات الوصلة الواحدة في تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء في ظل الظروف القياسية. يتم اشتقاق هذا الحد من مبادئ التوازن التفصيلية ويأخذ في الاعتبار العديد من العوامل الفيزيائية. تمّ حساب هذا الحد من قبل ويليام شوكللي وهانز كوايسر في عام 1961 [2]، ويوفّر تفسيرًا نظريًا مفصلاً للحد الأقصى للكفاءة التي يمكن توقعها من خلية شمسية مصنوعة من وصلة p-n واحدة تستخدم مادة شبه موصلة واحدة

إذن ما هي العوامل التي تؤثر على هذا الحد؟

• **طاقة فجوة النطاق (Bandgap):** لكل مادة شبه موصلة طاقة مميزة تسمى فجوة نطاق، وهي الفجوة بين نطاقي التكافؤ والتوصيل، لا يتم امتصاص الفوتونات التي تقل طاقتها عن فجوة النطاق وبالتالي لا تساهم في توليد الكهرباء. سوف يتم امتصاص الفوتونات ذات الطاقة الأكبر من فجوة النطاق، ولكن الطاقة الزائدة فوق فجوة النطاق تتحول بسرعة إلى حرارة بدلاً من الكهرباء

• **خسائر التسخين:** تضع الطاقة الزائدة للفوتونات عالية الطاقة (الطاقة التي تزيد عن فجوة النطاق لأشباه الموصلات) كحرارة عندما تسترخي الإلكترونات المثارة إلى حافة النطاق. هذه الخسارة كبيرة، خاصة بالنسبة لأشباه الموصلات ذات طاقات فجوة النطاق المنخفضة التي يمكن أن تمتص المزيد من الطيف الشمسي

• **الكفاءة الكمية:** من الناحية المثالية، يجب أن يولّد كلُّ فوتون ممتص زوجًا واحدًا من الإلكترونات والفجوات. ومع ذلك، لا تؤدي جميع الفوتونات الممتصة إلى توليد ناقلات شحنة بسبب طرق الخسارة المختلفة داخل هيكل الخلية

• **خسائر إعادة الاتحاد:** يمكن لحاملات الشحنة المتولدة (الإلكترونات والفجوات) أن تتحد قبل تجميعها والوصول إلى الأقطاب الكهربائية. وهذا يشمل إعادة الاتحاد الإشعاعي وغير الإشعاعي

• **فقدان الجهد:** يقتصر الحد الأقصى الممكن لإخراج الجهد للخلية الشمسية على جهد فجوة النطاق لأشباه الموصلات. ومع ذلك، تعمل الخلايا الشمسية العملية بجهد أقل من هذا بسبب خصائص

المواد غير المثالية وقيود التصميم العملي

قيمة الحد النظري:

يفترض حدّ شوكلي - كوايسر أن الحد الأقصى لكفاءة خلية ذات وصلة واحدة يبلغ حوالي 33% في ظل ظروف الاختبار القياسية (إضاءة شمس واحدة، 25 درجة مئوية) [1]. بمعنى أنه من كل الطاقة الموجودة في ضوء الشمس (حوالي 1000 واط/م²) التي تسقط على خلية شمسية مثالية، لا يمكن تحويل سوى 33% منها إلى كهرباء أي 330 واط/م² فقط. تمتلك مادة الخلايا الشمسية الأكثر شيوعًا وهي السيليكون، فجوة نطاق تبلغ 1.1 فولت، تصل الخلايا الشمسية أحادية البلورية التجارية إلى كفاءة تحويل تبلغ حوالي 24%، وبالتالي تصبح الطاقة المُحوّلة إلى كهرباء 240 واط/م² فقط.

ما وراء الحدّ: الخلايا الشمسية الترادفية (Tandem solar cells)

سعى الباحثون إلى إيجاد طريقة كي تتجاوز الخلايا حد شوكلي - كوايسر، وتوضّل الباحثون لتصميم وتصنيع خلايا شمسية متعددة الوصلات (ترادفية)، حيث تتوالى فيها وصلات متعددة من مواد ذات فجوات نطاقية مختلفة. من خلال تسخير نطاق أوسع من الإشعاع الشمسي بشكل أكثر كفاءة، تستهدف كل وصلة جزءًا مختلفًا من الطيف الشمسي، وبالتالي تقليل خسائر التسخين وتعزيز الكفاءة الكلية للخلية الكفاءات المحتملة للخلايا الترادفية: تشير النماذج النظرية إلى أنه من خلال الجمع الأمثل بين المواد وتصميم الوصلات، يمكن أن تحقق الخلايا الشمسية الترادفية كفاءة تتجاوز 45%. يسمح هذا النوع من الخلايا باستخدام الطيف الشمسي بشكل أكثر اكتمالاً وكفاءة مما هو ممكن مع تصميمات

الوصلة الواحدة

الاتجاهات والابتكارات المستقبلية

تعزيز الكفاءة: يستمر البحث في دفع حدود كفاءة الخلايا الشمسية من خلال مواد وتصميمات خلايا جديدة. تُظهر الخلايا متعددة الوصلات، التي تتكون من عدة وصلات (junctions)، إمكانيةً التقاط أجزاء طيفية مختلفة من ضوء الشمس، وبالتالي إمكانية تحقيق معدلات كفاءة تصل إلى 47.6% [2] حسب آخر تحديثات NREL.

