NO. 133

عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

مجلة عالم الذرّة

مجلة دورية تصدر ست مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهورية العربية السورية.

وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذرّي والنووي، وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

المدير المسؤول

أ.د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

(رئاسة هيئة التحرير)

أ.د. عادل حرفوش

أ.د. محمد قعقع

(الأعضاء)

أ.د. أحمد حاج سعيد

أ.د. مصطفى حمو ليلا

أ.د. نجم الدين شرابي

أ.د. فوزي عوض

أ.د. فواز كرد علي

أ.د. توفيق ياسين

الإخـــراج الفنـي

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

ريما سنديان

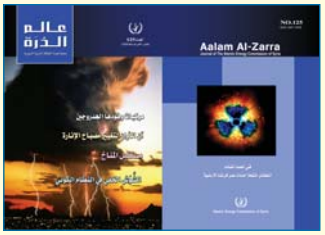
التنضيد

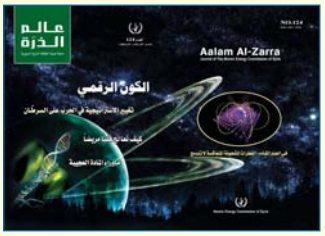
هنادي كنفاني

غفران ناوروز

التوزيع

عتيبة المنعم

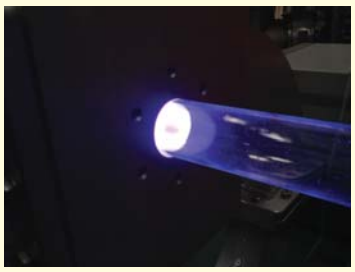




المحتويات

مقالات

5 عودة المفاعلات



16 الاتجاهات الراهنة للكهرباء النووية في أوربة والعالم

24 مفاعلات البحوث: مصانع النترونات

تُستخدم العديد من المفاعلات النووية في العالم للبحوث والتدريب واختبار المواد أو إنتاج النظائر المشعة من أجل الاستخدامات الطبية والصناعية. وهي في الأساس معدة لإنتاج النترونات، كما أنها أصغر بكثير من مفاعلات الطاقة أو تلك التي تستخدم لدفع السفن. تم تشييد 670 مفاعلاً بحثياً في أرجاء العالم، منها حوالي 250 فقط قيد الخدمة اليوم موزعة على 56 بلداً، الكثير منها موجود داخل حرم الجامعات، حيث يعمل بعضها على وقود اليورانيوم عالي التخصيب، وتنصب الجهود الدولية حالياً لاستبداله بوقود منخفض التخصيب.

أخبار علمية

35 ميكروب يحصل على استجابة سامة

37 عالم بدون بعوض

42 اليورانيوم: الموارد المقدَّرة تكفي لأكثر من مئة عام

43 فوتونات مشبوكة على جذاذة

46 ذاكرة وصول عشوائي كمومية

48 ليزر فائق يطلق رصاصة خلبية

50 الكالسيوم

إطلالة علمية

54 دور التخلية في تطوير تقانات إنتاج الطاقة

أعمال الباحثين في هيئة الطاقة الذرّية السورية،
نشرت هنا كما وردت من مكتب الأمانة العلمية في الهيئة

ملخصات ورقات البحوث

62 تأثير معدل وموعد إضافة السماد الآزوتي الأخضر من أوراق نبات اللوكاينا Leucaena leucocephala على نمو وامتصاص الآزوت في نباتات ذرة السورغوم

62 استخدام جهاز البلازما المحرقية من نوع ماذر (Mather) في التعديل السطحي للفولاذ AISI304

63 تحديد المعاملات الحركية الرئيسة للمفاعل السوري منسر لأجل أنواع مختلفة من الوقود باستخدام تقنية مونتي كارلو

63 البلمرة الإشعاعية لبوتيل أكريلات من أجل استعادة المذيبات العضوية

64 سلوك الخفض الضوئي لصباغ Sudan III المطعم في بوليمير EPDM

64 تأثير التشعيع بالبروتون على الانصهار والتبلور المتساوي الحرارة لبولي (إيثر إيثر كيتون)

65 تعيين العناصر النزرة في النباتات الطبية السورية وفي مستخلصاتها بتشتت الطاقة بالتفلور بالأشعة السينية وبمطيافية الانعكاس الكلي بالتفلور بالأشعة السينية

65 تصغير حمل اليورانيوم في مفاعلات المنبع النتروني الصغير (دراسة نظرية)

66 لاتناحي المقاومة النوعية للمركبات المتطبقة غير المتوافقة التي أساسها البسموت: $(BiS)_{1.11}(NbS_2)$ و $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)$ حتى درجة حرارة الآزوت السائل

66 تقويم قابلية المياه الجوفية للتعرض للتلوث في الحوض الصباب لبانياس في المنطقة الساحلية لسورية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) وطريقة الـ RISKE

67 حركية الإخصاب والتطور والنسبة الجنسية لأجنّة بقرية ناتجة عن استخدام نطاف ثيران مختلفة

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

2- يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف أو المترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

3- يُقدم المؤلف (أو المترجم) في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية "Key Words" (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز خمس عبارات باللغة الإنكليزية وترجمتها بالعربية.

4- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمعة من مصادر عدة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول "تأليف، جمع، إعداد، مراجعة" وترفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

6- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.

7- يُرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18).

8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أو غير كامل وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية (1، 2، 3، ...) أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار وإذا وردت في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام نكتب المعادلة أو القانون كما هي في الأصل الأجنبي.

9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (★، +، x، ...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

10- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.

11- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.

13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية- هيئة الطاقة الذرّية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - دمشق : ص.ب: 6091

هاتف (+963)11-6111926 فاكس (+963)11-6112289

E-mail: tapo@aec.org.sy

الإعلانات

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها، للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية يرجى الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

رسوم الاشتراك السنوي

يمكن للمشتركين من خارج القطر إرسال رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13، مزة جبل - دمشق - ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012 أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

يمكن للمشتركين من داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية - دمشق - ص.ب: 6091 مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.

أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق - شارع 17 نيسان

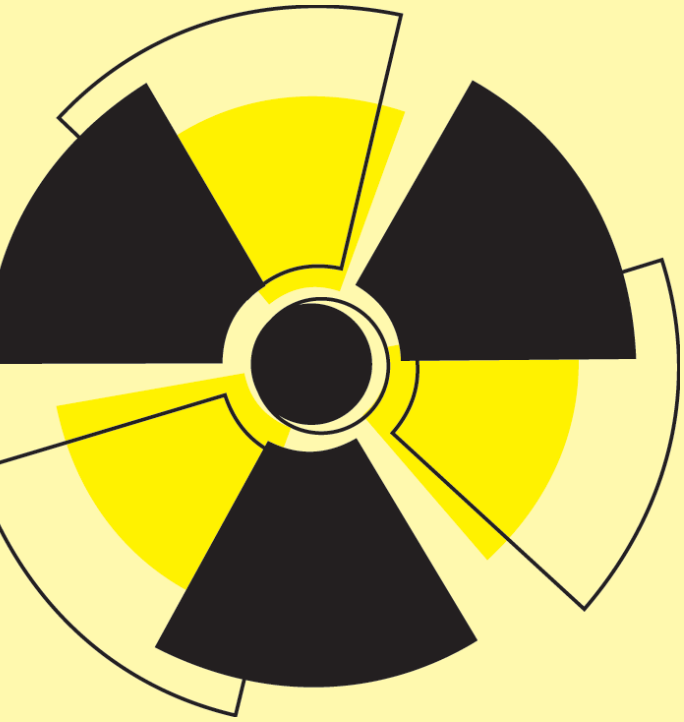
- رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س، للأفراد (300) ل.س، للمؤسسات (1000) ل.س.
- رسم الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.

سعر العدد الواحد

سوريا: 50 ل.س مصر: 3 جنيهات لبنان: 3000 ل.ل الجزائر: 100 دينار

الأردن: 2 دينار السعودية: 10 ريالات وفي البلدان الأخرى: 6 دولارات

يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.



عـــودة المفاعلات

تصميم المفاعلات النووية يتهيأ لعملية إحياء ضرورية وملحة

منذ أكثر من نصف قرن، انطلقت أولى مفاعلات الطاقة التجارية في المملكة المتحدة والولايات المتحدة. تلك العقود التي جلبت لنا فيها التكنولوجيا ثلاثة مليارات من الرقائق الإلكترونية ومركبة فضاء مأهولة، وكذلك الربوت (الانسال) الذي يعزف على الكمان. لكن التصميم الأساسي لمفاعلات الطاقة ظلّ دون أدنى تغيير، وبدا الأمر كما لو أن هذا التصميم محاصر في أرض نسيت التكنولوجيا.

نعم يمكن أن يكون مبدأ المحافظة أمراً جيداً، وربما في تصميم المفاعلات النووية أكثر من غيره. فمؤسسات الكهرباء غير معروفة بالجرأة ولا يمكن أن تتوقع منها المغامرة بعدة مليارات من الدولارات من أجل بناء مفاعل نووي بدون ماضٍ حافلٍ بالنجاح، ومن ناحية أخرى، لا يمكنك أن تعلق آمالاً على نهضة نووية على أساس تصميمات كانت قد ظهرت حديثاً في حقبةٍ كان فيها التلفزيون الملوّن والنقل عبر الأطلسي بالطائرات النفاثة مجرد طرفة. أنت بحاجة إلى أن تعد بأشياء أفضل من ذلك بكثير، ليس أقل من أن تطرح مجموعة معتبرة من التصميمات لمفاعلات متطورة قيد التشغيل.

ويتطلّع المؤيّدون لمثل هذه التصميمات إلى أعمال ضخمة في هذا المجال كدول (النهضة العملاقة) الصين والهند والتي تسعى إلى خطط كهربة أساسية. كما لا يوجد في الولايات المتحدة وأوربة ميل كبير للخيار النووي، لكن هناك عوامل عدة يبدو أنها تدفع باتجاه هذا الخيار، منها اعتبارات تغيّرات المناخ وإدراك التكاليف الخفية لاستخدام الوقود الأحفوري.

تنقسم تصميمات المفاعلات الحديثة إلى ثلاثة أصناف: أولا مفاعل الماء الخفيف الحديث والذي لا يختلف بشكل جوهري عن سابقه سوى بعوامل الأمان الإضافية. ثانياً وحدات المفاعلات الصغيرة التي تنتج أقلّ من 300 ميغاواط، ولكن يمكنها أن تنتشر بشكل أكبر. وإذا كنا بحاجة إلى طاقة أكثر ما علينا سوى إضافة وحدات مفاعلات أخرى إلى المحطة. وثالثاً هناك تصميمات غير مألوفة معروفة باسم مفاعلات الجيل الرابع (Generation IV).

هناك العديد من التصميمات المثيرة التي تستحق أن نذكرها، ولكن بعد الحديث مع الكثير من الخبراء النوويين اخترنا ببساطة سبعة تصميمات لمفاعلات من أنواع مختلفة أثارت اهتمامنا من حيث الأهمية والحداثة، لقد اخترنا مفاعلات تنتسب لأنواع مختلفة وكذلك مراحل إنشاء مختلفة بما فيها تلك التي حصلت للتو على الموافقة من الجهات التنظيمية وأخرى مازالت قيد الدراسة.

هل أغفلنا تصميماً جديداً لمفاعل تعتقد أنه كان يتوجب علينا التطرق إليه؟ هل ستحفز المفاعلات الجديدة الصناعة النووية؟

نُشر هذا المقال في مجلة IEEE Spectrum. Na, August 2010 ترجمة د . سامر الحاج علي ، هيئة الطاقة الذرّية السورية .

أولاً- الجيل القادم لمفاعلات الماء الخفيف.

وهو جديد وحاصل على الموافقة

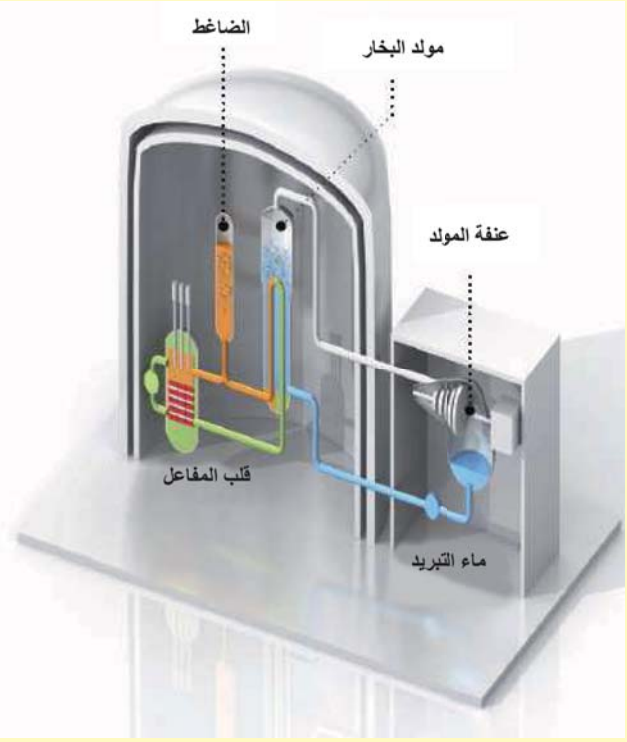
لفهم الجيل الجديد من المفاعلات النووية عليك أن تبدأ بالأساسيات، إذ عليك تصوّر المفاعل على أنه صفوف مجمّعة بإحكام من القضبان الرفيعة بطول أربعة أمتار باعثة للحرارة، مكدّسة في المركز كما لو كانت باقة معدنية قاسية من نبات الهليون، محاطة بوعاء ضغط مملوء بماء عادي أو «خفيف» ويملأ كل قضيب بحبيبات من وقود اليورانيوم والتي عندما تكون قريبة من بعضها تصدر نترونات والكثير من الحرارة. ويطلب من الماء الموجود في المفاعل النووي الحراري ثلاث مهمّات: أن يسخن، وأن يبرد الوقود النووي الذي سينصهر وينهار في حال ارتفعت درجة حرارته بدون تبريد، وأخيراً تخفيض سرعة النترونات المنبثقة عن التفاعل النووي في الوقود، إذ إنه عندما يصدم نترون نواة يورانيوم فإن هذه النواة تنشطر إلى نواتين أصغر، بينما تصدر نترونات إضافية ومن ثم تصدم هذه النترونات نوى يورانيوم أخرى والتي بدورها تنشطر وتصدر المزيد من النترونات والتي يمكن أن تصدم نوى يورانيوم أخرى وهكذا، وهذا هو التفاعل النووي المتسلسل. يبدو هذا غير معقول، لكن يجب أن تُبطَّأ النترونات الصادرة، والمصطلح التقني المستخدم «التهدئة»، وذلك من أجل زيادة معدل النترونات التي تشطر نوى اليورانيوم الموجودة في قضبان الوقود، وبدون عملية تهدئة النترونات بالماء (الغرافيت أيضاً شائع الاستخدام بوصفه مهدئاً) فإنها ستتحرك بسرعة كبيرة وتكون نوى اليورانيوم عند ذلك ببساطة غير قادرة على امتصاصها.

استُخدم تصميم مفاعل الماء المضغوط (العمود الفقري للطاقة النووية) عقود عدة، ومبدأ عمله كالآتي:

1- يتكون قلب مفاعل الماء المضغوط (PWR) من مئات من أعمدة معدنية بطول أربعة أمتار تسمّى حزم الوقود وتضم كلّ حزمة قضبان عدة تحتوي على حبيبات اليورانيوم المخصّب (عادة من 3-5% يورانيوم 235 والباقي يورانيوم 238). ويوضع القلب داخل حاوية معدنية أو وعاء ضغط مملوء بالماء.

2- داخل القلب، تخضع نوى اليورانيوم 235 للانشطار مصدرة بذلك النترونات، ومن المفترض أن تغادر هذه النترونات السريعة القلب دون أن تتفاعل مع نوى أخرى ، لكن يعمل الماء، الذي يلعب دور المهدّئ، على إبطائها، ويتيح لها صدم وشطر نوى يورانيوم 235 أخرى وبالتالي إنتاج المزيد من النترونات.

3- ينشر هذا التفاعل الانشطاري المتسلسل كمية كبيرة من الطاقة، التي ترفع حرارة الماء الموجود داخل القلب إلى حوالي 315° مئوية. وتستخدم تلك الحرارة لإنتاج البخار في نظام الحلقة الثانية للماء، حيث يدير البخار المحمص العنفات الموصولة إلى المولّد لإنتاج الكهرباء. وما يزال مبدأ تحريك البخار للعنفات ثابتاً في معظم تصميمات المفاعلات النووية.



4- ويعد الماء الموجود داخل المفاعل أيضاً عامل أمان: فعندما يسخن الماء يصبح أقل كثافة، وتقلّ قدرته على إبطاء النترونات بشكل طبيعي الأمر الذي يؤدي إلى انحسار التفاعل المتسلسل. كما يكبح الماء من الانتشار البعيد للنترونات. وتشمل عوامل التحكم و الأمان، قضبان التحكم الماصة للنترونات التي تحوي البور، والتي يمكن إدخالها في قلب المفاعل من أجل إيقافه.

5- ويحتاج مفاعل الماء المضغوط (PWR) إلى التزود بالوقود كل سنتين تقريباً. ويتكون الوقود المستهلك من بقايا اليورانيوم 235 والنفايات الأخرى العالية المستوى الإشعاعي، التي يمكن إرسالها للتخزين الدائم (في حوض مملوء بالماء لمدة 10 سنوات تقريباً، وبعد ذلك في أوعية جافة موضوعة في الموقع أو يمكن إرسالها لإعادة التصنيع.

يدور اليورانيوم المستخلص من الوقود المستهلك الذي لم يخضع للانشطار للاستخدام اللاحق وكذلك البلوتونيوم في شكل وقود مزيج من الأكاسيد (MOX) بما فيها البلوتونيوم 239، الذي يمكن استخدامه في صناعة الأسلحة النووية، لذلك يرى بعض الخبراء في عملية إعادة التدوير مخاطرة بالانتشار النووي.

في المفاعلات التي تعمل على الماء الخفيف، يقوم الماء العادي بمهمّة التبريد والتهدئة معاً، ولها نوعان رئيسان: مفاعلات الماء المضغوط (Pressurized-water reactors) أو (PWRs) والمرتبطة تاريخياً بشركة وستنغهاوس للكهرباء (Westinghouse Electric Corp.) . يخضع الوعاء الحاضن لقضبان الوقود في هذا النوع من المفاعلات لضغط 160 جو، لذلك ينساب الماء عبر القلب دون أن يتحوّل إلى بخار.

أما النوع الآخر فهو مفاعلات الماء المغلي (boiling-water reactors) أو(BWR)، التي مهّدت لاستخدامها تجارياً شركة جنرال إلكتريك (General Electric)، وهذه المفاعلات تعمل (كما يوحي اسمها) على غلي الماء الأمر الذي يؤدي إلى تبريد المفاعل. وتهيمن حتى الآن على الساحة النووية مفاعلات الماء المضغوط، حيث تستخدم الحرارة الصادرة لإنتاج البخار الذي يحرك العنفات والتي تحرك معها مولّداً لإنتاج الكهرباء. وفي كلا النوعين، ينتج البخار بواسطة تدفق الماء على أنابيب شديدة السخونة.

وبالنظر إلى تاريخ هذه المفاعلات، فإنها لن تتقدم كثيراً في المستقبل القريب، وليس مستغرباً أن أحد المرشحين الرئيسيين للجيل القادم يُنسب إلى شركة وستنغهاوس، وهو ينتمي إلى مفاعلات الماء المضغوط ويطلق علية AP1000. والأكثر من ذلك، فهو التصميم الوحيد لمفاعل الماء المضغوط PWR الذي تمّت الموافقة عليه من قبل هيئة التنظيم النووي الأمريكية (NRC)، (بالرغم من أن بلداناً أخرى لها عمليات التصديق الخاصة بها، بعضها مقتبس من هيئة التنظيم النووي الأمريكية ذات التأثير العالمي)، هذا المولود الجديد من مفاعلات الماء المضغوط والذي يشمل أيضا النموذج الفرنسي المسمّى EPR، بات معروفاً في الصناعة (بالجيل III) أو (الجيل III+).

مفاعلات الماء المضغوط

آ- شركة وستنغهاوس AP1000 (Westinghouse AP1000)

تعمل عوامل الأمان المنفعلة (Passive safety features) على إيقاف المفاعل بلا أية طاقة أو مضخات أو تدخل بشري.

كيف يعمل

يشبه قلب المفاعل AP1000 قلب مفاعل ماء مضغوط عياري. يُنتج الوقود الحرارة التي تحول الماء إلى بخار، والذي بدوره يدفع العنفات.

المزايـــا

لقد حسّن مصمّمو المفاعل بشكل كبير من عوامل الأمان، مقابل تلك الموجودة في مفاعل الماء المضغوط المعياري. ففي حين تعتمد المفاعلات التقليدية على صمّامات تعمل بمحركات تحتاج للطاقة ومضخات ماء من أجل التعامل مع الحوادث، فإن تصميم AP1000 المعدّل يتمتع بأنظمة أمان تعتمد على تدفق الهواء، وفروق الضغط، والجاذبية الأرضية. على سبيل المثال، إذا تحطّم أنبوب المبرّد، فإن كلاً من ارتفاع الضغط ودرجة الحرارة داخل حاوية الوعاء [1] containment vessel، يؤديان إلى تشغيل نظام فيضان المياه لحالات الطوارئ (water-flooding emergency system) [2,3,4]. وعندما يسخن الماء داخل حاوية المفاعل المحكمة الإغلاق يتحول إلى بخار ويرتفع إلى الأعلى، حيث يتم تبريده داخل القوقعة الفولاذية بواسطة الدورة الهوائية حول الوعاء، وبالتالي يتم التبريد، إذ يتكاثف البخار ويعود إلى الشكل المائي. هذه الدورة تقلّل من

الضغط ودرجة الحرارة، وينتهي التفاعل النووي المتسلسل. وخلافاً لمفاعلات الماء المضغوط الأخرى، فإن المفاعل AP1000 ليس بحاجة إلى عوامل أمان بعد هذه العوامل المنفعلة (passive).

المساوئ

يؤذي الماء– خاصة الماء الفائق التسخين– المعدن، وبذلك تكون الأنابيب والوصلات وغيرها من القنوات بحاجة إلى الفحص والصيانة والاستبدال بشكل دوري، ووفقاً لأحد التقديرات يحتاج لكمية من الماء لكلّ ميغاوات أكثر من مفاعلات الماء المضغوط العادية.

الإطار الزمني

تبني وستنغهاوس Westinghouse أربعة مفاعلات AP1000 في الصين. بدأ البناء في سانمن1 (Sanmen 1)- التي ستكون الأولى عالمياً بتشغيل المفاعل AP1000- في آذار/مارس من العام الماضي وينبغي أن يستكمل في عام 2013. وأعلنت ثلاث مؤسسات أمريكية عن خطط لبناء ست وحدات AP1000، ومن المقرر أن تدخل في مرحلة التشغيل التجاري عام 2016. ومع ذلك، لا يمكن أن يبدأ البناء حتى يمنح المفاعل الموافقة النهائية من قبل هيئة التنظيم النووي (NRC) وتقول الوكالة أن ذلك لن يحدث قبل منتصف 2011.

المصنّع: شركة ويستنغهاوس إلكتريك.

المقر: بلدة كرانبيري، بنسلفانيا.

النوع: مفاعل ماء مضغوط.

الاستطاعة: الحرارية، 3415 ميغاواط، الكهربائية، 1117 ميجاواط.

الوقود: اليورانيوم المخصّب المغلف وهو موجود في حزم الوقود المماثلة لتلك التي في مفاعلات الماء المضغوط العادية.

التزود بالوقود: كل 18 حتى 24 شهراً.

المبرّد: الماء.

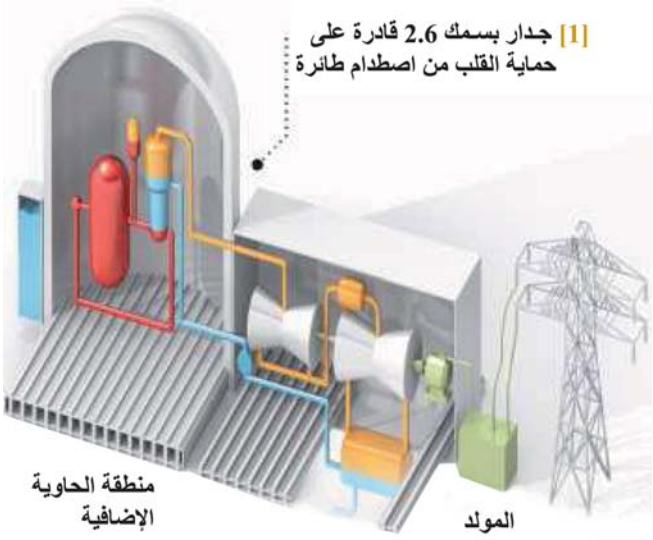
المهدئ: الماء.

النفايات: الوقود المستهلك، ويتكون من بقايا اليورانيوم 235 وغيرها من النفايات العالية الإشعاع، على غرار نفايات الماء المضغوط القياسية.

ب- مفاعل EPR

Europe's Evolutionary Power Reactor

سيكون مفاعل الطاقة الأوربي المتطور هو مفاعل الماء المضغوط الأضخم في العالم،



كيف يعمل:

إن قلب المفاعل EPR مشابه لقلب مفاعل ماء مضغوط PWR قياسي لكنه أكبر.

المـــزايـــا

إن هذا المفاعل هو سليل المفاعلات التي عبرت اختبار الزمن N4 والمفاعلات Konvoi، وهي المفاعلات الأحدث في فرنسا وألمانيا. يمكن صيانة عنفات المفاعل EPR بينما تكون مستمرة في الخدمة حسبما هيّأها مصنّعوها، وهذا يجعل فترات التوقف قصيرة جداً وبعمر تشغيلي قدره 60 عاماً.

وقد أشار اتحاد العلماء المعنيين (The Union of Concerned Scientists) إلى المفاعل EPR على أنه التصميم الجديد الوحيد قيد الدراسة في الولايات المتحدة والتي يبدو أنها أكثر أمناً ضد أي هجوم من بين المفاعلات الحالية [1]. للمفاعل EPR أيضاً مردود أعلى (36%) في تحويل الطاقة الحرارية إلى كهربائية بالمقارنة مع مفاعلات الماء الخفيف الأخرى التي يكون مردودها حوالي 33-34%.

وقد أعرب بعض المحلّلين عن شكوكهم بأن المفاعل EPR هو المفاعل الأكثر أماناً في العالم. ومصدر قلقهم الرئيسي هو الوقود المستهلك، إذ إن ارتفاع معدل الاحتراق في المفاعل يزيد من النفايات المشعّة، الأمر الذي أثار المخاوف بشأن الانتشار.

الإطار الزمني

هناك أربعة مفاعلات EPR هي الآن قيد الإنشاء، واحدٌ في كلٍّ من فنلندا وفرنسا ووحدتان باستطاعة 1650-MW في تيشان بالصين، والتي تخطط لبناء وحدتين إضافيتين. وستكون المحطة الفنلندية الأولى من نوعها في العالم لمفاعل EPR والأولى لمفاعل

الجيل III +(Generation III+). وتخطّط بعض المؤسسات الأمريكية لبناء مالا يقل عن أربع محطات مفاعلات EPR وذلك بعد الانتهاء من العرض على هيئة التنظيم النووي NRC.

المصنّع: أريفا.

المقر الرئيسي: باريس.

النوع: الضغط مفاعل الماء.

الاستطاعة: الحرارية، 4500 ميغاواط، الكهربائية، 1650 ميغاواط.

الوقود: يمكن أن يستخدم في المفاعل أكسيد اليورانيوم المخصّب لدرجة 5% معبأ داخل قضبان وقود مماثلة لتلك التي في مفاعلات الماء المضغوط PWRs التقليدية. ويمكن أيضاً استخدام وقود خليط يصل إلى 50% من أكسيد البلوتونيوم مع أكسيد اليورانيوم.

التزود بالوقود: كل 24 شهرا (على الأغلب).

المبرد: الماء.

المهدئ: الماء.

النفايات: الوقود المستهلك، ويتكون من بقايا اليورانيوم 235 وغيرها من النفايات الشديدة الإشعاع.

ثانياً- وحدات المفاعلات الصغيرة الحجم

كانت إحدى النقاط الترويجية الرئيسة للطاقة النووية هي المستويات العالية من الطاقة المتاحة من محطة منفردة –غيغاواط بدلاً من مئات من الميغاواط. إن محطة كهربائية وحيدة باستطاعة جيجاواط واحد يمكنها أن تزوّد مليون منزل بالطاقة. وعلى الرغم من أن تكاليف بناء مثل هذه المحطة العملاقة تبلغ مليارات عدة من الدولارات وتبدو مخيفة للمستثمرين، لكن في الوقت الحالي يمكن لمفاعلات بحجم أصغر أن توفّر الطاقة الخالية من الانبعاثات الضارّة وبمخاطرة تمويلية أقلّ. ويمكن القيام بهذا الأمر أيضاً في المناطق النائية خارج الشبكة الكهربائية. وثمّة ميزة أخرى هي أنك يمكن أن تغلق إحدى وحدات المفاعلات من أجل الصيانة في حين تبقى الأخريات في حالة توليد الطاقة، متجنباً بذلك الفترات الطويلة من التوقف، الذي يمكن أن تكون تكلفته خيالية.

آ- وحدة المفاعل NuScale

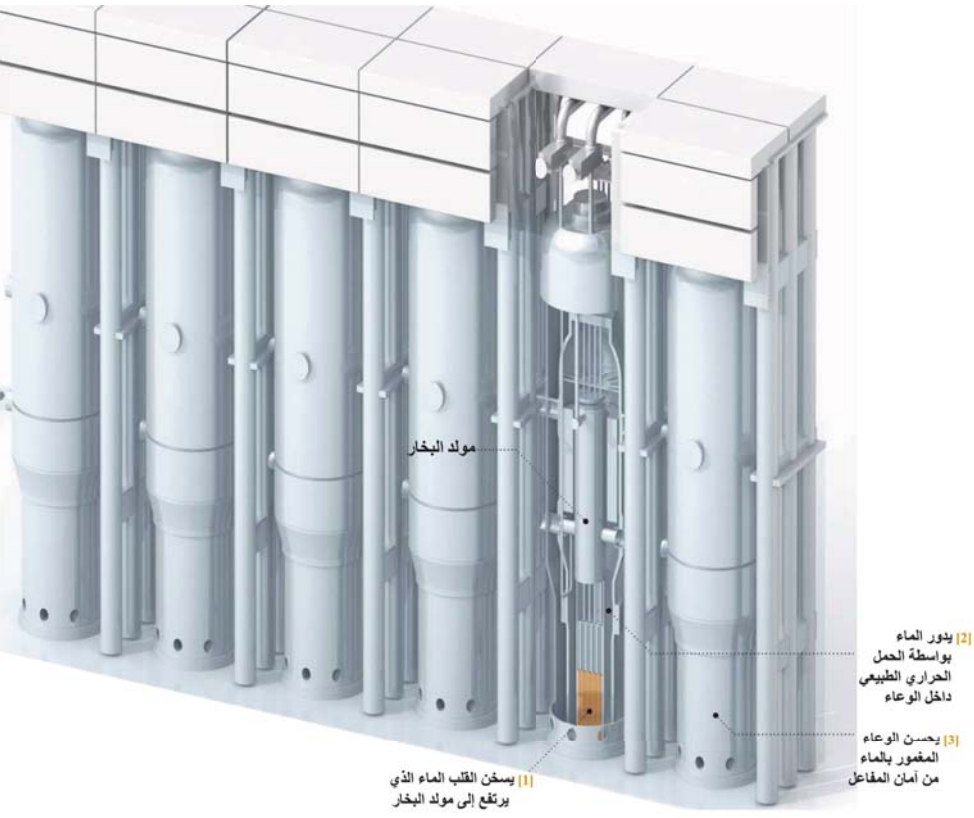
هي وحدة مفاعل يعمل على الماء الخفيف، صُمّمت لتحلّ محلّ المحطات العاملة على الفحم والغاز.

كيف تعمل

توضع حزم الوقود النووي داخل وعاء طويل القلب والذي بدوره يستقر ضمن حاوية ثانوية مغمورة بالماء. وخلافاً لمفاعلات الماء الخفيف التقليدية التي تحتاج لمضخات كبيرة لتدوير الماء خلال القلب، يعتمد المفاعل NuScale على الحمل الحراري: يسخن الوقود الماء [1] الذي يرتفع إلى أعلى الوعاء فينقل الحرارة إلى مولّدات البخار فيبرد وينزل هابطاً إلى الأسفل وتتكرر هذه العملية [2]. ويدفع البخار المولّدات الكهربائية، ويتحوّل البخار إلى سائل بعد فقدانه لطاقته وتبريده في المكثفات، وبعد ذلك يتدفق إلى مولّدات البخار مرة أخرى، وتتكرر العملية.

المـــزايـــا

يعد التصميم أساساً النسخة الخاملة (passive version) من التقنية التقليدية لمفاعل الماء الخفيف، حيث يعتمد نظام التبريد على انتقال الماء بنفسه دون الحاجة لمضخات، ويمكن أن تكون المحطة محجمة تشمل وحدة مفاعل وحيدة أو أكثر ويمكن أن يزداد الرقم ليصل إلى 24 وحدة مفاعل. ويمكن إعادة تزويد كلّ وحدة



بالوقود بشكل منفصل دون أن يؤثر ذلك على الوحدات الأخرى، كما يمكن إلى حدٍّ كبير تصنيع الوحدات خارج الموقع ونقلها عن طريق السفن أو الشاحنات أو السكك الحديدية، مختصرين بذلك وقت البناء. أخيراً، تمّ وضع الوقود ومولّد البخار داخل وعاء فولاذي مغمور بالماء [3]، لديه مقدرة أكبر على تحمل الضغط وتبديد الحرارة من بناء مفاعل الماء المضغوط التقليدي.

المساوئ

في محطة بالحجم الكامل، على المشغّل أن يقوم بالإدارة والتفتيش والصيانة لمجموعة كبيرة من المفاعلات، ولإعادة التزود بالوقود، يجب تحريك وعاء المفاعل من الحاوية إلى منطقة الخدمة بواسطة رافعة علوية، ثم تفكيكه جزئياً وإعادة تحميله بالوقود باستخدام آلات يتحكم بها عن بعد.

الإطار الزمني

تخطّط شركة NuScale للحصول على شهادة التصميم مع هيئة التنظيم النووي (NRC) في أوائل عام 2012. في نفس الوقت تقريباً، إن أي مؤسسة مهتمة ببناء محطة يجب أن تحصل على تراخيص البناء والتشغيل، وتجري شركة NuScale محادثات مع العديد من المؤسسات التي لم يكشف عنها، وتتوقع أن تكون أول محطة جاهزة في عام 2018.

المصنّع: NuScale Power.

المقر الرئيسي: كورفاليس في ولاية أوريغون.

النوع: مفاعل الماء الخفيف.

الاستطاعة: الحرارية، 160 ميغاواط، كهربائية، 45 ميغاواط لوحدة مفاعل واحدة في المحطة الواسعة النطاق التي تحوي 12 وحدة مفاعل ويصل الرقم حتى 24 وحدة تصل طاقة التوليد الكهربائية من 540 حتى 1080 ميغاواط.

الوقود: اليورانيوم بدرجة تخصيب 5% تقريباً الموزع على حزم الوقود بطول 1.8 متر مماثلة لتلك المستخدمة اليوم في مفاعلات الماء الخفيف القياسية.

التزود بالوقود: كلّ 24 شهراً.

المبرد: الماء.

المهدئ: الماء.

النفايات: الوقود المستهلك، ويتكون من بقايا اليورانيوم 235 وغيرها من النفايات العالية الإشعاع، على غرار نفايات مفاعلات الماء المضغوط القياسية.

ب- وحدة الطاقة هايبريون Hyperion Power Module

يمكنها أن تغذي بلدة صغيرة أو تجمعاً سكانياً نائياً وبعيداً عن الشبكة الكهربائية.

كيف تعمل

وحدة الطاقة هايبريون Hyperion Power Module (HPM) هي عبارة عن مفاعل سريع، وهذا النوع من المفاعلات ليس بحاجة إلى مهدئ كما هو الأمر في مفاعلات الماء المضغوط القياسية –المعروفة باسم المفاعلات الحرارية– حيث إن وجود الماء فيها ضروري لأنه يبطئ النترونات لكي تتمكن من شطر ذرّات اليورانيوم الأخرى وإنتاج المزيد منها، وأهمية استخدام المهدئ كالماء مثلاً هي أنه بإمكانك البدء بالتفاعل المتسلسل باستخدام كتلة صغيرة نسبياً من وقود اليورانيوم. على النقيض من ذلك، يستخدم المفاعل السريع كتلة كبيرة من الوقود، التي تصدر العديد من النترونات

ولكن لم يعد هنا إبطاء النترونات ضرورياً، من أجل استمرار التفاعل المتسلسل، ويساعد المبرّد أيضاً في دفع هذه العملية والذي يكون في وحدات الطاقة هايبريون (HPM) عبارة عن مزيج من البزموت والرصاص [1]. وبالإضافة إلى كونه لا يبطئ النترونات، يقوم هذا المبرّد بنقل الحرارة بكفاءة أكبر إلى منظومة العنفات (turbine system).