قابلية التوسع والتأثير البيئي: يتطلب التأثير البيئي لإنتاج الخلايا الشمسية، لا سيما فيما يتعلق بالحصول على المواد والتخلص من نهاية العمر، اهتمامًا مستمرًا لضمان حلول طاقة مستدامة حقًا

التكامل والتحديات

تكامل الشبكة: يمثل دمج الطاقة الشمسية في شبكة الطاقة الحالية تحديات كبيرة مثل التباين وتخزين ونقل الكهرباء. تتضمن الحلول تطوير أنظمة تخزين البطاريات المتقدمة وتطوير تقنيات إدارة الشبكات. في حين أن الفوائد كبيرة، فإن التكامل العالمي لشبكات الطاقة يطرح أيضًا تحديات تشمل الحاجة إلى استثمارات كبيرة في البنية التحتية، ومواءمة الأطر التنظيمية، وضمان الأمن السيبراني. بالإضافة إلى ذلك، يُعدّ التعاون السياسي والاقتصادي بين الدول أمرًا بالغ الأهمية لنجاح هذا المشروع الطموح

التحديات الاقتصادية والسياسية: على الرغم من انخفاض التكاليف، إلا أن اعتماد الطاقة الشمسية تعيّنهُ العوامل الاقتصادية وأطر السياسة في مختلف المناطق. وتعتبر برامج الحوافز والإعانات والدعم التنظيمي أمرًا بالغ الأهمية لمزيد من الاعتماد

المراجع

[1] William Shockley; Hans J. Queisser
(March 1961). "Detailed Balance Limit of
Efficiency of p-n Junction Solar Cells" (PDF).
Journal of Applied Physics. 32 (3):510-519.
doi:10.1063/1.1736034.

[2] <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/cell-pv-eff-mjcells.jpg>

خبر

المركبة الفضائية SpaceX's Starship تُحدث نجاحًا كبيرًا في اختبار الطيران الرابع



في 6 يونيو/حزيران 2024، حققت شركة سيس إكس نجاحًا ملحوظًا في رابع اختبار طيران لمركبتها الفضائية (ستارشيب) (SpaceX's Starship)، حيث تم تسجيل تقدم هام في تطوير منظومة الإطلاق التي من المقرر أن تنقل رواد الفضاء التابعين لناسا إلى القمر بحلول عام 2026.

انطلق الدقّاش فائق الثقل Superheavy booster من مجمع ستاربيز في جنوب تكساس في الساعة 7:50 صباحًا بالتوقيت المحلي، صاعدًا إلى السماء بقوة دفع تبلغ 16.7 مليون رطل دفع (أي حوالي

التكامل العالمي لشبكات الطاقة الكهربائية

يمثل تكامل شبكات الطاقة الكهربائية على نطاق عالمي طريقًا واعدًا لتعزيز فوائد الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV)، وهي المصدر الرئيسي للطاقة المتجددة. يتضمن هذا التكامل ربط شبكات الطاقة الإقليمية والوطنية لإنشاء نظام كهرباء عالمي أكثر مرونة وكفاءة. ويمكن للتكامل العالمي أن يعزز فعالية وفوائد الطاقة الشمسية الكهروضوئية عن طريق تعزيز استقرار الشبكة وموثوقيتها، وخفض التكلفة والكفاءة الاقتصادية، وزيادة الاستثمار في الطاقة المتجددة، وتسهيل التقدم التكنولوجي، وتعزيز أمن الطاقة. وبذلك يكون الاعتماد على الطاقة الشمسية الكهروضوئية على نطاق واسع من خلال تكامل الشبكة العالمية ذا فوائد بيئية واجتماعية كبيرة، منها تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وبالتالي نُقل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتلوث الهواء والآثار الصحية المرتبطة به. علاوة على ذلك، يمكن لنمو صناعة الطاقة الشمسية أن يخلق فرص عمل ويحفز التنمية الاقتصادية في المناطق الغنية بالموارد الشمسية، مما يساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة العالمية