المـــزايـــا

إن خليط الرصاص والبزموت أكثر أماناً من مبرّدات المعادن المنصهرة الأخرى، إذ إن الرصاص لا يتفاعل مع الهواء أو الماء. وبسبب كونه مفاعلاً سريعاً، لاتستهلك وحدة الطاقة هايبريون (HPM) كميات كبيرة من الماء الأمر الذي يجعلها مرغوبة في المناطق التي تكون فيها المياه شحيحة أو غير متوفرة. والوقود الذي هو عبارة عن نتريد اليورانيوم [2]، والذي يحلّ محل أكسيد اليورانيوم، يكون أقلّ عرضة للتشقّق في درجات الحرارة المرتفعة، وتنوه الشركة المصنّعة إلى أن انكسار الوعاء أو ثقبه سيؤدي إلى تسرب المعدن المنصهر وتصلبه على الفور، بدلاً من انتشار البخار المشعّ، كما ستكون الحال في مفاعلات الماء المضغوط (PWR).ويُبنى المفاعل تحت الأرض مع حلقات تبريد ثانوية (secondary coolant loops) وقضبان تحكم، كل ذلك من أجل درجة أمان فائقة [3,4,5].

المساوئ

هناك عدد قليل جداً من المفاعلات السريعة التي تولّد الطاقة تجارياً، وأغلب استخدام هذه المفاعلات لأغراض البحوث وللغواصات العسكرية. تمّ اختبار الوقود (نتريد اليورانيوم) والمبرّد (مزيج الرصاص والبزموت) المنتج من قبل شركة هايبريون كل على حدة في مفاعلات بحوث ولكن لم يتم اختبارهما سوية. لم تبين الشركة بعد النموذج التشغيلي الأولي بشكله المكتمل. وأخيراً ليس هناك من ضمان بأن شركة هايبريون ستنفذ وعودها بجمع النفايات النووية بالشكل الجيد.

الإطار الزمني

تقول شركة هايبريون بأن لديها صفاً يزيد على 150 من العملاء، بما في ذلك شركات التعدين والاتصالات في جمهورية التشيك وجنوب أفريقيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة. ولكن يجب أن ينتظر هؤلاء المشترون التراخيص اللازمة، والمصادقة على مفاعل وحدة الطاقة هايبريون (HPM) في الولايات المتحدة التي قد تحتاج من ثلاث إلى خمس سنوات اعتباراً من بداية تقديم الشركة للطلب.

المصنّع: هايبيريون لتوليد الطاقة Hyperion Power Generation.

المقر الرئيسي: دينفر.

النوع: مفاعل مبرد بالمعدن المنصهر.

الاستطاعة: الحرارية 70 ميغاواط، الكهربائية 25 ميغاواط.

الوقود: قضبان وقود من الفولاذ غير الصدئ محشوة بحبيبات سيراميكية صلبة من نتريد اليورانيوم، ويخصب الوقود إلى درجة أقل من 20% (لمفاعل ماء مضغوط PWR نموذجي التخصيب من 3-5%)، إذ تبيّن اتفاقية عدم انتشار الأسلحة النووية أن درجة التخصيب 20% هي المستوى الأدنى لـ"المواد النووية الخاصة" وهو المستوى الذي يمكن استخدامه في الأسلحة النووية.

التزود بالوقود: لا يوجد داع لعملية إعادة التزود بالوقود، إذ يمكن استبدال الوحدة بالكامل كل 8 إلى 10 سنوات.

المبرد: الرصاص والبزموت المنصهر (يكون الصوديوم عادة هو المبرّد في المفاعلات المبرّدة بالمعدن المنصهر).

المهدّئ: لا يوجد مهدّئ (لأنه مفاعل سريع).

النفايات: تدّعي شركة هايبريون بأن المفاعل متجدّد: فبدلاً من الاستبدال المتكرّر لليورانيوم المستنفد بوقود طازج، يمكن في حالتنا استبدال القلب كله (20 طن–متري) بواحد جديد. وتقول الشركة إنها ستأخذ على عاتقها العناية والتعامل مع القلب المستخدم.

ثالثاً- مفاعلات الجيل الرابع (Generation IV Reactors)

تستخدم مفاعلات الجيل الرابع (التصميمات الأكثر غرابة) أنواعاً جديدة من الوقود والمهدئات، أما في تصميمات المفاعلات السريعة، حيث يغيب المهدئ تماماً، تتطلّب هذه المفاعلات تراكيزاً للمواد الانشطارية (البلوتونيوم أو اليورانيوم 235) أعلى من تلك المستخدمة في مفاعلات الماء الخفيف. وهناك القليل من الوعود بفعل شيء ما غير مسبوق وقطعي ليس فقط من أجل الوقود وإنما أيضاً للنفايات النووية ذات الأعمار الطويلة التي عانت منها الطاقة النووية منذ تأسيسها. وسيتم على الأرجح تبريد الجيل القادم من المحطات النووية –الجيل الرابع– والذي هو الآن قيد الدراسة من قبل مجموعة من الشركات الأمريكية، بواسطة الهليوم، أما المهدئ فسيكون الغرافيت. وسيتم الإعلان عن هذه التقانة النوعية والشركات

الرائدة في هذا المجال في أوائل عام 2011. أما المفاعلات الأخرى حتى الأكثر راديكالية منها بما فيها مفاعل TerraPower، وهو من نوع مفاعلات الموجة السائرة (traveling-wave reactor)، فتأمل الشركة بناءها واختبارها خلال فترة تزيد قليلاً عن عشر سنوات.

توشيبا 4s (Toshiba 4S)

إن أحرف (s) الأربعة في الاسم ترمز إلى الكلمات: (super, safe, small, simple) أي (فائق، وآمن، وصغير، وبسيط)، والاعتقاد السائد عن هذا المفاعل كما لو كان بطارية نووية (nuclear battery) تدوم 30 عاماً.

كيف يعمل

إن القلب الرفيع والطويل محاط بعاكس حلقي الشكل يتحرك ببطء مع مرور الوقت. يحافظ هذا الدرع على النترونات الصادرة ضمن منطقة محددة من القلب، حيث يجري فيها التفاعل المتسلسل. وبينما يرتفع العاكس الحلقي، يحرق الوقود النووي ببطء. صُمّم المفاعل (4s) بثلاث حلقات تبريد لسحب الحرارة. يجري في الحلقة الأولى الصوديوم المنصهر من أجل تبريد قلب المفاعل، كما يدور أيضاً الصوديوم المنصهر في الحلقة الثانية التي تنقل بدورها الحرارة إلى الحلقة الثالثة التي تحوي على الماء والبخار من أجل دفع العنفات. يسبّب الحمل الحراري تدفق المعدن المنصهر في الحلقات الأولى والثانية. ولتحسين الأمان تقوم مضخات كهرومغناطيسية –بدون أجزاء متحركة– بالمساعدة في عملية تدوير المبرّد [2]. وقد صُمّم المفاعل على هيئة قبوة أسطوانية محكمة الإغلاق يمكن أن يصل عمقها إلى 30 متراً تحت الأرض وذلك لضمان السلامة من الأعاصير والإرهابيين.

المـــزايـــا

يمكن أن يبقى المفاعل دون مراقبة مدة تزيد على 30 سنة، من جهة لأن المبرّد (الصوديوم المنصهر) لا يسبّب تآكل معدن الأنابيب ووعاء المفاعل كما يفعل الماء الشديد التسخين، ولا يتحتم ضغط المفاعل من جهة ثانية، وبذلك فإن أي انكسار أو تمزق بالأنابيب لن يكون انفجارياً، إذ يحدث فقط تسرب للصوديوم المنصهر، كما هو الأمر في أي مفاعل سريع. يمكن للمفاعل (4s) أن يشطر النظائر المشعّة الأطول عمراً الموجودة في الوقود المستهلك، والذي من شأنه أن يقلّل إلى حدٍّ ما من كمية النظائر المشعّة وكذلك الحجم الإجمالي للنفايات.

المساوئ

إن الصوديوم متطاير جداً وينفجر عند تماسه مع الماء، وكذلك إحدى المزايا المزعومة لهذا التصميم وهي القدرة على شطر النظائر المعمّرة، يمكن أن تكون نقطة ضعف، فعلى الرغم من خفض حجم النفايات الناتجة، فإن النفايات نفسها تكون ذات نشاط إشعاعي أكبر ومن الممكن استخدامها لصنع القنابل القذرة.

الإطار الزمني

عقدت شركة توشيبا اجتماعات تحضيرية مع هيئة التنظيم النووي (NRC) في الولايات المتحدة، وتقدّمت بالتقارير التقنية التمهيدية، وتتوقع الشركة أن يُقدّم تصميمها للمراجعة والدراسة في أواخر عام 2012، ولم تحدّد هيئة التنظيم النووي (NRC) متى ستتم الموافقة عليها. ولدى الشركة الآن بعض الأطراف المهتمة بالمفاعل (4s) بمن فيهم مدينة غالينا غرب آلاسكا (عدد سكانها 599) والتي تخطّط لتقديم طلب الحصول على البناء بمجرد حصولها على موافقة هيئة التنظيم النووي (NRC).

المصنّع: توشيبا Toshiba

المقر الرئيسي: طوكيو.

النوع: مفاعل سريع مبرد بالصوديوم المنصهر.

الاستطاعة: الحرارية 30 ميغاواط، الكهربائية 10 ميغاواط.

الوقود: اليورانيوم المخصّب إلى نحو 19.9% (دون عتبة 20% بقليل، التي يمكن استخدامها في الأسلحة)، اليورانيوم ممزوج بالزركونيوم ومغلف بالفولاذ.

التزود بالوقود: المفاعل محكم الإغلاق ولا يحتاج للتزود بالوقود أبداً، وعند استهلاك الوقود بعد 30 عاماً يُعاد القلب بالكامل إلى المصنع للتخلص منه ويركّب قلب آخر مكانه.

المبرّد: الصوديوم المنصهر.

المهدّئ: لا يوجد مهدئ، لأنه مفاعل سريع.

النفايات: إن بقايا الوقود المستهلك محكمة الإغلاق داخل القلب.

الجيل القادم من المحطات النووية

صُمّم هذا المفاعل من الجيل الرابع لإنتاج الكهرباء وكذلك الحرارة من أجل التطبيقات الصناعية.

كيف يعمل

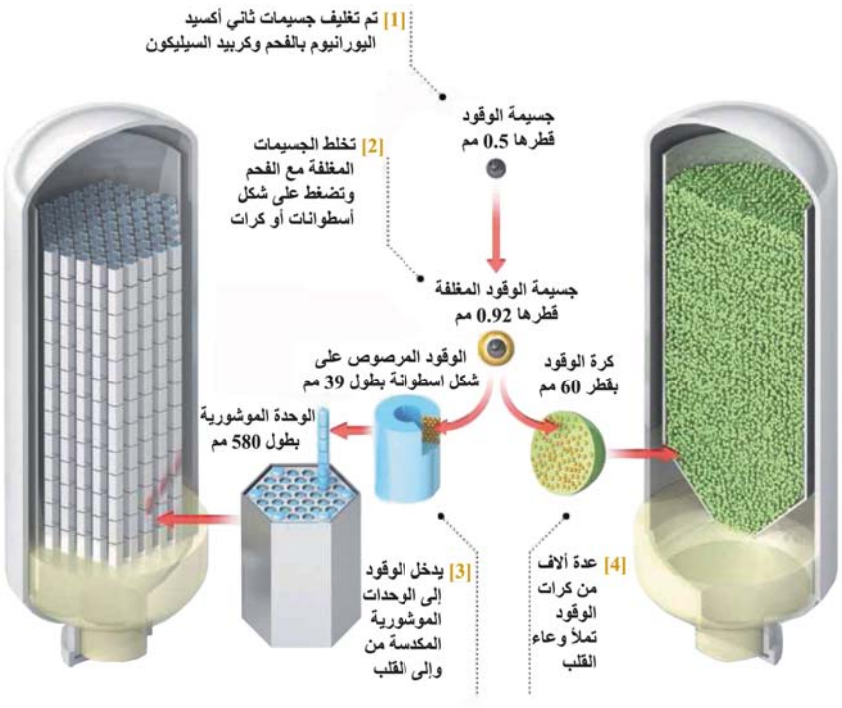
يتكوّن وقود هذا المفاعل من جزيئات اليورانيوم المعروفة باسم الجزيئات المتناحية البنيوية (tristructural isotropic) أو (TRISO) [1,2]. يتم تهيئة الكريات، المكوّنة من الوقود والفحم والتي تدخل إلى قلب المفاعل [3,4]، بحيث تنتج التفاعل المتسلسل، وتقوم دورة الهليوم خلال القلب بسحب الحرارة ثم يقوم الهليوم بدفع العنفات إما مباشرة أو يمكنه أن يولّد البخار لتشغيل العنفات، ويمكن لقلب المفاعل تحمل حرارة 900 درجة مئوية وحتى أعلى من ذلك، بينما تشغّل مفاعلات الماء المضغوط على درجة حرارة حوالي 300 درجة مئوية.

المـــزايـــا

إن كون درجة حرارة هذه المفاعلات أعلى يعني أن بإمكانها أن تقوم بتزويد الحرارة للعمليات الصناعية كتكرير النفط، وللصناعات الكيماوية كالبلاستيك والأسمدة وإنتاج الهدروجين، مما يساعد على خفض انبعاث الكربون والخفض من استخدام النفط والغاز الطبيعي. وعلى الرغم من درجة الحرارة المرتفعة، فإن المفاعل يعمل على خُمْس طاقة مفاعل الماء المضغوط (PWR)الأمر الذي يساعد على خفض الكثافة الطاقية ويعزز السلامة الشاملة، والأكثر من ذلك تزيد الحرارة الإضافية بطبيعة الحال من قدرة الكربون على امتصاص النترونات، لذلك يعمل الكربون كآلية منفعلة (a passive safety mechanism) قادرة على لجم قلب المفاعل. هذا ما أظهرته نماذج مفاعل درجة الحرارة العالية المبرّد بالغاز (High-temperature gas-reactor) في ألمانيا والصين.

المساوئ

لايزال يتعيّن القيام بالكثير من الاختبارات. تحتاج كريات الوقود إلى تقييم من أجل الصدم النتروني الشديد وكذلك الغرافيت الذي يشكّل القلب، ومن الواجب القيام بعملية التوصيف التام والاختبار



التصميم الموشوري

للمواد التي تتحمل الحرارة العالية أي السبائك الفائقة المصنوعة على أساس النيكل–الهليوم في الظروف القاسية.

يجب القيام بعملية محاكاة لفيزياء المفاعل والتحقق منها، والتحقق فيما لو كان القلب يحوي الكثير من الغرافيت الأمر الذي يجعل إعادة تدويره مكلفة.

الإطار الزمني

تتوقع وزارة الطاقة الأمريكية أن يقع اختيارها في أوائل عام 2011 إما على المقترحات المقدمة من جنرال آتوميكس (General Atomics) أو تلك المقدمة من وستنغهاوس (Westinghouse).

المصنع: يوجد اثنان من التصميمات هي حالياً قيد التطوير بتكليف من وزارة الطاقة الأمريكية ضمن برنامج الجيل التالي للمحطات النووية، إحداهما من قبل تكتل مجموعة شركات تقودها جنرال آتوميكس (General Atomics) في سان دييغو والآخر من قبل تكتل مجموعة شركات تقودها وستنغهاوس (Westinghouse) في بلدة كرانبيري بولاية بنسلفانيا.

النوع: مفاعل درجة الحرارة العالية المبرّد بالغاز.

الاستطاعة: الحرارية 250 إلى 600 ميغاواط، الكهربائية 112 إلى 270 ميغاواط.

الوقود: جزيئات مجهرية من ثنائي أكسيد اليورانيوم مغطاة بكرتي السليكون والفحم وتمزج هذه الكريات المعروفة باسم الجزيئات المتناحية البنيوية (tristructural isotropic) أو (TRISO) مع الكثير من الغرافيت على هيئة إحدى الأشكال الهندسية الممكنة: كريات بحجم الكرات المستخدمة في كرة المضرب (التصميم الحصوي)، أو عصيات بحجم قطع الطباشير تدخل في قوالب سداسية الشكل من الغرافيت (التصميم الموشوري).

التزوّد بالوقود: يتم استبدال الوقود المستهلك بصورة مستمرة دون إغلاق المفاعل. في التصميم الحصوي: تتم إزالة كرات الوقود TRISO –التي تـمّ قياس مستوى الانشطار لها– من القعر وتُضاف كرات جديدة من الأعلى، أما في التصميم الموشوري، فتستبدل آلاف الوحدات السداسية الشكل وعصيات وقودها TRISO بشكل دوري.

المبرد: الهليوم.

المهدئ: الغرافيت.

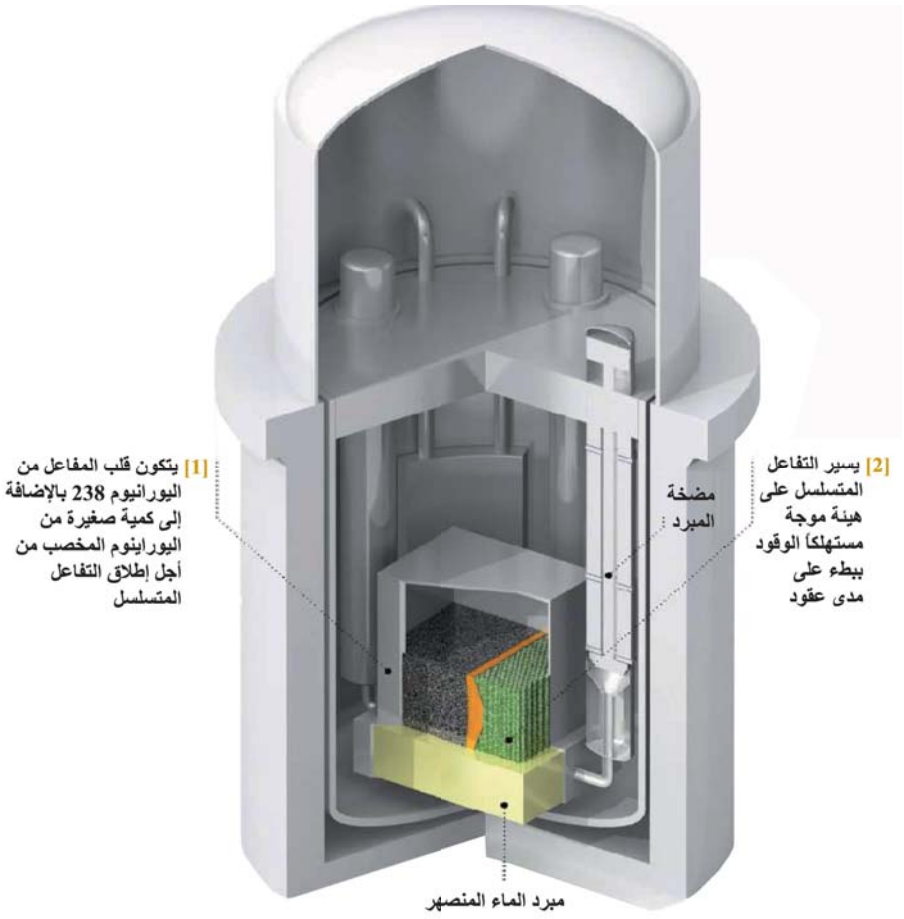
النفايات: الوقود المستنفد المكون من الكرات (التصميم الحصوي) والعصيات في (التصميم الموشوري) والتي تحتوي على بقايا اليورانيوم التي لم تخضع لعملية الانشطار وغيرها من المواد المشعّة، كما يتم تخزين النفايات داخل براميل معدنية في الموقع.

المفاعل تيراوي الطاقة TP-1 (TerraPower TP-1)

يُنتج هذا المفاعل موجة التفاعل النووي التي تولّد وقودها الذاتي وتحرقه والتي تستمر لعشرات السنين.

كيف يعمل

يُملأ وعاء قلب المفاعل، الذي يكون على شكل أسطوانة أو متوازي سطوح، في معظمه، باليورانيوم 238 باستثناء كمية صغيرة من اليورانيوم المخصّب–القادح– الذي يوضع عند إحدى نهايات الوعاء [1]، ويُنتج هذا القادح الدفقة النترونية الأولية، التي تطلق العنان للتفاعل النووي المتسلسل. ونظراً للشكل الهندسي للوعاء



والخصائص الذرّية لليورانيوم، يجوب التفاعل المتسلسل القلب بطريقة موجية حيث تتحرك الموجة بضعة سنتيمترات سنوياً مستهلكة الوقود من أحد أطراف المفاعل إلى الطرف الآخر مثل جذوة لفافة التبغ المحترقة، وتتكون الموجة من نوعين من التفاعلات، الأول يحوّل اليورانيوم 238 إلى بلوتونيوم 239، أما النوع الآخر فيشطر البلوتونيوم منتجاً المزيد من النترونات والحرارة، وبمجرد انطلاق الموجة لا تضاف أية مواد انشطارية جديدة، ويمكن إذا لزم الأمر إيقاف المفاعل باستخدام قضبان التحكم، وفي حال رفعت هذه القضبان، فإن الموجة تبدأ العمل من جديد بشكل طبيعي.

المـــزايـــا

لا يحتاج المفاعل إلى عملية تخصيب للوقود أو إعادة معالجة وبالتالي فإن مخاطر الانتشار النووي قليلة، لأنه يستخدم اليورانيوم المستنضب كوقود، وهو منتج ثانوي في عملية تخصيب اليورانيوم ومتوفر بكميات كبيرة وغير مستغلة. (ويمكن أيضاً استخدام الوقود المستهلك من مفاعلات الماء الخفيف المتوفرة). وتستمر حمولة واحدة من الوقود لعقود عدة، لذلك يكون المفاعل محكم الإغلاق ولن يحتاج إلى عملية إعادة التزود بالوقود. يمكن للنفايات أن تبقى في مكانها بعد انتهاء فترة خدمة المفاعل كما يمكن استخدام "المفاعل القديم" لبدء موجة التوليد والاحتراق في قلب المفاعل الجديد ومن ثم إيقافه ونقله إلى موقع آخر، وإعادة تشغيله هناك، وتمّت عملية محاكاة الفيزياء النووية للموجة السائرة على نطاق واسع ضمن نماذج حاسوبية متطورة.

المساوئ

لم يتم اختبار التصميم بشكل كامل، ويمكن أيضاً أن يعتمد على منظومات المفاعلات السريعة والمواد التي لم يتم استخدامها تجارياً بعد. لإطلاق الموجة، يحتاج المفاعل إلى عدة أطنان من اليورانيوم المخصّب إلى نحو 10%، أو ما يقرب من ضعف مستوى التخصيب لوقود مفاعل ماء خفيف، وستنتج أطنان عدة من البلوتونيوم الفائض وغيره من النفايات ذات المستوى العالي من الإشعاع. ويعاني المفاعل من كثافة طاقية مرتفعة، بضع مئات الميغاواط لكلّ متر مكعب بالمقارنة مع 100 ميغاواط لكلّ متر مكعب في مفاعل ماء خفيف LWR قياسي، الأمر الذي يحتاج إلى استخدام المعدن المنصهر كمبرّد ومواد تغليف لم تثبت بعد جدارتها في مقاومة التعرّض للحرارة وللنترونات لفترات طويلة جداً. كما أن بناء وتشغيل أول مفاعل يتطلّب تعاون هيئات متعددة ويحتاج كذلك إلى الدعم السياسي.

الإطار الزمني

بدأ المشروع عام 2006، ويحتاج مفاعل (TerraPower) إلى التعاون الدولي لبناء وتشغيل المفاعل الأول، وتتوقع الشركة أن تمتلك مفاعلاً اختبارياً قيد التشغيل عام 2020، وأن تدفع بتقنية هذا المفاعل إلى المستوى التجاري أواخر عام 2020.

المصنع: انتيليكتشول فينتشرز Intellectual Ventures

المقر الرئيسي: بلفيو، واشنطن.

النوع: مفاعل الموجة السائرة (traveling-wave reactor).

الاستطاعة: الحرارية 900 حتى 1250 ميغاواط، الكهربائية 350 حتى 500 ميغاواط. صُمّمت كوحدات مفاعل يمكن تجميعها على شكل محطات من نطاق الغيغاواط.

الوقود: اليورانيوم المستنضب، الذي يمكن العثور عليه على شكل سادس فلوريد اليورانيوم كناتج ثانوي لعملية تخصيب اليورانيوم التي تُعدُّ جزءاً من عملية إنتاج الوقود الحالي. (ويمكن للمفاعل أيضاً استخدام الوقود المستنفد من مفاعلات الماء الخفيف) حيث يحول اليورانيوم 238 إلى سبيكة معدنية من اليورانيوم وتوضع داخل قضبان الوقود التي تشكل قلب المفاعل، ويحتاج القلب إلى "قادح" يتكوّن من اليورانيوم المخصب (10-12% من اليورانيوم 235 القابل للانشطار)، ويمثل القادح نسبة قليلة من الوزن الكلّي للقلب.

التزود بالوقود: يأخذ المفاعل فترة 40-50 عاماً لاستهلاك الوقود، ولا يوجد ضرورة خلال هذه الفترة للتزود بالوقود، ولكن ربما يتعيّن إعادة توزيع قضبان الوقود لتحسين معدّل الاحتراق.

المبرد: الصوديوم المصهور، الذي يتدفق على طول قضبان الوقود، وتوضع قضبان التحكم، المصنوعة من كربيد البورن، في الموضع الحالي للموجة، في تلك الأماكن التي تمكن من التحكم بالطاقة والتفاعلية.

المهدئ: غير موجود، لأنه مفاعل سريع.

النفايات: بقايا اليورانيوم، البلوتونيوم الفائض، وغيرها من النفايات العالية المستوى الإشعاعي، ويمكن أن تبقى النفايات في مكانها بعد الانتهاء من استثمار المفاعل.

الاتجاهات الراهنة للكهرباء النووية في أوربة والعالم

الكلمات المفتاحية: كهرباء نووية، محطات نووية، مفاعلات الماء المضغوط، مفاعلات الماء المغلي.

في 16 حزيران 2010، جرى عرض هذه الدراسة المؤلَّفة من أربعة أجزاء خلال «ربيع البحث» الذي تنظمه، سنوياً، شركة كهرباء فرنسا للبحث والتطوير (EDF-R et D) في كلامار.

يحاول الجزء الأول إظهار أنه إذا اعتبر الأمد الطويل للقطاع النووي مشرقاً اليوم، أو بالأحرى غاية في الإشراق، فالواقع هو أكثر تواضعاً وتحكمه أولويتان مهمتان: الأولى، استخدام أمثل لـ 370 غيغا واط المنتجة في المرافق النووية الموجودة، والثانية، إنجاز الـ 58 مفاعلاً قيد الإنشاء وفق أمثل الشروط.

يخلص الجزء الأول إلى تحليل الاحتياجات الأوربية وتفصيل إمكانيّة اكتفاء دول الاتحاد الأوربي الـ 27 بنسبة 30% من الكهرباء النووية في العام 2030. وفي هذا الافتراض، يَعتبر الكاتب أن مفاعل الماء المضغوط الأوربي EPR (PWR) يمكن أن يمثل 30 غيغا واط من الـ 70 غيغا واط المطلوب وضعها في الخدمة، وهو ما يقابل تقريباً 20 مفاعل PWR مخططاً إنشاؤها خلال الـ 15 عاماً القادمة.

لم يتطرق الجزء الأول إلى تفاصيل مسائل التكاليف والمواعيد النهائية لتنفيذ المحطات قيد الإنشاء وتلك المخطط إنشاؤها، لأنه، وبرغم ما يمكن أن تظهر من أهمية، تبدو لنا أنها مرتبطة، وبغض النظر عن واقع العروض التجارية والاستنتاج الفعلي للأعمال، بالاعتبارات الجيوسياسية وخصوصيات تنظيم العمل في الدول المعنية التي تتجاوز الإطار المُدرج أدناه.

الجزء الأول- أمد طويل مشرق، وواقع أكثر تواضعاً

1. أمد طويل مشرق

يعود مفهوم نهضة/تجديد «الكهرباء النووية» إلى أكثر من خمس سنوات بعد حقبة شبه جمود امتدت 20 عاماً تقريباً.

لم تتغير أساسيّات هذه «الموجة الثانية» التي أعقبت تلك التي استمرت منذ عام 1975 وحتى عام 1990، وقد شدّدت جميع المنتديات العالمية التي انعقدت مؤخراً (على سبيل المثال: المؤتمر الدولي في 8 و 9 آذار 2010 الذي انعقد في باريس حول المدخل إلى القطاع النووي المدني، وأتوم إكسبو Atomexpo الذي انعقد في موسكو) على افتراض أنّ الأزمة ينبغي ألاّ تغيّر شيئاً، وهذا ما لم يحدث، للأسف، حسب رأينا.

مع ذلك، لنُذكِّر بإيجاز بتلك الأساسيّات: ما يزيد على **50% من استهلاك الكهرباء لعام 2030** ينتج عن كهرباء نووية؛ تأكيد ضرورة توافر كهرباء خالية من ثنائي أكسيد الكربون، رغم الصعوبات التي تمّ تسليط الضوء عليها في كوبنهاغن؛ إقرار واسع بإسهام القطاع النووي في الخليط الكهربائي إلى جانب الطاقات المتجدّدة. **ملفات تقنية قويّة**: موارد من اليورانيوم الطبيعي كافية لفترة تزيد كثيراً عن العام 2040؛ وتحسّن منتظم لمستوى أمان المفاعلات القائمة والتي قيد الإنشاء؛ تطوير مجال معالجة النفايات وتخزينها.

إعادة التأكيد على تنافسية اقتصادية لإنتاج الكهرباء النووية (راجع الدراسة الصادرة نهاية آذار/مارس عن منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية OCDE المتضمنة سعراً لثنائي أكسيد الكربون قدره /30 يورو/ للطـــن وبأمد حياتي يبلغ 60 عاماً للمنشآت النووية)؛ من المناسب ملاحظة الانتباه إلى استقرار العملة، وتنطبق هذه الملاحظة أيضاً على جميع الاستثمارات الكهربائية.

ومن أجل الإعداد لما بعد 2040، يُنتظر حدوث إبداعات تقنية مهمّة ترافق أعمال تطوير الجيل الرابع والنماذج الأولية قيد الإنشاء (روسيا والهند)، أو نماذج مبرمجة (اليابان ، وفرنسا مع آستريد Astrid ....)

وفي الإجمال، هناك توقعات للدخول في الخدمة تفوق:

- ما **يزيد على 300 غيغا واط عام 2030**، ما سيؤدي إلى إنشاء مجموعة عالمية تتراوح بين 530 غيغا واط (وفقاً للرابطة النووية العالمية عام 2007) و 635 غيغا واط (وهو هدف أعلنته أريفا AREVA منتصف 2009)، مع الأخذ في الحسبان استبدال المحطات التي تمّ وضعها خارج الخدمة.
- **ما يزيد على 1000 ميغا واط في العام 2050**، وربما أكثر، وفقاً للوكالة الدولية للطاقة الذرية.

ولأجل مناطق جغرافية كبيرة، هناك أهداف طموحة لعام 2030:

- **في الصين** أولاً ما يزيد على 70 غيغا واط على الأقل.
- **في اليابان وكوريا** ما يزيد على 30 غيغا واط.
- **في الولايات المتحدة الأمريكية** ما يزيد على 45 غيغا واط؟ (للحفاظ على 20% من الكهرباء النووية).
- **في روسيا** ما يزيد على 30 غيغا واط.
- **في أوربة** ما يزيد على 70 غيغا واط؟ (للحفاظ على 30% من الكهرباء النووية: تم بحث هذه النقطة في الجزء الرابع).
- هناك أيضاً نيّات عديدة أخرى **للدول الأصغر، سواء كانت بازغة أم لا**، يمكن أن ترفع عـــدد «الدول النووية» من 30 حالياً إلى 60 في العام 2030، مع جزء يُقدَّر بـ 20% من المنشآت الحديثة التي سوف تُنجز (وفقاً لدراسات آريفا AREVA) وبـ 80% للدول التي سبق لها ولوج القطاع النووي.

2. واقع أكثر تواضعاً وتناقضاً

نحن لا نعارض واقع الاحتياجات المستقبلية، ولا حتى الجهود التي تبذلها الدول مع مؤسساتها الكبيرة، مع منتجي الكهرباء (مرافق الكهرباء) والصناعيين الكبار (الباعة). من جهة أخرى يُلاحظ أن الوضع قد تطور بصورة ملموسة منذ مدة تتراوح بين 20 و 30 عاماً، وفي الواقع، كانت البرامج وطنية والأسواق مغلقة خلال السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي، في حين نلاحظ اليوم **وجود اتجاه عام نحو فتح الأسواق والعولمة سواء إزاء مرافق الكهرباء أم بالنسبة للباعة**، مع شراكات كثيرة (وشراكات في حالة التشكُّل)، في مجال المفاعلات ودورات الوقود منبعاً ومصباً. وهذا يعني، أنه عدا المرافق النووية القائمة (371 غيغا واط مع 437 مفاعلاً)، لا يوجد اليوم، سوى 58 مفاعلاً قيد الإنشاء باستطاعة 55.8 غيغا واط،، وإنْ كان ما ينشر عموماً يشير إلى وجود أكثر من 140 مشروعاً راسخاً.

لنقترح، إذاً، **عدم إيلاء اهتمام سوى لما هو موجود وللمنشآت قيد الإنشاء في الجزئين التاليين**، إذ إنّ هذين

المجالين يحددان المستقبل بوضوح: ما هو قائم مع تحدياته فيما يخص الأداء الأمثل وأمد العمر، وأيضاً المنشآت قيد البناء، إذ إنهما يحدّدان ثقة المستثمرين والمموّلين حسب تغيّرات المهَل وتذبذبات الأسعار. **سنعود، في الجزء الأخير إلى أوربة**، لأن هذه المنطقة، أوربة الـ 27، ربّما ستتعرض لمشكلات أكبر من تلك التي ستتعرض لها الولايات المتحدة فيما يرتبط بالاستطاعة الكهربائية التي وضعت قبل 2030، مع إمكانيّات حدوث تعتيم.

الجزء الثاني- الاستخدام الأمثل لـ 370 غيغا واط الموجودة

- تستثمر اليوم اثنتا عشرة دولة من بين ثلاثين تمتلك مجموعة محطات نووية 89% من الاستطاعة المستثمرة (مع 91% من المفاعلات)

← 5 دول لديها 20 مفاعلاً أو أكثر قيد التشغيل

• الولايات المتحدة	104	100.6
• فرنسا	58	63.1
• اليابان	55	46.8
• روسيا	32	22.7
• كوريا	20	17.7
	269	250.9

أي 62% عددياً و 68% استطاعةً، أيّ أكثر بـ 2/3 من الاستطاعة المُشغّلَة.

← 7 دول لديها 10 مفاعلات أو أكثر قيد الاستثمار

• المملكة المتحدة	19	10.0
• كندا	18	12.6
• الهند	18	4.0
• ألمانيا	17	20.5
• أوكرانيا	15	13.1
• الصين	11	8.5
• السويد	10	9.0
	108	77,7

أي 29% عددياً و 21% استطاعةً.

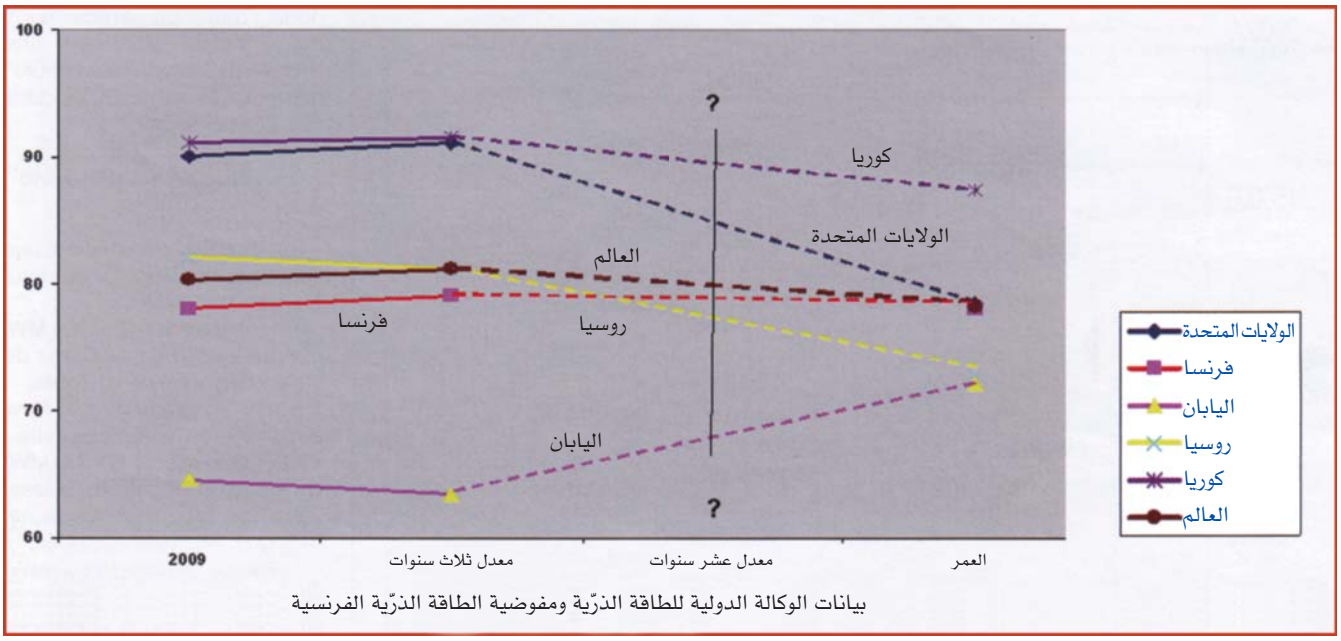
يمكننا اعتبار أنّ قادة الغد سيكونون من «مجموعة الـ 12»، حتى لو تغير العدد الإجمالي للدول التي ستتبنّى الخيار النووي من 30 إلى 60، ومن المؤكد أن الدول الخمس الأولى ستكون فرنسا والولايات المتحدة واليابان وروسيا وكوريا، وهناك احتمال قوي أن تنضم كل من الصين والهند إلى المجموعة، كما يمكن أن تكون كندا من بينها. كلٌّ من هذه الدول لديها، أو سيصبح لديها، بائع واحد أو باعة شركاء عديدون (بحدود عشرة في المجموع).

- أما فيما يخص التقانات المقترحة، فجميعها موجودة الآن (جيل يسمى G2) والتطورات الجوهرية (جيل G3) هو قيد الإنجاز كما سنرى. **إنّ أكثر من 60% هي مفاعلات الماء المضغوط PWR**، و 20% مفاعلات الماء المغلي BWR، ويتوزع الباقي بين أنواع المفاعلات التي لن يُعاد إنتاجها (RBMK, AGR, Magnox...) عدا بعض مفاعلات الماء الثقيل، وبالتأكيد المفاعلات الولودة السريعة.

- ويتّبع جميع المشغِّلين في المرافق النووية القائمة السياسة نفسها:

- **تحسين أداء المرافق النووية القائمة والتي تُقاس بالـ Kd** (عامل الإنتاج، كما هو معترف به تحت رعاية الـ WANO، الرابطة العالمية للمشغِّلين النوويين).
- **زيادة الاستطاعة:** يمكننا اعتبار أن معدل الزيادة يتراوح بين 7 و 8% والذي لم يُستثمر حتى اليوم في أكثر من 60%، ما يؤدي إلى استطاعة إضافية بين 10 و 15 غيغا واط.
- **إطالة مدة التشغيل:** انتهجت الولايات المتحدة هذه السياسة بشكل واسع، وهكذا تفعل اليابان وروسيا بدورهما، **وفي فرنسا تخطط شركة كهرباء فرنسا لتطبيقها بسرعة كبيرة، بالطبع شريطة الحصول على التراخيص النظامية اللازمة.** إنّ الاستطاعات المطروحة للنقاش ذات دلالة ويمكن اعتبار أنّ إطالة العمر المخطَّط لها، والتي تتراوح ما بين 40 و 60 عاماً، حيثما يمكن تحقيقه، ستتيح إرجاء إنشاء ما بين 150 إلى 180 غيغا واط على المستوى العالمي، حتّى ما بعد 2030.

- فيما يتعلق بعامل الإنتاج Kd، يُلاحظ حالياً **توجّه إلى المقارنة الداخلية للنتائج التي حققها المشغِّلون الرئيسون (دول)، غالباً خلال العام المنصرم فقط**، ومن الطبيعي، استخلاص النتائج على المدى القصير بالتأكيد، على الأخص المالية منها. نعتقد أن النشاطات المرتبطة بالاستثمار النووي هي ذات أجل متوسط–طويل وأنه حتى لو كانت النتائج المحقَّقة العام الماضي (أو الجاري) ذات قيمة كبيرة، فإن النتائج في الأجل



الشكل 1. مقارنة عامل الإنتاج بالنسبة المئوية

المتوسط (بمعدّل وسطي 3 سنوات) والأجل الطويل (10 سنوات) وحتى على صعيد أمد العمر، ينبغي أن تؤخذ في الحسبان.

لقد شرعنا في هذه المقاربة باستخدام قاعدة بيانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA (PRIS) ومفوضية الطاقة الذرية الفرنسية المتعلقة بالدول الرئيسة الخمس المستثمرة والعالم أجمع، باستثناء معدل الـ 10 سنوات حتّى الساعة، والتي تمّ إجراء البحث عليها.

يستوجب الجدول 1 وكذلك الرسم البياني 1 بعض التفسيرات: تتعلق النتائج كثيراً بالعمر الوسطي للمرفق النووي وبعدم تجانسه خلال الزمن، إذ إننا استطعنا أن نبيِّن أن المستثمرين حصلوا تقريباً على ذات الأداء أياً كانت الآلات المستخدمة.

جدول 1. تطور عامل الإنتاج kd خلال مراحل عديدة وأمد العمر (الماضي)

النسبة المئوية	2009	معدل 3 سنوات	معدل 10 سنوات	حياة
الولايات المتحدة	90,1	91,1		78,4
فرنسا	78,0	79,1		78,1
اليابان	64,6	63,4		72,1
روسيا	82,2	81,2		73,0
كوريا	91,1	91,6		87,4
العالم	80,3	81,2		78,2

– **كوريا، مجموعة أكثر حداثة**، لديها نتائج جيدة؛ ولدى الولايات المتحدة معدل أمد عمر أضعف، لأنها لم تحسن مستوى الأداء إلاّ اعتباراً من العام 1990 (للتذكير، المعدل الوسطي 70% المسجَّل بين الأعوام 1980 و 1989 انتقل إلى 80% بين الأعوام 1990 و 1997 ليصل إلى 90% خلال العام 2009).

– العوامل الخارجية (الـزلازل في اليابان) وحتى العِلل العامة (التآكل) يمكن أن يكون لها تأثيرات حاسمة وتقع خارج سيطرة الإدارة؛ وظروف الاستثمار (إدارة الحمولة الكهربائية: مدد الحملات) يمكن أن تحد من هدف عامل الإنتاج kd، كما هو الحال في فرنسا عند التخطيط لهدف 85% في العام 2015.

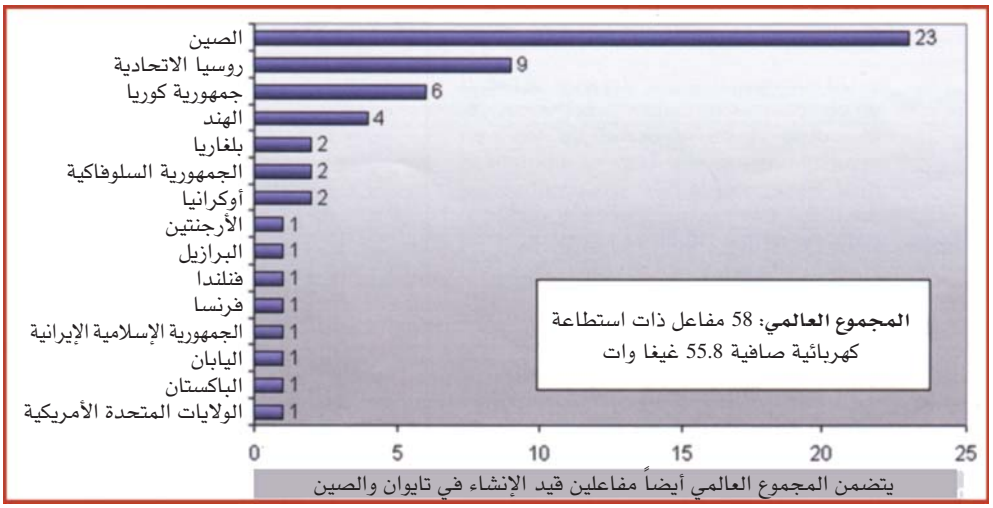
الجزء الثالث– جودة تنفيذ الـ 58 مفاعل قيد الإنشاء

لنراجع الرسم البياني الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية AIEA (الشكل 2) الذي يبيّن أماكن تنفيذ الـ 58 مفاعل قيد الإنشاء:

– 32 في دول شرق آسيا (23 في الصين، 6 في كوريا، 2 في تايوان، 1 في اليابان)،

– 6 في آسيا الوسطى (4 في الهند)، 1 في الباكستان و 1 في إيران)،

– 11 في روسيا وأوكرانيا (9 في روسيا و 2 في أوكرانيا؟)،



الشكل 2. عدد المفاعلات قيد الإنشاء في العالم

- 6 في دول الـ 27 في الاتحاد الأوربي (2 في بلغاريا، 2 في سلوفاكيا، 1 في فرنسا و 1 في فنلندا)،
- 2 في أمريكا الجنوبية (1 في الأرجنتين و 1 في البرازيل)
- 1 في الولايات المتحدة

إن هذه الأرقام توضيحية، **حيث تظهر الحصة الكبيرة التي تساهم فيها الصين والهند وكوريا على الساحة النووية الدولية (حوالي 60%)**، أما روسيا فقد عادت، من جهتها، لاحتلال المراتب الأولى، وتتأهب كل من فرنسا واليابان للمستقبل بنشاط، وبدورها الولايات المتحدة لم تجسّد بدء الإنشاء، رغم النوايا الإيجابية المؤكّدة بانتظام (عدا إنجاز Watts Bar).

كما أن التوزّع حسب التقانات مهم:

- يتضاءل الاهتمام بـ 3 من مفاعلات الماء المضغوط الثقيل PHWR (في الهند والأرجنتين)، و 4 من مفاعلات الماء المغلي المتقدمة ABWR (في تايوان واليابان)، و 2 من مفاعلات التوليد السريعة المبردة بالغاز FBR (في روسيا و الهند)، أي 9 مفاعلات بالمجموع.
- كما يتضاءل الاهتمام بـ 13 من مفاعلات الماء المضغوط PWR من أجيال مختلف الأنواع الحالية، وعلى الأخص في كوريا وروسيا والباكستان والولايات المتحدة الأمريكية.
- ويتم التركيز أكثر بقليل على 10 من مفاعلات VVER التي تبنيها روسيا، حيث يمكن اعتبار 3 منها بوضوح من الجيل الثالث.
- وبالطبع يتم التركيز على 4 من مفاعلات AP1000 الأمريكية و 4 من مفاعلات الماء المضغوط EPR الفرنسية المنتمية إلى الجيل الثالث، وكذلك مفاعل الـ APR1400 (من الجيل الثاني والجيل الثالث؟).
- ويُخشى أن يمتد الاهتمام قريباً بمفاعلات CPR1000 الصينية خارج الصين مع الإنجاز الحالي لـ 17 مفاعلاً من هذا الطراز (مع الـ CNP650) في الصين.

كما نرى، فإنّ المنافسة العالمية مفتوحة، بين مفاعلات الجيل الثالث التي تتمتع بمستويات أمان أعلى وبين مفاعلات الجيل الثاني والمفاعلات الوسيطة، دون أن ننسى مفاعلات الماء المغلي المتقدمة ABWR، وليس من الواضح معرفة ماهيّة خط المحاصصة؛ ومن المرجح جداً أن الدول المتقدمة تتطلب مستويات أعلى من الأمان وليس من المؤكد فيما إذا كان هذا حال الدول البازغة أو النامية.

الجزء الرابع – هل تستطيع دول أوربة الـ 27 البقاء في مستوى الـ 30% من الكهرباء النووية بحلول العام 2030؟

1. أية أوربة نووية؟

لا تزال الكهرباء النووية في أوربة موضوعاً يقع في نطاق المحرّمات، إذ إن السياسة في هذا المجال، ومثل ذلك في سياسة الطاقة بشكل عام، هي من اختصاص الدول. وفي رأينا، لا تضم أوربة النووية دول الاتحاد الأوروبي الـ 27 فقط (140 غيغا واط)، إنما أيضاً أوكرانيا (14 غيغا واط) وتركيا وبيلاروسيا. كما أن روسيا هي لاعب في المنطقة، وسيزداد دورها في المستقبل. ويصح ذلك ليس فيما يخص "نظام الإنتاج/النقل" لأوربة الجغرافية التي تترابط صفائحها الثماني بعناوين مختلفة فحسب، بل أيضاً بالنسبة للتنافس بين اللاعبين الصناعيين (المرافق الكهربائية والهندسة والباعة). ويتجلى هذا التنافس، بشكل مسبق، في أوربة الوسطى (التي تتضمّن الـ 12 دولة التي لحقت بأوربة الـ 15) وتركيا. وتبيّن تصريحات روسيا الأخيرة بوضوح هذا الموضوع، تصريحات تخصّ تركيا وبلغاريا على سبيل المثال. وينطبق الأمر نفسه على التحالف، إن تحقق، بين العملاق الروسي

الجديد ROSATOM و SIEMENS. ونرى هنا حالة دول أوربة الـ 27 لأنه يُرجّح أن يكون للمستوى الاتّحادي (المفوضية الأوربية) دور متزايد خلال السنوات القادمة.

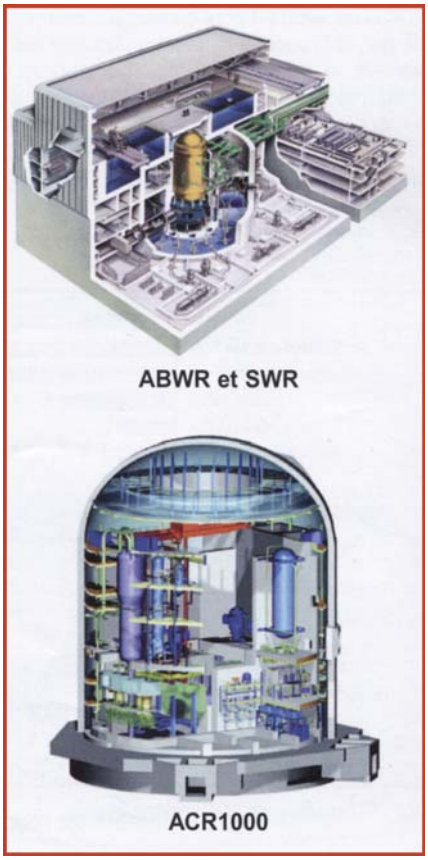
2. ما هي سيناريوهات المستقبل؟

تستند جميع السيناريوهات إلى توقعات تزايد الطلب على الكهرباء، حتى عام 2030، بنسبة تزيد على 35% وهي توقّعات تبدو أكيدة بشكل معقول.

ولنستعرض أولاً السيناريو "الرسمي" المركزي الحالي للمفوضية الأوربية، إنّه يستند إلى مزيج الكهرباء المثير للتساؤل، والذي، كما يبدو لنا، تحظى فيه طاقة الرياح والكتلة الحيوية بحصة مبالغ بها. ومن جهة أخرى، تجدر الإشارة، ضمن هذا الأفق، أن الفحم الحجري يمثل 30% من الكهرباء بدون عزل للكربون، وهو الغاز الذي يمثّل بدوره نسبة 25%.

مجمل القول، إنّ الطاقة النووية ستنتقل من 30% إلى 20%، وسيبدأ الانحسار بشكل ملحوظ بحلول عام 2020.

تجدر الإشارة إلى أن المفوضية الأوربية لا تأخذ في الحسبان أي زيادة للاستطاعة أو لإطالة أمد العمر، وبالمقابل، فإنها تأخذ تماماً بالاعتبار الوضع في الخدمة لـ 57.6 غيغا واط (منها 9.4 غيغا واط مؤكدة حالياً)، وبشكل أساسي (48.4 غيغا واط) بين 2020 و 2030.



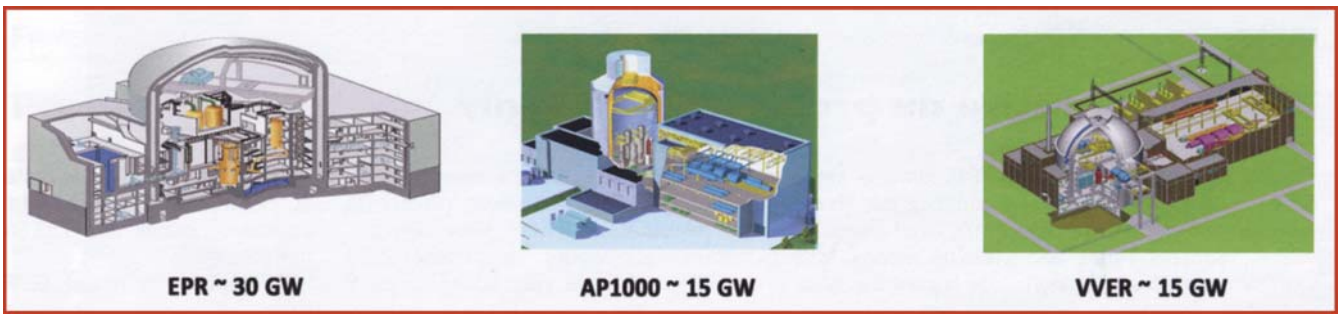
نحن نعتقد أن هذا السيناريو متشائم، إذ إنه يتجاهل التوجهات المعتمدة، حتى لو لم تكن جميعها قد قُررت رسمياً فيما يخص زيادة مستوى الطاقة القصوى وأمد العمر، كما أنّها لا تعير انتباهاً للتطورات المحتملة جداً (والضرورية إن أمكن القول) في دول كألمانيا والسويد وبلجيكا وإسبانيا. سنشهد، إذاً، في المستقبل القريب دون شك، وضع الأمور في نصابها الصحيح والذي لخّصناه من خلال رؤية معقولة.

3. رؤية «معقولة» بـ 30% في عام 2030

في الإجمال، وبتعزيز نهج كل دولة على حدة، تُعدّ الخطوات التالية معقولة:

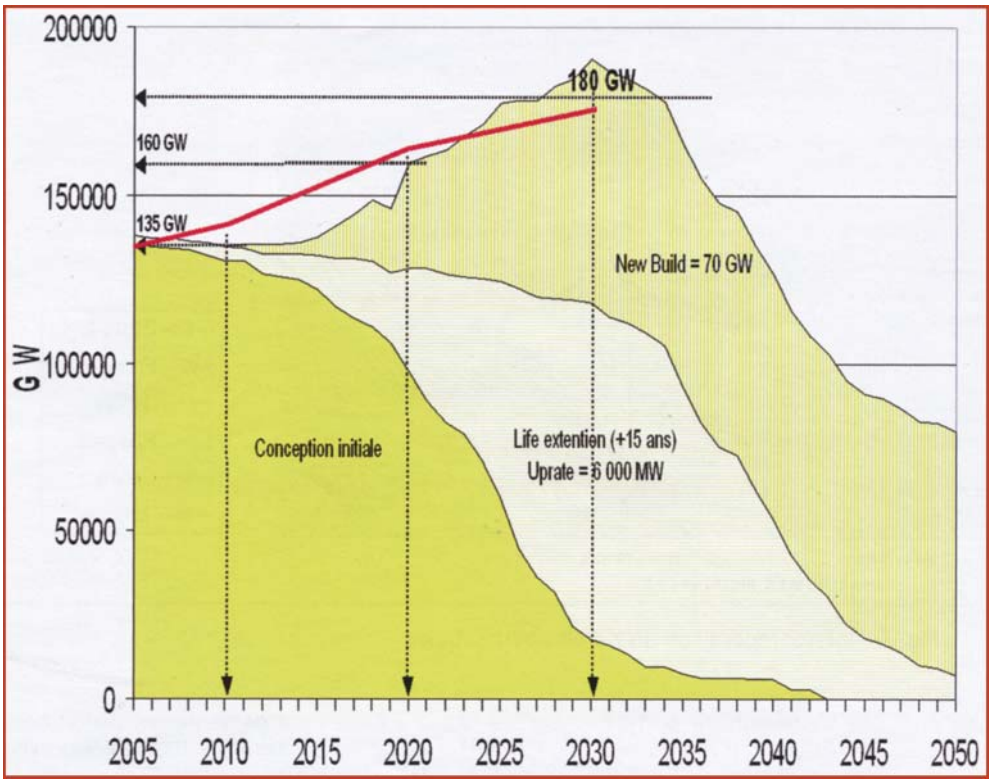
- زيادة مستوى الطاقة القصوى إلى أكثر من 6000 ميغا واط.
- إطالة أمد متوسّط العمر لأكثر من 15 سنة.
- برنامج بناء جديد لأكثر من 70 غيغا واط موزعة بين:

– أوربة الـ 15 (53500 ميغا واط) في فرنسا والمملكة المتحدة وإيطاليا وسويسرا وهولندا، إنما أيضاً إسبانيا وبلجيكا وألمانيا والسويد.



– أوربة الشرقية (16500 ميغا واط) في سلوفينيا وهنغاريا ورومانيا وبلغاريا وجمهورية التشيك وكذلك ليتوانيا/بولونيا.

إنّ هذه البرامج، المتضمّنة قرارات الإخراج من الخدمة التي تتوضع وفقاً لإطالة أمد العمر، تتمثّل في الرسم البياني في الشكل 3 الذي يوضح أن هذه الرؤية "المعقولة" تتيح المحافظة على نسبة 30% من الكهرباء النووية.



الشكل 3. تقييم معقول لمنشآت الطاقة في أوربة من عام 2005 حتى عام 2030 (تمتد حتى عام 2050).

4. كيفية توزّع الـ 70 غيغا واط المنتظر إنجازها حتى عام 2030؟

نعتقد أن مفاعلات الماء المغلي (BWR) ومفاعلات Candu الكندية وأنواع أخرى يمكن أن تصل إلى 10 غيغا واط.

يفترض أن يبقى، إذاً، 60 غيغا واط فيما يخص مفاعلات الماء المضغوط (PWR)، ومن المرجح أن تكون المفاعلات الرئيسة المنافسة هي المفاعل الأوربي للماء المضغوط EPR ومفاعل الماء المضغوط AP1000، ومفاعلات الماء الخفيف الروسي VVER الحديثة، وبالطبع ليس من المستبعد أن يسعى اليابانيون والكوريون، وحتى الصينيون الذين يسعون إلى ولوج هذه السوق، إن تحققت.

فقط للإشارة، نعتقد أن المفاعل الأوربي للماء المضغوط EPR يحتفظ بجميع فرصه الفعلية حالما تصبح مُدد التنفيذ ونوعية قياس الأداء أكثر تحديداً (في ظل ظروف سوق عمل متماثلة وأسعار حقيقية للواحدة وللأخرى). يمكن أن يمثل المفاعل الأوربي للماء المضغوط EPR، إذاً، 50% من الـ 60 غيغا واط المتبقّية، أي حوالي الـ 20 مفاعل EPR المراد تشغيلها خلال الـ 15 سنة القادمة. ويمكن أن تتقاسم مفاعلات الماء المضغوط AP1000 ومفاعلات الماء الخفيف الروسي VVER الـ 30 غيغا واط الأخرى القابلة للتنفيذ.

* نشر هذا المقال في مجلة RGN No 4 Juillet–Aout 2010، ترجمة سوسن عباس، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مفاعلات البحوث: مصانع النترونات

الكلمات المفتاحية: مفاعلات بحوث، نترونات، يورانيوم.

تُستخدم العديد من المفاعلات النووية في العالم للبحوث والتدريب واختبار المواد أو إنتاج النظائر المشعة من أجل الاستخدامات الطبية والصناعية. وهي في الأساس معدة لإنتاج النترونات، كما أنها أصغر بكثير من مفاعلات الطاقة أو تلك التي تستخدم لدفع السفن. تمّ تشييد 670 مفاعلاً بحثياً في أرجاء العالم، منها حوالي 250 فقط قيد الخدمة اليوم موزعة على 56 بلداً، والكثير منها موجود داخل حرم الجامعات، حيث يعمل بعضها على وقود اليورانيوم عالي التخصيب، وتنصب الجهود الدولية حالياً لاستبداله بوقود منخفض التخصيب.

مفاعلات ليست لإنتاج الطاقة

تشكل مفاعلات البحوث مجموعة واسعة من المفاعلات النووية المدنية والتجارية التي لا تستخدم عموماً لتوليد الطاقة، والغاية الرئيسية من مفاعلات البحوث هي توفير مصدر للنترونات من أجل البحوث والتطبيقات المختلفة، ويمكن إنتاج هذه الحزمة النترونية بخصائص مختلفة استناداً على الهدف من استخدامها، وهي صغيرة بالنسبة لتلك المنتجة في مفاعلات الطاقة التي تتمثل مهمتها الأساسية في إنتاج الحرارة لتوليد الكهرباء.

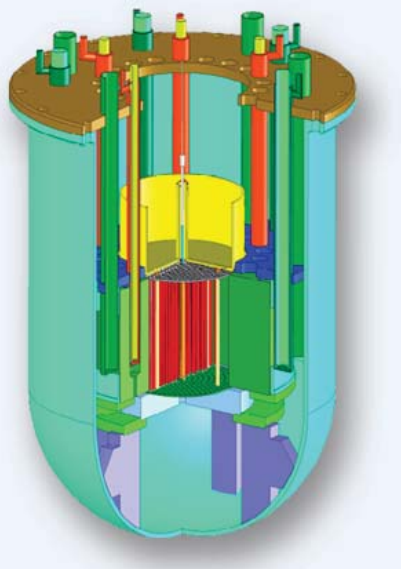
هندسياً، مفاعلات البحوث أبسط من مفاعلات الطاقة وتعمل في درجات حرارة منخفضة، وتحتاج لوقود أقل بكثير وبناء على الوقود المستخدم تكون نواتج الانشطار فيها أقل، لكن من جهة أخرى يتطلب وقودها تخصيباً لليورانيوم أعلى بكثير (عادة فوق 20% من اليورانيوم-235) من وقود مفاعلات الطاقة التي تحتاج عادة لدرجة تخصيب (3-5% من اليورانيوم-235). بعض الأنواع القديمة منها تستخدم وقوداً بدرجة تخصيب 93% من اليورانيوم-235.

تكون الكثافة الطاقية عالية جداً في قلب مفاعل البحوث مما يستدعي ميزات تصميم خاصة وغير محوَّلة الوقود. ومثلها مثل مفاعلات الطاقة، يحتاج قلب مفاعل البحوث للتبريد وعادة يحتاج أيضاً إلى مهدئ لإبطاء النترونات وتعزيز الانشطار. وحيث إن وظيفتها الأساسية هي إنتاج النترونات، لذلك يحتاج أغلب مفاعلات البحوث إلى عاكس لخفض الفاقد النتروني من قلب المفاعل ودعم التفاعل المتسلسل.

والجدير بالذكر أن أكثر من 90% من مفاعلات البحوث تعمل عند مستويات طاقة أقل من 10 MW(th).

أنواع مفاعلات البحوث

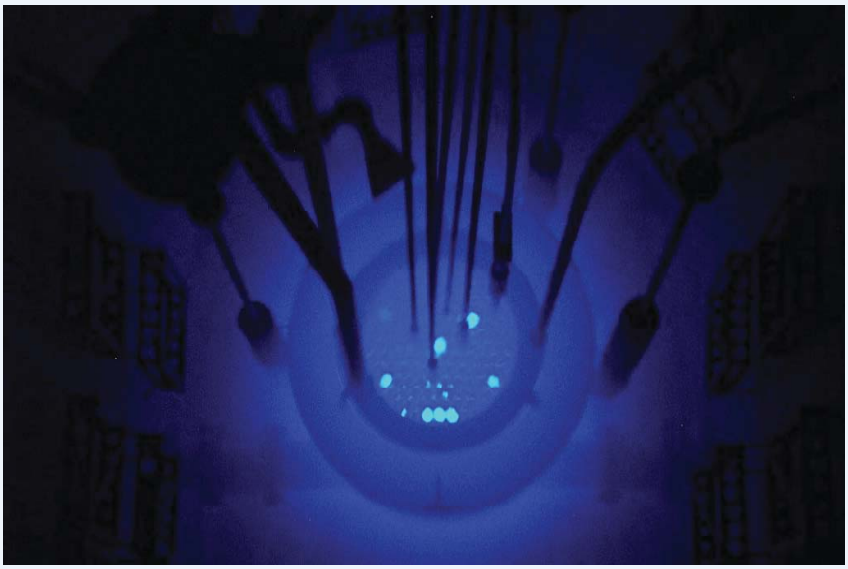
إن نظام تصنيف مفاعلات البحوث أوسع بكثير من ذلك المستخدم لتصنيف مفاعلات الطاقة، حيث إن 80% من محطات الطاقة في العالم مكونة فقط من نموذجين متشابهين، كما أن لمفاعلات البحوث أساليب وطرق تشغيل مختلفة ويكون إنتاج الطاقة فيها إما ثابتاً أو متذبذباً.



نموذج للمفاعل ذي البركة، المفاعل (MNSR)

والتصميم الشائع هو نموذج المفاعل ذي البركة (Pool type Reactor) (67 وحدة)، حيث يتكون هذا المفاعل من مجموعة من عناصر الوقود الموضوعة في بركة كبيرة من الماء. أما قضبان التحكم فتتوضع بين عناصر الوقود، كما توجد أيضا فضاءات فارغة (قنوات) من أجل إجراء التجارب ضمنها. وفي أحد التصاميم الخاصة لمفاعل اختبار المواد (Material Testing Reactor) يتكون عنصر الوقود من صفائح وقود مكسوة بالألمنيوم ويقوم الماء بمهمة تهدئة المفاعل وتبريده، بينما يستخدم عادة الغرافيت أو البيريليوم كعاكس، مع أنه يمكن استخدام مواد أخرى أيضاً. كما يمكن أن تخترق أنابيب تشعيع دائرية المقطع أو بيضاوية المقطع درع الحماية البيولوجية للمفاعل وكذلك الوعاء والبركة من أجل نفاذ الحزم النترونية وأشعة غاما من قلب المفاعل لاستخدامها في التجارب ضمن قاعة المفاعل.

المفاعل من نوع TRIGA هو التصميم الآخر الشائع أيضاً (يوجد منه حوالي 40 وحدة) وهو تصميم متعدد الاستعمالات: يمكن أن يعمل باستطاعة ثابتة ويكون أيضاً آمناً إذا عمل بشكل متذبذب عند مستويات عالية جداً من الطاقة، على سبيل المثال عند طاقة 25000 MW(th) خلال أجزاء من الثانية.



منظر داخل مفاعل البحوث من النوع TRIGA MarkII، المصدر: CENM, Morocco

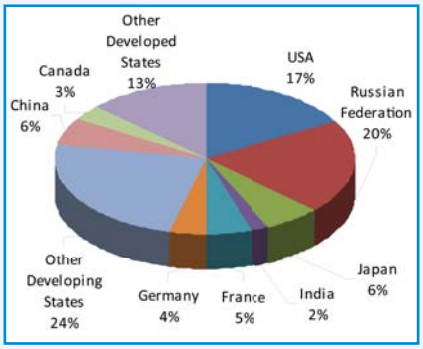
وهناك أيضاً مفاعلات تبرَّد وتهدَّأ بالماء الثقيل أو الغرافيت (12 وحدة مفاعل). أما الأنواع الأقل شيوعاً فهي المفاعلات السريعة التي لا تحتاج إلى مهدئ، وتستخدم مزيج اليورانيوم والبلوتونيوم كوقود.

أما المفاعلات المتجانسة (Homogenous type reactors) فلها قلب يماثل الخزان يحتوي على سائل من أملاح اليورانيوم مما يعني أن وقودها سائل. ولقد جعلها تصميمها البسيط رائجة الاستخدام في البداية، ولكن لم يبق منها الآن سوى خمسة مفاعلات فقط قيد الاستخدام.

مفاعلات البحوث حول العالم

تقدم مفاعلات البحوث مجموعة واسعة من الاستخدامات تبدأ من الأبحاث الأساسية إلى التطبيقات الصناعية.

وتندرج في قوائم الوكالة الدولية للطاقة الذرية فئات من المفاعلات التي صنفت بحثية، وتحتل روسيا المرتبة الأولى من حيث عدد مفاعلات البحوث (لديها حوالي 47 مفاعلاً)، تليها الولايات المتحدة الأمريكية (41 مفاعلاً)، فالصين (15 مفاعلاً)، فاليابان (15 مفاعلاً)، ثم فرنسا (12 مفاعلاً)، ثم ألمانيا (11 مفاعلاً)، أما الباقي فهي موزعة على 49 بلداً تقريباً، تتضمن حوالي 40 بلداً نامياً منها: الجزائر، وبنغلادش، وكولومبيا، وغانا، وجامايكا، وليبيا، والمغرب، ونيجيريا، وتايلاند، وفييتنام. وتخطط بعض البلدان مثل الأردن وأذربيجان والسودان ودول مجلس التعاون الخليجي لبناء أول مفاعل بحوث لديها في المستقبل القريب.



التوزع العالمي لمفاعلات البحوث الموجودة قيد الخدمة، المصدر: IAEA, RRDB

استخدامات مفاعلات البحوث

تساهم مفاعلات البحوث في مجموعة متنوعة من التطبيقات والاستخدامات، مثل دراسات المواد والتحليل بالتنشيط النتروني والاختبارات اللاإتلافية وإنتاج النظائر المشعة للاستخدامات الطبية والصناعية، والتشعيع النتروني لاختبار المواد من أجل المفاعلات الانشطارية والاندماجية، والتطعيم بالتحويل النتروني للسليكون وتلوين الأحجار الكريمة وغيرها من التطبيقات. وهناك دور آخر مهم لمفاعلات البحوث حيث تساهم هذه المفاعلات بشكل كبير في التعليم والتدريب في ميدان التقانات النووية، كتدريب مشغلي المفاعلات وطواقم الصيانة والتشغيل للمؤسسات النووية، والعاملين في مجال الوقاية الإشعاعية وهيئات التنظيم النووي وكذلك الباحثين والطلبة.

الاتجاهات العالمية

رغم أن العديد من مفاعلات البحوث غير مستغلة، ومع أنه سيتم فيما بعد إغلاق الأقدم منها، إلا أن الحاجة لمفاعلات البحوث ليست في حالة تراجع. في الوقت الحاضر توجد خمسة مفاعلات قيد الإنشاء، كما بنيت خمسة مفاعلات خلال السنوات الخمس الماضية، وقد تمّ الانتهاء من 19 مفاعلاً بين عامي 1994 و 2008. وصُمِّم بعض هذه المفاعلات الجديدة لإنتاج تدفقات نترونية عالية، وستكون إما مفاعلات متعددة الأغراض أو مخصصة لاحتياجات معينة للجيل القادم من مفاعلات الانشطار أو مفاعلات الاندماج المستقبلية.

التعليم والتدريب و نشر المعرفة

حيث إن العديد من مفاعلات البحوث موجود في الجامعات أو المؤسسات البحثية، لذا فهي تستخدم كأدوات أساسية في التعليم والتدريب و نشر المعرفة والمواظبة عليها. كما أن لمفاعلات البحوث القدرة على خلق الوعي بمزايا التقنيات النووية وأهميتها من أجل تطور المجتمعات البشرية بما فيها التطبيقات الطبية المتعددة، وتكون المعرفة والتدريب في الجامعات والمؤسسات البحثية متاحين من أجل استخدام مفاعلات البحوث للطلاب، وكذلك لأفراد المجتمع الآخرين المهتمين بهذا المجال، وقد مكّنها هذا القرب من المؤسسات الأكاديمية من المساهمة بشكل كبير في التعليم العالي النووي.

وقد بدأت الوكالة الدولية للطاقة الذرّية مؤخراً ببرنامج مجموعة من المنح التدريبية لمساعدة الدول الأعضاء التي تتطلع لبناء مفاعلات بحوث والتي تُعدُّ الخطوة الأولى لتطوير الكفاءات والبنية التحتية النووية في بلدانها. وهذه الدورات التدريبية الجديدة تساعد في تطوير المهارات اللازمة والأرضية الأساسية لتنفيذ الأنشطة المتعلقة بالتخطيط، والتقييم، والتطوير، والتكليف، والبناء، والاستخدام، والتشغيل وكذلك الصيانة لمفاعلات البحوث، مع استيعاب تام في نهاية المطاف لخطة التفكيك والحل الضروري للوقود المستنفد. وقد تمّ تنظيم هذا البرنامج وتنفيذه بنجاح في إطار مبادرة أوربة الشرقية لمفاعلات البحوث (EERRI)، وقد ركّزت أربع مؤسسات من ضمن مؤسسات EERRI المشغلة لمفاعلات بحثية على ثلاثة أهداف رئيسية:

- تقديم العون في مجالات العلوم النووية والوقاية الإشعاعية والتجهيزات النووية وفيزياء المفاعلات.
- ضمان فهم واسع لاستخدام مفاعلات البحوث من خلال الزيارات العلمية والعامة وعرض التجارب العلمية.
- تطوير الخبرات لتصميم المحطات النووية وتشغيلها من خلال مناهج وبرامج لتدريب مشغلي مفاعلات الطاقة النووية في العديد من البلدان.