الخاتمة

يعكس تطور الخلايا الشمسية من أجهزة بسيطة إلى أنظمة متطورة وعالية الكفاءة تقدّمًا علميًا وتكنولوجيًا كبيرًا. كما يبدو أن مستقبل الخلايا الشمسية واعدٌ مع استمرار الابتكارات التي تهدف إلى التغلب على التحديات الحالية وتعزيز انتشار وتوليد ونقل الطاقة الشمسية عبر شبكات عالمية موحدة في مشروع طموح للتعاون بين مختلف اقطار العالم

غير مسبوقه. المسبار، الذي هبط في فوهة ضخمة قريبة من القطب الجنوبي للقمر، يحمل العينات التي جُمعت لأول مرة من هذا الموقع الغامض، مما يمثل طفرة كبيرة في مجال استكشاف الفضاء

وصفت الإدارة الوطنية الصينية للفضاء هذه المهمة بأنها "إنجاز غير مسبوق في تاريخ استكشاف الإنسان للقمر". وقد أقلعت وحدة جمع العينات من المركبة "تشانغ آو-6" في الساعات الأولى من صباح الثلاثاء 4 يونيو/حزيران، مختربة الفضاء لتبدأ رحلتها الطويلة نحو الأرض

وفي تفاصيل العملية، أظهرت مقاطع الفيديو التي نشرتها وكالة الفضاء الصينية كيف نجحت المركبة في التقاط العينات باستخدام ذراع آلية، ثم لوّحت بالعلم الصيني في لحظة فخر وطني تعكس الإنجاز العلمي والتقني للبلاد

هذا وتعتبر مهمة إرساليّة "تشانغ آو-6" جزءاً من سلسلة طويلة من البعثات القمرية التي تخطط لها الصين، حيث تهدف إلى استكشاف وجمع المزيد من البيانات عن القمر، وخصوصاً الجانب الذي لا يظهر لنا من الأرض. وتأتي هذه المهمة لتؤكد على ريّادة الصين في مجال استكشاف الفضاء وقدرتها على تنفيذ مهامّ معقدة وذات أهمية كبيرة في مجال العلوم والتكنولوجيا

يُنْتَظَر أن يعود المسبار إلى الأرض في نهاية يونيو/حزيران، حيث ستهبّ العينات في صحاري منغوليا الداخلية، ليتم بعدها تحليلها من أجل فهم أفضل لتكوين القمر وتطوره. لا يُعَدُّ هذا الإنجاز خطوة كبيرة للصين فحسب، بل للعلم العالمي أيضاً، في استكشاف أسرار القمر واستغلاله في المستقبل

المصدر [BBC](#)

3.75 مليون نيوتن) بفضل 32 من محركاته الثلاثة والثلاثين التي تعمل بالميثان. بعد دقائق من الإطلاق، انفصلت المرحلة العليا - المعروفة باسم "السفينة" - عن المرحلة الأولى، وأشعلت ستة من محركاتها الخاصة

وفي إنجاز جديد لـ (ستارشيب)، تمكنت المرحلة الأولى من الهبوط الناعم في خليج المكسيك بعد أن فشلت محاولة الهبوط في الاختبار الثالث مارس-آذار الماضي بسبب مشكلة في إعادة إشعال بعض المحركات. أما المرحلة العليا فقد وصلت إلى ارتفاعات تزيد عن 200 كيلومتر لكنها لم تكمل مداراً كاملاً حيث كان الهدف هو القيام بهبوط ناعم أيضاً في المحيط الهندي

احتفل إيلون ماسك، مؤسس سبيس إكس، بنجاح الاختبار مشيراً إلى أن السفينة تمكنت من الهبوط بنجاح على الرغم من فقدان بعض قطع قوالب طوبها المقاوم للحرارة وتضرر أحد الأجنحة. وقد قدّم بيل نيلسون، مدير ناسا، تهنئاته معرباً عن تفاؤله بأن هذا النجاح يقربنا خطوة أخرى من إعادة البشر إلى القمر من خلال برنامج أرتيميس ومن ثم التوجه إلى المريخ. تستعد سبيس إكس لاستخدام نسخة مخصصة من "السفينة" كمركبة هبوط لمهمة أرتيميس 3، والتي من المقرر أن تكون أول مهمة إرساليّة مأهولة إلى سطح القمر منذ أبولو 17 في عام 1972. المصدر [Universe Today](#)

إطلاق المسبار الصيني من الجانب البعيد للقمر

في إنجاز علمي يُعَدُّ الأول من نوعه، أعلنت الصين نجاح إطلاق مسبارها القمري من الجانب البعيد للقمر، حيث بدأ رحلة عودته إلى الأرض مُحمّلاً بعينات قمرية