تطبيقات مفاعلات البحوث

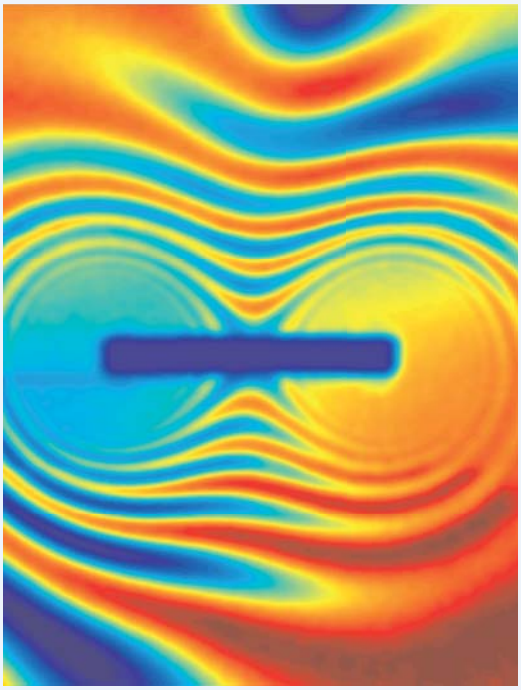
تُعدُّ مفاعلات البحوث مهمّة من أجل تحسين صحة الإنسان ونوعية الحياة، المنتجات الصناعية، وتساهم كذلك في تطوير العلوم والتكنولوجيا.

النترونات من أجل حياة أفضل

تستخدم مفاعلات البحوث بشكل أساسي لإنتاج النترونات، ومع ذلك ليس واضحاً لدى معظم الناس كيف أثّرت الأبحاث النترونية على الحياة اليومية.

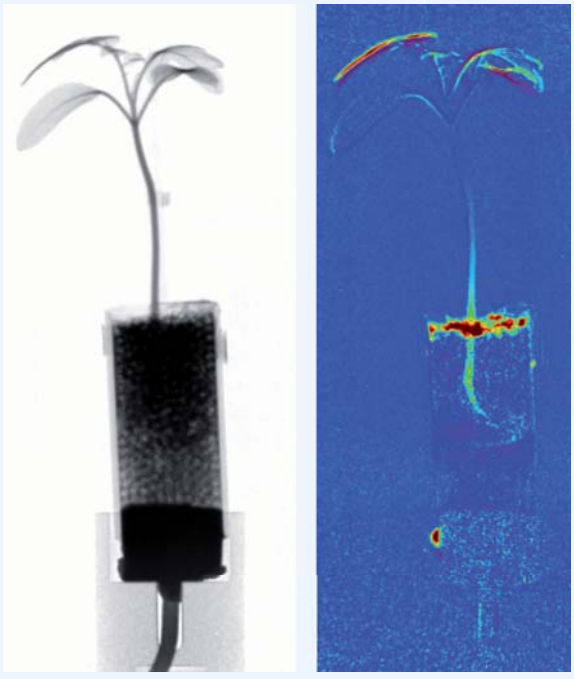
بدأت الأبحاث النترونية باكتشاف النترون من قبل ج. شادويك عام 1932، وازدهرت بعد منتصف الخمسينيات من خلال التقنيات المكثفة لاستخدامات التبعثر النتروني التي أجراها آلاف الباحثين.

وتكوّن النترونات مع البروتونات النوى الذرّية، ولكن من الممكن أيضاً أن يوجد كل منها بشكل منفرد، ولكي نفهم لماذا يتركز اهتمام علماء الطب والأحياء والجيولوجيا والفيزياء والكيمياء على النترونات في البحث والتطوير فضلاً عن العديد من التطبيقات الصناعية، من الضروري معرفة الطبيعة الخاصة للنترونات والطريقة التي تتفاعل فيها مع المادة:



المجال المغنطيسي المشاهد عن طريق نترونات الاستقطاب، المصدر HZB،ألمانيا

- النترونات معتدلة الشحنة الكهربائية، ولها قدرة عالية على النفاذ وبإمكانها أن تختبر المواد دون أن تخربها، على سبيل المثال تساعد النترونات في اختبارات التصميم وضبط الجودة لأجزاء من السيارات أو الطائرات الحديثة.
- النترونات حسّاسة للذرّات الخفيفة، وحيث أن المادة الحية مكونة في معظمها من الهدروجين (العنصر الأخف في الكون) لذلك تعتبر النترونات مثالية لتحري المادة البيولوجية أو الأعضاء المختلفة التي تحتوي في مركباتها على الهدروجين.



التصوير الشعاعي النتروني الرقمي المطبق على دراسة النباتات، المصدر HZB، ألمانيا

- يمكن للنترونات أن تحفّز التفاعلات النووية وبالتالي تؤدي إلى تحويل وتنشيط العينات المشعة وتنشيطها. توفر هذه العمليات السليكون المطعّم لصناعة أشباه النواقل، أو تكشف عن عمر عينات الصخور. كما أن أحد التطبيقات الأساسية للتحويل في المفاعلات النووية هو إنتاج النظائر المشعة، التي تستخدم في المشافي لتشخيص مرض السرطان وعلاجه. ويساعد التنشيط النتروني أيضاً في تحسين نوعية اللدائن والمنظفات وكذلك تشخيص الأمراض أو التحري عن التلوث عن طريق تحليل محتويات العينات.
- تمتلك النترونات عزماً مغنطيسياً (magnetic moment) بسبب سبينها. ويمكن التحري عن البنى المغنطيسية بالنترونات التي تساعد على تطوير أجهزة تخزين مغنطيسية جديدة. ويساعد السبين (spin) على جعل قياسات مواصفات المواد أكثر دقة.
- للنترونات موجة طولها يتراوح من 10^{-15} متر إلى 10^{-5} متر ويمكن دراسة المعلومات البنيوية للمادة من النطاق الذرّي إلى النطاق الميكرومتري باستخدام النترونات بما فيها التطبيقات الأكثر انتشاراً التي تجرى بين 10^{-11} متر و 10^{-5} متر.

بحوث تطبيقية تستخدم النترونات

إن الخصائص الفريدة للنترونات تجعل منها أداة عالية القيمة في العديد من البحوث العلمية والتقانية.

بحوث علم المواد

يعلم معظم الناس أنه يمكن استخدام المجهر والأشعة السينية لدراسة الأشياء بالتفصيل. وعلى الرغم من التحسينات فإن هذه الطرق لا تفي بالغرض دائماً. تسمى الطريقة المجهرية القياسية التي تستخدم النترونات **التصوير الشعاعي النتروني (neutron radiography)**. في حالات عدة تكشف التطبيقات النووية عن كامل إمكاناتها إذا ما طبقت بطريقة مكملة، كالجمع بين الأشعة السينية والتصوير الشعاعي النتروني على سبيل المثال. وميزة النترونات هي أنها حسّاسة لعدد من العناصر الخفيفة مثل الماء، في حين أن الأشعة السينية أكثر حساسية للعناصر الأثقل، مثل مكونات الفولاذ. لذلك يمكن استخدام هذه التقنية بشكل كامل في الصناعة، خاصة من أجل ضبط الجودة. وباستخدام النترونات، يمكن إظهار الغراء داخل الصفائح المعدنية للسيارات أو للطائرات. ويمكن للتصوير الشعاعي المتحرك أن يوفر الصور في الوقت الحقيقي، بينما يكون التصوير المقطعي قادرا على جمع معلومات ثلاثية الأبعاد. حتى في أمور التراث الثقافي، مثل الفنون وعلم الآثار تكون النترونات مهمّة، حيث يمكن أحياناً أن تحلّل المكونات والتبدلات في خصائص الرسوم فقط بالنترونات، فضلاً عن أنه يمكنها التمييز بين أنواع الطلاء المختلفة.

صورة ثلاثية الأبعاد لوصلات اللحام في مبادل حراري، المصدر: PSI، سويسرا

التحليل بالتنشيط النتروني (Neutron activation analysis): هي طريقة للتحديد الكمي والنوعي للعناصر، تعتمد على قياس خصائص الإشعاع الناتج عن النظائر المشعة المتشكلة مباشرة أو بصورة غير مباشرة من خلال التشعيع النتروني للمادة. ويُعدُّ مفاعل البحوث هو المصدر النتروني الأنسب في هذه الحالة وتُعدُّ تقنية التحليل بالتنشيط النتروني مهمّة للتحليل العنصري لأشياء كثيرة أهمها الماء والتربة والأسماك والنيازك والصخور وحتى للمنتجات الزراعية وللنباتات، حيث تشعع العينات في المفاعل وبعدها يمكن تحديد عناصر الأثر عن طريق مواصفات أشعة غاما المنبعثة من النوى المنشطة في نطاق أجزاء بالمليار (PPB). يمكن استخدام هذه التقنية في التحاليل البيئية لتوصيف التلوث، وفي علم الآثار لإعادة تشكيل مواد الزينة للأسلاف، وفي الطب الحيوي (biomedicine) لإجراء بعض الفحوص الهرمونية والكشف عن الأمراض، وهذا من ضمن الأشياء الأخرى المتعددة.

علم التاريخ الجيولوجي (geochronology): بفضل النترونات أصبح بإمكان علم التاريخ الجيولوجي الرجوع إلى الماضي السحيق إلى تاريخ الصخور التي لها قدم كوكب الأرض نفسه (4.6 مليار سنة).

العلاج بطريقة الأسر النتروني البوروني (Boron neutron capture therapy): وهي طريقة لعلاج مرض السرطان في مناطق معينة من جسم الإنسان، مثل المخ والفم، ومازالت هذه التقنية في مراحل الاختبار، ويتم حالياً دراستها في 17 مفاعل بحث في جميع أنحاء العالم. وهي عبارة عن حقن الورم بالبورون ومن ثم تشعيعه بالنترونات. وتنتج جسيمات ألفا عالية التأيين بسبب التفاعل بين النوترونات والبورون ونطاق تأثير هذه الجسيمات قصير جداً في الأنسجة البشرية، وبالتالي تجعل طاقتها العالية الموضعية المختزنة هذه التقنية فعّالةً في قتل الخلايا السرطانية في جلسات قليلة فقط دون أضرار جانبية تذكر.

النترونات والتطور التكنولوجي

يمكن أن تساعد النترونات في اختبار الجودة وإنتاج مواد جديدة للبحوث والصناعة.

تساهم النترونات في اختبارات ضمان الجودة قبل إطلاق مركبات الفضاء، المصدر: GKSS، ألمانيا

في مجال بنية المادة: تحث نترونات الانشطار وكذلك نترونات الاندماج (وهذه الأخيرة بشكل أكبر بسبب طاقاتها العالية) على التعديلات في بنى المواد. فاعتماداً على خصائص المواد وتركيبها فإنها تصبح هشة أو لدنة أو تصبح أصلب أو من الممكن أن يزداد حجمها، أو تتفتت، أو يتغير تركيبها، أو تطلق الغازات... إلخ. فكل سبيكة معدنية أو مادة سيراميكية أو بلاستيكية لها سلوكها الخاص، الذي لا يمكن التحقق منه إلا عن طريق اختبار التشعيع.

في الكواشف وأجهزة القياس المختلفة: شيدت أغلب مفاعلات الطاقة في البداية لأعمار 30 سنة، لكن الاتجاه الحالي هو زيادة هذا الرقم حتى 50 أو حتى 60 سنة. ويتعين تقييم هذه الاستجابات بعناية لضمان أمان المفاعل وربحيته.

ونظراً لأن مفاعلات البحوث قادرة على تقليد الإجهادات الميكانيكية التي تمر بها المواد في مفاعلات الطاقة، لذا فهي تقدم دعماً أساسياً لدراسة تقادم الجيل الثاني للمحطات النووية (العاملة في الوقت الحاضر) من أجل تحسين محطات الجيل الثالث (قيد الإنشاء حالياً)، ولاختبار الوقود وقدرات التوليد للجيل الرابع (المخطط له بعد عام 2050). وتُعدُّ أيضاً البحوث المتعلقة بالاندماج النووي مهمّة منذ تطلبت عملية البحث والتطوير المكرسة لهذا الغرض العثور على مواد تلبي احتياجات الاندماج: مقاومة درجات الحرارة المرتفعة التي تصل لعدة ملايين من الدرجات و مقاومة التشعيع النتروني العالي الطاقة.

وللأسباب نفسها، تستخدم مفاعلات البحوث أيضاً من أجل تطوير الكواشف وأجهزة القياس المختلفة، واختبارها، ومعايرتها، وإعدادها.

في مجال تكنولوجيا المعلومات وبحوث الطاقة: على الرغم من التكلفة الاستثمارية المنخفضة نسبياً للمساهمات النووية الأولية في بحوث المواد وتطويرها وإنتاجها، إلا أنه يمكنها في كثير من الأحيان الإسهام في مجالات لا يمكن الاستغناء عنها لأكبر المؤسسات الاجتماعية والاقتصادية، مثال على ذلك، مجال تكنولوجيا المعلومات وبحوث الطاقة.

السليكون المعدّ للتطعيم بالتحويل النتروني، المصدر: NTP Radioisotopes(Pty)Ltd، أفريقيا الجنوبية

في مجال تطعيم السليكون: بفضل التشعيع النتروني أيضاً أصبح بالإمكان تطعيم السليكون، حيث تتحول بعض ذرّات السليكون إلى فسفور في قوالب السليكون بعد تعرضها للتدفقات النترونية بجرعات معينة، فتتغير الناقلية الكهربائية على النحو المطلوب لحالة أنصاف النواقل.

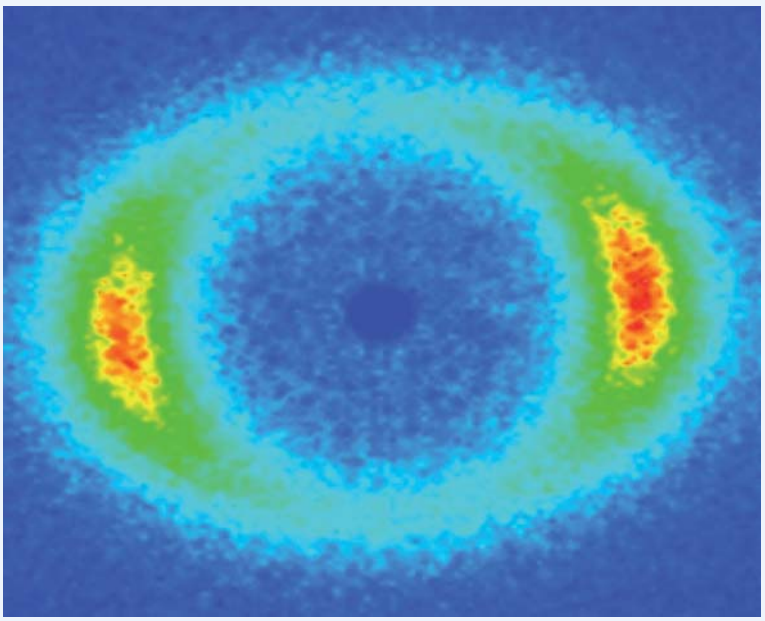
يمكن لمفاعلات البحوث إجراء عملية التطعيم بكميات كبيرة، وقد تمّ تحسين تقنيات التكرار والتجانس لعملية الإنتاج بما يلبي الطلب المتزايد في صناعة الإلكترونيات.

من البحوث الأساسية إلى التطبيقات النترونية

تساعد تقنيات التبعثر النتروني على كشف أسرار الطبيعة على المستويين المجهري والذرّي.

في التطورات الدينامية

إن تقنيات التبعثر النتروني هي طرق جبارة لتحليل كل من المواد الصلبة والسوائل المتكثفة. وبشكل عام، تستخدم نترونات أحادية الطاقة لإجراء تجارب التبعثر. تتبعثر النترونات الواردة دون تغيير في طاقاتها (التبعثر المرن) وهذا يوفر معلومات حول ترتيب الذرّات في المواد، وعندما تخضع النترونات لتغيير في طاقتها خلال التبعثر، فإن هذا يعطي معلومات عن حركة الذرّات في السائل، أي ديناميات الذرّة.



في فهم بنية المادة

لماذا تُعدُّ عملية معرفة وإدراك البنية الداخلية للمادة مهمّة جداً؟ لأن البنية على المستويين المجهري والذرّي تحدد الصفات العيانية للمادة، بما في ذلك كيفية تفاعلها: إذ إن كلاً من الألماس والغرافيت في قلم الرصاص يتكون فقط من ذرّات الكربون، لكن أحدهما شفاف والآخر أسود، أحدهما قاسٍ والآخر هش ويعود ذلك بشكل كامل إلى اختلاف بنية كلٍّ منهما. وتطابق البنى البلورية المختلفة أشكال ندفة الثلج المتضاعفة، وبسبب التغيرات التي تطرأ على بنيتها تصبح بعض المعادن أكثر صلابة إذا شععت. لهذا تساهم النترونات بسبب خصائصها الفريدة في اكتشاف وفهم المعلومات المفصلة المتعلقة ببنية المادة.

لماذا تكون المعرفة البنيوية مفيدة؟

بواسطة التبعثر النتروني، تمكّن البيولوجيون من فهم تمعدن العظام خلال عملية النمو أو كيف تقوم بترميم نفسها، وكذلك ترققها أثناء الإصابة بهشاشة العظام. واستطاع الكيميائيون تحسين المدخرات الكهربائية وخلايا الوقود في حين تمكّن الفيزيائيون من ابتكار مغانط جبارة والتي يمكن استخدامها مستقبلاً في الروافع. يدرس خبراء النترونات البروتينات الأساسية من أجل فهم مهام الدماغ المعقدة، وفهم البنية هو المفتاح لإحداث اكتشافات وقفزات نوعية في العلم.

يستخدم جمهور كبير من آلاف الباحثين مفاعلات البحوث. لذلك فإن هذا الاستخدام للتبعثر النتروني في مجالات مختلفة وعلى نطاق واسع يتطلب تعاوناً وتنسيقاً جديدين للأفكار الجديدة، وكذلك تكاملاً بحثياً بين مختلف الفروع العلمية.

النترونات في الطب

تساعد النظائر المشعة المنتجة في مفاعلات البحوث في تشخيص وعلاج العديد من الأمراض الشائعة وعلاجها بما فيها مرض السرطان.

ويُعدُّ مرض السرطان حسب منظمة الصحة العالمية السبب العالمي الثالث المؤدي إلى الوفاة، وإضافة إلى ذلك من المتوقع حدوث زيادة في معدله مع توقع ارتفاع متوسط العمر العالمي. إن السبب في استخدام النظائر المشعة في العلاج مبني في الأغلب على حقيقة كون نمو الخلايا السرطانية حسّاساً للضرر الإشعاعي، فاعتماداً على ارتباطها بجزيئات الجسم البشري يكون من السهل للنظائر أن تطلق الجسيمات العالية الطاقة في موضع الورم، وهذا بالتالي يؤدي إلى علاج موضعي وفعّال للورم. كما تُعدُّ النظائر المشعة مفيدة جداً لتشخيص العديد من الأمراض.

إنتاج النظائر النشيطة إشعاعياً

إن إنتاج كميات كبيرة من النظائر المشعة للاستخدام التجاري يتطلب عادة مفاعل بحوث مجهزاً خصيصاً لهذه الغاية بتدفقات نترونية عالية وكذلك بمرافق معالجة مزودة بخلايا حارة.

والاستخدام الأوسع والأهم للنظائر المشعة هو الموليبدينوم-99، عمر نصفه 66 ساعة ويتفكك إلى نظير التكنيسيوم Tc-99 شبه المستقر. ونظراً لعمر نصفه القصير (6 ساعات) وطاقة إشعاعه المنخفضة، تكون جرعة تعريض المريض للإشعاع مثلى خلال التشخيص، وله تطبيقاته في تقييم الحالات الطبية للقلب والكلى والرئتين والطحال والكبد والعظام، وكذلك في دراسات تدفق الدم.

إن توفير سلسلة هذا النظير المشع الاستراتيجي عرضة للانتقاد ويعود ذلك بالدرجة الأولى إلى أن هناك اليوم خمسة مفاعلات رئيسية فقط تتكفل بحوالي 95% من الإنتاج العالمي، وكل منها أصبح قديماً إلى حدٍّ ما إضافة إلى أن عمر نصفه القصير يجعل عملية توزيع هذا النظير المشع صعبة أما تخزينه فيكون مستحيلاً. أظهرت ذلك، الأحداث التي تمّت في الفترة ما بين عامي 2008-2009 عندما تم إغلاق غير مبرمج لأحد المفاعلات المزودة بالنظائر والذي تسبَّب بحرمان أمريكا الشمالية من الحصول على النظير (Mo-99). ولتفادي هذه المشكلة، تدعم الوكالة الدولية للطاقة الذرّية تحالفات مفاعلات البحوث وتساعد على تطوير إمكانات جديدة لمفاعلات البحوث الموجودة لضمان التزود المستقر والآمن بالنظائر المشعة، ومواجهة التحدي المتمثل في تغيير الوقود.

ويُعدُّ الكوبالت-60 ذا أهمية خاصة من بين العديد من النظائر المشعة، وفي الآونة الأخيرة الإيتريوم-90 أيضاً، فالكوبالت-60 يستخدم للعلاج الإشعاعي في المستشفيات وفي العديد من التطبيقات الصناعية. و تستخدم منابع الكوبالت الكبيرة الحجم تستخدم لتعقيم المعدات والأدوات الطبية ذات الاستخدام الأحادي وكذلك لحفظ التوابل وبعض المواد الغذائية. أما الإيتريوم-90 فيستخدم في العلاج الإشعاعي الموضعي للسرطان وكذلك على شكل سيليكات غروية للتخفيف من الآلام في المفاصل الزليلية.

أشكال نموذجية لنظائر مشعة: المصدر: IAEA , TECDOC 1234 (2001)

دورة الوقود والقضايا الأمنية المتعلقة بها

تساعد الوكالة الدولية للطاقة الذرّية في مجال إدارة الوقود المستهلك، وعلى وجه الخصوص في عملية الانتقال من اليورانيوم العالي التخصيب إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب، وكذلك في إعادة الوقود إلى بلد المنشأ.

وقود مفاعلات البحوث

لتزويد مفاعل بحوث بالوقود نحتاج فقط إلى القليل من الكيلوغرامات من الوقود العالي التخصيب (أي أكثر من 20% يورانيوم-235) بالمقارنة مع 100 طن لمفاعل الطاقة بتخصيب 3-5% فقط لليورانيوم-235. يتيح استخدام اليورانيوم العالي التخصيب الحصولَ على قلب مفاعل أكثر تراصاً (core compact) وتدفقات نترونية مرتفعة، ويطيل مدة إعادة التزود بالوقود ويسمح كذلك باستثمار أفضل للإمكانات المختلفة.

بالمقابل، تمّ برعاية الأمم المتحدة تقييم دورة الوقود النووي الدولي المنعقد في عام 1980 والذي خلص إلى التحذير من انتشار التسلح النووي، ووجوب تخفيض درجة تخصيب اليورانيوم-235 في وقود مفاعلات البحوث إلى أقل من 20%. جاء ذلك في أعقاب مبادرة مماثلة من قبل الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1978 عندما أطلقت برنامجها لخفض مستوى التخصيب لمفاعلات البحوث والتجارب (RERTR).

وتمّ بالفعل بفضل التعاون الدولي والمحاكاة المطبّقة من قبل المبادرة العالمية لخفض المخاطر (GTRI) في عام 2004 تحويل 67 مفاعل بحث أو إيقافها قبل تحويل وقودها إلى يورانيوم منخفض التخصيب. وهناك 35 مفاعلاً آخر في حالة ترقب تحويل وقودها إلى يورانيوم منخفض التخصيب، بالإضافة إلى 27 مفاعل بحث تنتظر تطوير جيل جديد من الوقود الذي يعتمد على سبائك اليورانيوم–الموليبدينوم الفائقة الكثافة والتي تتركز الآن جهود البحوث الدولية عليها. ومن المتوقع أن يتم تحويل أغلب مفاعلات البحوث التي تعمل على اليورانيوم العالي التخصيب إلى مفاعلات تعمل على يورانيوم منخفض التخصيب أو إيقافها نهائياً بحلول عام 2018. كما تدعم GTRI التخلص من المواد النووية والإشعاعية الفائضة من مواقع مفاعلات البحوث في العالم، وتم توسيع نطاقها عام 2009 من 129 حتى تشمل 200 منشأة نووية في كل أرجاء العالم، وتتضمن المواد الأمريكية أو الروسية المنشأ وكذلك المواد "الفجوة" التي لا تغطيها البرامج الأمريكية أو البرامج الروسية. وقد مكّن التعاون الممتاز بين البلدان الشريكة من إزالة ما يقرب من 50% من المواد الحسّاسة المستهدفة حتى هذه اللحظة.

إدارة الوقود المستهلك

عاجلاً أم أجلاً، فإن كل دولة من الدول الأعضاء في الوكالة الدولية للطاقة الذرّية والتي تمتلك مفاعل بحوث عاملاً واحداً على الأقل بعد الانتهاء من برنامج قبول "الإعادة" لبلدان المنشأ سوف تحتاج إلى حلٍّ نهائي لتخزين الوقود المستهلك والنفايات الأخرى عالية الإشعاع.

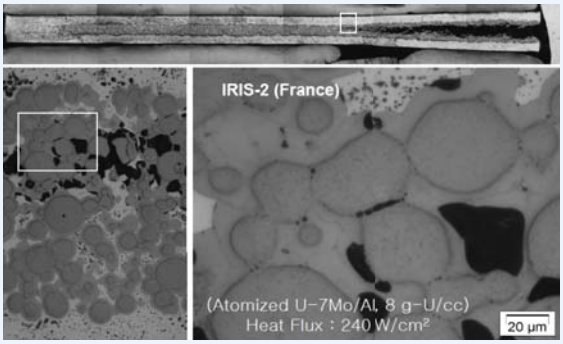
ويُعدُّ هذا الموضوع الشاغل الرئيسي المتعلق بقضايا عدم الانتشار النووي والحماية المادية وحماية البيئة. يتم حالياً تخزين الوقود المستهلك، والذي يشكل خطراً لفترة لا تقل عن 100000 سنة، في أحواض لعدة سنوات قبل أن يوضع في حاويات تخزين على المدى الطويل والتي تكون إما سطحية أو تحت سطح الأرض. وأجمعت مؤخراً الآراء العالمية حول التخزين الجيولوجي العميق للنفايات النووية ذات المستوى العالي من الإشعاع. من البديهي أنه ليس عملياً بالنسبة للبلدان التي لا يوجد فيها برامج طاقة نووية بناء مخازن جيولوجية مكلفة من أجل كميات صغيرة نسبياً من الوقود المستهلك لمفاعل واحد أو لمفاعلين. ويكون جلياً أن الحلّ الأمثل يكمن في بناء منشأة تخزين متعددة الجنسيات طويلة الأجل وفي نهاية المطاف إنشاء مخزن جيولوجي عميق متعدد الجنسيات. ولكن رغم الجهود الكبيرة المبذولة في هذا الاتجاه فإن العملية طويلة وصعبة.

القضايا والتحديات الرئيسية

تقوم الوكالة الدولية للطاقة الذرّية بمساعدة الدول الأعضاء على التعامل مع المسائل والتحديات الأساسية المتعلقة بمفاعلاتها البحثية.

تواجه اليوم مفاعلات البحوث المتناقصة والقديمة إلى حدٍّ ما (حيث إن حوالي 65% من مفاعلات البحوث قيد الخدمة تجاوز عمرها 30 عاماً) عدداً من القضايا الحرجة والتحديات المهمّة، منها: الاستخدام غير الكافي، وغياب خطط العمل الاستراتيجية أو عدم ملاءمتها، والتقادم والحاجة للتحديث والتجديد، ووجود كميات من وقود اليورانيوم العالي التخصيب سواء الجاهزة للاستخدام أو المستهلكة، وعدم جهوزية وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب ذي الكثافة العالية، وتراكم الوقود النووي المستهلك، والحاجة إلى التخطيط المسبق لإغلاق وتفكيك المفاعل ومراحل التنفيذ، وفي بعض الحالات مسائل الأمن والأمان النووية. بالإضافة إلى ذلك، هناك قائمة غير حصرية من القضايا التي تشمل التخطيط لبناء مفاعلات بحوث من قبل دول أعضاء قليلة الخبرة أو عديمة الخبرة في هذا المجال.

ولمواجهة هذه التحديات تتخذ الوكالة الدولية للطاقة الذرّية الإجراءات وتنظم الأنشطة لمعالجة هذه المسائل، وتعمل على تعزيز الدعم وتقديم المساعدة للدول الأعضاء فيما يتعلق بتطوير مفاعلات البحوث وتشغيلها بثبات وديناميكية وأمان والتأكيد على أن استخدام الطاقة الذرّية والتقنيات النووية مخصّص للأغراض السلمية.



إن تأهيل الوقود العالي الكثافة أمر بالغ الأهمية لنجاح تحويل الوقود من اليورانيوم العالي التخصيب إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب لحوالي 30 من مفاعلات البحوث التي هي قيد التشغيل في جميع أنحاء العالم وكذلك لمفاعلات البحوث الجديدة التي لم يتم بناؤها بعد. المصدر: SEA Saclay، فرنسا.

يتغير مستقبل مفاعلات البحوث جذرياً من حيث السوق الواعية والآمنة والأكثر قدرة على المنافسة الاقتصادية. ومن أجل البقاء في البيئة الصعبة الحالية، يجب إدارة وتخطيط البحوث المقررة وعمليات التمويل والتسويق لمفاعلات البحوث بشكل فعّال. وتساعد الوكالة الدولية للطاقة الذرّية البلدان على اتباع استراتيجيات قابلة للتطبيق لاستخدام مفاعلات البحوث، وتقوم الوكالة الدولية أيضاً بمساعدة البلدان على وضع خطط استراتيجية لتحقيق استمرارية واستدامة مفاعلات البحوث على المدى الطويل لديها أو إغلاقها بدلاً من ذلك، ويشمل هذا مساعدة البلدان على تحديد الإمكانات الحاضرة والمحتملة لمفاعلاتها.

وتشجع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية من خلال التخطيط الاستراتيجي أو أشكال الدعم الأخرى المؤسسات التي تطورت إلى «مراكز إقليمية متميزة» إذ يمكن لعدة بلدان متجاورة أن تستخدم مفاعلاً بحثياً وحيداً، كما يمكن استخدام مثل هذا المفاعل في برامج البحوث التعاونية والتدريب ضمن المنطقة الإقليمية، بالإضافة إلى إجراء التدريبات المتعلقة بها وكذلك تطوير بحوث الأمان والموثوقية في سبيل دعم البرامج الوطنية للطاقة النووية.

ومع ذلك لن تستمر مفاعلات عدة متقادمة في البقاء في ظل هذه البيئة الجديدة والصعبة، وقد يكون الامتناع عن إغلاقها وتفكيكها أمراً مفهوماً، لكن ورغم ذلك فإن هذا يجب أن يتم. والوكالة الدولية للطاقة الذرّية جاهزة للمساعدة لتنفيذ مشاريع التفكيك بنجاح، خاصة في مجالات التخطيط وتبادل الخبرات.

المراجع:

1- IAEA-Booklet -Research Reactors: Purpose and Future, August 2010

2- IAEA-TECDOC-1215 (Use of research reactors for neutron activation analysis) Report of an Advisory Group meeting held in Vienna, 22–26 June 1998.

3- IAEA-TECDOC-1625, Research Reactor Modernization and Refurbishment-August 2009.

* ترجمة وإعداد: د. سامر الحاج علي، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

أخبار علمية

ميكروب يحصل على استجابة سامة

يشكّك باحثون بالخلفية العلمية للكشف عن حياة تعتمد على الزرنيخ، هذا من تقوله: آلا كاتسنيلسون Alla Katsnelson.

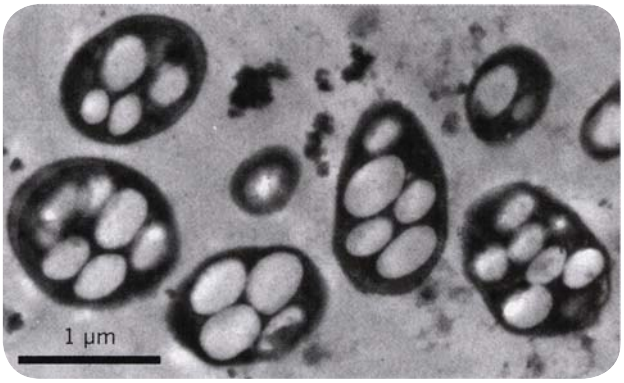
بعد أيام من الإعلان عن سلالة من الجراثيم (البكتيريا) التي يمكنها بوضوح أن تستعمل الزرنيخ محلّ الفسفور لبناء الدنا DNA الخاص بها وكذلك الجزيئات الحيوية الأخرى –وهذه قدرة غير معروفة في أي كائن حيّ آخر– شكّك بعض العلماء في هذا الاكتشاف واستنكروا كيفية انتقاله إلى غير الاختصاصيين.

وافق كثيرون مباشرة على أن الجرثومة التي وصفت في مجلة العلوم Science وسُمّيت بـ GFAJ–I (F. Wolfe–Simon et al Science doui:10.1126/science,1197258;2010) تشكّل ظاهرة فذة في البقاء حيّة في تراكيز مرتفعة من الزرنيخ في بحيرة Mono في كاليفورنيا وفي المختبر. إلا أن جدلهم انصبّ على أن النتائج في النشرة تقترح، وعلى المستوى نفسه، أن الميكروب لا يستعمل الزرنيخ، وعوضاً عن ذلك يكنس كلّ جزيء فسفات وهو يواجه سمّية الزرنيخ. ويقولون أيضاً إن الادعاء في نشرة وكالة الفضاء NASA بأن البكتريا المكتشفة تمثّل كيمياء حياة جديدة هو في أحسن الأحوال جاء في غير أوانه. إنها قصة عظيمة عن التأقلم ولكنها ليست نظرية موثقة كما يقول جيرالد جويس Gerald Joyce، وهو كيميائي حيوي في معهد أبحاث Scripps في La Jolla، بكاليفورنيا.

وفي مؤتمر صحفي دعا إليه ستيفن بينر Steven Benner، وهو كيميائي في مؤسسة التطور الجزيئي التطبيقي Foundation for Applied Molecular Evolution في Gainesville، بفلوريدا، لإعطاء «تعليقات خارجية»، استعمل التشبيه بسلسلة الفولاذ مع روابط ورق القصدير لتوضيح الادعاء القائل بأن أيون الزرنيخات يحلّ محلّ الفسفات في الدنا البكتيري ويشكّل روابط أقلّ ثباتاً بعدة مراتب في القيمة. ويقول بينر: «ليس فقط دنا الكائن الحي يجب أن يبقى متماسكاً على الرغم من ضعف الروابط، ولكن أيضاً يجب أن تبقى كلّ الجزيئات اللازمة لسحب الزرنيخات من الوسط وتبنيها على مواد وراثية». وقد عارض مؤلفو النشرة المشاركون بمن فيهم بول ديفز Paul Davies، وهو بيولوجي فضائي astrobiologist من جامعة ولاية أريزونا في Temp، بأنه يمكن دعم روابط الزرنيخات بواسطة جزيئات متخصصة، أو أن الحياة المعتمدة على الزرنيخات وببساطة ذات معدل للتحوّل، أي للتحليل وإعادة التجميع، أعلى من تلك الحياة التقليدية.

وتتجلّى المشكلة الكبيرة على كلّ حال في أن المؤلفين بيّنوا أن الكائن الحي يأخذ الزرنيخ، ولكنهم «لم يحدّدوا بوضوح أياً من المركّبات العضوية التي تحتوي على الزرنيخ»، كما يقول روجر سيمون Roger Summons، وهو كيميائي حيوي في معهد التقانة Massachusetts Institute of Technology في كامبردج، ويضيف قائلاً: «وهذا لا يصعب القيام به»، مع ملاحظة أنه كان بمقدرو الفريق مباشرة أن يوثّق أو ينفي وجود الزرنيخ في الدنا أو RNA باستعمال مطياف كتلة محدّد.

وقد اقترح بعض الباحثين أن البيانات الخاصة بالمؤلفين تشير إلى كائن حيّ يمتص الزرنيخات ويعزلها ببساطة وهو يستفيد من آثار الفسفات في بيئته. كما يقول جويس Joyce: «تظهر النشرة أحياء منتفخة تحوي بنى كبيرة تشبه الفجوات، وهذه غالباً ما يشير إلى حجز أو عزل مواد سامّة». وقد حُلّلت الخلايا النامية في الزرنيخات في طور راحتها الذي يتطلّب كمية أقلّ من الفسفات للبقاء مقارنة بالنمو النشط. كما أن الخلايا النامية في تراكيز مرتفعة من الزرنيخات لا تحتوي على الرنا RNA، ربما بسبب توقف إنتاجه للحفاظ على الفسفات. وقد بيّنت إحدى الحسابات في النشرة أن الدنا الموجود في الخلايا النامية في الزرنيخات يحتوي في الحقيقة



ربما تشير الحويصلات الخلوية الكبيرة بأنها مُحتجزة للزرنيخ.

على 26 ضعفاً من الفسفور أكثر من الزرنيخ. «أنا أنتقد المؤلفين لعدم ملاحظتهم هذه الأشياء وعدم عزلها بعيداً»، تقول روزماري ردفيلد Rosemary Redfield، وهي أخصائية أحياء دقيقة في جامعة British Colombia في Vancouver بكندا، والتي علّق ملخصها عن مشاكل النشرة في موقعها بتاريخ 4 كانون الأول/ديسمبر ويحتوي أكثر من 30.000 نقطة: «ليس علينا أن نفكر عوضاً عنهم».

أما فيلسا وولف–سيمون، الباحثة في بيولوجيا الفضاء في ناسا NASA في إدارة المسح الجيولوجي في Menla Park بكاليفورنيا والمؤلف الأول للدراسة فقالت: «نحن لن نشترك في هذا النوع من النقاش». وكتبت في رسالة إلكترونية إلى مجلة Nature: «يجب أن يُمحَّص أي مقال بالأسلوب نفسه الذي عولجت فيه نشرتنا، وأن يخضع لعملية التدقيق بحيث يوازن النقاش بصورة مناسبة.

إلا أن جوناثان إيسن Jonathan Eisen، أخصائي الأحياء الدقيقة في جامعة كاليفورنيا Davis، وصف هذا بالسخف بعد أن لفتت نشرة إعلامية لناسا NASA الانتباه إلى ادعاءات «عن اكتشاف بيوفضائي سيؤثر على البحث عن دليل عن حياة خارج الكرة الأرضية»، وهو موضوع كان صداه عند والف سيمون في ملخصها. ويضيف جوناثون: «إنه من السخف بالنسبة إليهم القول بأنهم سيناقشون في الكتابات العلمية، فقط عندما بدؤا ذلك». وذكرت جينجر بن هولستر Ginger Pin–holster، الناطقة بلسان الناشر لمجلة Science، أن المجلة تعتبر ردود الفعل المهمّة للمقالات عالية المردود وكذلك جهود تكرار العمل هدفاً مفتاحياً للنشر. كما أشارت إلى أن ملخص المجلة للنشرة لم يذكر شيئاً عن البحث عن حياة خارج الكرة الأرضية، كما لم تنظم المجلة أية حالات تزكية إضافية به.

ميكروبيولوجيا

بكتيريا تنتعش على الزرنيخ

اكتشفت جرثومة في بحيرةٍ تركيز الزرنيخ فيها مرتفع لا تستقلب فقط هذا العنصر السام عادة، ولكن يبدو أنها تدمجه في الدنا DNA الخاص بها وكذلك في جزيئات أخرى مكان الفسفور. وهذا يشير إلى كيمياء حيوية تختلف كثيراً عن تلك التي اعتُقد ولزمن طويل أنها تشكل أساس الحياة على الكرة الأرضية. وجدت فيليزا ولف سيمون Felisa Wolfe–Simon من إدارة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة وزملاؤها هذا الميكروب في بحيرة California's Mono Lake (الصورة)، وحينما زُرع هذا الميكروب في الزرنيخات مع كميات ضئيلة فقط من الفسفات نما هذا الكائن بمعدل يساوي 60% من النمو الذي يتم الحصول عليه حين ينمو في الفسفات.

وقد وجد الفريق، باستعمال التقفي الإشعاعي ومطيافية الكتلة، الزرنيخ في تحت وحدات خلوية لبروتينات البكتيريا ودهونها مواد استقلابها وفي أحماضها النووية وبكيمات مشابهة لكميات الفسفات المتوقعة في الكيمياء الحيوية في الخلايا العادية. ويبيّن تحليل أشعة أكس أن الزرنيخ يتخذ شكل زرنيخات ويرتبط مع الكربون والأكسجين مشابهاً الفسفات.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 468, 9 December 2010. *ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.*

عالم بدون بعوض

إن إبادة أي كائن حي ستكون له عواقب خطيرة على الأنظمة البيئية- أليس كذلك؟ لكن الحال لن يكون بهذه الصورة عندما يتعلق الأمر بالبعوض، هذا ما اكتشفته جانيت فانغ Janet Fang.

كل يوم تقوم جيتاوادي مورفي Jettawadee Murphy بفتح غرفة صغيرة للأبحاث مقفلة وذات حرارة عالية في معهد ولتر ريد آرمي Walter Reed Army Institue في سيلفر سبرنغ، ميرلاند، تتضمن هذه الغرفة حشداً من البعوض الحامل للملاريا الأنوفيلية الاصطفائية Anohpeles stephensi. وتعطي مورفي ملايين من اليرقات نظاماً غذائياً من السمك المطحون، وتقدم للإناث الحوامل الدماء كي تمتصها من بطون الفئران الفاقدة الوعي، وتستهلك تلك الإناث 24 من القوارض شهرياً. درست مورفي البعوض لمدة 20 سنة، وهي تعمل على إيجاد طرق للحدّ من انتشار الطفيليات التي يحملها(ينقلها) البعوض. وتقول إنها ما تزال تفضل لو يتم التخلص من البعوض بشكل كامل على وجه الأرض.

إن ذلك الشعور مشترك على نحو واسع. إذ تصيب الملاريا حوالي 247 مليون شخص حول العالم سنوياً، وتقتل تقريباً مليون شخص. يسبّب البعوض أيضاً عبئاً طبياً ومالياً ضخماً، حيث يقوم بنشر الحمى الصفراء، وحمى الضنّك (أبو الركب)، والتهاب الدماغ الياباني، وحمى الصّادِع Rift Valley Fever، وفيروس شيكونغونيا Chikungunya، وفيروس غرب النيل. ثم هناك عامل الوباء (الطاعون): إذ تشكل هذه الحشرة حشوداً كثيفة لدرجة أنها تكون قادرة على خنق وعل كبير في ألاسكا، والآن بينما تصل أعدادها إلى الذروة الموسمية، فإن خراطيمها تدخل في اللحم البشري في النصف الشمالي من الكرة الأرضية.

إذاً ماذا سيحدث إذا لم يكن هناك أيّ بعوض؟ هل سيفتقدها أحد ما؟ وجّهت مجلة Nature هذا السؤال إلى مجموعة من العلماء الذين يقومون باستكشاف السمات البيئية والحيوية للبعوض، فكشفوا عن بعض الأجوبة المفاجئة.

يوجد 3500 نوع للبعوض تحمل أسماء مختلفة، منها مئتا نوع فقط يلسع أو يضايق البشر، ويعيش تقريباً في كل قارة وفي كل مكان ويشغل وظائف مهمّة في الأنظمة البيئية المتعددة. هذا وتقول مورفي: «وُجد البعوض على الأرض منذ أكثر من مليون سنة، وقد تطور بأنواع عديدة على مرّ السنين». إن القضاء على أنواع من البعوض يمكن أن تترك المفترس بدون فريسة، أو تترك النبات بدون ملقح. إن استكشاف عالم بدون بعوض يُعدُّ ضرباً من الخيال، وما تزال الجهود المكثفة جارية لتطوير طرق يمكن أن تخلص العالم من أكثر الأنواع المؤذية الحاملة للأمراض.

ورغم ذلك فإن العلماء، وفي حالات عديدة، اعترفوا بأن الأثر البيئي الذي سيخلفه اختفاء البعوض سيعالج بسرعة عندما يتم ملء الفجوة بكائنات حية أخرى، وستستمر الحياة كما في السابق، أو حتى على نحو أفضل. «عندما يتعلق الأمر بنواقل المرض الرئيسة، فإنه من الصعب أن ترى السلبيات التي يجب إزالتها باستثناء الضرر الجانبي»، هذا ما يقوله ستيفن جوليانو Steven Juliano، عالم البيئة والحشرات من جامعة إليونيز الرسمية في نورمال. ويقول كارلوس بريسولا ماركونديز Carlos Brisola Marcondes المختص

بعلم الحشرات الطبية في جامعة سانتا كريستينا الاتحادية في البرازيل: «عالم بدون حشرات سيكون أكثر أماناً لنا»، ويقول أيضاً: «إن القضاء على بعوض الملاريا الأنوفيلية Anopheles سيكون مهمّاً جداً للبشرية».

الحشرات القطبية

إن القضاء على البعوض قد يحدث الاختلاف البيئي الأكبر في التندرا القطبية، وهو موطن البعوض الذي يضم Aedes impiger وAedes nigripes. هذا، وتفقس بيوض الحشرات التي وضعتها في العام التالي بعد ذوبان الثلوج، إذ يستغرق نموها من 3–4 أسابيع فقط لتصبح حشرات بالغة. ومن شمال كندا إلى روسيا، توجد فترة زمنية قصيرة، يكون فيها البعوض وفيراً جداً، وفي بعض المناطق يشكل غيوماً كثيفةً. يقول عالم الحشرات دانيال ستريكمان Daniel Strickman، مدير برنامج علم الحشرات الطبي والمدني في وزارة الزراعة الأمريكية في بيلتسفيل، بميرلاند: «تلك حالة نادرة واستثنائية حول العالم، وليس هناك مكان آخر في العالم تكون فيه بتلك الكتلة الحيوية الكبيرة.»

تتمنى أن تختفي: يمكن ان تكون سحب البعوض كثيفة بما يكفي لخنق الوعل في القطب الشمالي.

تختلف الآراء حول ما سيحدث في حال اختفت تلك الكتلة الحيوية. هذا، ويخمّن بروس هاريسون Bruce Harrison، عالم الحشرات في قسم البيئة ومصادر الطبيعة في كارولينا الشمالية في وينستون–سالم، أن عدد الطيور المهاجرة التي تعشعش في التندرا يمكن أن تهبط بمقدار أكثر من 50% بدون وجود بعوض تأكله، في حين يعارض باحثون آخرون ذلك. وتقول عالمة الأحياء المختصّة بالحياة البرية من مركز خدمة السمك والحياة البرية الأمريكية في فيربانكس، بألاسكا: «لا يظهر البعوض القطبي في عيّنات من معدات الطيور بأعداد كبيرة، وتُعدُّ تلك البراغيش مصدراً غذائياً مهمّاً، وتضيف: «إننا (كبشر) نبالغ بتقديرنا لعدد البعوض في القطب الشمالي لأنها تنجذب إلينا بشكل انتقائي».

يستهلك البعوض أكثر من 300 ملّي لتر من الدم يومياً من كل حيوان من قطيع الوعل، ويعتقد أن القطعان تختار ممرات مواجهة للرياح لتنجو من تجمعات البعوض. إن تغيّراً صغيراً في الطريق يمكن أن يؤدي إلى نتائج رئيسة في الوادي القطبي والذي من خلاله تهاجر آلاف الوعول التي تدوس الأرض وتأكل الأشنيات وتنقل الغذاء وتكون طعاماً للذئاب، وعلى العموم تعدّل علم البيئة. وفق هذه المعطيات فإن البعوض سيتوه في القطب ولكن هل ستكون الحقيقة نفسها في أماكن أخرى؟

غذاء على الجناح

«يُعدُّ البعوض من الأشياء الممتعة للأكل ويمكن الإمساك به بسهولة»، هذا ما قاله عالم الحشرات المائية ريتشارد ميرت Richard Merritt من جامعة ميتشيغن الحكومية شرق لانسنغ. في غياب يرقات البعوض فإن مئات الأنواع من الأسماك ستعمل على تغيير نظامها الغذائي لتبقى حيّة. ويقول هاريسون: «قد يبدو ذلك بسيطاً، لكن هناك سمات معينة مثل السلوك الغذائي الذي يظهر جينياً بعمق في تلك الأسماك. فعلى سبيل المثال، يعتبر السمك آكل البعوض mosquitofish (Gambusia affinis) حيواناً مفترساً متخصّصاً وهو فعّال جداً في قتل البعوض المتواجد في حقول الأرز وبرك السباحة وكمسيطر على الحشرات التي يمكن أن تنقرض. وإن فقد هذه الأسماك أو غيرها يمكن أن يكون له تأثيرات كبيرة في تغيّر السلسلة الغذائية.

أنواع عديدة من الحشرات، والعنكبوت، والسمندر، والسحالي والضفادع سوف تفقد المصدر الغذائي الأساسي لها. وفي إحدى الدراسات، قام باحثون بمراقبة مسكن السنونو الآكل للحشرات في منتزه كامارك بفرنسا، وبعد أن رُشت المنطقة بعامل ميكروبي مكافح للحشرات، اكتشفوا أن الطيور تنجب بمعدل فرخين لكل عش بعد الرش، مقارنة بثلاثة فراخ في المواقع المراقبة.

ومن المحتمل أن معظم الطيور التي تتغذى على البعوض ستتغذى على حشرات أخرى، وقد تظهر أعداد كبيرة أخرى من البعوض لتحلّ محلّها، حيث إن الحيوانات آكلة الحشرات لن تفتقدها أبداً. وغالباً ما تتغذى الخفافيش على العث، إذ تحتوي أمعاؤها على أقل من 2% من البعوض. وتقول جانيت مكاليستر Janet McAllister، عالمة الحشرات الطبية من مركز مكافحة الأمراض والوقاية منها في فورت كولينز–كولورادو: «إذا كنت تستهلك طاقة هل ستأكل 22 أونس من العث الطائر السريع (mignon) أو 6 أونسات من هامبرغر البعوض؟».

تشكل يرقات البعوض جزءاً مهمّاً من الكتلة الحيوية في برك الماء حول العالم.

ومع عدة خيارات على قائمة الطعام، يبدو أن أكثر آكلي الحشرات لن يشعروا بالجوع في عالمٍ خالٍ من البعوض. ولا يوجد دليل كافٍ على تعطيل النظام البيئي لإعطاء مكافحي الحشرات فرصة التريث بالتفكير.

في خدمتك

وكيرقات، يشكل البعوض كتلة حيوية مهمّة في النظام البيئي المائي العالمي. وهي تكثر في الأحياء المائية التي توجد في البرك السريعة الزوال وكذلك في الفتحات الموجودة في الأشجار وفي الإطارات القديمة. و إن كثافة اليرقات على الأسطح المغمورة يمكن أن تكون عالية جداً بحيث تؤدي إلى تموجات عبر سطحها. وهي تتغذى على الأوراق المنحلة، وبقايا عضوية وكائنات حيّة مجهرية.

والسؤال هو ما إذا كان غياب البعوض سيؤدي إلى ظهور آكلات مرشّحة أخرى. ويقول جوليانو: «إن الكثير من الكائنات الحية تعالج المواد العضوية، وليس وحده البعوض المسؤول عن ذلك أو أنه الأكثر أهمية في ذلك»، ويضيف: «إذا اقتلعت مسماراً من جناح الطائرة، فإنه من غير المحتمل أن تتوقف عن الطيران.»

قد تعتمد التأثيرات على جسم الماء موضع التساؤل. تُعدُّ يرقات البعوض عناصر مهمة في التجمعات المتشابكة بقوة في البرك التي أبعادها 25–100 ملم داخل نبات السلوى pitcher plants (Sarracenia purpurea) على الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية. إن بعوض (Wyeomyia smithii) والبرغش (Metriocnemus knabi) هي الحشرات الوحيدة التي تعيش هناك مع كائنات حية مجهرية مثل الدّوارات (rotifers) والبكتريا والحيوانات الأوالي (protozoa). و عندما تغرق الحشرات الأخرى في الماء، تقوم البراغيش بالتهامها في حين تتغذى يرقات البعوض على الفضلات، صانعة بذلك مغذيات مثل النتروجين متوفرة للنبات. وفي مثل هذه الحالة، فإن القضاء على البعوض قد يؤثر على نمو النبات.

في عام 1974، قام عالم البيئة جون أديكوت John Addicott من جامعة كالجري في ألبيرتا– بكندا بنشر نتائج بحث حول بنية الفريسة والمفترس داخل نبات السلوى، ولاحظ وجود تنوع أواليّ أكثر بوجود يرقات البعوض. واقترح أنه عندما تتغذى اليرقة، فإنها تخفض أعداد الأنواع المهيمنة من الأواليّ وتسمح باستمرار الأخرى. لكن النتائج المهمّة بالنسبة للنبات ما تزال مجهولة.

«إذا كان هناك أية فائدة من وجودها، فإننا سوف نجد طريقة للقضاء عليها. لا نريد أي شيء من البعوض سوى أن يرحل بعيداً».

قد ينشأ نقاش حادّ حول المحافظة على البعوض في حال قدّم خدمات للنظام البيئي –تلك الفوائد التي يحصل عليها البشر من الطبيعة. هذا، وقد أشارت عالمة البيئة التطورية دينا فونسيكا Dina Fonseca من جامعة روتجرز في نيو بيرنسويك–نيوجيرسي إلى المقارنة بالبرغش اللاسع من العائلة المتلاحية Ceratopogonidae والمعروفة

الحرب على المجنّحات

بذل البشر جهوداً عديدة، حتى وإن لم تكن مؤثرة، للتخلص من البعوض. ومن المحاولات الأكثر نجاحاً كانت حملة الإبادة ضد نوع من البعوض يُسمى الزاعجة المصريّة **Aedes aegypti** في بدايات عام 1900، والتي خفّفت إلى حدٍّ ما من الحمى الصفراء للسماح باستكمال قناة باناما. وقد استخدم مبيد يرقات خضرة باريس **Paris Green** كي يقي البرازيل من ناقل الملاريا: الأنوفيلة الغامبية **Anopheles gambiae** عام 1940.

معركة حتى الموت: رش المبيدات في شوارع كالكوتا-الهند.

إن تطبيق **adulticide DDT** سمح للولايات المتحدة أن تعلن خلوها من الملاريا عام 1949. لكن في الوقت الحاضر، تمّ منع المواد الكيماوية التي تعتمد مبدأ الرش في العديد من الدول. ويقول روجر ناسي **Roger Nasci**، عالم البيئة في مركز الحدّ من الأمراض ومكافحتها في فورت كولينز-كولورادو: «لا نستطيع أن نتبع طريقة العمل من أعلى إلى أسفل على غرار الأسلوب العسكري في الوقت الحاضر»، وأضاف: «ليس لدينا DDT الآن. لقد جاء مع الكثير من الأمتعة لكنه كان منتجاً مذهلاً للحدّ من البعوض».

وإن استخدام مواد كيماوية أقلّ سميّة للحدّ من البعوض كان خطوة أساسية في إبقاء الحشرات في فلوريدا وأجزاء من جنوب شرق آسيا وأمريكا اللاتينية ضمن المستويات المحتملة. هذا وتتطلّب السيطرة على الملاريا حول العالم في عام 2010 حوالي 1.880 مليون دولار للرش داخل البيوت و2.090 مليون دولار من أجل شبكات إبادة الحشرات. وتقول ناسي: «إنه عمل معقّد، لذلك مازال يوجد لدينا بعوض»، وتتابع القول: «لن يغادر البعوض إلى أي مكان». ويقوم الباحثون بتطوير طرائق بديلة للحدّ من البعوض، بعضها ملخص أدناه.

تدخُّل RNA

- إن مبيدات الحشرات التي تعتمد على RNA تقتل أنثى حشرة الزاعجة المصرية **A.aegypti** وذلك بدفع الخلية للانتحار. ويقول ستانتو كوبيه **Stanto Cope**، مدير مجلس القوات المسلحة الأمريكية لمكافحة الحشرات-في واشنطن DC: «إنها وبشكل أساسي تجعل البعوضة تقدم على قتل نفسها».
- لم يتم تطوير التركيبة ليتم رشها بكميات كبيرة.

تعقيم الذكور

- بتطبيق هذه التقنية على أكبر عدد ممكن من البعوض، فإن الذكور العقيمة يمكن أن تقلّل عملية التكاثر. ففي الولايات المتحدة، تمّ القضاء على الديدان اللولبية بالطريقة نفسها في بداية الثمانينيات. نمت الشرانق المشعّعة لتصبح ذكوراً عقيمة ومن ثم تمّ إطلاقها إلى أن اختفى نسل هذه الأنواع من الوجود.
- لم يتم تجريبها على نطاق واسع على البعوض.

المواد الكيماوية المحسنة

- أصبح البعوض مقاوماً لـ **adulticides** الحالية (أدوية تستخدم لقتل الديدان القلبية الكبيرة) والتي تستهدف النظام العصبي. ويعمل الباحثون على إيجاد وسائل بآليات جديدة تتضمّن منتجات طبيعية، مثل زيت الأرز **cedar oil**.
- ينبغي القيام ببحوث أساسية لإيجاد مركبّات وأنماط عمل جديدة.

نصب أفخاخ للبعوض

- في عام 2003 قام الباحثون في قسم الزراعة الأمريكية بالقضاء على بعوض الزاعجة الشريطية الخرطوم **Aedes taeniorhynchus** في جزيرةٍ في فلوريدا، إذ استخدموا الأفخاخ التي تنتج ثنائي أكسيد الكربون لإغراء البعوض.
- تعدُّ هذه التقنية مفيدة للحدائق أو الجزر الصغيرة، لكن من المحتمل أنها ليست مناسبة لاستخدامها على نطاق واسع.

أحياناً باسم no–see–ums، وأضافت قائلة: «إن الأشخاص الذين يتم لسعهم ببرغش no–see–ums أو أصيبوا عن طريقها بالعدوى بالفيروسات، وبالأواليّ وديدان الفيلاري سيسعدهم التخلص منها. لكن، وبسبب أن بعض أنواع الحشرات التي تُدعى بالمتلاحية ceratopogonids تكون ملقّحة للمحاصيل الاستوائية مثل الكاكاو، فإن ذلك سيؤدي إلى عالم من دون شوكولاته».

بدون البعوض، ستفقد آلاف الأنواع من النباتات مجموعة من ملقّحيها. هذا، وتعتمد البالغة منها على رحيق النباتات للتزود بالطاقة (فقط الإناث من بعض الأنواع تحتاج إلى وجبة من الدم في طعامها لتحصل على البروتينات الضرورية لوضع بيوضها). ورغم ذلك تقول مكاليستر إن تلقيحها ليس شيئاً حاسماً للمحاصيل التي يعتمد عليها البشر، وتضيف: «في حال كان هناك أية فائدة من وجودها فإننا سنجد طريقة للقضاء عليها ونحن لا نريد أي شيء من البعوض سوى أن يرحل بعيداً.»

وفي النهاية، يبدو أن هناك بعض الأشياء التي يقوم البعوض بها لا تستطيع كائنات أخرى عملها –ربما باستثناء عمل واحد. إنها فعّالة بشكل قاتل في مص الدماء من شخص ونقلها لآخر، مومّنة بذلك الطريقة المثالية لانتشار الجراثيم المسبّبة للأمراض.

يقول ستريكمان Strickman: «إن الأثر البيئي عند التخلص من البعوض المؤذي هو أن يكون لديك المزيد من البشر. تلك هي النتيجة» العديد من البشر سيتم إنقاذهم وآخرون لن تصيبهم الأمراض. كما أن البلدان الخالية من عبء انتشار الملاريا مثل جنوب صحراء إفريقيا قد تستعيد 1.3% من النمو في نتاجها الإجمالي المحلي الذي تقدره منظمة الصحة العالمية تبعاً لتكلفة هذه الأمراض في كلّ عام، وبالتالي يُسرّع بقوة من تطورها. وسيكون العبء أقلّ على المنظومة الصحية والمشافي. «وستتم إعادة توجيه الإنفاق على الصحة العامة من أجل التحكم بالأمراض التي تنتقل عن طريق الحشرات إلى قضايا أخرى صحية ذات أولوية، وأقل انتشاراً في المدارس» هذا ما يقوله جيفري هي Jeffery Hii، عالم في الملاريا، من منظمة الصحة العالمية في مانيلا.

ويقول عالم الأحياء فيل لونيبوس Phil Lounibos من مختبر فلوريدا لعلم الحشرات الطبي في فيرو بيتش: «إن القضاء على البعوض يخفّف وبشكل مؤقت من المعاناة الإنسانية.» ويقترح أن الجهود المبذولة لإبادة نوع واحد ناقل ستكون غير كافية لأنه سيحلّ محلّه بسرعة نوع آخر. هذا، وقام فريقه بجمع أنثى بعوض الحمى

الصفراء (Aedes aegypti) من محلات الخردة في فلوريدا، ووجدوا أن بعضها قد لُقح ببعوض النمر الأسيوي (Aedes albopictus) الذي يحمل أمراضاً بشرية متعددة. إن هذا التلقيح يجعل أنثى بعوض الحمى الصفراء عقيمة –وهذا يُظهر كيف أن حشرة واحدة يمكن أن تتجاوز حشرة أخرى.

استناداً إلى النتائج الإنسانية والاقتصادية حول البعوض الناشر للمرض، اقترح بعض العلماء أن تكاليف التزايد السكاني يفوق في أهميته صحة شخص معافى. وإن الضرر الجانبي المحسوس في مكان ما في المنظومة البيئية لا يمكن أن يجلب معه الكثير من التعاطف. إن الفكرة الرومانسية بأن لكلّ مخلوق مكاناً حيوياً في الطبيعة قد لا تكون كافية لإبراز حالة البعوض. إن القيود حول طرائق قتل البعوض ليست هي القيود حول النية، التي تجعل عالماً بدون بعوض أمراً غير محتمل.

ولذلك، بينما تقوم البشرية، وبشكل غير مقصود، بالبحث عن أنواع مفيدة بدءاً من سمك التونا، ومروراً بالمرجان، وحتى حافة الانقراض، فإن أفضل جهودهم، لا يمكن أن تهدّد حشرة ،بشكل جدي، مع قليل من السمات المستخلصة. «إنها لا يمكن أن تشغل مكاناً منيعاً في البيئة»، هذا ما يقوله عالم البيئة جو كونلون Joe Conlon، من الجمعية الأمريكية للسيطرة على البعوض، ويضيف: «إذا تخلصنا منها غداً، فإن المنظومة البيئية التي ينشط فيها البعوض سوف تتأثر بذلك، لكن الحياة سوف تستمر. شيء ما، أفضل أو أسوأ، سوف يقع».

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 466, 22 July 2010.

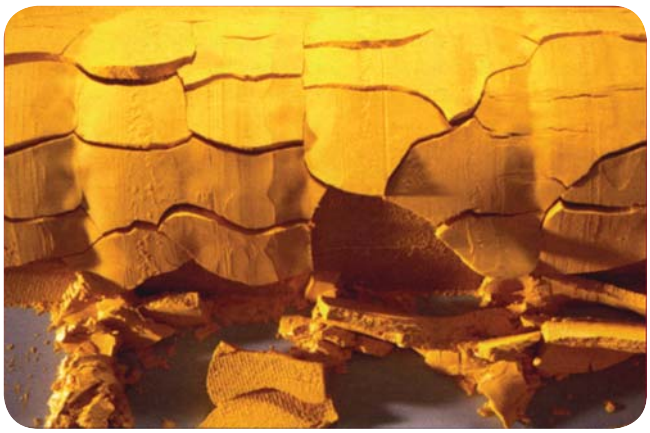
ترجمة نسرين شحادة، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

اليورانيوم: الموارد المقدَّرة تكفي لأكثر من مئة عام

وفقاً لدراسة نشرتها منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية OCDE للطاقة النووية AEN والوكالة الدولية للطاقة الذرية AIEA في 20 تموز/يوليو عام 2010 بعنوان: «اليورانيوم 2009: مصادر وإنتاج وطلب»، فإنّ موارد اليورانيوم وإنتاجه والطلب عليه في تصاعد. في الواقع، لقد اتسعت مؤخراً أعمال الاستكشاف انسجاماً مع التوقعات بازدياد الطاقة النووية خلال الأعوام القريبة القادمة. وبالمقابل، إذا كانت الموارد الإجمالية قد تزايدت، فإن كلفة الإنتاج قد ارتفعت أيضاً.

يبلغ مجمل الموارد من اليورانيوم الذي تمّ تقديره في الأوّل من كانون الثاني/يناير عام 2009 ما مقداره 6.306.300 طن، أي بارتفاع قدره 15% تقريباً مقارنةً بما قدّر في العام 2007. ويتضمن هذا المقدار بشكل خاص الموارد التي تُصنّف على أنها «مرتفعة الثمن» (< 260 دولاراً/كغ من اليورانيوم أو < 100 دولار/كغ من أكسيد اليورانيوم U_3O_8). أعيد إدراج هذا النوع من الموارد في إصدار العام 2009 للمرة الأولى منذ ثمانينيات القرن الماضي، وذلك كردّ فعل على ارتفاع سعر اليورانيوم في السوق خلال السنوات القليلة الماضية (رغم الانخفاض الملحوظ منذ الفصل الثاني للعام 2007)، تأثراً بتوقعات ازدياد الطلب ووفقاً لما يُخطَّط لإنشاء محطات نووية جديدة لتوليد الكهرباء، إضافة لأثر الكلف المرتفعة للاستخراج المنجمي. وعلى الرغم من زيادة الموارد الإجمالية المقدَّرة، فإن الموارد الرخيصة قد طرأ عليها انخفاض مهم إثر ازدياد كلفة الاستخراج المنجمي. وتؤكد الدراسة أنه قياساً على استهلاك العام 2008، تُعتبر الموارد الإجمالية المقدَّرة كافية لتأمين إمدادات لأكثر من مئة عام.

إن اعتراف الحكومات المتزايد بإمكانيات الطاقة النووية ليس فقط فيما يخص إنتاج الكهرباء بأسعار تنافسية دون التسبّب في إصدار غازات الاحتباس الحراري، بل أيضاً لأن الإسهام في تحسين أمان التزوّد بالطاقة يوسّع آفاق ازدياد إنتاج الكهرباء النووية، علماً أنّ اتساع هذه الانطلاقة يحتاج إلى تحديد.



كعكة صفراء على فلتر ذي شريط

وفقاً للخطط، يمكن أن تصل القدرة النووية العالميّة في العام 2035 إلى مستوى يتراوح بين 500 و 785 جيغاواط كهربائي. إذاً، يُنتظر أن تزداد الحاجة إلى اليورانيوم اللازم للمفاعلات بطريقة مترابطة عبر العالم.

بلغت تكاليف استكشاف المناجم وتطويرها أكثر من الضعف نسبةً لما نوّه عنه في الدراسة السابقة التي جرت في العام 2007، هذا بالرغم من هبوط أسعار اليورانيوم في السوق والتي سُجِّلت منذ منتصف عام 2007. تشير الدراسة أيضاً، وكما لوحظ في الماضي، إلى أن الاستثمارات المتصاعدة أتاحت ظهور اكتشافات مهمّة في مجال أعمال الاستكشاف، كما أشارت إلى وجود موارد جديدة. ويُتوقع، في حال ازدياد تحسن شروط السوق، إمكان إطلاق مشاريع استكشافيّة جديدة والكشف عن موارد من شأن استثمارها أن يمثّل مصلحة اقتصادية.

حتى في سيناريو النمو القوي في العام 2035، فإنّ أقل من نصف الموارد المشار إليها في الدراسة يُعدّ كافياً لسد الاحتياجات. غير أن التحدي الماثل هو استمرار استثمار المناجم

في الوقت المناسب مع الحفاظ على استمرار سلامة البيئة، في ظل ازدياد الطلب على اليورانيوم. بالمقابل، ينبغي دعم السوق مستقبلاً بغية الحصول على الموارد المطلوبة خلال مِهَل تلبّي الطلب المستقبلي على اليورانيوم.

ومن جهة أخرى، تُشير التوقعات الحالية (وفقاً لتقديرات التقرير) لإنتاج اليورانيوم المنجمي إلى إمكانية تلبيتها مستقبلاً للسيناريوهات العالية من الاحتياجات العالمية لليورانيوم حتى غاية العام 2020. مع ذلك، ونتيجة للتحدّيات والمِهَل المتأتية من زيادة الإنتاج في المناجم الموجودة والمُستثمرة حديثاً، تشير الدراسة إلى احتمال ضعيف في تحقيق نمو كامل في هذا النوع من الإنتاج كما هو مخطّط له. وبالتالي، فإنّ الموارد الثانوية من مخزون اليورانيوم الذي سبق استخراجه ستبقى ضروريّة، مُسْتكمَلةً، قدر المستطاع، بمكاسب الكفاءة التنافسية المتأتّية من تخفيض سوية النفايات لدى مصانع التخصيب ومن التحسينات التقنية على الوقود النووي.

تُشير الدراسة إلى أنّه وعلى الرغم من أنّ العرض والطلب قد جرى التخطيط لهما انطلاقاً من التقانات الحالية للإنتاج الكهرونووي، فإنّ لتطبيق التقانات المتقدمة في المفاعلات وفي دورة الوقود أثراً إيجابيّاً على جاهزية اليورانيوم لأمد طويل، ويمكنه نظرياً إطالة هذا الأمد لآلاف السنين.

«اليورانيوم 2009: موارد وإنتاج وطلب» – تقرير أُعد بالإنكليزية وبالشراكة بين وكالة منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية OCDE لشؤون الطاقة النووية والوكالة الدولية للطاقة الذرّية، باريس، 2010 – ISBN 978–92–64–08889–4.

نُشر هذا الخبر في مجلة RGN,No 4, 22 Juillet-Aout 2010.

ترجمة سوسن عباس، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

فوتوناتٍ مشبوكة على جذاذة

إن استعمال جذاذات (شبّات) فوتونية للتحكّم بفوتونات منفردة عبر أدلّة موجيّة هو توجه واعد نحو تقنيات معتمدة على الخصائص الكمومية للفوتونات. وإن قدرة قياس التشابك على مثل هذه الجذاذات هو خطوة مفتاحية في هذا التوجه.

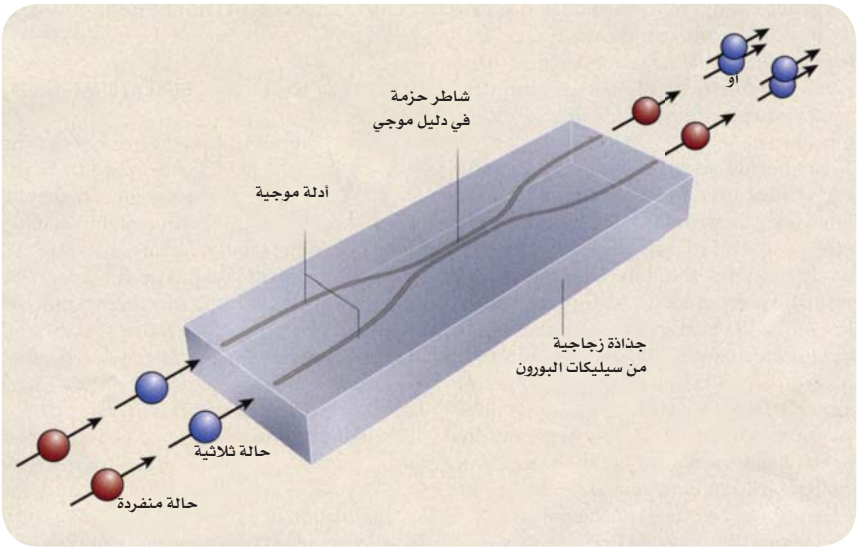
كانت الخصائص الغامضة للتشابك الكمومي موضوع نقاش فيزيائي غيبي مكثف منذ ولادة الفكرة في مستهل القرن الماضي. فكّر أينشتاين بشكل متميز أن «الفعل الشبحي من بعد spooky action at a distance» الذي ينشأ من التشابك يعني أن نظرية الميكانيك الكمومي كانت غير مكتملة، وثبت فيما بعد أنها النظرية الأكثر نجاحاً والتي لم تسبقها نظرية أخرى إلى مثل هذه القدرة التنبؤية. رغم ذلك، فإن التشابك والخصائص السحرية الأخرى للميكانيك الكمومي ليست مجرد فضول علمي. يحاول الباحثون عبر العالم استعمال هذه الخصائص لكسب إمكانات غير مسبوقة وتوظيفها في معالجة المعلومات وتأمين الاتصال والقياس الدقيق.

ومن خلال عرض قدمه سانزوني ورفاقه Sansoni et al. في Physical Review Letters، أثبتوا نمطاً جذاباً بشكل خاص لقياس تشابك كمومي بين فوتونات بإمكانه دفع هذه التقنيات خطوة إضافية.

ومن بين المنظومات الفيزيائية التي استعملت لتطوير تقنيات كمومية، تبدو الفوتونات مغرية بشكل خاص بسبب ضجيجها المنخفض (تحفظ المعلومات)، وانتقالها السريع جداً وسهولة تداولها بشكل إفرادي. إنها ضرورية في عالم الاتصالات الكمومية والقياسات الكمومية وللمقاربات المختلفة لهدف بعيد المدى في الحوسبة الكمومية، وإنها مرشح أساسي.

تتظاهر الخصائص المتميزة للتشابك الكمومي بشكل ممتع عبر فوتونين مشبوكين بالاستقطاب. يكون الاستقطاب باتجاه اهتزاز الحقل الكهربائي للضوء. ولدى قياس استقطاب واحد من الإلكترونين، تكون النتيجة غير مؤكدة تماماً –نصف الزمن سيكون أفقياً والنصف الآخر شاقولياً، أو نصف بـ (+ 45°) ونصف بـ (– 45°)، حسب الاتجاه الذي تمّ فيه القياس. رغم ذلك، إن نتيجة القياس نفسه للفوتون الثاني تكون معروفة بشكل دقيق: ستعطي النتيجة نفسها أيضاً كما هي للفوتون الأول، وفي هذه الحالة، يكون القياسان مترابطين تماماً، أو سيكون غالباً على العكس (أي، الشاقولي للعامودي، و+ 45° للـ – 45°، وهلمَّ جرّاً)، وهي حالة سيكوِّنان فيها ترابطاً مضاداً تماماً. (على أية حال سواء كانا مترابطين تماماً أم كانا بترابط مضاد تماماً فإن الأمر يتعلق كلياً بالطريقة التي يتم فيها تشابك الفوتونين).

والأمر بحدّ ذاته غير مفاجئ. فمثل هذه الترابطات معروفة من خلال خبرتنا اليومية. وعلى سبيل المثال، إن وجود مفاتيحكم في جيبكم هو أمر منسجم تماماً مع عدم كونها موجودة في المنزل. ولكن عند تكرار مثل هذه القياسات على أزواج عديدة لمثل هذه الفوتونات المحتجزة المحضّرة بشكل متماثل، فليس من المهم عند



الشكل 1: قياس التشابك على جذاذة. زوج فوتوني يندفع ضمن شاطر حزمة في دليل موجي فوق جذاذة زجاجية من سيليكات البورون. وبقياس ما إذا كانت الفوتونات موجودة في دليلين موجيين منفصلين أو مجتمعين في الدليل الموجي نفسه، يمكن تحديد حالة الدخل المشبوكة للفوتونات، منفردة أم ثلاثية.

أيٍّ من الزوايا حصل قياس الاستقطاب (هل هو أفقي أم شاقولي أم مائل، إلخ)، إذ إننا نلاحظ العلاقات نفسها، ومن الواضح أن هذا يتعارض مع فهمنا البديهي للكيفية التي يعمل بها العالم.

أظهر سانزوني وزملاؤه الآن قياس هذا التشابك الاستقطابي لزوج فوتوني باستعمال أداة متكاملة لدليل موجي تشتمل قنوات دليل موجي فوق جذاذة. تقود هذه القنوات الضوء بطريقة تماثل استعمال الألياف الضوئية المستعملة في الاتصالات (بوساطة الانعكاس الداخلي في الأدلة الموجية)، وتسمح الأداة للمؤلفين بتحديد نمط التشابك الاستقطابي الذي يُنفّذه زوج الفوتونات (انظر الشكل 1).

والعائق الرئيس أمام التقانات الكمومية المعتمدة على الفوتونات، والحاجة لمتابعة العلم الكمومي الأساسي مع الفوتونات، كان بناء دارات كمومية فوتونية باستعمال عناصر ضوئية كتلية (مثل مرايا أبعادها بالسنتمتر وشاطرات حزمة) قابلة للتوسع أكثر، مع قوائم ضوئية مستقرة اهتزازياً، وفوتونات تنتشر في فضاء حر. كانت هذه المقاربة معقّدة وغير قابلة للتدرّج ومحدودة من حيث الكفاءة. ولكن حديثاً، جرى استعمال دارات كمومية تتضمّن أدلة موجيّة من زجاج سليكوني فوق جذاذات سليكونية من أجل التغلب على هذه

المشاكل، وأعقبتها خطوات في مجال تطوير أدوات تخدم الاتصالات الضوئية. استعملت هذه التقنية البديلة للبرهنة على خوارزميات لمعالجة المعلومات الكمومية على نطاق ضيق، وعلم القياس الكمومي حتى أربعة فوتونات مشبوكة، ومشية كمومية لفوتونين مترابطين.

رغم ذلك، في كل هذه البراهين، إن المعلومات الكمومية المعبّر عنها بوساطة الفوتونات هي على هيئة مسارٍ مُرمَّز، أي أنه تمّ استعمال فوتونٍ في دليل موجي لترميز بتّة منطقية 0 (logical bit 0)، مع فوتون في دليل موجي ثانٍ مُرمّز ببتّة منطقية 1. وهذا المسار المُرمّز متضارب مع الترميز الاستقطابي المناسب جداً والمستعمل عادة، فعلى سبيل المثال، استقطاب فوتوني أفقي من أجل 0 واستقطاب شاقولي من أجل 1. إن استعمال الترميز الاستقطابي في الأدلة الموجيّة لا يتمّ ببساطة لأن السرعة التي يتمّ فيها انتشار هذين الاستقطابين الضوئيين تكون مختلفة قليلاً بسبب مفعول يُدعى الانكسار المضاعف birefringence، الذي يحدث بفعل الهندسة و/أو شكل المواد المكوِّنة منها الأدلة الموجيّة. يُغيّر هذا الانكسار المضاعف حالة استقطاب الفوتونات المنتشرة في الدليل الموجي، من قطري إلى دائري مثلاً، ويمكن أن يقود في النهاية إلى إزالة استقطاب الفوتونات، مقيِّداً قدرتها على التداخل مما يؤدي إلى فَقْد في المعلومات.

تتضمن المقاربة البديلة لبناء الأدلة الموجية، المستعملة من قبل سانزوني ورفاقه، تبئيراً مُحكماً لحزمة ليزرية ذات نبضات شديدة على مادة مثل الزجاج وبالتالي تبديلاً دائماً لخصائص المادة وإحداث دليل موجي. ومن خلال مسح موقع البقعة المبأرة حول العيّنة، يمكن للأدلة الموجيّة أن تطبع مباشرة وفق الأبعاد الثلاثة للعيّنة. تمّ بهذه الطريقة إنجاز دارات فوتونية كمومية ذات أدلة موجيّة دائرية، وتوحي بأنه بإمكان الأدلة الموجية أن تبدي انكساراً مضاعفاً وأن تكون قادرة على تدعيم ترميز استقطابي. ففي دراستهم، برهن سانزوني وزملاؤه أن المقاربة يمكن أن تقود بالفعل إلى أدلة موجيّة قادرة على تدعيم الترميز الاستقطابي. إذ استخدموا التقنية لتصنيع دليلين موجيّين على جذاذة زجاجيّة، وتقريبهما من بعضهما، للحصول على الأداة المطلوبة، وتُدعى القارن التوجيهي، الذي يعمل كشاطر للحزمة: فهو يعكِس نصف الضوء الوارد ويُمرّر النصف الآخر. وعندما دُفع الزوج الفوتوني المشبوك عبر الدليلين الموجيين، فقد أمكن تحديد التناظر في عملية الاحتجاز المتشكلة في الأداة، وأطلق عليها تقنياً «الحالة المنفردة singlet أو الثلاثية triplet». ويعود ذلك إلى أن الحالة المنفردة تقوم بعملية مضادة للتجميع anti-bunches عند القارن بحيث تخرج الفوتونات من كل دليل موجي للخرج بصورة منفصلة، في حين تجمّع الحالات الثلاثية بحيث أن كلا الفوتونين يخرجان في الدليل الموجي ذاته (الشكل 1).

تضمن مقاربة الاستقطاب المتناغم للفوتونيات الكمومية المتكاملة على جذاذة متكاملة إمكانية عالية لضمّها إلى الطرائق التقليدية لتوليد التشابك الفوتوني وقياسه. وكما يشير إليه المؤلفون، يجب على هذه المقاربة تحقيق دارات كمومية متعددة الفوتونات وممتعة مثل الفلاتر المحتجزة وحتى دارات أكثر تقدماً وأكثر مباشرة. ومع ذلك، فإن الأدوات المتكاملة التي بإمكانها إنجاز دورانات استقطابية بالقياس مع مقابلاتها الضوئية الكتلية، صفائح موجيّة متكاملة، سيكون في آخر الأمر حاسماً، كمسار لزيادة نمنمة هذه الدارات للوصول إلى دارات فوتونية كموميّة ضخمة. وكما هو الحال مع جميع المقاربات الخاصة بالتقانات الفوتونية الكمومية، ما تزال مصادر الفوتونات المنفردة والكواشف حاجة مهمّة، إضافة لما يخصُّ تكاملها مع دارات كمومية.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 469, 9 January 2011.

ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير.

ذاكرة وصول عشوائي كمومية

لقد اقتُرحت المنظومات الكمومية الهجينة كوسيلة جيدة لبناء حاسوب كمومي. تبيِّن آخر الأبحاث أن هذه المنظومات تقدّم حلاً عملياً لتطوير شكل ما لذاكرة وصول عشوائي من أجل هذه الآلة.

كثير منا عضّوا بأسنانهم حَنَقاً من فشل حاسوب سطح المكتب في الاستجابة حتى وصل إلى التوقف تقريباً وذلك عند تشغيل أحد التطبيقات التي تحتوي على بيانات مكثفة –كفتح صورة رقمية ذات مَيْز عال، على سبيل المثال– أو تشغيل أحد التطبيقات مرات عديدة في الوقت نفسه. كما أن بعضاً منا جرّب التحسين في السرعة الذي يأتي من تخزين ذاكرة إضافية مُكْلِفة تُسمّى ذاكرة وصول عشوائي random access memory والتي يُرمز لها اختصاراً بالرمز RAM. وعلى عكس الذاكرة في السواقة الصلبة hard drive، فإن المعطيات المخزّنة في الذاكرة RAM يمكن استرجاعها بالسرعة نفسها في أي ترتيب، مما يجعلها مناسبة جداً لدورها كوسيط تخزين مؤقت لوحدة المعالجة المركزية للحاسوب أثناء تنفيذ برنامج ما. إن الحاسوب الكمومي سوف يتطلّب أيضاً شكلاً ما من الذاكرة RAM لكي يعمل بشكل لائق. أعلنت أربع مجموعات أبحاث، في مجلة Physical Review B ومجلة Physical Review Letters، عن تقدُّم ملموس في البرهان على إثبات صحة مبدأ ذاكرة «RAM الكمومية».

وكما هو الحال مع الحاسوب التقليدي، فإن الحاسوب الكمومي يكوّد الرقمين الثنائيين 0 و1، أي «بتة» معلومات، في حالة المنظومة الفيزيائية. ولكن على عكس نظيره التقليدي، هو لا يفعل ذلك مستعملاً حالة المنظومة التقليدية، كغياب أو وجود شحنة كهربائية في مكثفة. وبدلاً من ذلك، فالصفر والواحد يقابلان حالتين كموميتين للمنظومة –على سبيل المثال، الحالتان سبين «تحت» وسبين «فوق» لإلكترونين غير متزاوجين لعيب ذرّي أو جزيئي في شبيكة بلورية، أو تياران كهربائيان جهتاهما بجهة دوران عقارب الساعة وبعكس هذه الجهة في حلقة دقيقة فائقة النقل. وبموجب الميكانيك الكمومي، فإن باستطاعة كلتا هاتين المنظومتين الكموميتين اللتين ضربناهما مثلاً أن لا تكونان فقط في أيٍّ من الحالتين 0 و 1، بل في حالة انضمام أيضاً –أي مزيج آني لـ 0 و 1. وما دام الأمر كذلك، فهما يقومان بدور «بتة كمومية» أو qubit، لتكويد المعلومة الكمومية.

نشر أربعةُ أفرقة أربعَ ورقات علمية[1] يصفون فيها عملهم من أجل تحقيق هندسة بناء حاسوب كمومي هجين يضم بتات كمومية من كلا النوعين الموصوفين أعلاه: أي بتات كمومية فائقة النقل وبتات كمومية سبينية (الشكل 1). إن البتات الكمومية الفائقة النقل، والتي يبلغ قدّها بضع مئات المكرومتر، ملائمة جداً لإنجاز عمليات لبوابات منطقية كمومية[2] علاوة على ذلك، فهي بسيطة نسبياً لتصنيعها من مواد كالألمنيوم باستعمال الطباعة الحجرية (الليتوغرافيا) بالحزمة الإلكترونية. إن البتات الكمومية السبينية، التي تُشكّل من بلورة قدّها بين المليمتر والسنتيمتر تحتوي ما يصل إلى 10^{12} شائبة سبين إلكتروني، تقوم مقام عناصر ذاكرة لخزن واسترجاع المعطيات. إن البتات الكمومية السبينية التي اعتمدها المؤلفون تشمل أيونات الكروم (Cr^{3+}) –في أكسيد الألمنيوم، وعيوب شاغر –نتروجين في الألماس، وإلى حد ما جزيئات غريبة مؤلفة من ذرّات نتروجين مفردة في أقفاص فوليرين (C_{60}) (يمنع قفص الفليرين ذرّات النتروجين غير المستقرة كيميائياً عادة من التفاعل). إن ذواكر من بتات كمومية سبينية كهذه لها ميزة العمر الطويل نسبياً (ملّي ثانية)، بعد أن تكون المعلومة المخزّنة قد تضاءلت نظراً للتأثرات التي لا مفر منها مع بيئة السبينات الخارجة عن السيطرة. إن هذا العمر هو أطول بأكثر من ألف مرة من المكروثانية أو الأعمار الأقصر للبتات الكمومية الفائقة النقل.

في مثل هذه الخطط الهجينة، يمكن أن تصنّع ناقلات المعطيات التي تنقل المعلومة بين مكونات الحاسوب من شرائط معدنية رقيقة وطويلة من الألمنيوم أو من ناقل فائق ملائم آخر كالنيبيوم مثلاً. يمكن هندسة الشرائط بعناية لتشكل مجاوبات مكروموجية بحيث يكون لها تواترات تجاوبية في المجال الممتد من بضعة جيغاهرتز

[1] هي: ورقة Chiorescu I. ومجموعته في مجلة Physics. Rev. B 82, 024413 (2010)، وثلاث ورقات لمجموعات أخرى هي ورقة: Schuster,D.I. وآخرون، وورقة Kubo,Y. وآخرون، وورقة Wu,H. وآخرون، والورقات الثلاث نُشرت في الصفحات 140501 و 140502 و 140503 على الترتيب في مجلة Physics. Rev.Lett.105, (2010).

[2] كما يشير كلٌّ من Neely, M. وآخرون، وكذلك DiCarlo,L. وآخرون في مجلة Nature 467 (2010).

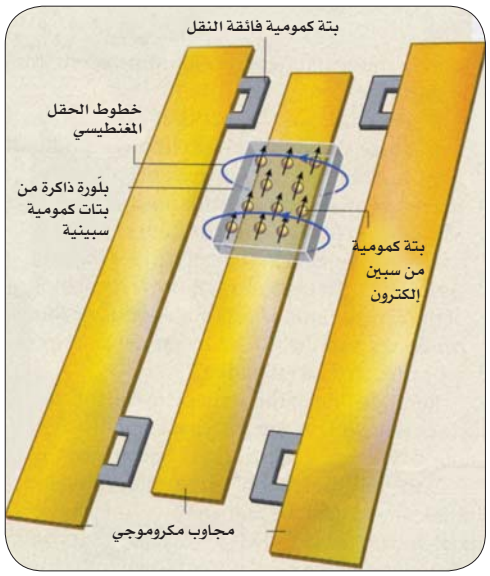
إلى عدة جيغاهرتز، ممكّنة البتات الكمومية فائقة النقل (منطق) والسبينية (ذاكرة) من إصدار وامتصاص الفوتونات المكروموجية ذوات التواتر التجاوبي ومن ثم تبادل المعلومات فيما بينها.

إن الدراسات الجديدة المذكورة أعلاه، لا توضّح بنية هندسية لحاسوب كمومي هجين كهذه في مجملها. وإن ما يبيّنه المؤلفون ما هو إلا اقتران قوي بين المجاوب المكروموجي ومجموعة البتات الكمومية للذاكرة المؤلفة من السبينات الإلكترونية في البلّورة.

لتحقيق ذاكرة وصول عشوائي كمومية (RAM)، ينبغي أن يكون الاقتران قوياً بالقدر الكافي كي يُخزن فوتون المجاوب المكروموجي في ذاكرة البتة الكمومية السبينية ويُسترجع على مقاس زمني قصير بالمقارنة بزمن حياة الفوتون في المجاوب وزمن حياة ذاكرة البتات الكمومية السبينية.

حقّق المؤلفون في تجاربهم[1] اقتراناً قوياً بطريقتين. الطريقة الأولى، إن النسبة الباعية (نسبة العرض إلى الارتفاع) المستعرضة الكبيرة لشريط المجاوب المكروموجي العريض والرقيق تعني أن مركبة الحقل المغنطيسي المهتز للفوتون، والتي تتآثر مع السبينات الإلكترونية، محصورة إلى حدٍّ كبير بحجم صغير يقع فوق الشريط وتحته، يمكن مقارنتها بثخن بلورة ذاكرة البتات الكمومية السبينية. الطريقة الثانية، الطول الموجي ذو المقاس السنتيمتري للفوتون المكروموجي على امتداد طول الشريط يمكن مقارنته بالأبعاد الجانبية للبلورة. هكذا، وبوضع البلورة في أعلى الشريط، فإن جزءاً غير قليل من حقل الفوتون المغنطيسي سيملأ حجم البلّورة ؛ وعليه فإن فوتوناً وحيداً يتآثر بصورة آنية مع عدد كبير من السبينات، وتكون النتيجة أن يُخزن الفوتون لا محلياً في جميع أنحاء البلورة على هيئة حالة انضمام سبينات عديدة. فالاقتران القوي عندئذ يعتمد بكل بساطة على ضمان كثافة سبينات بلّورة عالية. ولكن كيف تقاس بصورة حقيقية شدة الاقتران هذه؟

لننظر في نوّاسين معلّقين بالسقف بخيطين متماثلين في الطول ويحملان كرتين متماثلتين في الكتلة. لنفرض أن أحد النواسين يمثل المجاوب المكروموجي ويمثل الآخر «النمط» السبيني اللامحلي. إذا وضع النواسان المستقلان في حالة حركة متساوية ولكنها صغيرة السعة، فإنهما سيهتزان بالتواتر نفسه –أي في حالة تجاوب. والآن صل نابضاً بين الكتلتين، يقرن حركتهما. يمثّل النابض الاقتران بين المجاوب المكروموجي والنمط السبيني. إذا بدأنا بعدئذ بإزاحة أحد النواسين، فإنه سينقل طاقته بصورة تدريجية إلى النواس الآخر، والعكس صحيح، وينتج عن ذلك تواتر «خفقان»– وهذا مماثل لما نسمعه عندما تعزف نغمتان موسيقيتان بتواترين يختلف أحدهما



الشكل 1: مخطط لحاسوب كمومي هجين. البناء الهندسي للحاسوب الكمومي الذي تخيلته الورقات العلمية الأربع1 يضم بتات كمومية فائقة الناقلية وبتات كمومية سبينية. يمكن نقل حالات البتات الكمومية الفائقة النقل واسترجاعها من بلّورة ذاكرة مؤلفة من بتات كمومية سبينية بواسطة فوتونات المجاوب المكروموجي. يقترن المجاوب المكروموجي بقوة مع مجموعة من البتات الكمومية لذاكرة سبينات إلكترونية للبلّورة من خلال الحقل المغنطيسي المهتز والمحصور بإحكام لفوتونات المجاوب.

قليلاً عن الآخر. إن تواتر الخفقان ينسب مباشرة إلى صلابة النابض، ومن ثم إلى شدة الاقتران بين النواسين. وبالمثل، قاس المؤلفون[1] تواتر الخفقان للمجاوب المكروموجي عندما كان في حالة تجاوب مع النمط السبيني، وبذلك كانوا قادرين على استخراج شدة الاقتران.

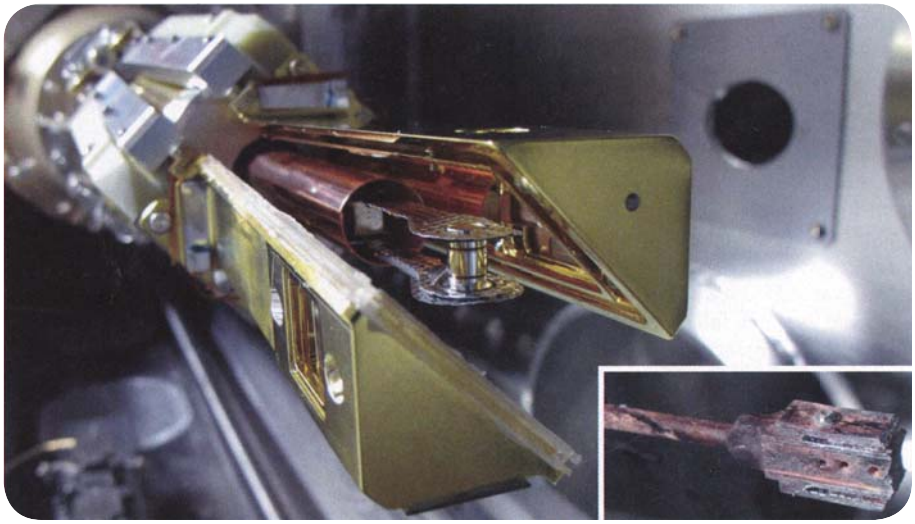
في الحقيقة، لم تُثْبت إلا تجربة واحدة من التجارب الأربع المذكورة أعلاه[1] (Wu,H وآخرون) مبدأ ذاكرة الوصول العشوائي RAM للخزن المتعدد الحالات متبوعة باسترجاع ترتيب كيفي للحالات. على كل حال، لم يختزن في الذاكرة السبينية ويسترجع منها سوى حالات مكروموجية تقليدية تتضمن عدداً كبيراً غير محدد من الفوتونات. والبرهان على الشيء نفسه على مستوى الفوتون الفرد –كما هو مطلوب من أجل ذاكرة وصول عشوائي كمومية– سيتطلّب تحسيناً في أزمنة حياة فوتون المجاوب وذاكرة البتة الكمومية السبينية يقارب مرتبة في القيمة، بالإضافة إلى إدخال البتات الكمومية الفائقة النقل. ومهما يكن، فإن النتائج الحالية تمثّل خطوة رئيسية نحو تحقيق ذاكرة الوصول العشوائي الكمومية.

◄ *نُشر هذا الخبر في مجلة* Nature,Vol 468, 4 Novvember 2010.

ترجمة د. محمد القعقع، رئاسة هيئة التحرير.

ليزر فائق يطلق رصاصةً خلبية

معدّات القدح الوطنية الأمريكية تَبْلُغُ بحذرٍ عتبة الاندماج.



هدف القدح مع حجابة الواقي مفتوحاً ومجموعة القدح (ضمناً) بعد الاختبار الحديث للقدح

لقد كان عام 2010 موعد القدح الهائل الذي سيطلق الاندماج. فمنشأة القدح الوطنية National Ignition Facility (NIF)، التي تُشكِّلُ الليزر الأعظم مقدرةً في العالم، ستقدح الاشتعال في مزيجٍ من نظائر الهدروجين، عند بلوغ ضغطٍ يساوي 100 بليون ضعفٍ من ضغطِ جو الأرض ودرجة حرارةٍ تقارب 100 مليون درجة مئوية. وفي هذه الحالة ستُنتج تفاعلات الاندماج المستهدفة طاقةً أكبر من تلك التي يستهلكها الليزر. إلا أن إعلاناً ظهر في أوائل شهر تشرين الأول/أكتوبر عام 2010 حولَ أولِ اختبارٍ كاملٍ لليزر –بطاقةٍ تبيّن أن سعره يزيد على 3.5 مليار دولار أمريكي– يُظهر بأن هذا الهدف مايزال بعيد المنال.

ففي آخر تجربة أُجريت في 28 أيلول/سبتمبر في مختبر لورنس ليفرمور الوطني Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) في كاليفورنيا، وجّهت 192 حزمة ليزرية تابعة لـ NIF، ولأول مرة، إلى هدفٍ صلب. وإلى جانب ذلك، وُضع رصف قدره 26 من المعدّات التشخيصية يراقب باستمرار الحزم أثناء ضربها للهدفِ المبرَّدِ قرياً cryogenically والذي يتكون من مزيج الدوتريوم والتريتيوم والهدروجين المضموم في علبة ذهبية سُمِّيت هوهلروم Hohlraum. «وعلى حدّ قول إد موسِسْ Ed Moses مدير NIF، هذا كان رائعاً من ناحية إظهار إمكانات المعدّات. فكلّ شيء عَمِلَ بشكل سليم». وبالرغم من الإعلان عن أنها كانت «تجربة قدح»، فإن الكبسولة لم تكن مجهّزة بمزيج النظائر اللازمة لحدوث الاندماج بصورة متعمّدة، وإن قدرة الطلقة كانت قصيرة تماماً عن تلك التي يحتاجها القدح، وذلك بسبب القلق على العناصر الضوئية المستعملة لتبئير الحزم التي يمكن أن تتضرّر بأي شيء أعلى من ذلك.

وفي أثناء هذا الاختبار أطلق الليزر 1 ميغا جول (10^6 جول) من الطاقة، التي هي أعلى كثيراً من 0.7 ميغا جول التي أمكن بلوغها من خلال تجارب في أواخر عام 2009، ولكن ما يحتاجه الاندماج هو المقدار 1.4–1.5 ميغا جول. «فهذه ليست طلقة نحو الاندماج بل هي أول اختبار حقيقي»، هذا ما يقوله ديفيد هامر Devid Hammer، الأستاذ في هندسة الطاقة النووية في جامعة كورنل في إيثاكا بنيويورك. وقد كتب هامر تقريراً في عام 2005 لصالح الـ JASONs، وهي لجنة مستقلة من الخبراء تنصح الحكومة الأمريكية في مسائل الدفاع، يؤكّد فيه أن NIF لن تبلغ الاندماج في عام 2010، كما هو مخطّط، وذلك جزئياً بسبب مشكلة الضوء؛ إذ إن NIF لا تتوقع بلوغ الاندماج قبل 2012.

لقد جرت المصادقة على NIF في العام 1993 بهدف مزدوج: لإنتاج معطيات عن تفاعلات الاندماج المتّصلة بالأسلحة النووية

من ناحية، ولاستكشاف الاندماج الليزري كمصدر نظيف للطاقة من ناحية أخرى. وقد وُصمت (دُمغت) سنواتها القليلة الأولى باتهامات لـــلإدارة الـضـعـيـفـة فـي تغطية الصعوبات التقنية. وفي العام 2000 جـرى التدقيق والإصـــلاح. ورُسم هـدفُ الاشتعالِ حتى العام 2010 في طلب الميزانية لـوزارة الطاقة Department of Energy (DOE) المرفوع إلى الكونغرس في العام 2006؛ وفي العام 2009 استُكمل تشييد بناء الـ NIF. وقد ورد في البيان المرفوع إلى الكونغرس عام 2010، الذي كتبه توماس دي أغوستينو Thomas D'Agostino، من إدارة الطاقة التابعة لوزارة الأمن النووي متدرجاً بالهدف حتى العام 2010 الرامي إلى «تجارب الاشتعال» التي ستبيّن، كما يقول، أنه يمكن في الواقع بلوغ الاشتعال دون القدح.

وبما أن تركيز الطاقة على بعض المركبات الضوئية لليزر أكبر من أي طاقة أمكن بلوغها، فإن الخوف من احتمال تخريب ينشأ عن تجاوز التسخين أخّر تقدّم العمل. فقد كان يجب استبدال كثير من المركبات الضوئية في NIF قبل هذه التجربة الأخيرة، وتبقى التساؤلات عن كيفية مواجهة المنظومة لمشكلة الطاقات اللازمة لبلوغ الاشتعال والتغلّب عليها. «ونحن لا ندّعي أننا ندرك كل تفصيل بمفرده»، بحسب ما يقول موسيس.

ويقول منتقد NIF منذ أمد طويل ستيفان بودنر Stephen Bodner، وهو مدير سابق لبرنامج الاندماج بالليزر في مختبر نافال للأبحاث في واشنطن DC، إنه بالرغم من النجاح الأخير ما تزال هناك تساؤلات جدّية حول ما إن كان في إمكان هذه المنشأة بلوغ الاشتعال في يومٍ ما. وفي ورقة منشورة على الإنترنت في كانون الثاني/يناير (S. H. Glenzer et al. Science 327, 1228-1231; 2010)، أعلن فريق NIF أن أكثر من 90% من الطاقة الليزرية وصل إلى هوهلروم (العلبة الذهبية) في الاختبار الذي جرى في كانون الأول/ديسمبر عام 2009، الشيء الذي يعني تركيز الإشعاع على مضغوطة النظائر pellet of isotopes. إلا أن بودنر يقول إن إشاعات دارت تفترض أن ما يقارب نصف هذه الطاقة قد تبعثر خارج الهدف. ويقول ستيف هان Steve Haan، وهو مصمّم قيادي لأهداف الاشتعال لأجل NIF في LLNL، إنه بعد تسليم ورقة البحث، وجد الفيزيائيون أن قرابة سدس الحزم الليزرية البالغ عددها 192 كانت تفقد ما مقداره بين 30–40 % بالتبعثر، وهذا، إلى حدٍّ ما، أكبر مما كان يظن في الأصل.

ويقول سيغفرد كلنزر Siegfried Glenzer، وهو مجرِّب قيادي في NIF، إن هذا العدد ليس ذا معنى لأنه لا يأخذ في الحسبان تضخّم الحزمة جرّاء تفاعلاتها مع البلازما الناجمة عن جدران الهدف (الهوهلروم)، ويضيف قائلاً: «إن المردود النهائي لوصول الطاقة في التجربة الأخيرة كان 88%». ويقول هامر Hammer إنه توقّع أن يعلم المجتمع العلمي كامل القصة من العرض الذي قدمته مجموعة NIF في قسم فيزياء البلازما في الجمعية الفيزيائية الأمريكية في شيكاغو، إلينوي، في تشرين الثاني/يناير عام 2010.

التحرّك البطيء نحو الاندماج

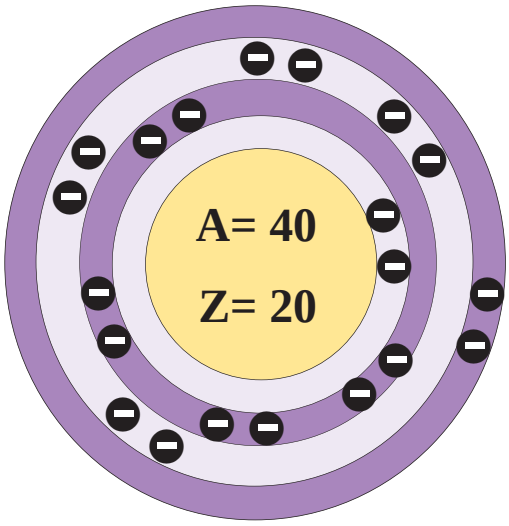
إن اختبار طلقة الـ 1 ميغا جول التي أوصلت من الطاقة ما مقداره 0.88 ميغا جول لهدف القدح وضعت NIF الأمريكية في وضع أقرب إلى هدفها. إذ إن المطلوب هو ما يقارب 1.5–1.4 ميغا جول لقدح الاندماج.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 467, 21 October 2010.

ترجمة د. مصطفى حموليلا، عضو هيئة التحرير.

الكالسيوم

إعداد: د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير



الرمز:	Ca
العدد الذرّي:	20
الكتلة الذرّية:	40
درجة انصهاره:	1548 °C
درجة غليانه:	2703 °C
الكثافة:	1.378 g/cm^3
حالات الأكسدة:	2+

ماهيته ووجوده في الطبيعة

الكالسيوم Calcium هو عنصر كيميائي، رمزه Ca، وعدده الذرّي 20، وكتلته الذرّية النسبية 20.078 وحدة كتلة ذرّية. الكالسيوم هو معدن قلوي ترابي ولونه رمادي فاتح، وتأتي وفرته، من حيث الكتلة، بالترتيب الخامس في القشرة الأرضية، كما أنه الخامس أيضاً من حيث المولية والكتلة بين العناصر المنحلة في مياه المحيطات، وذلك بعد الصوديوم والكلور والمغنيزيوم والكبريتات.

يُعدُّ الكالسيوم عنصراً أساسياً للمتعضيات الحية، وبخاصة لفسيولوجية الخلية، حيث إن حركة أيون الكالسيوم Ca^{2+} إلى داخل السيتوبلازما وخارجها تعمل كإشارة للعديد من العمليات الخلوية. وكمادة استخدام رئيسية في تمعدن العظام والأصداف، يُعدُّ الكالسيوم المعدن الأكثر وفرة كتلية لدى حيوانات عديدة.

مميزاته البارزة

يُعدُّ الكالسيوم فعّالاً من الناحية الكيميائية وليّناً كمعدن (فهو أقسى من الرصاص، ويمكن قطعه بصعوبة بوساطة السكين). إنه عنصر معدني فضي ويجب استخلاصه عبر تحلّل كهربائي من ملح منصهر مثل كلوريد الكالسيوم. وفور إنتاجه وتعرُّضه للهواء، يتشكل على سطحه غطاء أبيض رمادي من أكسيد ونتريد الكالسيوم. وعندما يكون الكالسيوم على هيئة كتلية (شرائح أو خراطة نموذجية)، فمن الصعب اشتعاله، ولكن عند تعرُّضه للضوء يحترق في الهواء مصدراً ضوءاً أحمر ذا كثافة ضوئية ساطعة. يتفاعل الكالسيوم المعدني مع الماء، مصدراً غاز الهدروجين بمعدل سريع قابل للمشاهدة، ولكن ليس بسرعة تكفي في درجة حرارة الجو العادي لتوليد كثير من الحرارة. وعندما يكون الكالسيوم بحالة بودرة، فإنه يتفاعل بشكل سريع جداً مع الماء، بسبب تزايد سطح التماس. ويعود جزء من بطء تفاعل الماء مع الكالسيوم إلى أن المعدن يكون محمياً بطبقة من هدروكسيد الكالسيوم غير منحلة. وفي المحاليل الحمضية، حيث يكون هدروكسيد الكالسيوم منحلاً، فإن تفاعل الكالسيوم مع الماء يكون عنيفاً.

ونظراً لكثافته المنخفضة، يُعدُّ الكالسيوم الأخفّ بين العناصر القلوية الترابية. ورغم أن المغنيزيوم والبريليوم يمتلكان كتلتين ذرّيتين أقل من الكالسيوم إلاّ أنهما أكثر كثافة منه. وبدءاً من السترونسيوم وما بعده، تصبح المعادن القلوية الترابية أكثر كثافة مع كتلة ذرّية متزايدة.

ولدى الكالسيوم خاصتين تآصليتين: يمتلك مقاومية كهربائية أعلى مما هي في النحاس والألمنيوم، حتى بوزن لوزن، ويعود ذلك لكثافته المنخفضة جداً، أي أنه بالأحرى أفضل موصلية من كليهما. ورغم ذلك، فإن استعماله في التطبيقات الأرضية محدود بسبب تفاعليته العالية مع الهواء.

وأملاح الكالسيوم عديمة اللون مهما كانت مساهمته في الملح، ومحاليله الأيونية (Ca^{2+}) عديمة اللون أيضاً. إن العديد من أملاح

الكالسيوم غير منحلة في الماء. وفي المحاليل، يتغيّر طعم أيون الكالسيوم بشكل كبير، فهو معتدل أو حامضي أو بطعم معدني أو حتى مهدئ. ومن الواضح أن العديد من الحيوانات تتقبل طعمه أو تتأقلم معه، ويستعمل هذا المذاق لكشف المعدن بلحس أملاحه أو مصادره الأخرى. وفي التغذية البشرية، يمكن إضافة أملاح الكالسيوم المنحلة إلى العصائر دون أن تترك تأثيراً واضحاً على حاسّة الذوق.

يأتي ترتيب وفرة الكالسيوم خامساً من حيث الكتلة في جسم الإنسان، إذ إنه المرسال الأيوني الخلوي العام ذو الوظائف المتعددة، ويخدم أيضاً كعنصر بناء في العظم، وهو عنصر ذو كتلة ذرّية عالية نسبياً في العمود الفقري مما يجعل العظم غير شفاف تجاه الإشعاع. وبالمقارنة مع المكونات الصلبة في جسم الإنسان، بعد التجفيف وحرق المواد العضوية (في حالة حرق الجثة، مثلاً)، يشكل الكالسيوم حوالي ثلث الكتلة المعدنية المتبقية، أي ما يقارب واحد كيلوغرام وسطياً من الكالسيوم المكوّن للعمود الفقري (أما ما تبقّى فهو على الأغلب من الفسفور والأكسجين).

خطوط H وK

تتضمن الأطياف المرئية لنجوم عديدة، بما فيها الشمس، خطوط امتصاص شديدة للكالسيوم وحيد التأيُّن. ومن بين هذه الخطوط الواضحة نجد أن الخط-H عند الطول الموجي 3968.5 أنغستروم والخط-K عند الطول الموجي 3933.7 أنغستروم للكالسيوم وحيد التأيُّن. وفي حالة الشمس والنجوم ذات درجات الحرارة المنخفضة، يمكن لوضوح الخطين H وK أن يشير إلى النشاط المغنطيسي القوي في جو الشمس أو تلك النجوم. وإن قياس التغيّرات الدورية لهذه المناطق الفعّالة يمكن استعمالها لاستنتاج دورية دوران هذه النجوم.

مركّباته

إن الكالسيوم، المتحد مع الفسفات مشكلاً هدروكسيد الأباتيت، هو الجزء المعدني في عظام الإنسان والحيوان والأسنان. يمكن للجزء المعدني في بعض الأحجار المرجانية أن يتحول أيضاً إلى هدروكسيد الأباتيت.

يستعمل هدروكسيد الكالسيوم (الكلس المنطفئ، الجير) في عمليات تنقية كيميائية عديدة، ويتشكل الجير من تسخين الحجر الكلسي إلى درجات حرارة عالية (فوق 825 °C) ومن ثم يُضاف الماء إليه بحذر. وعندما يُخلط الجير مع الرمل، يتصلّد على شكل ملاط ويتحول إلى جصّ من خلال امتصاص ثنائي أكسيد الكربون. وبخلطه مع مركّبات أخرى، يشكل الجير جزءاً من الإسمنت البورتلاندي.

تشكل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) أحد مركّبات الكالسيوم الشائعة. يُسخّن هذا المركب ليتحول إلى الكلس الحي (الجير الحي أو الكلس غير المنطفئ، CaO)، الذي يُضاف لاحقاً للماء. تتشكل بهذه الطريقة مادة أخرى تُعرف بـ الجير المنطفئ ($Ca(OH)_2$)، وهي مادة أساس ثمينة تستعمل في الصناعة الكيميائية. إن المادة المكونة للطباشير والرخام والحجر الكلسي مكونة جميعها من كربونات الكالسيوم.

عندما تنفذ المياه عبر الحجر الكلسي أو عبر صخور كربوناتية منحلة أخرى، فإنها تحلّ الصخور جزئياً وتسبب حدوث تجويفات وهوابط وصواعد كلسية وتشكل مياه قاسية أيضاً. هناك مركّبات كالسيوم أخرى مهمّة مثل نترات الكالسيوم وكبريتيد الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم وسيانأميد الكالسيوم وتحت كلوريت الكالسيوم.

نظائره

يوجد للكالسيوم أربعة نظائر مستقرة (^{40}Ca و^{41}Ca و^{42}Ca و^{44}Ca)، إضافة إلى نظيرين آخرين (^{46}Ca و^{48}Ca) لهما عمري نصف قابلين للتطبيق في حالات عديدة، وبالتالي يمكن اعتبارهما مستقرين. يوجد للكالسيوم نظير يتولد بفعل الإشعاعات الكونية، وهو النظير المشع ^{41}Ca، وعمر نصفه هو 103000 سنة. وإنتاج غالبية هذا النظير يتم ضمن ارتفاع مقداره 1 متر عن سطح الأرض، حيث يكون تدفق النترونات الكونية كبيراً بشكل كافٍ. وعلى خلاف النظائر المتولّدة في جو الأرض بفعل الإشعاع الكوني، يمكن إنتاج ^{41}Ca بفعل التنشيط النتروني لـ ^{40}Ca. وقد حاز ^{41}Ca على اهتمام كبير في الدراسات النجمية لأنه يتفكك إلى ^{41}K، الذي يُعدُّ مؤشراً حاسماً في شذوذات المنظومة الشمسية. إن 97% من الكالسيوم الطبيعي يكون على هيئة ^{40}Ca. والكالسيوم-40 هو واحد من المنتجات المتولّدة عن تفكك ^{40}K، بالإضافة إلى ^{40}Ar. وقد تمّ استعمال تأريخ K–Ar بشكل واسع في العلوم الجيولوجية، إذ إن سعة انتشار ^{40}Ca في الطبيعة قد أعاق استعماله في التأريخ. هذا وقد استعملت تقنية مطيافية الكتلة وتقنية التمديد النظيري المضاعف لتأريخ K–Ca.

تحتوي نواة النظير الأكثر وفرة، ^{40}Ca، على 20 بروتوناً و20 نترونا. وهذا هو أثقل نظير مستقر بين العناصر الحاوية على العدد نفسه من البروتونات والنترونات. يتشكل الكالسيوم في الانفجارات العظيمة من تفاعل الكربون مع عدد متنوع من جسيمات ألفا (نواة الهليوم)، إلى أن يتولّد نظير الكالسيوم الأكثر وفرة (الذي يحتوي على عشر نوى من الهليوم).

تجزيء النظير

كما في حالة نظائر عناصر أخرى، هناك تنوع في العمليات التي تجزئ نظائر الكالسيوم، أو تغيّر وفراتها النسبية. وأهم دراسة لهذه

العمليات هي التجزيء المتعلق بكتلة نظائر الكالسيوم الذي يرافق ترسّب فلزات الكالسيوم، مثل الكالسيت والأراغونيت والأباتيت، من المحلول. وبشكل نظيري، إن الكالسيوم الخفيف هو المفضل للاندماج في الفلزات، تاركاً المحلول الذي ترسّب منه الفلز يغتني بالكالسيوم الثقيل. ففي درجة حرارة الغرفة، يحدث ذلك بنسبة 0.025% لكلّ وحدة كتلية ذرّية. يُعبَّر عن فروقات العلاقة الكتلية في التركيب النظيري للكالسيوم عادة بدلالة نسبة نظيرين (عادة $^{44}Ca/^{40}Ca$) في عيّنة ما مقارنة مع النسبة نفسها في مادة مرجعية. تتغيّر نسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ بحدود 1% فيما بين المواد الأرضية العادية.

يقود التجزيء النظيري للكالسيوم، خلال تشكل الفلزات، إلى تطبيقات عديدة لنظائر الكالسيوم. وتحديداً، شكّلت ملاحظة سكولان Skulan وديباولو DePaolo عام 1997، القائلة بأن فلزات الكالسيوم هي نظيرياً أخف من المحاليل التي تشكلت منها الفلزات، أساساً لتطبيقات مشابهة في الطب وفي الترسُّبات المحيطية. ففي الهياكل العظمية ذات التمعدن الكلسي لدى الحيوانات، يعكس التركيب النظيري للكالسيوم في النسج الملساء المعدل النسبي لتشكل التمعدن العظمي وارتشاف العظم resorption bone. ولدى الإنسان، تبيّن أن تغيّر التركيب النظيري للكالسيوم في البول مرتبط بتغيرات توازن التمعدن في العظم. فعندما يتجاوز معدل تشكل العظم معدل ارتشافه، تتزايد النسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ في النسج الملساء. في حين تنخفض النسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ عندما يتجاوز معدل ارتشاف العظم معدل تشكله. وبسبب هذه العلاقة، فإن القياسات النظيرية للكالسيوم في البول أو الدم يمكن أن تكون مفيدة في الكشف المبكر عن أمراض العظم الأيضية مثل ترقق العظام.

وهناك منظومة مشابهة في واقع المحيطات، حيث تنحو النسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ للتزايد عندما يتجاوز معدل انتقال Ca^{2+} من مياه البحر إلى الرسوبيات معدل اندخال كالسيوم جديد إلى البحر، وتتناقص النسبة عندما يكون معدل اندخال الكالسيوم أكبر من معدل الترسب المعدني. وهذا يعني أن ارتفاع النسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ يتوافق مع انخفاض تركيز Ca^{2+}، وانخفاض النسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ يتوافق مع ارتفاع تركيز Ca^{2+}. ففي العام 1997 قدّم سكولان وديباولو أول برهان على تبدل نسبة $^{44}Ca/^{40}Ca$ في مياه البحر عبر الزمن الجيولوجي، مرفقاً بتفسير نظري لهذه التبدلات. كما أكّدت النشرات الحديثة هذه الملاحظة، مبيّنة أن تركيز Ca^{2+} في مياه البحر ليس ثابتاً، وأن المحيط ربما لا يكون أبداً بحالة مستقرة فيما يتعلق باندخال الكالسيوم إليه وخروجه منه. إن لهذه الظاهرة تأثيراً كبيراً على المعطيات المناخية، نظراً لأن دورة الكالسيوم في البحار متعلقة بشكل كبير بدورة الكربون (انظر أدناه).

دورته الكيميائية الأرضية

يوفّر الكالسيوم أداة ربط مهمة فيما بين البنية الأرضية والمناخ ودورة الكربون. وبتعبير بسيط، إن تشكل الجبال يعرّض الصخور الكلسية إلى العوامل الجوية الكيميائية وتسرب Ca^{2+} إلى المياه السطحية. تنتقل هذه الأيونات في نهاية الأمر إلى المحيطات حيث تتفاعل مع ثنائي أكسيد الكربون المنحل ليتشكّل الجير الكلسي. ويستقر بعض هذا الجير الكلسي في قاع البحار حيث يدخل في بنية صخور جديدة. يُعرف ثنائي أكسيد الكربون المنحل، بالإضافة إلى أيونات الكربونات وثنائي الكربونات، بالكربون اللاعضوي المنحل dissolved inorganic carbon (DIC).

إن التفاعل الحقيقي هو أكثر تعقيداً ويتضمن ثنائي الكربونات (HCO_3^-) التي تتشكل عند تفاعل CO_2 مع الماء وبحموضة مياه البحر:

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 \text{ (limestone)} + CO_2 + H_2O$$

تاريخه

عُرف الكالسيوم قبل القرن الأول الميلادي بفترة طويلة، وذلك عندما قام الرومان الأوائل بتحضير الكلس (CaO). غير أن الكالسيوم لم يُعزل إلاّ في العام 1808، ولم يُحضَّر بكميات كبيرة كمعدن إلاّ في بداية القرن العشرين.

وجوده

لا يوجد الكالسيوم في الطبيعة على هيئة عنصر، ويوجد عادة على هيئة ترسُّبات صخرية في فلزات الكالسيت والدولوميت والجبس، كما أنه يوجد في الاندفاعات البركانية والصخور المتحولة.

تطبيقاته

- يستخدم الكالسيوم كعامل مرجع عند استخلاص معادن أخرى، مثل اليورانيوم والزركونيوم والثوريوم.
- كنازع للأكسجين والكبريت أو الكربون في الخلائط الحديدية واللاحديدية.
- كعامل في خليط عند إنتاج خلائط الألمنيوم والبريليوم والنحاس والرصاص والمغنيزيوم.
- في تصنيع الإسمنت وأنواع الملاط المستخدمة في البناء.
- في تصنيع الجبن، حيث تقوم أيونات الكالسيوم في التأثير على نشاط أنزيم الرنّين في بداية عملية تخثر الحليب.

استخدامه في الغذاء

يُعدُّ الكالسيوم من العناصر الأساسية في جسم الحيوان، بما في ذلك الإنسان. ونذكر فيما يلي القيم اللازمة في الراتب الغذائي

اليومي لدى الإنسان:

العمر	الكالسيوم ملغ/اليوم
0 – 6 أشهر	200
7 – 12 شهراً	260
1 – 3 سنوات	700
4 – 8 سنوات	1000
9 – 18 سنة	1300
19 – 50 سنة	1000
51 – 70 سنة (ذكر)	1000
51 – 70 سنة (أنثى)	1200
ما يزيد على 70 سنة	1200

تؤكد المراجع الطبية أن الكالسيوم يلعب دوراً مهمّاً في تشكيل عظام قوية وكثيفة على مدى الحياة. وحوالي 99% من الكالسيوم المخزن في جسم الإنسان موجود في العظام، وما تبقى من الكالسيوم في جسم الإنسان يُقدّم خدمات مهمّة في مجال التحكم بالعضلات وفي منظومة الناقلية الكهربائية في القلب، على سبيل المثال. يمكن لعوز الكالسيوم بعيد المدى أن يقود إلى الكساح لدى الأطفال ونقص في تجلط الدم وفي حالة سن اليأس عند المرأة يمكن أن يقود إلى ترقق العظام بما يحمله من مخاطر. هذا وتقود الاندخالات الزائدة للكالسيوم أو الامتصاص الزائد له إلى تشكل الحصى الكلوية. يمكن استعمال فيتامين D لزيادة امتصاص الكالسيوم. ويمكن التعرّف إلى كميات الكالسيوم المحتواة في الغذاء من خلال الاطلاع على قواعد بيانات عديدة متوفرة في المكتبات العلمية. وبشكل عام يوجد الكالسيوم بتراكيز معتبرة في الحليب ومشتقاته وفي حليب الصويا وفي ثمار التين والمكسرات، على سبيل المثال.

مخاطره وسُمّيته

بالمقارنة مع معادن أخرى، يتمتع الكالسيوم وغالبية مركّباته بسمية منخفضة. وليس ذلك بالأمر المفاجئ إذا ما اعتبرنا الوفرة العالية لمركّباته في الطبيعة وفي المتعضيات الحية. قد يكون للكالسيوم بعض السمّية في حالات نادرة. فعلى سبيل المثال، إن قيمة الجرعة الوسطية المميتة (LD_{50}) لدى الفئران هي 1.4 و6.45 غ/كيلوغرام من أجل كربونات الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم، على الترتيب.

ينطوي الكالسيوم المعدني على مخاطرة بسبب تفاعلاته العنيفة مع الماء والأحماض في بعض الأحيان. يوجد الكالسيوم المعدني في بعض المنظفات، حيث يعمل على توليد الحرارة وهدروكسيد الكالسيوم الذي يؤدي إلى تصبن الدسم وتمييع البروتينات مما يؤدي إلى انسداد مجاري الصرف الصحي.

مركبات الكالسيوم

CaB_6 · $CaBr_2$ · CaC_2 · $CaCN_2$ · $CaCO_3$ · CaC_2O_4 · $CaCl$ · $CaCl_2$ · $Ca(ClO)_2$ · $Ca(ClO_3)_2$ · $CaCrO_4$ · CaF_2 · CaH_2 · $Ca(HCO_3)_2$ · $CaH_2S_2O_6$ · CaI_2 · $Ca(IO_3)_2$ · $Ca(MnO_4)_2$ · $Ca(NO_3)_2$ · CaO · CaO_2 · $Ca(OH)_2$ · CaS · $CaSO_3$ · $CaSO_4$ · $CaSi_2$ · $CaTiO_3$ · $Ca_2P_2O_7$ · Ca_2SiO_4 · $Ca_3(AsO_4)_2$ · $Ca_3(BO_3)_2$ · $Ca_3(C_6H_5O_7)_2$ · Ca_3N_2 · Ca_3P_2 · $Ca_3(PO_4)_2$ · $Ca(H_2PO_4)_2$ · $CaHPO_4$ · $C_{36}H_{70}CaO_4$

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	**Ca**	Sc										Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y										In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	
		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo	

المعادن القلوية	المعادن القلوية الترابية	اللنثانيدات	الأكتينيدات	المعادن الانتقالية	معادن أخرى	أشباه المعادن	لامعادن أخرى	الهالوجينات	الغازات النبيلة

دور التخلية في تطوير تقانات إنتاج الطاقة

ترجمة وإعداد: د. عادل حرفوش

إن الموارد الطبيعية المحدودة والشهية النهمة الواضحة في الحصول على الطاقة يفرضان حاجتنا إلى تطوير مقاربات بديلة لإنتاج الطاقة الكهربائية والوقود. فيما يلي ترجمة لملحق يحمل هذا العنوان أصدرته مجلة «عالَم الفيزياء Physics World» يوضح كيف يمكن لتقانة التخلية vacuum technology أن تساعدنا على تحقيق تلك الأهداف. إن تسخير طاقة الشمس، باستعمال الأجهزة الفوتوفولطية، يُعدُّ واحداً من أكبر مجالات عالم الصناعة في السنوات العشرين القادمة. وفي معظم حالات إنتاج الأجهزة المعتمدة على ترسيب الأفلام المستعملة في الخلايا الشمسية، سيكون لتقانة التخلية دور أساسي في زيادة مردود تكلفة الإنتاج. وبالتوجه نحو الشمس أيضاً، ولكن هذه المرة للإلهام، يمجّدُ مهندس التخلية، روبرتو كيرسيفان Roberto Kersevan، المزايا الوظيفية في مجال الاندماج النووي عندما يأخذ مشروع «المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)» شكله المأمول. وعلى الرغم من تعايشنا جميعاً مع البطاريات، يمكن أن يقوم الجيل القادم من خلايا الوقود على مكثفات فائقة باستعمال تقنيات إنتاج مرتكزة على صناعة أنصاف النواقل (الموصلات)، حيث يكون فيها لتقنيات التخلية الدور الحاسم. يتحكم الوقود الأحفوري في عمليات النقل، ولكن تناقص الاحتياطيات وارتفاع متوسط التكاليف سوف يدفع البدائل الأخرى، مثل الوقود الحيوي والإيتانول، إلى مكان الصدارة. وهنا أيضاً سيكون لتكنولوجيا التخلية الدور الأهم في تحسين عمليتي التخمّر والتقطير الضروريين لتحقيق هذه البدائل. ليس هناك من فائدة في تطوير بدائل لموارد الطاقة دون السعي إلى الحدِّ من التأثير الذي تفرضه عمليات الإنتاج على البيئة. وللاحتفاظ بمستقبل مشرق لنا جميعاً، يبدو أننا سوف نحتاج إلى تقانة التخلية أكثر من أي وقت مضى.

سنعرض فيما يلي دور التخلية في عدد من الجوانب المتعلقة بالطاقة وتأثيرها على إنتاجها وذلك كما طرحها عدد من العلميين والباحثين.

تخفيض تكلفة الفوتوفولطيات

أنغوس روكيت يفسر لماذا تُعدُّ تقانات التخلية حاسمة لنجاح النمو السريع في قطاع الطاقة الشمسية.

نمت قدرة توليد الفوتوفولطيات، أو الخلايا الشمسية، في السنوات العشرين الماضية بمعدل سنوي قدره 20 إلى 50%، وهي الآن حوالي 20 جيغا واط، أو 0.09% من الطاقة المنتجة عالمياً. ترتكز جميع التقانات الفوتوفولطية المعروفة على عمليات التخلية حيث تطبق التقانات الأسرع نمواً طرائق تقليدية لترسيب أفلام رقيقة بالتخلية. ونظراً لاستمرار نمو سوق الخلايا الفوتوفولطية، فإن تقانة التخلية ستكون مكوناً حاسماً، وربما مهيمناً، في واحدة من أكبر الصناعات العالمية في السنوات العشرين القادمة.

يُستعمل الترسيب بالتخلية لإنشاء طبقات تماس أمامية وخلفية في الأجهزة الفوتوفولطية بواسطة الرشرشة والتبخير، حيث يستعمل البخار المعدني المترسّب لإنشاء طبقات فعّالة من بعض المواد. إن أحد التحديات التي تواجه انتشار هذه التقانات هو الافتقار إلى أدوات معالجة معيارية جاهزة. ولتجاوز هذا الوضع، يقوم المُصنّعون بالذات عادة بتصنيع أدوات تخلية بأنفسهم انطلاقاً من أجزاء معيارية أو مصنّعة خصيصاً.

تعتمد التقانة الفوتوفولطية الرائدة على السليكون المتبلور الذي يمكن أن يتخذ شكل بلورة وحيدة أو بلورات متعددة مصنوعة إما على هيئة قوالب معدنية أو أشرطة ضخمة. تشمل القوالب المصبوبة أدوات تخلية على نطاق واسع. تُقطّع القوالب الناتجة إلى رقاقات، مما يؤدي إلى تبذير نصف السليكون ذي الدرجة الإلكترونية الغالي الثمن. أما تنمية الشريط، وهي عملية تخلية مختلفة، فإنها تبذّر قليلاً من المواد لكنها أبطأ. كما أن غالبية طرائق تصنيع الأشرطة تنتج بلورات متعددة، ويكون أداؤها أدنى من متوسط أداء البلورات الأحادية. ومن ثم تغطى الخلايا الشمسية السليكونية بطبقات مترسّبة بالتخلية لإكساء السطح وتخفيض انعكاس الضوء.

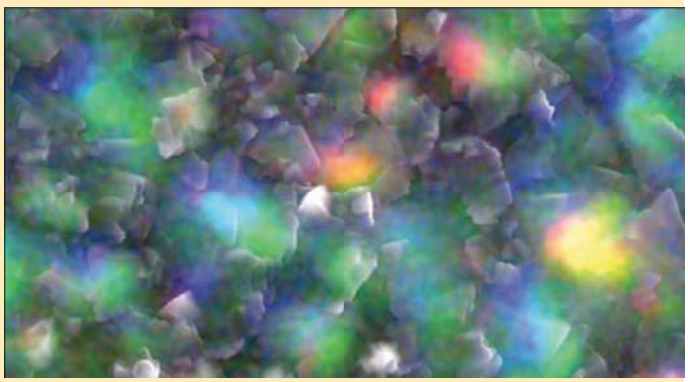
يمكن أن تنخفض تكلفة التصنيع الحالي لوحدات (زُجلات) شمسية من بلورات السليكون إلى أقل من 1.25 دولار للواط الواحد. إن هوامش الربح في المشاريع الكبيرة ضعيفة في الوقت الحالي، ولكن الفضل يعود جزئياً إلى فوتوفولطية تلّوريد الكادميوم (CdTe) المصنّع في شركة First Solar الموجودة في الولايات المتحدة حيث تبلغ التكلفة حالياً 0.85 دولار للواط الواحد. يُظهر هذا الانخفاض الملحوظ في الثمن فعّالية تكلفة تصنيع الأفلام الرقيقة بالتخلية.

يُستعمل ترسيب الأفلام الرقيقة أيضاً في الخلايا الشمسية المعتمدة على ثنائي سيلينيد النحاس والإنديوم (CIS) وعلى السليكون اللابلّوري amorphous silicon (a-Si). تستعمل أيضاً أدوات لترسيب بخار كيماويات عضوية معدنية لإنتاج خلايا شمسية (III-V) عالية الكفاءة لمنظومات ذات فوتوفولطية مُركّزة.

تحتل أدوات CIS رقماً قياسياً من حيث الأداء في خلية شمسية ذات فلم رقيق ذي وصلة أحادية بسيطة، غير أنها أظهرت صعوبة في التصنيع. تعاني كل من CIS و CdTe نقصاً شديداً في عناصر مكوناتها، الإنديوم والتلّوريوم على التوالي، وإن تكن هذه الشدّة في النقص موضوع جدل؛ أما السليكون، بالمقابل، فهو من أكثر العناصر وفرة في الأرض.

تُعدُّ الخلايا الشمسية من السليكون اللابلّوري أقدم تقانة للأفلام الرقيقة وأوسعها استعمالاً، ولكن كفاءتها محدودة كما أن تكلفة تصنيعها لم تحقق النجاح الذي حققته شركة First Solar، ومع ذلك، ما تزال تقانة مهمّة قادرة على منافسة التقانات الأخرى من ناحية تكلفة الواط الواحد.

هناك مفاهيم جديدة عديدة مُكتشفة وقادرة على توفير اختراقات في سعر القدرة الكهربائية الشمسية أو في خصائص نفيسة مثل المرونة أو الوزن المنخفض. وعلاوة على ذلك، فإن النسخ المتطورة للتقانات الحالية تتضمن خلايا شمسية عضوية وخلايا كهركيميائية ضوئية وأدوات تعتمد على مواصفات ذات مقاييس نانومترية. أثارت هذه الميزات موجة كبيرة من البحث المهم والكثيف، علماً أنه حتى اليوم لم يتم تطوير منتج معتبر.



صورة لسطح مادة خلية شمسية $CuInSe_2$، ملونة حسب أطوال موجات الضوء الصادر المُحرَّض بفعل حزمة إلكترونية. جرى تبخير هذه العيّنة تحت التخلية

ربما تكون الأدوات العضوية قد صنّعت بمعدلات عالية جداً على ركازات رخيصة، مما يؤدي إلى تخفيض التكاليف. وفي الوقت الذي تَستعمل فيه الأدوات العضوية عمليات مُعتمدة بشكل أقل على التخلية، فإنها تستعمل بشكل تقليدي أكاسيد ناقلة شفافة، وتُرسّب غالباً باستعمال تقانات التخلية. تعادل كفاءات مثل هذه الأدوات حالياً نصف كفاءة التقانات التقليدية، لكن الإمكانية النهائية للتقانة تظل عالية. إن النموذج الأصلي للأدوات العضوية قد بدأ ومنتجاتها الأولية موجودة.

السؤال المفتوح هو أي تقانة ستسود في النهاية؟ والنقطة المفتاحية، رغم ذلك، هي أن التخفيضات المتنامية في تكلفة تصنيع الفوتوفولطية توحي بأن الفوتوفولطية ستكون منافسة لمصادر الطاقة التقليدية في السنوات الخمس القادمة. ورغم وجود مفهوم لدى مجتمع الفوتوفولطية مفاده أن العمليات المعتمدة على التخلية مكلفة جداً، فإن عمليات التخلية على مقاسات كبيرة، وبخاصة طرائق ترسيب البخار بأفلام رقيقة، قد قادت إلى منتجات تتنافس الآن مع المصادر التقليدية للكهرباء.

التخلية تساعد على الحدّ من إصدارات غازات الدفيئة

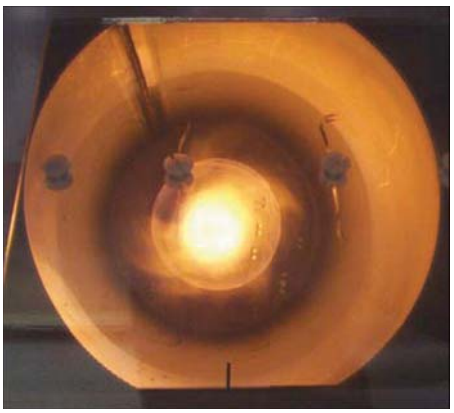
يمكن أن تكون المركبات العديدة الفلورة شديدة التخريب للبيئة، غير أن تقانة التخفيف من الغازات يمكن أن تتحكم بإصداراتها، كما يقول أندي إكستانس.

ليست فقط شركات الطاقة هي الملزمة بأن تولي انتباهاً لإنتاجها من غاز الدفيئة. ففي العام 2011 ستخطط كاليفورنيا قريباً لإكمال قواعد الانبعاثات في قانونها الخاص بالاحترار العالمي، مما سيضع حداً على نطاق الدولة للإصدارات المفروضة على المصادر الصناعية الكبرى ثم الإبلاغ عن انبعاثاتها من غازات الدفيئة والتحقق من ذلك. ومع كشوفات الخفض الطوعي التي سُنّت في أماكن أخرى من العالم، فإن احتمال تأثُّر شركات عديدة بهذه التدابير، ولا سيما الشركات التي تنبعث منها أسوأ أنواع غازات الدفيئة، المعروفة باسم المركبات العضوية العديدة الفلورة perfluorinated compounds (PFCs)، يبقى أمراً ممكناً.

لقد استعمَلت مصانع أنصاف الموصلات المركبات العضوية المفلورة لمدة طويلة من أجل تنظيف أدوات ترسيب البخار الكيميائي chemical vapor deposition (CVD). فبين الجولات التي تترسّب فيها طبقات رقيقة من مواد أنصاف الموصلات على الركازات، يُستعمل ثلاثي فلوريد النتروجين ورباعي فلوريد الكربون أو سداسي فلوريد الإيتان لإزالة الملوثات من حجرة ترسّب العيّنة. تتطلب صناعة CVD حُجرة تنظيف تستعمل في عمليات الترسيب المتتالية، وذلك للحفاظ على نقاوة الطبقات المُترسِّبة.

ومن مقرّها الرئيسي في كاليفورنيا، تُصدِّر شركة المواد التطبيقية تجهيزات أنصاف الموصلات، بما في ذلك كلاً من منظومات الـ CVD ومنظومات تخفيض الغازات. تدافع الشركة عن استعمال جذور الفلور fluorine radicals بدلاً من PFCs في حُجر التنظيف لتخفيض إصدارات هذه الغازات الخطيرة. تَستعمل هذه المقاربة تقانة الأمواج المكروية الحرارية لإحداث بلازما من PFCs ضمن الحجرة مُفكِّكةً إياها للحصول على جذور الفلور. ومن ثم تقوم جذور الفلور بتنظيف الحجرة، مشكلةً غازاتٍ لا تحدث احتراراً عالمياً.

يُحذر مايك سيرنياك Mike Czerniak، مدير تسويق المنتجات في شركة Edwards المُصنِّعة لمضخات التخلية وتجهيزات العوادم، بأنه رغم وجود تقانة لإيقاف إصدار ما يشبه هذه الغازات، لا يزال هناك الكثير من العمل لمراقبة انبعاثاتها. فرباعي فلوريد الكربون وسداسي فلوريد الكبريت يشكلان عبئاً حقيقياً أيضاً. وأثر سداسي فلوريد الكبريت يزيد بمقدار 23900 مرة من أثر ثنائي أكسيد الكربون في إحداث الاحترار العالمي.



حرق كمية كبيرة من تدفق غاز العادم الناجم عن أحد تطبيقات خلية شمسية.

ويقول سيرنياك: «رغم الإجراءات الحكومية عبر العالم، لا تزال الشركات بعيدة عن إيجاد حلٍّ كامل لإصداراتها من PFC. ففي صناعة أنصاف الموصلات، تتدفق عبر المنظومات الحاملة للغازات في الدقيقة الواحدة مئات اللترات، الحاوية على ما لا يقل عن 10% من PFCs والباقي هو غاز النتروجين. رغم ذلك، تعتبر هذه الحجوم متواضعة مقارنة مع ما تصدره قطاعات صناعية أخرى، مثل صناعات شاشات البلورات السائلة والخلايا الفوتوفولطية، حيث يتمّ في هذه الصناعات استعمال آلاف اللترات في الدقيقة وفيها النسبة نفسها من PFCs».

ويقول سيرنياك: «إننا نرى أعداداً متزايدة من مصانع شاشات البلورات السائلة والخلايا الشمسية تظهر في أسيا وبشكل خاص في الصين».

وللمساعدة في زيادة تخفيض الإصدارات، تتوجه الشركات إلى معالجة استهلاكها للطاقة أيضاً. فتضمنت منظومتا التنظيف ومضخات التخلية مميزات توفير الطاقة لسنوات عديدة، ولكن شركة Edwards تدّعي أن دمج التقانتين معاً في منظومة واحدة يمكن أن يساهم أكثر في تخفيض تكلفة ما يستعمل من وقود الميتان والكهرباء. وبالمثل، تؤكد شركة المواد التطبيقية أن أدواتها رفعت طاقة الإنتاج دون زيادة في الطاقة المُستهلَكة، مما يقود إلى تخفيض فعليّ للإصدارات الغازية.

المكثّفات الفائقة: إلى أي مدى يمكن أن تذهب؟

جون شميولا يفسر لماذا ينبغي على علماء تخزين الطاقة إمعان النظر في تقانات التخلية.

اليوم، يلعب علم التخلية دوراً بسيطاً في تصنيع أجهزة خزن الطاقة، مثل تجفيف الإلكترودات في الخلاء، على سبيل المثال. ولكن علم التخلية فوق العالية Ultrahigh vacuum (UHV) جعل من الممكن معالجة أنصاف الموصلات، ويمكنه أن يلعب دوراً حاسماً في تصنيع أدوات جديدة لخزن الطاقة. ففي الواقع، إن نقص استعمال التخلية فوق العالية في صناعة تخزين الطاقة يمكن أن يعيق تطوير هذا القطاع.

إن المعيار في تصنيع إلكترودات البطاريات اليوم هي طباعة الإستنسِل (الروسم) screen-printing، وهي التقانة البسيطة نفسها التي ترسم التصاميم على القمصان. وهذا يؤدي إلى تجهيزات غير متجانسة، لها نقاء منخفض وتحتوي على مناطق غير فعّالة. إن نجاحات تصنيع أنصاف الموصلات بوساطة التخلية فوق العالية، وبخاصة تقليص قدّ المكون والتصنيع المشترك لمكونات إفرادية عديدة، مهملة إلى حدٍّ كبير في مجتمع تخزين الطاقة نظراً لما يقال بأن الطاقة لا تزداد من خلال تصغير قدّ البطارية.

ومع ذلك، قد يكون التركيز على كثافة الطاقة فقط فيه قصر نظر، كما أشار إلى ذلك المحلّل بايك pike في دراسة تسلط الضوء على أهمية زمن الشحن والعمر الكلي للاستعمال من قبل المستثمر. مع أخذ ذلك في الاعتبار، يمكن أن تساعد تقانة التخلية في توحيد نظم مراقبة البطارية وتصنيعها ودمجها؛ وهذا قد يخفف من العقبات أمام المستثمر إلى جانب تحسين مواءمة صناعة تخزين الطاقة مع علم التخلية.

فعلى سبيل المثال، تحتوي مجموعة البطاريات في سيارة تسلا روستر الرياضية 7000 خلية أيون ليثيوم إفرادية، الأمر الذي يتطلب تجهيزات كهربائية ثقيلة ومكلفة وذات تحكم حراري. ولتحسين تجهيزات الطاقة، يحتاج الأمر إلى حلّ صناعي أكثر أناقة يمكنه إدماج عناصر البطارية كافة. لكن هذا قد لا يكون بالأمر الهين في الممارسة العملية.

إن إحدى المشاكل المفتاحية هي أن البطاريات يجب أن تصنّع من مواد شديدة البلورة للحصول على أكبر قدر من الكثافة في مواقع تخزين الطاقة. فإذا انشحنت البطارية أو انفرغت بسرعة كبيرة، فإن الترتيب البلّوري يتخرّب وتفقد البطارية طاقتها. يحصل تغيير أساسي وغير متناحٍ خلال دورة الشحن والانفراغ العادية وتحتوي البطاريات على موادٍ ذات موصليات (ناقليات) هامشية. وهذا ما جعل معظم تقانات ترسيب الأفلام في خلاء فوق عالٍ تتوقف عن

تستعمل شركة إنتاج باصات صينية مكثفات فائقة في بعض مركباتها الكهربائية.

التصنيع لأن الأفلام تميل إلى التمزُّق والفشل عندما تتكرر (تُدوَّر) وتصبح مقاومتها عالية، وهذا يحدُّ من معدلات الشحن. لهذا فإنه من الصعب تصوّر كيف يمكن تحسين هذه البطاريات بتصنيع دقيق.

يمكن أن يكون الجواب انتقالاً نحو مواد غير متبلورة تتمتع ذاتياً بأزمنة شحن أقصر وأعمار استثمار أطول، وتكون سهلة الانقياد إلى تصنيع أدقّ. إن ذلك هو الزخم الدافع للبحث في المكثفات الفائقة، التي تستعمل مواد ناقلة كهربائياً وغير متبلورة ومسامية، وتخضع لتبدل حجمي أصغري خلال التدوير cycling. وبفضل هذه الخصائص يتم شحن المكثفات الفائقة بسرعة، وتخدم بشكل دائم، ويمكن تطويرها باستعمال استراتيجيات UHV المساعدة.

ومنذ منتصف تسعينيات القرن الماضي بدأ استعمال ترسيب البخار الكيميائي (CVD) لتصنيع إلكترودات من بوليميرات موصلة وأكاسيد معدنية. فعلى الرغم من عمل هذه المواد بشكل جيد، إلاّ أنها مكلفة وتخزن طاقة أقل مما تخزنه البطاريات. رغم ذلك، هناك بحث حول تصنيع مكثفات فائقة بترسيب أنابيب كربون نانوية carbon nanotube (CNT)، مما يسرع مفهوم التصنيع الدقيق بوساطة إدخال المخططات. غير أن درجات حرارة تصنيع CNT عالية جداً لتسمح بتكامل منافس لمكونات أخرى.

ظهرت حديثاً طريقة بدرجات حرارة أقل لطبع إلكترودات كربونية ضمن كربيد التيتانيوم عبر تفاعل مع غاز الكلور. إن ذلك يضاعف من كثافة الطاقة فوق طباعة الإستنسل لتقترب من 0.1 فاراد/سم^2. وباستعمال ترسيب معياري بالتخلية، وحفر جاف تفاعلي، يمكن تعديل التقنية إلى تقانات تصنيع أنصاف الموصلات.

رغم التقدم الحديث للمكثفات الفائقة المثيرة، فإن السؤال، لدى أي شخص، فيما يخصّ السيارة الكهربائية هو: «كم من الوقت تحتاجه هذه التقانات لجعل البطارية بحالة شحن كامل؟». فالبطاريات التقليدية تكفي للسير مسافة 150 كم قبل أن تحتاج لثماني ساعات من إعادة الشحن، وهي القيمة النظرية العظمى تقريباً. في حين قاربت المكثفات الفائقة اليوم الـ 15 كم بعد 5 دقائق شحن، مع متسعٍ من التحسّن.

يمكن لعلماء التخلية لعب دور حاسم لأن الباحثين يوجهون المسألة إما لتدبير العمر الزمني والتلاؤم مع بطاريات بطيئة وغير مستقرة، أو لتدبير الطاقة نحو مكثفات فائقة منخفضة الطاقة. وبالعمل سوية، يمكن لهاتين المجموعتين ضمان ألاّ يغفل علماء تخزين الطاقة عن تقانة تفريغ تخريبية محتملة أو أن يفشل علماء التخلية في تطوير تقانة تقود إلى ثورة في مجال تخزين الطاقة.

مستقبل ساطع لمهنيي الاندماج

يشرح روبرتو كيرسيفان مغريات الاندماج بالنسبة لعالِم التخلية

روبرتو كيرسيفان مهندس تصميم تخلية في مجموعة التخلية العاملة في مشروع الاندماج (المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)) في موقع كاراداش في فرنسا. وهو أحد نائبي قائد المجموعة، ومسؤول عن مضخات التبريد والمضخات الدوّارة.

ماذا كنت تعمل قبل قدومك إلى ITER، وما الذي دفعك للمجيء؟

كنت رئيس مجموعة التخلية في محطة التشعيع السنكروترونية الأوربية European Synchrotron Radiation Facility (ESRP) في غرونوبل بفرنسا، وذلك بعد فترات عمل في مسرّعات أخرى عبر أوربة والولايات المتحدة. لقد أمضيت 12 عاماً في ESRP مديراً لمجموعة من 15 شخصاً إضافة إلى طلاب ومتعاقدين باختصاصات مختلفة. كانت مجموعتي مسؤولة عن صيانة منظومة التخلية في منبع ضوئي استطاعته 6 جيغا إلكترون فولط، كما تضمّن عملنا حلّ أي مشكلة تتعلق بالتخلية، إضافة إلى تركيب المكونات الجديدة.

لقد استمتعت كثيراً بعملي في غرونوبل، ولديّ ذكريات مع زملائي القدامى وبيئة العمل. قررت الالتحاق بـ ITER لأسباب عدة، أكثرها أهمية هو أنني كنت في نهاية خدمتي وكانت لدي الفرصة للانتقال إلى مشروع رفيع المستوى بالفعل. فمن أجل شخص مثلي، أمضى أكثر من عقدين يعمل في المسرّعات، كانت فرصة جيدة الانتقال إلى حقل مختلف واستثمار المعرفة التي اكتسبتها بل وتوسيعها في مجال الاندماج.

ما هي مجموعة التخلية في ITER؟

تتكون مجموعة التخلية حالياً من 10 عناصر دائمين إضافة إلى متعاقد خارجي. أتى عناصر المجموعة من دول عدة، من المملكة المتحدة وفرنسا وإيطاليا وروسيا وألمانيا، وأعمارهم بين 27 و 67 سنة. إن جوّ المجموعة جميل جداً، إذ إننا جميعنا أصدقاء ونلتقي أحياناً مع أسرنا خارج العمل، مثل الذهاب إلى سباق السيارات ونزهات بالقوارب.

تنطلق مجموعتنا خارج كاداراش، وذلك بسبب طريقة إقامة المشروع ITER، إذ تربطنا علاقة قوية مع المؤسسات الوطنية

في الدول الأعضاء السبع المختلفة المساهمة في المشروع. فلدينا اجتماعات منتظمة معهم عبر الفيديو والإنترنت. ولدينا علاقات قوية بشكل خاص مع الوكالة في الولايات المتحدة، التي مقرها في المختبر الوطني أوك ريدج، ومع الاندماج الطاقي الأوربي، الذي مقره في برشلونة. فالوكالة الأمريكية مسؤولة، من بين أشياء أخرى، عن صفقات عدة تتعلق بمكونات التخلية، وبالتالي فإنها ستزداد عدداً لتقترب من مجموعتنا في كاداراش.

ما هي الفرص لعلماء التخلية في ITER؟

هناك العديد من الفرص. إن منظومة التخلية في ITER ستكون الأعقد من بين المنظومات الموجودة. ربما لا تكون الأكبر حجماً أو الأكثر اتساعاً، لكنها تشمل سلسلة تتابع من أنماط تقانة التخلية، ودرجات حرارة وترتيبات ضخٍّ، وكلها في بيئة قاسية. فهي تحتاج لحلول حديثة للتخلية، بعضها لم يتمّ التوصل إليه بعد في مثل حجم وتعقيد هذا المشروع. كم هي مثيرة الأشياء.

هل بإمكانك توصيف مسار يوم عادي لعالِم في ITER؟

في الوقت الحالي، هناك كثير من التصاميم والعمل الفكري، بما في ذلك كتابة مواصفات فنية لعقود التوريد. أنا أعمل حالياً لتوصيف نفوذ التريتيوم وتصميم ضاغط تخلية بالتبريد وتصميم فلاتر غبار من التيتانيوم المتناغم. كما أقوم أيضاً بعمل نماذج حاسوبية لمنظومات تخلية مساعدة باستعمال كود محاكاة مونتي كارلو Monte Carlo simulation code. أصرف بعض الوقت في تصفّح سريع للإنتاج العلمي حول تقانة الاندماج وعلمه وقراءته بهدف فهم إضافي حول ITER بمجمله. وأقرأ أيضاً ورقات علمية عديدة حول موضوع الطاقة بشكل عام، بما في ذلك سياسة الطاقة والتغيّر المناخي، المرتبط بالهدف الأساسي لـ ITER من أجل تطوير نظيف لطاقة وافرة. ورغم ذلك، سيتغير كل هذا قريباً. فعندما يبدأ تثبيت التجهيزات في المكان، سيكون عليّ واجب قضاء فترات طويلة من الوقت لمتابعة التصنيع والاختبار واستلام مكونات التخلية، إضافة إلى تركيبها في الموقع. إنني أتطلع لإنجاز ذلك مستقبلاً.

ما الذي يجعل ITER مكاناً مهمّاً لهذه الدرجة للعمل كعالِم تخلية؟

في منظومة التخلية في ITER كل شيء يمكن لعالِم التخلية أن يحلم به: تخلية فوق عالية، وتخلية منخفضة، وأنظمة تدفق جزيئية وانتقالية ولزجة، ومكونات ذات درجات حرارة عالية وأخرى مبرّدة، ومكونات صغيرة وأخرى ضخمة جداً. وتتداخل منظومة التخلية أيضاً مع منظومات ثانوية أخرى عديدة، مثل المغانط الفائقة النقل والحجب الحرارية، والتجهيزات الحافظة لدرجات الحرارة المنخفضة، ومنظومات إزالة التريتيوم وتجهيزات التشخيص. ومع ذلك، هناك بعض التحدّيات غير التقنية، مثل العمل في بيئة يوجد فيها العديد من جنسيات وثقافات مختلفة.

تشمل منظومة التخلية في ITER سلسلة من تتابع أنماط تقانة التخلية، ودرجات حرارة وترتيبات ضخٍّ، وكلها في بيئة قاسية.

ما هي الفرص في ITER لتطوير التدريب والمهنية؟

لقد حصلنا جميعنا على تدريب في الوقاية النووية وعلى الأدوات والبرامج المتعلقة بالتصميم وبتحليل منظومات التخلية في المشروع. ستنمو مجموعتنا خلال طور بناء المشروع، بشكل تتزايد معه الفرص لجميع الكادر الحالي ليصبحوا مشرفين على مجموعات أصغر تعمل على مشروعات ثانوية.

ما هي نصيحتكم لخريجي الفيزياء الجدد الذين يودون الدخول إلى أبحاث التخلية، والاندماج النووي بشكل خاص؟

نصيحتي لهم بعدم التراجع، وبخاصة في زمن الميزانيات الحرجة حيث تشكل تقانة التخلية مفتاحاً أساسياً في المسرّعات أو في الاندماج على سبيل المثال. كما أن الصناعة أيضاً يمكن أن تقدم مواقع مهمّة لعالِم التخلية، وبخاصة في الحقل البازغ لمصادر الطاقة المتجددة، مثل التقانة الشمسية، التي تستعمل تقانات التخلية بشكل متزايد. تستعمل تقانة الطلي، بشكل عام، التخلية بشكل واسع، وهنا أيضاً توجد فرص عديدة. ومن وجهة نظري الشخصية، كوني أكملت دراساتي الفيزيائية في علم السطوح، كنت، وبشكل مسبق، مدركاً للمشاكل التي تتضمنها تقانة التخلية، غير أنني لم أكن أتصور أنه وبعد 23 عاماً سأظل مستمتعاً بالعمل في مجال التخلية. يمكنني رؤية أن الناس غير المتآلفين مع التخلية قد يفكرون بها على أنها موضوع فيزيائي من مرتبة ثانوية، وبخاصة فيما يتعلق بتطبيقات الفيزياء في القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، غير أن علاقات التخلية مع الفيزياء الحديثة عديدة: علم المواد والسطوح والتقانة النووية ليست إلاّ كأمثلة قليلة.

ما هو التالي بالنسبة لكم وأين، بعد ITER؟

أنا الآن في الخمسين من عمري، ولأن موعد أول بلازما في ITER لن يكون قبل بداية 2019، فهذا العمل سيكون الأخير بالنسبة لي. لكنني دائماً أثبّت في ذاكرتي حقيقة أن مدة عقود موظفي ITER خمس سنوات فقط، إلاّ أنها قابلة للتجديد ولكن بشكل غير مؤكد دائماً. وبشكل مثالي، أنا أتمنى فرصة تسمح لي بتمرير المعرفة التي جمعتها خلال 23 سنة إلى آخرين، من خلال تدريبهم ومساعدتهم بسرعة أكبر مما توفر لي في بداية مهنتي. أنا لا أستثني إمكانية أنني قد التحق بمشروع آخر في يوم ما، ولكن، في الوقت الحالي، مكاني هنا في موقع ITER.

تقانة التخلية في خدمة وقود المستقبل

آمي هارولد Amy Harold يشرح لنا كيف تلعب مضخات التخلية دوراً هامًا في إنتاج الوقود الحيوي

يزيد ارتفاع عدد السكان في العالم من الطلب على الطاقة، لكن إمدادات الوقود الأحفوري مثل الغاز والنفط محدودة بالتأكيد. لذلك، هناك ضغوط من جانب الحكومات والنشطاء البيئيين ليس فقط لاستعمال الطاقة المتجددة، وإنما أيضاً للبحث عن طرائق لتوليد الطاقة التي تنتج كميات أقلّ من ثنائي أكسيد الكربون. يشكل الوقود الحيوي مثالاً واعداً جداً كمصدر طاقيّ متجدّد ومنتجاً لكميات دنيا من ثنائي أكسيد الكربون في آن معاً، وبخاصة في استعمالات محركات الاحتراق التي تستخدمها السيارات والطائرات.

على الأغلب يمكن استخدام أي مادة حيوية في إنتاج الوقود الحيوي، غير أن صلاحيتها تتعلق بالخصائص الحيوية مثل محتواها من السكر والدهون. هناك نوعان من الوقود الحيوي، الإيتانول الحيوي والديزل الحيوي، وقد وفرا بشكل إجمالي ما يعادل 1.8% من وقود النقل العالمي في العام 2008. إن الإيتانول الحيوي هو كحول مُصنّع عن طريق تخمير المكونات السكرية الموجودة في المواد النباتية، في حين يصنع الديزل الحيوي من زيوت الخضار أو من شحوم الحيوانات عبر عملية تسمى تحويل الإستر transesterification (وهي عملية تحصل في الكيمياء العضوية حيث يتم استبدال مجموعة الألكيل، R، في إستر ما بمجموعة ألكيل، R، من كحول ما). يلعب المناخ دوراً أساسياً في إنتاج الوقود الحيوي من بعض الحبوب. تستعمل أوربة عادة بزور اللفت لإنتاج الديزل الحيوي، في حين تستعمل أمريكا الشمالية الذرة وتستعمل أمريكا الجنوبية قصب السكر لإنتاج الإيتانول الحيوي.

يتم خلال التخمير وإنتاج الإيتانول الحيوي في خزان التخمير إضافة بكتيريا مستنبتة، وخلايا، وفطور، أو إضافة أنزيمات لتحويل الغلوكوز إلى إيتانول وثنائي أكسيد الكربون. ومن ثم يستخلص الإيتانول الحيوي بعد انتهاء عملية التخمّر عبر التقطير الذي يحتاج إلى سويات مختلفة من الضغط والتخلية للحفاظ على المبخِّر والمكثِّف في حالة توازن.

وكلما ارتفع محتوى السكر في الحبوب، ارتفعت فعّالية تكلفة عملية إنتاج الإيتانول الحيوي، وهكذا تتعلق عمليات التخمير بشكل رئيسي بغنى السكر في الحبوب، مثل الذرة كمادة أولية. ومع ذلك، يمكن في المستقبل القريب استعمال نفايات المحاصيل، مثل سيقان الذرة أو القش أو الخشب فقط، للحصول على تكلفة فعّالة. إن استعمال نفايات المحاصيل يتطلب عملية تحلُّل، خطوة ممهّدة لـ التخمر، وهو ما يستوجب استعمال أنزيمات لتحطيم سلاسل السكريات المُشكِّلة للسلولوز وتحرر الغلوكوز اللازم لمتابعة العملية. وهناك أيضاً قدر كبير من البحوث التي تجري على الطحالب التي لا تستهلك ثنائي أكسيد الكربون فحسب (مما يساعد البيئة) بل أيضاً تعطي نسبة وقود أعلى من كتلة جافة مما تعطيه الحبوب مثل بزور اللفت.

في عملية تحويل الإستر لإنتاج الوقود الحيوي، تكون زيوت النباتات، بما في ذلك بزور اللفت، أو الدهون الحيوانية قد تفاعلت كيميائياً مع الكحول. فعند استعمال مادة نباتية، وقبل تحوّل الإستر، يستخلص الزيت بوساطة ضغط الكتلة الحيوية ومن ثم تنقيتها لاستبعاد الماء الخالص والماء المنحل، إضافة إلى الأوساخ والهواء والغازات.

تلعب مضخات التخلية دوراً مهمّاً في إنتاج الوقود الحيوي. تدخل مضخات التخلية ذات الحلقة السائلة، والتي يمكن أن تستعمل كضواغط هوائية، في عمليتي التخمير وتحوّل الإستر على حدٍّ سواء. تؤدي هذه المضخّات عملها بوساطة مروحة تدور بحرية ضمن غلاف أسطواني، دافعة السائل بحيث يدور عند سطح المحيط الخارجي للأسطوانة. وهكذا يُحدث السائل سلسلة من الأختام بين ريَش المروحة التي تعمل على اصطياد الغاز. ومن ثمّ تقوم ريَش المروحة بالتناوب في ضغط الغاز قبل أن ينتقل إلى مخرج المضخة. وعلى الرغم من إمكانية الدخول العرضي للسائل المتولّد في مراحل عملية إنتاج الوقود الحيوي إلى منظومة التخلية، فقد صُمّمت مضخات الحلقة السائلة لاستيعاب السوائل الإضافية، والمتابعة في عملها بشكل موثوق.

ولإنتاج الإيتانول الحيوي، تستعمل مضخات الخواتم السائلة خلال تمييع هريس الكتلة الحيوية، الذي يحصل قبل التخمير، وكذلك خلال عملية إزالة المياه التي تتضمن استبعاد المياه من الإيتانول الحيوي عند نهاية دورة الإنتاج. وخلال التقطير، تعمل مضخات الحلقة السائلة أيضاً على تخفيض استهلاك الطاقة، وهي طريقة أخرى تستعملها الشركات لتخفيض إصداراتها من ثنائي أكسيد الكربون. تخدم الضواغط أيضاً في تشكل طبقة من غاز النتروجين أثناء عملية التخمّر لتأمين عملية خالية من الأكسجين.

وفي عملية تحوّل الإستر، تقوم مضخات الحلقة السائلة باستخلاص الغازات في عملية فصل الوقود الحيوي والغليسرول عن الغليسريدات الثلاثية (وهي مركبات مكونة من رابطة غليسرولية إلى ثلاثة أحماض دهنية التي هي مكونات رئيسية للزيوت النباتية والدهون الحيوانية). أما الغازات الرطبة والمشبعة فيتمّ فصلها باستعمال المثفّلة. إن ضرورة تنقية الغليسرول الخام تتطلب عادة استعمال التقطير تحت التخلية. ويمكن بعد هذه العملية استعمال 98% من الغليسرول النقي، وهو سائل عديم اللون يستعمل في الصناعة الصيدلانية، مباشرة أو يحوّل إلى منتجات أخرى.

ومع تزايد الحاجة للوقود لتزويد السيارات والطائرات، ستلعب التخلية دوراً مهمّاً متزايداً في إنتاج الإيتانول الحيوي والديزل الحيوي.

g Milwaukee's drinking
nt failed – with disastrous
400 000 people fell victim
a debilitating attack of
ast several days and is
tle protozoan called
he final death toll was 54
ncident was particularly
ountry, but it is by no
ecent decades, outbreaks
have been reported
Canada, Australia and
now widely considered an
in much of the developed
lone. Other water-borne
Giardia, noroviruses and
coli all seem to be on the
ago, the diseases caused by
major killers worldwide.
rinking water still kills
n developing countries.
ised world, where the
purified water was one of
g achievements of the
ought we had these
rms we were wrong.
issue of public health.

ورقات البحوث

تأثير معدل وموعد إضافة السماد الآزوتي الأخضر من أوراق نبات اللوكاينا Leucaena leucocephala على نمو وامتصاص الآزوت في نباتات ذرة السورغوم

GROWTH & NITROGEN UPTAKE IN SORGHUM PLANTS MANURED WITH LEUCAENA LEUCOCEPHALA LEAVES AS AFFECTED BY NITROGEN RATE & TIME OF APPLICATION

د. فواز كرد علي، محمد الشماع
قسم الزراعة

ملخص

أجريت تجربة أصص لتحديد تأثير أربعة معدلات من الآزوت بصورة أوراق نباتات اللوكاينا وموعد الإضافة على أداء نباتات ذرة السورغوم باستعمال تقنية التمديد النظيري للآزوت ^{15}N. أدى التسميد الأخضر بأوراق نباتات اللوكاينا LGM إلى زيادة إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي لنبات الذرة. تراوحت كفاءة استعمال آزوت السماد الأخضر بين 23 و47%. وتعدّ زيادة في إتاحة آزوت التربة للنباتات أيضاً من الفوائد الإيجابية لإضافة أوراق نباتات اللوكاينا. إن أفضل موعد لإضافة أوراق نباتات اللوكاينا LGM هو عند الزراعة للحصول على أعلى إنتاج من المادة الجافة والآزوت الكلي في أوراق الذرة مع أقل كمية آزوت ممتصة من التربة. أما الموعد الأفضل والكمية المثلى لإضافة LGM الحصول على أفضل إنتاج للمادة الجافة والآزوت الكلي في الثمار وفي كامل النبات هو قبل ثلاثين يوماً من الزراعة وبمعدل مكافئ لـ 120 كغ /N/ هـ.

الكلمات المفتاحية: سماد أخضر، لوكاينا سورغوم، ^{15}N.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *communications in Soil Science & Plant Analysis, Vol. 41, (2010)* .

استخدام جهاز البلازما المحرقية من نوع ماذر (Mather) في التعديل السطحي للفولاذ AISI304

USING Mather-TYPE PLASMA FOCUS DEVICE FOR SURFACE MODIFICATION OF AISI304 STEEL

د. شريف الحواط، د. محمد سوقية، مثقال أبو خروب، وليد السادات
قسم الفيزياء

ملخص

استخدم جهاز بلازما محرقية بطاقة 8.8 kJ العامل على غاز النتروجين والمزود بمصعد من النحاس مغطى بكبسولة من الألمنيوم من أجل التعديل السطحي لركازة من الفولاذ AISI304، بغية تحسين خواصها. نفذت المعالجة على الفولاذ بأخذ أعداد مختلفة من رشقات البلازما الحرقية عند الضغط 0.5 mbar وعلى بعدين مختلفين لعينة الفولاذ عن سطح المصعد (20 mm و40 mm). وأجري تشخيص للبلازما باستخدام منحنيي الجهد والتيار المسجلين بواسطة مجزىء جهد ووشيعة روغوفسكي المترافقين مع حسابات باستعمال نموذج لي (Lee) الإشعاعي خماسي الطور (RADPF5.15a)، لإيجاد درجة حرارة البلازما وكثافتها.

لوحظ أن القساوة السطحية للفولاذ AISI304 تزايدت بحوالي 175% بعد المعالجة بالبلازما، وأن ثخانة الطبقات المعالجة كانت حوالي 1-2μm. وتبين النتائج أن القساوة السطحية تزايدت مع تزايد عدد الرشقات، وانخفضت مع تزايد المسافة عن المصعد. ودرست التغيرات في مورفولوجية السطح والتركيب العنصري بوساطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ومطيافية التبدد الطاقي للأشعة السينية (EDX).

الكلمات المفتاحية: التعديل السطحي للفولاذ، البلازما المحرقية للنتروجين، الفولاذ AISI304.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Vacuum, article in press, 2010*.

تحديد المعاملات الحركية الرئيسة للمفاعل السوري منسر لأجل أنواع مختلفة من الوقود باستخدام تقنية مونتي كارلو

DETERMINATION OF MAJOR KINETIC PARAMETERS OF THE SYRIAN MNSR FOR DIFFERENT FUEL LOADING USING MONTE CARLO TECHNIQUE

د. علي حينون، هشام حاج حسن، نضال غازي
قسم الهندسة النووية

ملخص

جرى تطوير نموذج شامل ثلاثي البعد للمفاعل السوري منسر باستخدام الكود MCNP-4C بهدف حساب المعاملات الفيزيائية الرئيسة للمفاعل بشكل دقيق. في هذا السياق ولأجل ثلاثة أنماط من الوقود شملت الوقود الحالي العالي الإغناء (UA14-A1 89.87%) ونوعين بديلين من الوقود المنخفض الإغناء (UO2 20%, UO2 12%)، جرى حساب المعاملات الحركية الأساسية للقلب متمثلة بعمر الجيل للنترونات اللحظية، والحصة الفعالة للنترونات المتأخرة، وفائض التفاعلية للقلب النظيف البارد، إضافة إلى معاملات الربط العكسي لدرجة حرارة المهدىء؛ حيث جرى بهذا الخصوص تقييم مدى تأثير فقدان وزن المساهمة للجسيمات (النترونات) المتفاعلة (particle weight loss) على عمليات الأسر والانشطار والهروب على حساب معامل درجة الحرارة للتفاعلية. وقد أظهرت حسابات الوقود العالي الإغناء توافقاً جيداً مع المعطيات التجريبية المتاحة.

يجري الآن استثمار المعاملات الحركية المحسوبة في هذا العمل لإجراء دراسات تحليل أمان شاملة تتعلق بتحويل وقود مفاعل منسر إلى يورانيوم منخفض الإغناء.

الكلمات المفتاحية: مفاعل منسر، وقود عالي الإغناء HEU، وقود منخفض الإغناء LEU، معاملات حركية، كود MCNP-4C.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Annals of Nuclear Energy, 2009* .

البلمرة الإشعاعية لبوتيل أكريلات من أجل استعادة المذيبات العضوية

RADIATION-INDUCED POLYMERIZATION OF BUTYL ACRYLATE FOR RECOVERY OF ORGANIC SOLVENTS

د. منذر قطان، هارون القصيري
قسم تكنولوجيا الإشعاع

ملخص

بحثت عملية البلمرة الإشعاعية لبوتيل أكريلات (BAc) باستخدام أشعة غاما الناجمة عن Co^{60} في ظروف مختلفة مثل جرعة التشعيع (0-130 كيلوغراي)، معدل الجرعة (10 كيلوغراي/ساعة) ودرجة لحرارة (25-70 درجة مئوية). وجدت علاقة خطية بين معدل البلمرة ودرجة حرارة التشعيع. حسبت طاقة التنشيط (E) 9.37 كيلو جول/مول من تحليل الحركية الناتجة من البلمرة في 10 كيلوغراي/سا. درست الخواص الحرارية باستخدام التحليل الحراري التفاضلي (DSC) والتحليل الحراري الوزني (TGA). قيست كفاءة استخراج المذيبات العضوية بما في ذلك كلورفورم، كلوروبنزن، رابع كلوريد الكربون والبنزين والستايرين من قياسات الانتباجية والتحرير. تشير النتائج إلى جدوى استعمال هذا البوليمير، الذي حضر بواسطة البلمرة الإشعاعية، في إدارة النفايات العضوية في ميدان البيئة.

الكلمات المفتاحية: بوتيل أكريلات، أشعة غاما، طاقة التنشيط، انتباجية، تحرير.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of APPlied Polymer Science, 2009*.

سلوك الخفض الضوئي لصباغ Sudan III المطعم في بوليمير EPDM

OPTICAL LIMITING BEHAVIOR OF Sudan III DYE DOPED POLYMER

د. محمد درغام زيدان، د. عبد الوهاب علاف، د. زكي العجي، أحمد اللحام
قسم الفيزياء

ملخص

قيست فعالية الخفض الضوئي لصباغ Sudan III المطعم في بوليمير إيتلين بروبلين ديين بولي ميتلين (EPDM) باستخدام نبضات ليزرية من ليزر Nd-YAG مضاعف التواتر برتبة زمنية 10 نانوثانية وبطول موجي 532 نانومتراً. درس سلوك الخفض الضوئي بقياس نفوذية العينة عند تراكيز عديدة مختلفة. تظهر نتائجنا تبعية فعالية الخفض الضوئي للتركيز.

الكلمات المفتاحية: الضوء اللاخطي، الامتصاص اللاخطي، الخفض الضوئي، صباغ السودان 3.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Optics &Laser Technology (2009)*.

تأثير التشعيع بالبروتون على الانصهار والتبلور المتساوي الحرارة لبولي (إيثر إيثر كيتون)

THE EFFECT OF PROTON IRRADIATION ON THE MELTINH & ISOTHERMAL CRYSTALLIZATION OF POLY(ETHER-ETHER-KETONE)

د. عبد الغفار اللافي
قسم الكيمياء، هيئة الطاقة الذرية السورية
جيمس إن هي
مدرسة الهندسة، المواد والمعادن، جامعة برمنغهام، إدجباستون، برمنغهام، المملكة المتحدة
ديفيد بي باركر
مدرسة الفيزياء وعلم الفلك، جامعة برمنغهام، إدجباستون، برمنغهام، المملكة المتحدة

ملخص

يتصالب بولي إيثر إيثر كيتون العديم الشكل بالتشعيع بحزمة البروتون ذات الطاقة 11.0 ميغا إلكترون فولت ويؤثر ذلك في مدى التبلور وحركيته المتساوية الحرارة. استخدمت في هذه الورقة علاقة أفرامي (Avrami) لدراسة مدى التبلور مع الزمن واستخدمت نظرية تشكل النوى البلورية لتحليل تابعية ثابت سرعة التبلور لدرجة الحرارة. يثبط التشعيع معدل سرعة التبلور بسبب انخفاض حركية انتقال السلاسل البوليميرية الأمر الذي يستدل عليه بازدياد درجة التزجج بازدياد الجرعة الإشعاعية ويؤدي هذا إلى تغير الطاقة الحرة للتوتر السطحي بين البلورات. تتوافق نقاط الانصهار التجريبية مع انخفاض نقطة الانصهار التوازنية بسبب التصالب الناتج عن التشعيع. تدل هذه الدراسة على أن هذين التأثيرين يكفيان لتفسير التثبيط الحاصل في معدل سرعة البلورة للبوليمير عند تشعيعه بحزمة البروتون.

الكلمات المفتاحية: تشعيع بالبروتون، نقطة الانصهار، تبلور متساوي الحرارة لبولي إيثر إيثر كيتون، بوليمير.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Polymer Science, part B: Polymer Physics*.

تعيين العناصر النزرة في النباتات الطبية السورية وفي مستخلصاتها بتشتت الطاقة بالتفلور بالأشعة السينية وبمطيافية الانعكاس الكلي بالتفلور بالأشعة السينية

DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN SYRIAN MEDICINAL PLANTS & THEIR INFUSIONS BY ENERGY DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE & TOTAL REFLECTION X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY

د. علي خضر، محمد خالد صوان، جهاد قرجو
قسم الكيمياء
عبد الكريم رزوق
قسم الفيزياء

ملخص

أبدت تقنيتا التفلور بالأشعة السينية (XRF) والانعكاس الكلي بالتفلور بالأشعة السينية (TXRF) تلاؤماً حسناً مع التعيين المتعدد لكلٍّ من العناصر: K وCa وMn وFe وCu وZn وRb وSr في بعض الأنواع النباتية السورية الطبية. أُثبتت صحة هاتين التقنيتين ودقتهما بتحليل أوراق المادتين المرجعيتين المعياريتين (SRM): Peach-1547 وApple-1515. جرى الحصول على توافق جيد بين التراكيز المقيسة للعناصر السابقة والقيم الموثقة بأخطاء أقل من 10.7% للـ TXRF و15.8% الـ XRF. كان تعيين الـ Br مقبولاً فقط بالـ XRF بخطأ أقل من 24%. إضافة إلى ذلك بينت طريقة الـ XRF، قابلية جيدة جداً لتعيين الـ K وCa وMn وFe وCu وZn وRb وSr وBr في مستخلصات أنواع نباتية طبية سورية مختلفة، كاليانسون (Anisum vulgare) وجذر عرق السوس (Glycyrrhiza glabra) والشيح (Artemisia herba-alba).

الكلمات المفتاحية: تفلور بالأشعة السينية، انعكاس كلي بالتفلور بالأشعة السينية، نباتات طبية، مستخلصات.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Spectrochimica Acta Part B.

تصغير حمل اليورانيوم في مفاعلات المنبع النتروني الصغير (دراسة نظرية)

MINIMIZATION OF URANIUM LOAD IN MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTORS

د. محمد البرهوم
قسم الهندسة النووية

ملخص

يتم تصغير حمل اليورانيوم في المفاعل منسر عن طريق تخفيض سُمْك الغلاف إلى قيمة معيارية قدرها 0.38 مم بدلاً من 0.60 مم، وذلك بالاعتماد على نموذج ثلاثي البعد للمفاعل تضمن جميع مركبات المفاعل. يمكن بذلك توفير أكثر من 31 قضيب وقود. درست أيضاً آثار هذا التخفيض على أداء المفاعل وأمانه بما يخص استعماله للتحليل بالتنشيط النتروني. يعتقد أن آثار التغييرات المقترحة على هدروحراريات المفاعل مهملة. يتم حساب ومناقشة تبعية كل من فائض التفاعلية الابتدائي، ونسبة الهدروجين/U^{235} لنصف قطر قضيب الوقود يتم أيضاً تحليل ومناقشة توابع معينة كتبعية فائض التفاعلية الابتدائي لسُمْك الغلاف.

الكلمات المفتاحية: حمل يورانيوم، منسر، التفاعلية، تصغير.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Annals of Nuclear Energy, 2010.

لاتناحي المقاومة النوعية للمركبات المتطبقة غير المتوافقة التي أساسها البسموت: $(BiS)_{1.11}(NbS_2)$ و$(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)$ حتى درجة حرارة الآزوت السائل

RESISTIVVITY ANISOTROPY OF THE Bi-BASED MISFLT LAYER COMPOUNDS $(BiS)_{1.11}(NbS_2)$ & $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)$ DOWN TO THE LIQUID NITROGEN

د. عادل نادر
قسم الفيزياء

ملخص

لقد تمَّ قياس المقاومية للمركبين المتطبقين غير المتوافقين ناقليتهما الفائقة $(BiS)_{1.11}(NbS_2)$ و$(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)$ وذلك ضمن مستوي الطبقات وفي الاتجاه المعامد على الطبقات حتى درجة حرارة الآزوت السائل. لقد تبين أن لاتناحي المقاومية لكلا المركبين تزداد كلما انخفضت درجة الحرارة، كما أن قيمتها ضمن مجال درجات الحرارة الذي جرى فيه القياس أكبر برتبتين مما هو متوقع من نموذج لورانس ودونياش.

الكلمات المفتاحية: لاتناحي المقاومية، النواقل الفائقة المتطبقة.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Physica Status Solidi (C), 2010.

تقويم قابلية المياه الجوفية للتعرض للتلوث في الحوض الصباب لبانياس في المنطقة الساحلية لسورية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (GIS) وطريقة الـ RISKE

GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT FOR THE BANYAS CATCHMENT OF THE SYRIAN COASTAT AREA USING GIS & THE RISKE METHOD

د. عبد الرحمن الشريدة، بسام قطاع، وليد الفارس
قسم الجيولوجيا

ملخص

إن تقويم قابلية المياه الجوفية للتعرض للتلوث لتحديد المناطق الأكثر تأثرية للتلوث الناتج عن مصادر النشاط البشري، قد أصبح عنصراً هاماً لإدارة المصادر الحساسة وتخطيط استعمالات الأراضي. تهدف هذه الورقة إلى تقييم قابلية الحامل المائي للتعرض للتلوث من خلال تطبيق نموذج RISKE في الحوض الصباب لمنطقة بانياس Banyas Catchment Area (BCA) من محافظة طرطوس غرب سورية. الهدف الإضافي هو عرض الاستعمال المشترك لنموذج RISKE ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) كطريقة فعالة لتقويم خطر تلوث المياه الجوفية. يستخدم نموذج RISKE خمسة عوامل بيئية (صخور وسط الحامل المائي، الرشح، وسط التربة، الكارست، والكارست السطحي) من أجل توصيف الوضع الهدروجيولوجي وتقييم قابلية الحامل المائي للتعرض للتلوث. تتميز الأجزاء المرتفعة الشرقية والمنخفضة الغربية من منطقة الدراسة بسيادة صفوف قابلية تعرض عالية، بينما تميز الجزء الأوسط بصفوف الحوض الصباب لبانياس (BCA) تقع تحت قابلية تعرض منخفضة وعالية لتلوث المياه الجوفية على التوالي، بينما أكثر من 52% و5% من منطقة الـ (BCA) يمكن تصنيفها على أنها ذات قابلية تعرض معتدلة ومرتفعة جداً لتلوث المياه الجوفية على التوالي. وفرت تقانة الـ GIS بيئة كفوءة من أجل إجراء التحليل مع قدرات عالية في التعامل مع كم كبير من البيانات المكانية.

الكلمات المفتاحية: قابلية الطبقة الحاملة للمياه الجوفية للتعرض للتلوث، نموذج RISKE، نظام المعلومات الجغرافية GIS، الحوض الصباب لمنطقة بانياس BCA، سورية.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Journal of Environmental Management,91 (2010).

حركية الإخصاب والتطور والنسبة الجنسية لأجنّة بقرية ناتجة عن استخدام نطاف ثيران مختلفة

KINETICS OF FERTILIZATION AND DEVELOPMENT, AND SEX RATIO OF BOVINE EMBRYOS PRODUCED USING THE SEMEN OF DIFFERENT BULLS

مازن العمر
قسم الزراعة

ملخص

يُعدُّ الاختلاف ما بين الثيران بالخصوبة بالزجاج (in vitro) وانحراف النسبة الجنسية لصالح الأجنّة الذكور مشكلتين تؤثران في نظام إنتاج الأجنّة البقرية في الزجاج (IVP). كان الهدف من هذه الدراسة تقدير حركية الإخصاب والتطور الجنيني والنسبة الجنسية للأجنّة الناتجة عن استخدام نطاف مجمّدة والمذابة من أربعة ثيران مختلفة. في التجربة الأولى جرى تقدير حركية تشكل طليعتي النواة (PN) بعد 8 و12 و18 ساعة من التلقيح. تمَّ تصنيف البويضات الملقحة في ثلاث مراحل من مراحل PN وذلك اعتماداً على حجم طليعتي النواة والبعد ما بينهما. لوحظت الاختلافات ما بين الثيران عند كلّ زمن من الأزمنة الثلاثة ولكنها كانت أكثر وضوحاً بعد 12 ساعة من التلقيح. بعد 8 و12 ساعة من التلقيح أظهر الثور III تطوراً معنوياً سريعاً لطليعتي النواة بالمقارنة مع الثيران الثلاثة الأخرى (P<0.05)، أما بعد 18 ساعة من التلقيح فقد كانت نسب مراحل PN الثلاث مماثلة للثورين I وIV، والثور II كان متأخراً. في التجربة الثانية جرت مقارنة حركية التطور الجنيني بالزجاج باستخدام نظام التصوير السينمائي (Time-lapse). بيّن تحليل الأجنّة الواصلة لمرحلة الكيسة الأرومية وجود اختلاف معنوي بمتوسط الزمن اللازم لأول انقسام (مدى يتراوح ما بين 22.7 إلى 25.6 ساعة: P<0.05)، في حين لم تختلف الثيران فيما بينها بطول الحلقات الخلوية الثلاث اللاحقة. كان الزمن المبكر لأول انقسام عند الثور III مترافقاً مع الدخول المبكر بمرحلة الكيسة الأرومية ونسبة عالية من الأكياس الأرومية في اليوم السابع، وذلك بعكس ما لوحظ عند هذا الثور حيث كانت أجنّة الثور II قد أظهرت انقساماً أولياً متأخراً (أول انقسام 22.6 ساعة بعد التلقيح مقابل 25.5 ساعة، الدخول بالكيسة الأرومية 140.4 ساعة بعد التلقيح مقابل 152.5 ساعة ونسب الأكياس الأرومية في اليوم السابع كانت 31.3% مقابل 21.9%: P<0.05). في التجربة الثالثة تمَّ تجنيس 65 إلى 76 جنيناً بمرحلة الكيسة الأرومية لكلّ ثور (أجنّة في اليوم الثامن) وذلك من خلال طريقة تفاعل البوليميراز المتسلسل PCR. كانت الأكياس الأرومية المستحصلة فقط من الثور III قد أظهرت انحرافاً بالنسبة الجنسية لصالح الأجنّة الذكور (76% من الأجنّة الذكور: P<0.05). لوحظ مثل هذا الانحراف عندما كان الجنين مؤلفاً من خليتين وعند مرحلة التويتة. استُنتج من هذه الدراسة أن الثور يؤثر على حركية تشكل طليعتي النواة والتطور الجنيني والنسبة الجنسية للأجنّة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون هذه العوامل مترابطة.

الكلمات المفتاحية: ثور، إنتاج الأجنّة بالزجاج، إخصاب، نسبة جنسية.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Animal Reproduction Science, (2008).

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 133

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Dirctor General of A.E.C.S

Editing Committee

(Editors In-chief)

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Ka'aka

(Members)

Prof. Dr. Haj Saeed

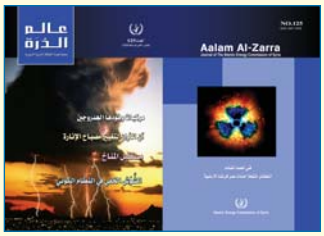
Prof. Dr. M. Hamo-leila

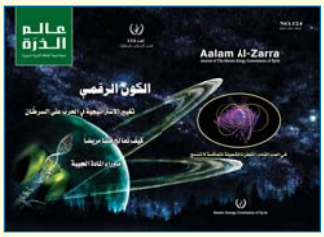
Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F.Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin





Aalam Al-Zarra

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria.

It aims to disseminate Knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of Atomic energy.

http://serversmiso.aecs.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية