عالم الذرّة

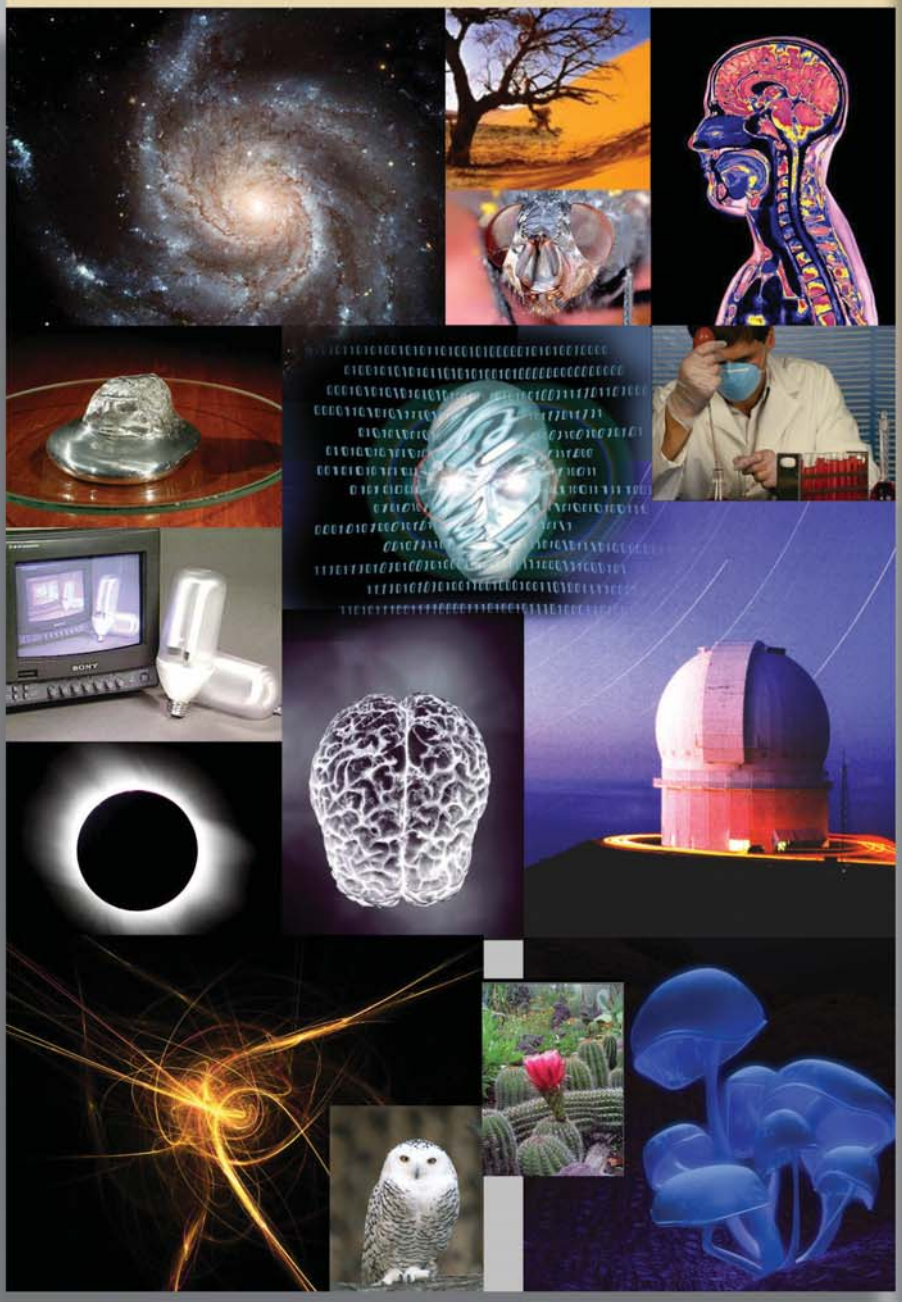
مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

NO.113

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

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

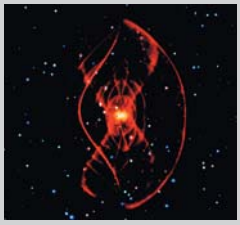
الدكتور عادل حرفوش

الدكتور زياد القطب

المحتويات

المقالات

7 **استطلاع الانفجار العظيم**



تقدم أمواج الثقالة طرقاً فذة لدراسة تضخم الكون والعمليات الأساسية الأخرى للمرحلة المبكرة جداً لتشكله.

غ. هوغان

15 **فحم نظيف**

يُعدّ احتراق الفحم مولِّداً رئيساً لثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وقد انتابت استخداماته زيادة مثيرة في هذا القرن.

ل. فان، ف. لي

20 **فجر جديد للقدرة الكهربائية النووية**

على الرغم من أن صورتها تبدو غير صديقة للبيئة، تعود القدرة الكهربائية النووية بثبات إلى أجندة الطاقة في العالم، ويعود الفضل في ذلك إلى ضرورة الحدّ من إصدارات ثنائي أكسيد الكربون.

ب. نورمان وآخرون

27 **مستقبل مشرق للخلايا الشمسية**

يناقش Edwin Cartlidge أن التقانة النانومترية تستطيع أن تحيل الخلايا الشمسية من منتجات مشكاتية إلى نبائط تقدِّم جزءاً مهماً من طاقة العالم.

إ. كارتليدج

33 **ثورة البلازما**

تلتزم مسرِّعات الجسيمات التي تستخدم تقانة البلازما بأن تعصف بمجالات فيزياء الجسيمات العالية الطاقة ومعالجة السرطان. وتبقى التحديات أن توجد مكنات أصغر قداً وأرخص ثمناً في متناول اليد.

ن. باتيل

الأخبار العلمية

37 **العلم الضخم يعوزه ابتكار خلاء يناسبه**

38 **الاسترخاء بعد الانضغاط الشديد**

40 **نحن نعرف أين أنت، إن هاتفك الخلوي يخبرنا بذلك**

43 **القانون الصيني يتطلَّع إلى كبح الخوف من الإخفاق**

44 **قد يكون من وظائف البكتيريا تشبيك التربة سلْكيّاً**

46 **السلينيوم**

48 **الفحم.. مَلِكٌ مكبَّل..**

إطلالة علمية على حدث

50 **التطبيقات التشخيصية للتقنيات النووية**

ملخصات التقارير وملخصات الورقات العلمية، المنشورة في المجلات الأجنبية، نشرت هنا كما وردت من مكتب الأمانة العلمية في الهيئة

ملخصات ورقات البحوث

56 توقيت الشياع والخصوبة عند عنزات الماعز الشامي باستخدام البروستاغلاندين الصنعي ف 2 ألفا، الايليرين

56 إزالة الفلور بالترسيب من حمض الفسفوريك التجاري السوري المصنع بالطريقة الرطبة

57 التيار المحفز حرارياً وضوئياً في الخلايا الشمسية ZnO/CdS/$CuGaSe_2$ المبنية على أساس $CuGaSe_2$ وحيدة البلورة

57 الإجاص السوري (Pyrus syriaca Boiss) دراسة بيئية وجزيئية

58 الثوابت الضوئية للأفلام الرقيقة شبه السليكونية ($Si:O_x:C_y:H_z$) المتوضعة على الكوارتز من سداسي ميثيل ثنائي السيلوكسان في بلازما انفراغ المهبط المجوف الراديوية البعيدة

58 الخصائص المجراعيّة للكاشف الهلامي المتلوّن بالإشعاع في مجال الأشعّة السينية التشخيصيّة

59 هجرة اليورانيوم في البيئة الرسوبية الفسفاتية في التدمرية الشمالية، منطقة العوابد، سورية

59 وراثة الفوعة المرضية لدى الفطر Pyrenophora graminea

60 دراسة تجريبية لتأثير سعة المكشاف على استجابة قناة إلكترونيات نووية عامة

60 الشكل البلوري للبورون هيدروجين

ملخصات تقارير علمية

61 تعيين الراديوم-226 في المياه العذبة باستخدام مطيافيّة ألفا

61 تطبيق تقنية التحليل بالتنشيط النتروني في تحليل عناصر الأثر

62 تقدير الجرعة الإشعاعية الداخلية الناجمة عن نظائر اليورانيوم للعاملين في الصناعة الفسفاتية باستخدام مطيافية ألفا

62 اختبار الجرعات المثلى لإحداث الطفرات في نوعي القطن G. hirsutum و G. barbadense

63 دراسة استحراق وقود المفاعل منسر وتحديد تراكيز نواتج الانشطار الرئيسية باستخدام الكودين WIMS-D4 و CITATION

64 مساهمة في تنميط بروسيلا الحمى المالطية في بعض مناطق سورية

64 مقارنة أداء جهازي التبعثر النتروني ومقياس رطوبة التربة بطريقة سبر الوسعية الكهربائية للتربة (Diviner2000)، لتقدير المحتوى الرطوبي في الترب المالحة

65 تأثير معاملة درنات البطاطا بعد حصادها ببذور نبات الحلبة، ومبيد اللوفنيرون، لحمايتها من الإصابة بحشرة فراشة درنات البطاطا Phthorimaea operculella

65 إمكانية استعمال الحمأة في الزراعة

66 دراسة الرخويات المنتشرة على طول الشاطئ السوري إشعاعياً

77 ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد

إرشادات منشودة إلى المشاركين في المجلة

حول علامات الترقيم وبعض الحالات الأخرى عند كتابة النصوص باستخدام الحاسوب

بقلم أ. د. زياد القطب

تساعد علامات الترقيم الكاتب على تقسيم كلامه وترتيبه وتوضيح مقصوده، كما تساعد القارئ على فهم ما يقرأ ومعرفة أماكنِ التوقف وأداء النبرة المناسبة.

غير أن المقصود من استعراض علامات الترقيم هنا هو كيفية توظيفها وتلافي الأخطاء عندما نستخدم الحاسوب في كتابة النصوص، الأمر الذي يواجه المنضّد لدى التحكم في مكان الفراغات بين الكلمات وعلامات الترقيم، ولطالما انعكس ذلك سلباً على كادر التنضيد في مكتب الترجمة بالهيئة عند عدم مراعاة الإرشادات المدرجة أدناه.

لذا فإننا نهيب بالعاملين في أقسام الهيئة ودوائرها ومكاتبها المختلفة التقيّد بمضمون هذا التعميم تلافياً لكل إشكال قد يواجه كادر التنضيد. وسنورد في طيّه مثالاً عن كل واحدة من علامات الترقيم لبيان القاعدة التي ينبغي اتباعها، ذاكرين في هذا السياق الإشكالية التي قد تحصل في حالة عدم التقيد بالقواعد المدونة أدناه. فمثلاً عندما نترك فراغاً بين القوس والكلمة التي تلي قوس البداية أو تسبق قوس النهاية في المثال التالي: "في الواقع قلبت المعالجة بسلفيد الهدروجين الفئران التي نجري عليها تجاربنا من حيوانات ذات دم حار إلى حيوانات ذات دم بارد [3]"، يتضح الإرباك الذي قد يقع فيه القارئ نتيجة ترك فراغ مفروض من الحاسوب بين الرقم 3 والقوس النهائي دونما قصد من جانب المنضد.

وبهدف تجنب مثل هذه الحالات وتوخّياً منّا للإخراج المتناسق والموحّد فإننا نأمل التقيّد بالملاحظات التالية المتعلقة بقواعد كتابة العلامات المدرجة أدناه:

البند الأول

علامات الترقيم: النقطة (.)، الفاصلة (،)، الفاصلة المنقوطة (؛)، النقطتان (:)، علامة الاستفهام (؟)، علامة التعجب (!)، النقاط المتتالية (...)، علامة الاعتراض (–...–)، علامة الاقتباس ("...")، الواصلة الصغيرة (–)، الأقواس ({}، []، ())، الشرطة المائلة (/).

وذلك مع التنبيه إلى ترك فراغ واحد بعد علامة الترقيم وليس قبلها، كما هو مبيّن أدناه:

النقطة (.): توضع في نهاية الجملة لتدلَّ على تمام المعنى، وفي نهاية الكلام.

- مثال: صدر اليوم العدد الجديد من مجلة عالم الذرّة. نأمل أن يحوز هذا العدد رضاء القارئ الكريم.

الفاصلة (،): توضع بين الجمل القصيرة المتعاطفة أو المتّصلة المعنى.

- مثال: ولذلك فإن علماء المناعة لديهم اهتمام شديد، ليس فقط باكتشافات ماهية الجزيئات المشتركة في هذه الحوارات، ولكن أيضاً بكيفية تفاعلها لتتمكن من اتخاذ مثل تلك القرارات الحاسمة.

الفاصلة المنقوطة (؛): توضع بين الجمل الطويلة المتّصلة المعنى، أو بين جملتين تكون إحداهما سبباً في الأخرى.

- مثال: من أهدافنا نشر المعرفة العلمية؛ بمعنى إتاحتها لجميع الراغبين بالمعرفة.

النقطتان (:): توضعان بعد كلمة قال أو ما في معناها وعند الشّرح والتفسير دون ترك فراغ قبلهما.

- مثال: الهدفان المهمان هما: إنتاج عمل مهم وإيصاله إلى القارئ الكريم.

علامة الاستفهام (؟): توضع بعد الجملة الاستفهامية مباشرة دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: أين ذهبت المادة المضادة بكاملها؟

علامة التعجب (!): توضع بعد التَّعجب أو النداء أو ما يدلُّ على الفرح أو الألم أيضاً دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

النقاط المتتالية (...): تدلُّ على أنَّ الكلام فيه حذف أو أنَّه لم ينته ويترك فراغ قبلها وبعدها.

- مثال: يرى هولستون وأبادوراي "أن في بعض الأماكن، لا تكون الأمة وسيطاً ناجحاً للمواطنة ... وأن مشروع المجتمع القومي للمواطنين، خاصة الليبرالي ... يبدو، أكثر فأكثر، كأنه استنفد أغراضه وفقد مصداقيته".

علامة الاعتراض (–...–): وهي خطَّان صغيران توضع بينهما جملة معترضة داخلة بين شيئين متلازمين من الجملة كالفعل والفاعل أو الفعل والمفعول به، أو المبتدأ والخبر، أو المتعاطفين.

- مثال: إن المؤتمر الدولي –للجيل الرابع من المفاعلات– مبادرة هامة.

علامة الاقتباس ("..."): وهي قوسان صغيران يوضع بينهما ما ننقله من كلام بنصِّه دون تغيير.

- مثال: أنجز الباحث مقالاً بعنوان "سوق اليورانيوم ومصادره" وهو في طريقه إلى النشر.

الواصلة الصغيرة (–): توضع في أوَّل الجملة وبأوَّل السَّطر للدَّلالة على تغير المتكلِّم اختصاراً لكلمة (قال أو أجاب) أو للإشارة إلى بند جديد. ونشير هنا إلى ضرورة وضع فراغ بعدها.

- مثال: – المقدمة.

وتوضع للوصل بين كلمتين أو للوصل بين رقمين وذلك بدون ترك فراغ قبلها أو بعدها.

- مثال: مركبات عضوية–معدنية.

وكذلك توضع بين رقمين.

- مثال: انظر المراجع 161-154.

الأقواس {...} [...] (...): عند كتابة أي من هذه الأقواس يُترَك فراغٍ قبلها وآخر بعدها وليس بينها وبين ما بداخلها.

- مثال على واحد من هذه الأقواس: يجب أن يشمل مفهوم الإنتاجية كلاً من القيمة (الأسعار) والكفاءة.

الشَّرطَةُ المائلة (/): لا يُترَك فراغ قبلها ولا بعدها.

- مثال: نيسان/أبريل.

البند الثاني (حالات أخرى):

الأرقام: يجب التقيد بكتابة الأرقام العربية (0، 1، 2، .... 9) وليس الهندية (٠، ١، ٢، .... ٩) وعدم ترك فراغ بين الرقم والفاصلة في حين يترك الفراغ بالضرورة بعد الفاصلة والرقم الذي يليها.

الأرقام التي نكتبها داخل الأقواس لا يترك فراغ قبل الأول منها ولا بعد الأخير منها (مثال: [1، 4، 7]، أما إذا كانت متتابعة فتكتب على النحو التالي [1-5]).

الكلمات الأجنبية في النص العربي: داخل النص العربي لا تبدأ الكلمات الأجنبية بحرف كبير إلا إذا كانت اسم علم أو بلد (مثال: Syria ،superconductivity). ولطالما خلقت لنا هذه الإشكالية متاعب جمّة.

الكلمات المفتاحية: نضع الفاصلة بين الكلمة المفتاحية والتي تليها، وإذا كانت الكلمات المفتاحية مترجمة إلى الإنكليزية أو الفرنسية فنبدؤها بالحروف الصغيرة إلاّ إذا كانت الكلمة اسم علم أو بلد عندها نكتب الحرف الأول من الكلمة كبيراً (مثال: Alfred.)

حرفا العطف (و) و (أو): لا يترك فراغ بعد حرف العطف (و)، مثال: إن التنافسية الاقتصادية هي ضرورة للسوق، وهي أساسية لمنظومات الجيل الرابع، أمّا إذا بدأت الكلمة التالية لحرف العطف (و) بحرف الواو أيضاً فإنه يُفضّل ترك فراغ بين الواو والكلمة التي تليه (مثال: تركت أهلي صباح اليوم و ودّعتهم في المطار).

أما في حالة الأسماء، نضع حرف الواو (و) منفصلاً بين اسم المؤلف وبين الاسم الذي يليه (مثال: طريف شربجي و زهير أيوبي و فاطر محمد).

في حالة (أو)، ينبغي ترك فراغ بعدها (مثال: حُدِّدت المسائل المتوقع حلّها سواء على المستوى الثقافي أو التنظيمي أو الإداري).

النسبة المئوية (%): نجعلها دائماً على يسار الرقم وبدون فراغ بينها وبين الرقم (مثال: 40%).

الواحدات (ميغاهرتز، سم، كيلوواط، ...): إذا كانت بالعربية نضعها على يسار الرقم وإذا كانت بالإنكليزية نضعها على يمين الرقم ونترك فراغاً بينها وبين الرقم ونذكر مثالاً: (15 كيلوغراماً (15 kg)).

أشهر السنة الميلادية: نكتبها كما يلي دون ترك فراغات بينها وبين الشرطة المائلة:

كانون الثاني/يناير، شباط/فبراير، آذار/مارس، نيسان/أبريل، أيار/مايو، حزيران/يونيو، تموز/يوليو، آب/أغسطس، أيلول/سبتمبر، تشرين الأول/أكتوبر، تشرين الثاني/نوفمبر، كانون الأول/ديسمبر.

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح 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 11-6111926 (963+) فاكس 11-6112289 (963+)

E-mail: tapo@aec.org.sy

ISSN 1607-985X

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 تسليم رسم الاشتراك في مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة (دمشق ، شارع 17نيسان) أو بحوالة على العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13، مزة جبل - دمشق

ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012

ـ الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س ، للأفراد (300) ل.س ، للمؤسسات (1000) ل.س .

ـ الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً .

سعر العدد الواحد

سوريا : 50 ل.س مصـر : 3 جنيهات لبـنان : 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.

استطلاع الانفجار العظيم

تقدم أمواج الثقالة طرقاً فذة لدراسة تضخم الكون والعمليات الأساسية الأخرى للمرحلة المبكرة جداً لتشكله، حسبما يبين Graig Hogan بل يمكنها أيضاً أن تربط نظرية الأوتار بعالم التجربة.

تغير تثاقلي عنيف
أشد مصدر للأمواج التثاقلية (الأحمر، الظاهر هنا في محاكاة بحاسوب فائق) هو دمج ثقبين أسودين.

الكلمات المفتاحية
أمواج تثاقلية، الانفجار العظيم، مشروع (LISA): الهوائي الفضائي لقياس التداخل الليزري، نظرية الأوتار، توسع الكون، انتقال طوري كوني.

إن نظرتنا عن الكون على وشك أن تتغير إلى الأبد. فمنذ أن بدأ العلم، جاءَت كل معارفنا عما يقع فوقنا وتحتنا وحولنا من أشكال الطاقة مألوفة منذ زمن بعيد وهي: الضوء، الذي تولده أجسام فيزيائية فلكية بعيدة؛ والمادة، في هيئة جسيمات كالأشعة الكونية. ولكننا الآن في وضع يمكّننا من دراسة الكون باستخدام شكل من الطاقة مختلف كلياً لم يتم حتى الآن الكشف المباشر عنه–ألا وهو أمواج التثاقل gravitational waves.

يتمثّل التنبؤ الرئيسي لنظرية أينشتاين حول النسبية العامة في أن الأمواج التثاقلية هي اهتزازات زمكان space-time يولّدها تسارع كل أشكال الكتلة والطاقة. فالأوساط التثاقلية المتطرِّفة مثل الثقوب السوداء أو ثنائيات النجوم النترونية تولِّد أمواجاً ذات سعات كبرى، بينما يعتمد تواتر هذه الأمواج على الكيفية التي تتحرك بها هذه المنابع. فالحركات الصغيرة المقاس small- scale motions مثل حركات الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية، تولد أمواجاً تثاقلية ذات تواترات عالية، بينما تتحرك الأجسام الأكبر، مثل الثقوب السوداء الضخمة، ببطء أكثر وتولد إشارات ذات تواترات منخفضة. وبمرور هذه الأمواج التثاقلية بسرعة الضوء عبر مادة أيّاً كان نوعها فإنها تملأ الكون بأكمله ويمكنها بذلك أن تحمل معلومات من بداية الزمكان نفسه.

يوجد في أنحاء مختلفة من العالم عدة مكاشيف للأمواج التثاقلية تأخذ المعطيات في الوقت الراهن على أمل أن تقوم، ولأول مرة بكشف هذه الاضطرابات الطفيفة في الزمكان بصورة مباشرة. إن مقاييس التداخل

لمحة خاطفة : خلفية الأمواج التثاقلية

- التنبؤ الرئيسي للنسبية العامة هو أن الأمواج التثاقلية تتولّد حينما تتسارع منظومة جرمية ضخمة مثل نجم ثنائي ويتغير شكلها.
- بالرغم من وجود دليل غير مباشر للأمواج التثاقلية، هناك العديد من مقاييس التداخل الضخمة المنتشرة الآن في جميع أرجاء العالم لممارسة الكشف الأول المباشر.
- الأمواج التثاقلية تضغط الزمكان وتبسّطه أثناء انتشارها، إنها تنقل المعلومات عن الكون الموغل في القدم قبل زمن طويل من استطاعة انتشار الأمواج الكهرطيسية..
- قد تخبرنا بصمات الأمواج التثاقلية اللطيفة في استقطاب خلفية الأمواج المكروية الكونية عن السرعة التي اتسع بها الكون أثناء التضخم حين تركت الانتقالات الطورية الكونية خلفية أمواج تثاقلية كونية خاصة بها.
- ستقوم الأمواج التثاقلية المتولدة من أوتار كونية بربط نظرية الأوتار بالجسيمات والحقول المعروفة، وستساعد في البحث عن نظرية كمومية.

الضخمة هذه (وهي ليغو LIGO في الولايات المتحدة، وجيو GEO-600 في ألمانيا، وفيرغو VIRGO في إيطاليا وتاما TAMA في اليابان) تبحث كلها عن تغيرات دقيقة لانتشارات بطول كيلومترين يولِّدها مرور موجة تثاقلية. وفي السنوات القليلة القادمة ستكون هذه المقاييس قادرة على كشف الإشارات ذات التواترات العالية (100 هرتز أو أكثر) التي تولِّدها أكثر الأجسام التثاقلية تطرفاً (انظر الشكل 1).

لا تقتصر مكاشيف الأمواج التثاقلية على كوكب الأرض: فهناك مشروع دولي يدعى الهوائي الفضائي لمقياس التداخل الليزري Laser Interferometer Space Antenna أو اختصاراً (LISA) ينتظر الآن قرارات تمويل حاسمة تمكّنه أن يستهل عمله حوالي العام 2017. وبعيداً عن الوسط الصاخب لكوكبنا، ستستخدم مركبات ليزا الفضائية الثلاث ليزرات تشكل ثلاثية أذرع تداخلية يبلغ طول كل منها خمسة ملايين كيلومتر. وعليه فالبعثة ستكون قادرة على كشف اضطرابات ضعيفة في الزمكان تقارب 1 mHz وما دون، بحيث تسبر منطقة من طيف الأمواج التثاقلية معروفة بكونها تحتوي على عدد كبير ومتنوع من المنابع.

ولما كانت الأمواج التثاقلية تتيح لنا دراسة الكون باستخدام شكل

الأمواج التثاقلية تترك دمغات على هيئة تذبذبات صغيرة على نسيج الزمكان وقد بقيت هناك ما دام التوسع تحتها قد بلغ مقياساً هائلاً

جديد من الطاقة يلازم كل شيء، فإن مكاشيف الأمواج التثاقلية يمكن أن تقودنا أيضاً إلى اكتشافات غير متوقعة أبداً–مثلما فعل المقراب (التلسكوب) والمجهر في زمانيهما. إضافة إلى ذلك، تقدم الأمواج التثاقلية سجلاً مفصلاً للأحداث التي حدثت في الكون في أول ثانية أو نحو ذلك، الأمر الذي ينبغي أن يسمح لنا باصطناع موديلات مثل التضخم الكوني cosmic inflation والفيزياء المتطرفة الأخرى المجهولة للكون الموغل في القدم. وبالفعل، فإن هذه الاضطرابات الشبحية للزمكان تحوِّل الكون المبكر وبصورة فعالة إلى مختبر معقد لفيزياء الطاقة العالية جداً يمكن أن يساعد في معالجة مسألة الثقالة الكمومية quantum gravity.

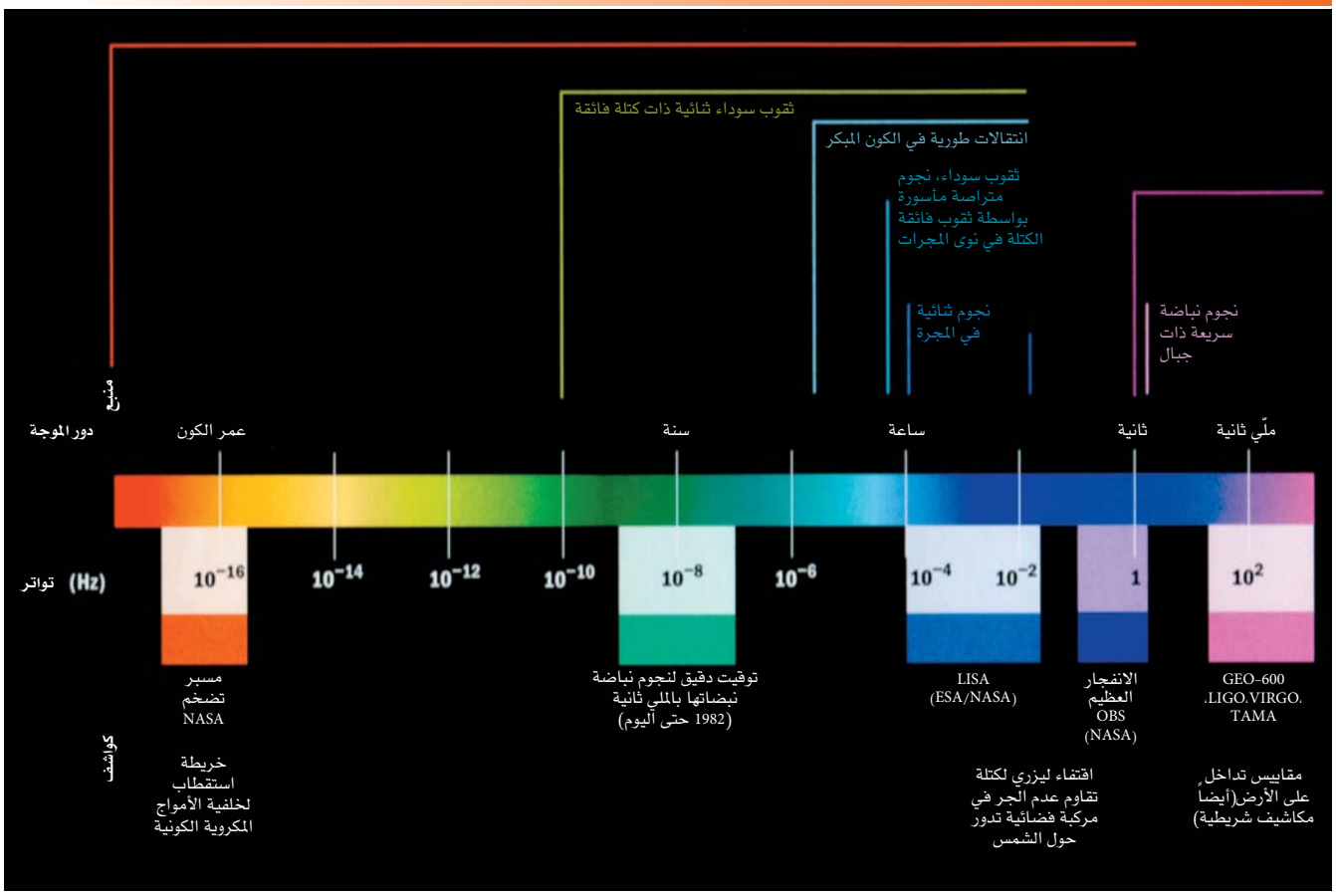
سبر التضخُّم

لقد كشفت الثقالة لنا قبل الآن عن كون غير مرئي. فمنذ حوالي 70 عاماً اكتشف F.Zwicky المفاعيل التثاقلية لما ندعوه اليوم المادة الخفية dark matter، وذلك حينما تحقق بأن السرعة التي تتحرك بها مجرات معينة لا يمكن تفسيرها بكمية المادة المرئية. إن تعيين طبيعة المادة الخفية لوحدها– وهي التي يظن الآن أنها تشكل 21% من الكون–يُعدُّ واحداً من أعظم التحديات للفيزياء الحديثة. وفوق ذلك، فمنذ حوالي عشر سنوات اكتشف الفلكيون أنه حتى الجزء الأكبر من الكون (حوالي 75%) مكون من "طاقة خفية dark energy"–وهي مادة ذات قوة دفع تثاقلي تسبب تسارع تمدد الكون. فهل نستطيع حتى أن نبدأ بتخمين ما قد نجده حينما نستخدم الثقالة ذاتها لسبر الكون؟

في حين يحتمل أن نكتشف مصادر للأمواج التثاقلية غير متوقعة في الكون القريب، فإن الأمل الكبير هو أن مكاشيف الأمواج التثاقلية ستخبرنا عن الشروط التثاقلية القصوى التي وُجدت في تاريخ الكون في وقت مبكر جداً (انظر الشكل 2). فالإشعاع الكهرطيسي سبق له أن قدم دليلاً مباشراً عن عمليات عديدة أخذت مجراها في هذا العصر. فالأطياف المأخوذة من مادة بعيدة، على سبيل المثال، ألقت الضوء بصورة غير مباشرة على كيفية تشكل النوى الخفيفة في الدقائق القليلة الأولى للكون، في حين تؤمن خلفية الأمواج المكروية الكونية لقطة للكون بالشكل الذي كانت عليه بعد مرور 380000 عام على الانفجار العظيم.

تولَّدت هذه الخلفية– وهي بحر بارد من إشعاع كهرطيسي منخفض التواتر– بعد أن كان الكون قد تمدّد وبرد إلى درجة تكفي بالسماح لذرات الهدروجين لأن تتشكل (وهي عملية تدعى التآشب recombination). فالفوتونات التي كانت قد بعثرتها من قبل جسيمات مشحونة في البلازما البدئية تستطيع أن تنتشر الآن بحرية، إذ تمدّدت أطوالها الموجية المشاهدة اليوم إلى منطقة الأمواج المكروية. ونشير هنا إلى أن خلفية الأمواج المكروية الكونية أعلمتنا الكثير حول انتشار الأمواج الصوتية في البلازما

طيف الأموال التثاقلية

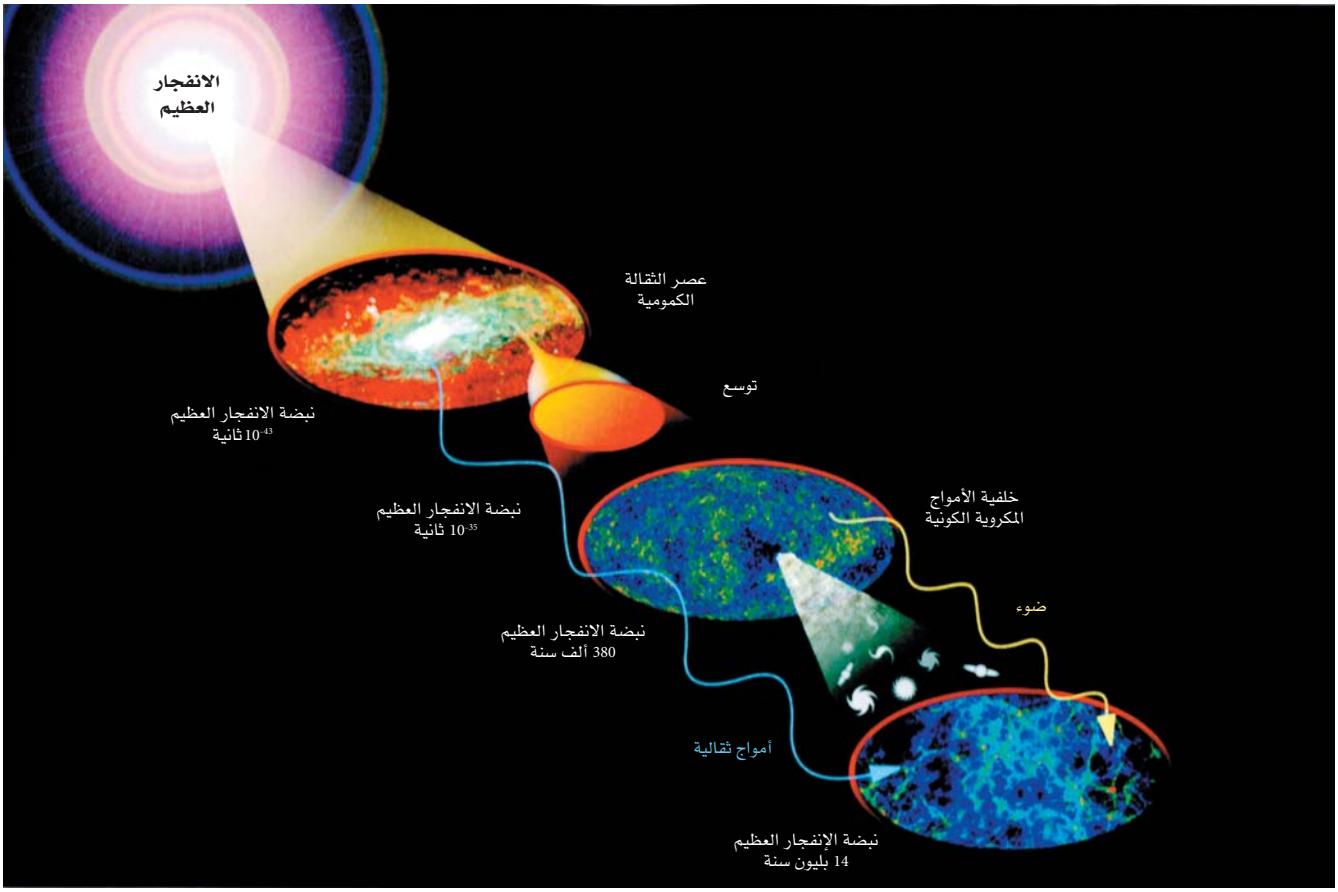


تفتح الأمواج التثاقلية نافذة جديدة على الكون ستساعدنا على سبر أحداث لا توجد من أجلها بصمات كهرطيسية. في السنوات القليلة القادمة ستكون مقاييس التداخل VIRGO، LIGO، GEO-600، و TAMA المنصوبة على الأرض قادرة على كشف الأمواج التثاقلية العالية التواتر التي ولدتها أجسام فيزيائية فلكية متطرّفة astrophysical opjects extrem، مؤمِّنة بذلك أول كشف مباشر لهذه الاضطرابات في الزمكان. وسيكون مقياس التداخل LISA المنصوب في الفضاء، بفضل أطوال أذرعه الأكثر طولاً، قادراً، (حين إقلاعه) على كشف أمواج ثقالية منخفضة التواتر، ربما تكون تلك التي ولدتها الانتقالات الطورية في الكون الموغل في القدم، حتى عند تواترات أخفض، وستفتش تجارب أخرى عن بصمات دقيقة للأمواج الثقالية في خلفية الأمواج المكروية الكونية.

البدئية، وذلك ضمن نتائج مهمة أخرى مثل هندسة الفضاء (انظر Physics World April 2003 pp 27-32). لكن الأمواج التثاقلية تستطيع أن تخبرنا المزيد عن الكون المبكر وذلك بسبر حركة كانت قد حصلت مثل هذه الأزمنة المبكرة وعلى مقاييس صغيرة كتلك التي بقيت آثارها الكهرطيسية منذ أن انعزلت في التوازن الحراري (انظر الشكل 2).

إنّ الفكرة التي تولِّد معظم الإثارة الآن تتمثَّل في إمكانية كشف أمواج تثاقلية انطلاقاً من التضخم الكوني cosmic inflation، وهو حقبة من التمدد المتسارع بدأ مباشرة بعد الانفجار العظيم الذي ازداد أثناءه حجم الكون بعامل يصل إلى 10^{80} في جزء زهيد جداً من الثانية. ويُعَدُّ التضخم أفضل موديل موجود لدينا لتفسير بنية الكون على النطاق الواسع – وبعبارة أخرى، لجعل الكون كبيراً، وللمساعدة في تعجيل التمدد الكوني وكذلك لتوليد تموّجات في الزمكان التي بذرت تشكل المجرات. ومع ذلك فإن ما نعرفه عن فيزياء هذا الفصل المختصر جداً من التاريخ الكوني قليل جداً.

لما كانت الأمواج التثاقلية قد ولَّدتها حركة على مقاس كمومي أثناء التضخم، فإن كشفها سيشير إلى وجود الغرافيتونات gravitons –وهي الجسيمات الافتراضية للثقالة ومن ثم للزمكان ذاته. ويُظن أن هذه الكمات (الكوانتا) quanta المفردة هي تذبذبات صغيرة مدموغة على نسيج الزمكان انتفخت إلى مقاسات هائلة بالتضخم. إن الكشف عن هذه الأمواج التثاقلية البدئية سيختبر لذلك فيما إذا كان ميكانيك الكم يصحُّ بوجود الكثافات العالية جداً. كما أنها ستسمح لعلماء الفلك أن يخمِّنوا بارامترات من أمثال معدل التمدد التضخمي، تعدُّ الآن ضعيفة التحديد.



لقد خضع الكون للعديد من التحولات المثيرة في تاريخه الذي يمتد 13.7 بليون سنة، رغم أن معرفتنا للكون المبكر يوجد فيها بعض الثغرات. فخلفية الأمواج المكروية الكونية تكشف عن شدة الضوء الأولي واستقطابه كما كان بعد انقضاء 380 ألف سنة على الانفجار العظيم عندما أصبح الكون شفافاً للضوء. لذا فإننا لا نستطيع أن نستخدم الإشعاع الكهرطيسي لدراسة الكون قبل هذا الوقت، رغم أن الترجحات في درجة حرارة خلفية الأمواج المكروية واستقطابها على مقاييس كبيرة جداً تحتفظ بأحداث أبكر كثيراً والتي جرت أثناء توسع الكون. ومن جهة أخرى، فإن الأمواج الثقالية تنتشر مباشرة إلى مكاشيفنا من البدايات الأولى للزمن نفسه، وتحمل معلومات عن الأحداث الكونية على كل المقاييس عبر تاريخ الكون.

الأمواج البدئية

إن أفضل وسيلة للبحث عن هذه الأمواج التثاقلية الموغلة في القدم هي دراسة إشعاع خلفية الأمواج المكروية الكونية cosmic microwave background (والتي تعرف اختصاراً بإشعاع CMB). وبفضل العديد من النتائج الجميلة التي تمخضت عنها تجارب من أمثال مستكشف الخلفية الكونية Cosmic Background Explorer أو [(COBE) اختصاراً]، ومسبار ولكِنْسون اللامتناحي للأمواج المكروية Wilkinson Microwave Anisotropy Probe [أو (WMAP) اختصاراً]، فقد سبق لنا أن كشفنا بصمة كمّات (كوانتا) أخرى في الـ CMB –وهو عمل حاز على إثره باحثا COBE وهما J.Mather وG.Smoot جائزة نوبل للفيزياء في العام 2006. هذا وتعد الاختلافات القليلة في درجة حرارة خلفية الأمواج المكروية في رقع مختلفة من السماء بمثابة دليل مباشر على التذبذبات في "حقل التضخم" التي قادت التضخم. وتعدُّ هذه التذبذبات السبب في تكتل المادة لتشكيل المجرات وبنى كونية أخرى نراها اليوم. ربما يكون حتى من الممكن إن يتطلب الأمر بذل جهود تجريبية خارقة للتوصل إلى الكينونة الضعيفة للغرافيتونات في خلفية الأمواج المكروية.

وكيما نفصل إسهامات الغرافيتون– والتذبذبات المحرَّضة بالتضخم، فإننا نحتاج إلى دراسة استقطاب CMB. إذ إن هذه الفوتونات أصبحت مستقطبة بمعنى أن مركبة الحقل الكهربائي للموجة الكهرطيسية تسعى للتوجّه في اتجاه معيّن) حينما بعثرت إلكترونات حرة إما أثناء عملية التآشب recombination أو بعد بضع مئات الملايين من السنين عندما تشكلت النجوم الأولى ثم عادت فأيَّنت الغاز المحيط بها. ولما كان لنمط

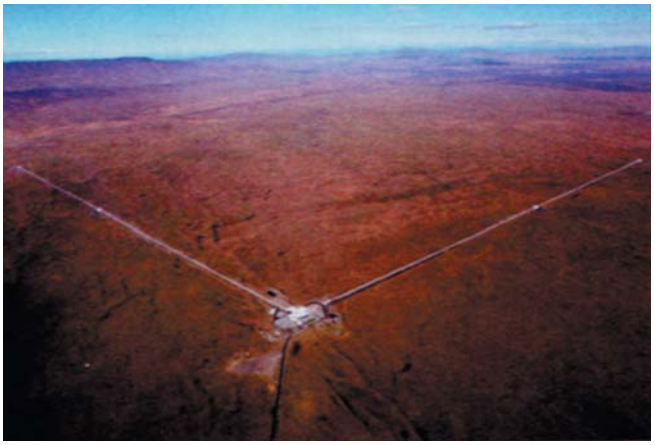
تذبذبات درجة الحرارة في CMB مركبة "رباعية الأقطاب" quadrupolar component (أي إنها تكون أكثر سطوعاً وفق بعض المحاور عما هي عليه وفق المحاور الأخرى) فقد جعل ذلك الإلكترونات تتقلقل بشكل أكبر وفق محاور معينة. وهذا يؤدي إلى استقطابات مختلفة، لكن الإشارة الرباعية الأقطاب التي ولدتها الأمواج التثاقلية تعدُّ خاصة لأن الأمواج التثاقلية نفسها ذات خاصية رباعية أقطاب محضة. (هذه الصفة هي التي تسمح لنا بالكشف عن الأمواج التثاقلية باستخدام مقاييس التداخل، انظر الشكل 3.) وفي النتيجة، تستطيع الأمواج التثاقلية أن تولد ذبذبات استقطاب حتى في مواضع لا يوجد فيها اضطراب موضعي في درجات الحرارة.

في عام 2001 كشف الباحثون الذين يشتغلون في تجربة DASI في أنتاركتيكا ذبذبات استقطاب في خلفية الأمواج المكروية الكونية CMB عند المستوى المتوقع (بمعنى بضعة آحاد في المئة من تذبذبات درجة الحرارة) ومنذ ذلك الحين حققت تجارب أخرى بما فيها WMAP وBOOMERANG ومصور الخلفية الكونية نتائج DASI ووسعتها (انظر الشكل 4). لكن فك تشابك إشارة الاستقطاب الخاصة المتوقع من الغرافيتونات فقط (والذي يتضمن نمطاً للاستقطاب يشبه الدوامة) أمرٌ أكثر صعوبة بسبب صغر إسهامه. هذا ويشكل الكشف عن نمط الاستقطاب عند مستويات أكثر ضعفاً هدف تجارب جديدة مثل مقراب خلفية الأمواج التثاقلية العائد لروبنسون ("BICEP") في أنتاركتيكا وكذلك هدف تشكيلة منوّعة من تجارب مخطط لها ومقترحة على الأرض وفي الفضاء (وبضمنها مستكشف بلانك التابع لوكالة الفضاء الأوروبية)، بالإضافة إلى مسبار ناسا للتضخم ما بعد أينشتاين NASA's Beyond Einstein Inflation Probe.

وفي الحقيقة سيأتي يوم قد يكون فيه ممكناً إجراء الكشف المباشر للأمواج التثاقلية التضخمية المحرَّضة بالغرافيتونات باستخدام مقياس التداخل مباشرة. فإذا أخذنا بالاعتبار ضعف الإشارة وتواترها العالي، تكون استطاعة فعل ذلك تحتاج إلى عقود. ولكن ينبغي على المرء أن يضع في ذهنه دائماً إمكانية حصول ما ليس متوقعاً. فعلى سبيل المثال، توجد نسخ دخيلة لعلم كونيات ما "قبل الانفجار العظيم" تكون فيها الأمواج العالية التواتر قوية لدرجة تكفي حتى لكشفها بواسطة التقانة الحالية.

وفي حال العثور على نموذج الغرافيتون، فإن الشيء الكثير عن السرعة التي توسع بها الكون خلال التضخم وعن الثقالة ذاتها سينكشف بالفعل، لأن البصمات المباشرة للغرافيتون تقدِّم اختباراً مقنعاً لميكانيك الكم في شروط نائية متطرِّفة لا يمكن تصورها. ومن جهة ثانية، وعلى شاكلة العديد من التأثيرات التثاقلية الأخرى الموصوفة هنا، فقد لا يكون كشفها ممكناً على الإطلاق. فعلى سبيل المثال إذا حدث التضخم ببطء شديد، فقد تكون مساهمة الغرافيتون ضعيفة جداً بحيث لا يمكن كشفها.

الأمواج الثقالية على الأرض



المرصد LIGO هارفورد في ولاية واشنطن بالولايات المتحدة، هو واحد من مقاييس التداخل العديدة المنصوبة على الأرض والتي ستقوم قريباً بأول كشف مباشر للأمواج الثقالية. الأداة هي مقياس تداخل ميكلسون، الذي يقيس تغيرات طفيفة في طولي ذراعيه المتعامدين وطول كل منهما 4 كيلومترات وذلك بارتداد ليزر قوي من مرآتين ضخمتين موضوعتين في نهاية كل ذراع. تم اختيار هذا التصميم لأن انزياح الكتل الذي سببه مرور موجة ثقالية له صفة عرضانية ورباعية الأقطاب: فالموجة تمتط وتنضغط بصورة متناوبة في اتجاهات عمودية عرضانية مع اتجاه الانتشار. كلما كانت أذرع مقياس التداخل أطول كانت حساسية الجهاز أكثر لمثل هذه الانزياحات.

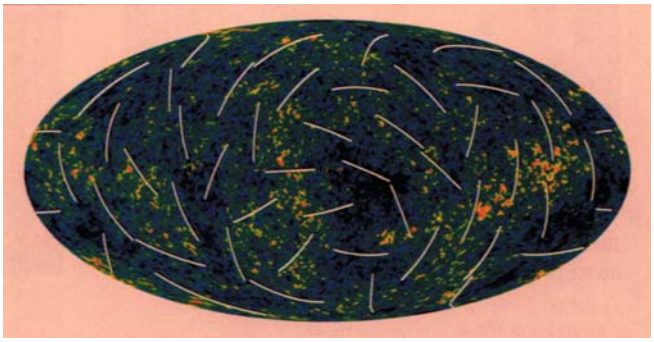
انتقالات طورية كونية

من الممكن أن يكون الكون من الناحية التثاقلية قد بقي سلساً وهادئاً بعد التضخُّم، مع ولادة قلّة من الموجات التثاقلية. ومن جهة ثانية، قد يصبح التضخم غير مستقر لدى اقترابه من النهاية، بحيث أطلق حركات كبيرة للكتلة والطاقة ولدت بدورها مقادير كبيرة من الضجيج التثاقلي. وعليه فإن الموجات التثاقلية تقدم بصمة فريدة للفيزياء المتعلقة بهذه الانتقالات الطورية الحاسمة وغيرها في الكون الموغل في القدم مما غيّر مجرى التاريخ الكوني.

يُعتقد أن طاقة الخلاء الداخلية internal vacuum energy الهائلة التي كانت تقود التوسع قد تحولت عند نهاية التضخم إلى طاقة عادية غير متضخمة– أي إشعاع حراري على هيئة العديد من جسيمات متحركة بسرعة، استمر بعضها بحيث أصبح خلفية الأمواج المكروية الكونية. أما كيف جرى هذا الانتقال الطوري فيعتمد على الطريقة التي اقترنت

يمكن أن يكون نشوء الشريحة brane الثلاثية الأبعاد لحقول الموديل المعياري قد ترك خلفية أمواج تثاقلية قابلة للرصد

رسم خريطة لاستقطاب الخلفية التثاقلية



في عام 2003 قاست الطائرة WMAP الترجحات الصغيرة جداً –حوالي جزء واحد في 100000 – في درجات حرارة إشعاع الخلفية الكونية (المناطق الملونة). هذه االتذبذبات، التي تتوافق بشكل ممتاز مع تنبؤات نظرية الانفجار العظيم، نشأت خلال التضخم وتطورت تحت تأثير كل من الثقالة وضغط بلازما المدة– الإشعاع، قبل أن تتحد الجسيمات في البلازما وتشكل ذرات الهدروجين. وما هو مدفون في هذا الشكل قد يكون أيضاً ذبذبات أتت من أمواج ثقالية أولية، لكن للتعرف على بصماتها فإن على الباحثين أن يرسموا خارطة تفصيلية لاستقطاب الفوتونات ودرجات حرارتها أيضاً (تمثل الخطوط البيضاء متجه الاستقطاب الكهربائي). لما كانت الأمواج الثقالية تولد لاتناحياً رباعي القطب وبذلك تحرض استقطاباً من دون ترجحات في درجة الحرارة مرافقة، فهي (وهي وحدها فقط) القادرة على توليد أشكال للاستقطاب لا يمكن التعبير عنها بمثابة تدرج لمقدار سلَّمي.

بها طاقة الخلاء الداخلية بحقول فيزيائية أخرى، كتلك الحقول الموصوفة بالموديل المعياري Standard Model لفيزياء الجسيمات. ورغم أن هذا الاقتران غير مفهوم حالياً، فإن نماذج التضخم توحي بأن جزءاً قابلاً للقياس من طاقة التضخم يمكن بالفعل تحويله إلى ضجيج تثاقلي.

محاكاة أرضية

إن تدفق الطاقة في الانتقال الطوري الكوني مشابه للانتقال الذي يحدث في شلال، مع اضطراب في المائع الكوني ينتج عنه اليوم خلفية أمواج ثقالية.

لا يوجد سبب للشك بأن مثل هذه الانتقالات الطورية في الكون كانت مختلفة كثيراً عن تلك التي ترى حالياً على الأرض كل يوم. وفي الحقيقة، يمكن أن يكون التضخم قد انتهى تماماً بانتقال طوري أكثر شبهاً بالانتقال الطوري للماء وهي تتحول من سائل إلى غاز. عندما يغلي الماء تتحول الحرارة من طاقة في الماء إلى طاقة في البخار، ويكون تدفق المادة خلال ذلك غير مستقر: إذ يأخذ البخار شكل فقاعات من الماء أفرط في تسخينها وهي تنمو بصورة انفجارية بمجرد أن تتحول إلى طور البخار، بحيث تحول بركة هادئة من الماء إلى اضطراب هائج. ويمكن في أوائل تشكل الكون أن يكون عدم استقرار مشابه قد تغذّى بالقدرة بواسطة البرودة الفائقة الناجمة من توسع الكون.

ليست الانتقالات الطورية شيئاً جديداً في علم الكونيات. فمنذ العام 1949 كتب M.Mayer وإدوارد تِللِر E.Teller ورقة علمية عن قطع من تكتلات كتل نجمية لمادة غنية بالنترونات تشكلت في انتقال طوري نووي كوني (كوزمولوجي). ويستخدم الفيزيائيون اليوم الموديل المعياري ومسرعات الجسيمات ليسبروا الطبيعة الموغلة في القدم (وبالتالي الطاقات الأعلى) في تاريخ الكون. إن الانتقالات الطورية هي جزء أساسي من الموديل المعياري وامتداداته المختلفة. فالديناميكا اللونية الكمومية chromodynamics quantum (وهي جزء من الموديل المعياري الذي يصف كيف تتآثر الكواركات عبر تبادل الغليونات) غالباً ما تكون مصحوبة بانتقال طوري يأخذ مجراه عند طاقة تبلغ عدة مئات ميغا إلكترون فولط، والذي بواسطته ينبثق "الطور الهَدروني hadronic phase" للمادة النووية المألوفة (أي البروتونات والنترونات) من طور "حساء الكواركات quark soup" إلى الكواركات الحرة والغليونات.

وفي المقاس الطاقي الكوني الموغل في القدم والبالغ رتبة التيرا –إلكترون– فولط (10^{12} eV)، يُعتقد أن الخلاء قد خضع لانتقال من خلاء "زائف false" (يقابل كوناً متناظراً تكون فيه كل الجسيمات عديمة الكتلة) إلى خلاء "حقيقي true" ذي تناظر مختل وجسيمات ذوات كتل هي التي نشاهدها عند طاقات منخفضة في هذه الأيام. إن تثبيت التفاصيل الأساسية لهذا "الاختلال في التناظر الكهربائي الضعيف" الذي يترافق ببوزون هيغز الشهير، يمثل الهدف الرئيسي للمصادم الهدروني الضخم Large Hadron Collider (LHC) الذي سيفتتح في أوائل العام القادم في سِرْن CERN.

ترجع فكرة التفتيش عن الأمواج التثاقلية من الميكانيك اللوني الكمومي (QCD) ومن الانتقالات الطورية الكونية الكهرضعيفة إليّ شخصياً وإلى أوراق علمية كتبها E.Witten من جامعة برينسيتون في الثمانينيات من القرن الماضي. ومنذ ذلك الحين ربط باحثون آخرون الانتقالات الطورية بعمليات فيزيائية، لم تتوطد تماماً ولكنها مهمة من ناحية علم الكون تعدُّ من الفيزياء المهمّة لتشكل الكون. ففي عام 1993، على سبيل المثال، اقترح A. Cohen من جامعة بوسطن ومعه D. Kaplan و A. Nelson من جامعة كاليفورنيا في سان ديغو، وكلاهما في الولايات المتحدة، أن اللاتوازن كنتيجة للانتقال الطوري قد يكون مسؤولاً نسبياً عن التفوّق الصغير في جسيمات المادة على جسيمات المادة المضادة في الكون الذي نشاهده اليوم–إنها عملية حدِّية لا تملك عنها معطيات غير التفوُّق ذاته.

هناك إمكانية رائعة أخرى تتمثل في أن الانتقال الطوري كان مسؤولاً عن تشكل فضائنا الثلاثي الأبعاد في وقت ما من أول بضعة أجزاء تريليون من الثانية من عمر الكون. ففي التسعينيات من القرن الماضي اكتشف واضعو نظرية الأوتار أن عالمنا الثلاثي الأبعاد يمكن وصفه بأنه مجرد شريحة ثلاثية الأبعاد لحقول النموذج المعياري تحيا ضمن فضاء يعلوه ثنائي البُعْد. وبعد ذلك بفترة وجيزة اقترحتُ أن الاستقرار الحاصل في شريحتنا كنتيجة للانتقال الطوري من بنيان مختلف في كونيات مثل هذه الشريحة استطاع أن يولد خلفية من أمواج تثاقلية يمكن رصدها – بحيث قدم اختباراً فعّالاً لنسخة خاصة من نظرية الأوتار string theory.

في العام الماضي استنبطت L. Randall (من جامعة هارفرد) وG. Servent (من سرن) موديلاً متماسكاً لمثل هذا الديناميك الاستقراري الشريحي يتنبأ بحدوث انتقال قوي جداً من طور بدئي عالي البعد إلى "طور راندول–سوندروم الشريحي Randall-Sundrum brane phase"، ومعه إشعاع تثاقلي يمكن كشفه بسهولة بواسطة LISA. وكما هو مألوف في العديد من مثل هذه الانتقالات الطورية، يبدي طيف الأمواج التثاقلية قمة عند تواتر قريب من قياس الأفق المنزاح نحو الأحمر، الذي هو المقاس الذي تحدث عنده معظم الفعالية الكونية فوق البنفسجية، مع قانون قدرة عريض عند تواترات تفوق حركات على مقياس أصغر وتواترات تقل عن الحركة المتآكلة البطيئة.

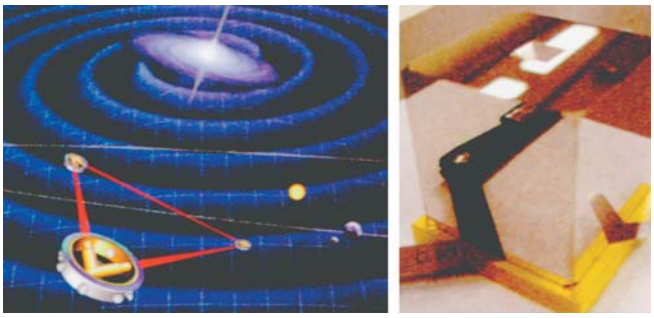
كون هادئ

يوحي وجود انتقالات طور كونية وبصماتها التثاقلية الممكنة بأن الكون الموغل في القدم ربما لم يكن المكان الهادئ الذي تُسلمِّ في العادة أنه كذلك. ففي جميع هذه الأمثلة للانتقالات الطورية، تنطلق أولاً الطاقة المحرَّرة في عملية الإعداد إلى حالة طاقية أخفض جديدة على هيئة حركة كبيرة ولا تتوازن حرارياً على هيئة حركات جسيماتية مجهرية إلا لاحقاً. وباستعمال الأمواج التثاقلية للاستدلال على درجة الحرارة الحرجة أو "نقطة الغليان" لمثل هذه الانتقالات وحرارتها الكامنة نستطيع أن ندرس العمليات الكونية التي يصعب قياسها بأي طريقة أخرى.

أما استطاعتنا فعلاً كشف الأمواج التثاقلية التي ولدتها مثل هذه الانتقالات الطورية فإنها تعتمد على تواتراتها وسعاتها. فتواتر هذه الأمواج يتحدد بالوقت الذي تستغرقه فقاعات نمطية من "المائع الكوني" حتى تتصادم، بينما تتعين سعاتها بحجم الفقاعات والسرعة التي تتصادم بها. وهكذا فإن كلاً من التواتر والسعة يتعينان بالانفصال النمطي للفقاعات، الذي يمكن تقديره من خلال مبادئ عامة في الترموديناميك من درجة الحرارة الحرجة والحرارة الكامنة بدون معرفة الفيزياء التفصيلية للانتقال.

وعلى سبيل المثال، نحن نتوقع أن تكبر التنوية الفقاعية bubble nucleation بسرعة أثناء تبرد الكون إلى ما دون درجة حرارة الانتقال الحرجة وأن تتوقف عندما يكون الفاصل بين الفقاعات بضعة آحاد في المئة على الأكثر من حجم الكون عند زمن الانتقال. ونشير إلى أن المردود الذي تحولت به الطاقة إلى أمواج تثاقلية، وهو الذي يعين سعة تلك الأمواج، قد تم تقديره بحوالي 1% أو أقل. إن هذا قد يبدو صغيراً جداً، ولكن ما دام الإشعاع التثاقلي ينزاح نحو الأحمر بفعل تمدد الفضاء (تماماً كما هو الحال بالنسبة للضوء العادي) فإن ذلك يوحي بإمكان وجود خلفية background إضافية من الأمواج التثاقلية ذات كثافة طاقية تقلُّ مئة مرة عن طاقة إشعاع الخلفية الكونية. وهذا يساوي كمية الضوء الصادر عن النجوم في الكون بأكمله.

يعتمد تواتر إشعاع الأمواج التثاقلية على لحظة حدوث الانتقال الطوري. فالطول الموجي يساوي الآن طوله الموجي الأصلي (أي حوالي 1% من حجم الكون حسبما كان وقتئذ) ممطوطاً stretched بمقدار ما اتسع به الكون منذئذ. وعلى سبيل المثال، يكون للانتقال الطوري الكهرضعيف "مقياسُ فقاعيٌّ bubble scale" يساوي مليمتراً واحداً تقريباً وهذا ما لا يختلف في الحقيقة كثيراً عن ذاك الذي للفقاعات داخل الغلاية في مطبخك–وبهذا يكون هو الطول الموجي النمطي للأمواج التثاقلية الضجيجية noisy لدى تشكّلها. وبمجرد أن يكون الطول الموجي قد انزاح نحو الأحمر حتى يومنا هذا، فإن الأطوال الموجية لهذه الأمواج التثاقلية يكون قد صابها المطّ إلى 100 مليون كيلومتر. وهذا يوافق تواتراً يقع



يمكن أن يكون لمقياس تداخل في الفضاء أطوال أذرع هائلة ويخضع لتداخل قليل من اهتزازات غير مرغوب فيها تصيب تجهيزات مماثلة على الأرض. إن جهازاً كهذا سيكون حساساً للأمواج التثاقلية ذات التواترات المنخفضة التي تولدها، على سبيل المثال، الثقوب السوداء الضخمة، والنجوم القزمة البيضاء الثنائية والانتقالات الطورية ذات المقياس التراوي tera-scale phase transitions في الكون الموغل في القدم. إن LISA، التي ستُطلق بعد عشر سنين من الآن، ستحتوي على مكعبات من سبيكة من (الذهب–البلاتين) تطفو داخل أجواف في ثلاث مركبات فضائية (أي إن القوى التثاقلية فقط هي المؤثرة عليها). وستقيس الليزرات الاختلافات تحت الذرية بين مواضع كل مكعب والمكعبات المماثلة في المركبتين الفضائيتين الأخريين اللتين تبعدان خمسة ملايين كيلومتر والتي تشكلت بمرور موجة ثقالية.

في مجال المليهرتز millihertz range، والأمر الذي يجب علينا أن نكشفهُ بمقياس تداخل مثل LISA (الشكل 5).

السيمفونية الكونية

يزودنا الكون الموغل في القدم، عند النظر إليه بدلالة الإشعاع التثاقلي، بمختبر فيزيائي ضخم يتمِّم مسرعات الجسيمات من أمثال LHC. ولسوف تكون الشروط في الكون الموغل في القدم عند طاقات TeV (تريليون إلكترون فولط) موافقة في الطاقة لتصادمات البروتون–بروتون الـ LHC، لكن المنظومة الكونية "تدوم" زمناً أطول بكثير من تصادمات LHC وتشمل جسيمات عددها أكثر بكثير. وفي الحقيقة، وبدلالة الانتقالات الطورية التي تتضمن المفعول التراكمي للعديد من الجسيمات، فإن الكون يقدم مختبراً يمكن أن يكون أفضل حتى من LHC!

بيد أن الانتقالات الطورية والتضخم لا يعتبران السبيلين الوحيدين لخلق خلفيات أمواج تثاقلية قوية. فالنظريات الفيزيائية التي تذهب أبعد من الموديل المعياري (وبالتحديد نظرية الأوتار) تتضمن بنى غريبة كالشرائح branes والأوتار strings إضافة إلى الجسيمات العادية والحقول. وفي المقاس المجهري للنوى الذرية، جرى سابقاً الاستدلال على سلوك شبه وتري في السبيل الذي تربط به القوة الكبيرة بعض البروتونات مع بعض. ولكن من الممكن وجود أوتار مستقرة لفترات أطول، تشبه السيكلونات الطويلة والنحيلة في الخلاء.

إن مثل هذه "الأوتار الكونية cosmic strings"– (وفي حال وجودها) يمكن أن تكون قد تشكَّلت بغزارة في الكون الموغل بالقدم كعيوب defects عند نهاية الانتقال الطوري التضخمي، ثم تمططت إلى حجم فلكي عبر التمدد الكوني، بحيث فقدت طاقة من خلال إصدار أمواج تثاقلية على الأغلب. وفي أحيان أخرى يمكن لها حتى أن تتكسَّر كالسياط وتصنع "صوتاً" متميزاً لموجة تثاقلية مطقطقة – وهو ظاهرة كان T. Damour من معهد Hautes للدراسات العلمية في باريس وكذلك A. Vilenkin من جامعة Tufts في الولايات المتحدة قد اقترحا مؤخراً تزويد مؤشرات دلالية على وجود الأوتار.

تتقيّد خواص الأوتار الكونية أصلاً بالأمواج التثاقلية التي تولدها. فعلى سبيل المثال، ينبغي أن تكون كتلة mass كل طول من الأمواج الكونية أقل من حوالي 10^{-9} في وحدات عديمة البعد dimensionless units، وإلا لكانت خلفيتها من الأمواج التثاقلية قد تم كشفها بحلول الوقت الحاضر. وفي الحقيقة، لا يأتي هذا القيد على خلفيات الأمواج التثاقلية من مقاييس التداخل بل يأتي من توقيت النبضات القادمة من نجوم نباضة بعيدة تقاس نبضاتها بالملي ثانية. ومثل دواليب تعديل السرعة الضخمة، فإن هذه النجوم النترونية الدوارة البعيدة تتباطأ بمعدل ثابت بحيث تستطيع أن تتنبأ بزمن وصول النبضات المستقر بدقة تبلغ حوالي مكروثانية في كل عقد من السنين. (هذه النبضات تستعمل أيضاً في اقتفاء التغيرات المدارية في المنظومة والناجمة عن الإشعاع التثاقلي (مع الإشارة إلى أن اكتشافها يقدم أفضل دليل على الأمواج التثاقلية حتى الآن وهو الذي أدى إلى منح جائزة نوبل للفيزياء في العام 1993 لكل من رُسّل هَلس R.Hulse وجوزيف تايلور J.Taylor.) إن الاستقرارية الظاهرية للإشارات القادمة من نجوم نباضة كهذه ستتعطل لو وُجدت خلفية من الأمواج التثاقلية الكونية. لكن عندما تنطلق LISA بعد عقد أو نحوه من الآن فإن القيود على الأوتار الكونية ستتحسن جداً ولربما سنستطيع بالفعل أن نكشف الضجيج التثاقلي منها.

إن كشف الأوتار الكونية من إشعاعها التثاقلي سيقدم لنا معلومات كثيرة حول كيفية ترابط الفيزياء الأساسية بعضها مع بعض. فالأوتار الكونية ذات مواصفات تعطى بدلالة كل من نظرية الأوتار ونظرية الحقول الكمومية، بحيث تبدي جوانباً لكليهما تبقى مخبأة في الجسيمات والحقول التي اكتشفت حتى الآن. إن ذلك مهم جداً مادام الفيزيائيون يسعون للبحث عن روابط متينة بين نظرية الأوتار والجسيمات والحقول المعروفة، وعن كيفية ارتباط هذه بنظرية كمومية للثقالة. ومع دخول نظرية الأوتار عقدها الثالث فإنها تكون أكثر أهمية من أي وقت مضى لربط هذه الأفكار الرياضياتية الجميلة مع المعطيات التجريبية الحقيقية. ولذلك، فإن العلم الجديد الخاص بالأمواج التثاقلية قد يكشف، بالإضافة إلى الدقة والخرائط التفصيلية لسلوك الثقب الأسود، بصمات فيزياء أساسية جديدة.

– **الكاتب**: **غريج ج. هوغان**–من قسمي الفيزياء والفلك في جامعة وشنطن،سيتِل، الولايات المتحدة.

– نشر هذا المقال في مجلة *Physics World, June 2007*، وتمّت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

فحم نظيف

ملخص

يُعدّ احتراق الفحم مولِّداً رئيساً لثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وقد انتابت استخداماته زيادة مثيرة في هذا القرن. وهنا يصف **Liang-Shih Fan** *و* **Fanxing Li** *كيف تساعد التقانات المبنية على الفيزياء في تنظيف فعله.*

الكلمات المفتاحية:

ثنائي أكسيد الكربون، احتراق الفحم، وقود أحفوري، احترار عالمي، تغويز الفحم.

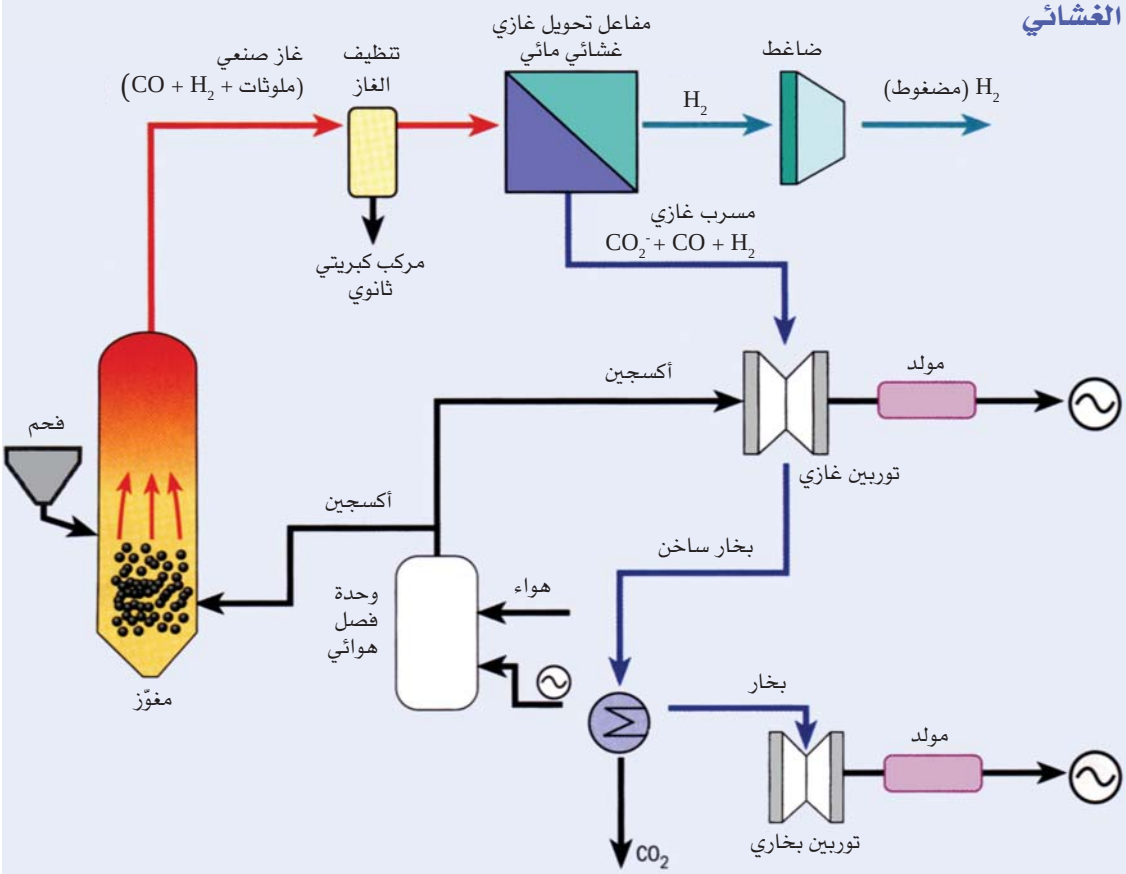
الأرقام مذهلة بالفعل، ففي العام 2003 بلغ استهلاك الطاقة في العالم 4.43×10^{20} J (أي ما يعادل 42 كوادريليون BTU)، لكن ما يتوقع استهلاكه في العام 2030 يفوق 7.6×10^{20} J، ويعود ذلك بشكل رئيس إلى تزايد الطلب على الطاقة في بعض الدول مثل الصين والهند. يشكل الوقود الأحفوري الآن –بما في ذلك النفط الخام والغاز الطبيعي والفحم– 85% من الإمدادات العالمية للطاقة، وما يتبقى توفره القدرة الكهربائية النووية ومصادر الطاقات المتجددة. غير أن تحويل مثل هذه المادة الكربونية إلى حرارة أو أشكال أخرى من الطاقة يطلق كميات ضخمة من ثنائي أكسيد الكربون –وهو واحد من غازات الدفيئة الرئيسة المسؤولة عن الاحترار العالمي.

تعتبر نسبة ثنائي أكسيد الكربون في الجو حالياً الأعلى مما كانت عليه خلال الـ 650000 سنة الماضية، حيث تزايدت بعد بدء الثورة الصناعية فحسب من حوالي 280 إلى 380 جزءاً من المليون. وينتشر الآن في الجو سبعة بلايين طن من الكربون في كل عام، مما يرفع تركيز CO_2 في الجو بمقدار 2 جزء من المليون. وبدون استخدام استراتيجيات فعالة في إدارة الكربون –مثل اصطياده وتخزينه– سنواجه ارتفاعات خطيرة في درجة حرارة العالم. يمكن للطاقة المتجددة مثل المصادر المائية والرياح والشمس والجيوحرارية أن تفيد، لكن تكاليفها العالية والقيود الجيولوجية و/أو الإمدادات المتقطعة تمنع وللأسف مثل هذه المصادر من المساهمة الفعالة في سد الحاجة الإجمالية لطلباتنا الطاقية. وبالفعل، توقَّع تقرير حديث صدر عن وزارة المعلومات الطاقية في الولايات المتحدة الأمريكية أنه في العام 2030 أكثر من حوالي 86% من الاستهلاك العالمي للطاقة ستلبّيه أنواع الوقود الأحفوري.

ورغم تأمينه 40% من الطاقة الكهربائية المنتجة حول العالم، فإن الفحم هو الوقود الأحفوري الأوفر الذي نملكه، وبخاصة في الصين والهند والولايات المتحدة، وهو أيضاً ذو التركيز الأكثف بمادة الكربون. وبالإضافة إلى الكهرباء، يمكن للفحم أن يتحول إلى هدروجين ووقود سائل وإلى مواد كيميائية مثل الإيثيلين والبروبيلين، موفراً بذلك اللبنات الأساسية لتشيكلة منوّعة من المنتجات البتروكيميائية.

وبالرغم من استخدام الفحم كمصدر للحرارة مدة تزيد عن 4000 عام وأنه كان القوة الدافعة الرئيسة للثورة الصناعية، فقد تقلَّص

الشكل 1: الفصل الغشائي



يمكن للأغشية المتطورة أن تساعد في زيادة الخرج الطاقي للفحم. ففي منظومة نموذجية جرى تطويرها في مخبر Oka Ridge الوطني في الولايات المتحدة، يتم إنتاج غاز صناعي في مغوّز gasifier تقليدي ومنظومة تنظيف ويرسل إلى مفاعل غشائي ذي مقصورتين: مقصورة تفاعل غاز صناعي، يتم فيها تفاعل أحادي أكسيد الكربون المنتج في الغاز الصنعي مع البخار لتشكيل الهدروجين وثنائي أكسيد الكربون، ومقصورة لتجميع الهدروجين. ويفصل المقصورتين غشاءٌ يسمح بعبور الهدروجين فقط، مما يؤدي إلى الحصول على هدروجين نقي جداً دون اللجوء إلى تقانات فصل تقليدية. ويحرق الغاز الناتج من مقصورة التفاعل (وهو المتشكل على الأغلب من ثنائي أكسيد الكربون بالإضافة إلى آثار من أحادي أكسيد الكربون والهدروجين) مع الأكسجين في منظومة تدوير مركبة لإنتاج الكهرباء.

دوره كمصدرٍ طاقي لصالح النفط الخام في منتصف القرن العشرين. لكن، ونظراً للارتفاع الحالي الحاد لأسعار النفط الخام والغاز الطبيعي، فقد عاد للفحم دوره المتنامي كخيار أوَّلي للوقود. ومن المرجح استمرارية هذا التوجه كون الاحتياطي العالمي من الفحم أكبر بأربع مرات من احتياطي النفط الخام. فالصين لوحدها آخذة ببناء محطتين كل أسبوع استطاعة كل منهما 500 ميغاواط بالاعتماد على الفحم.

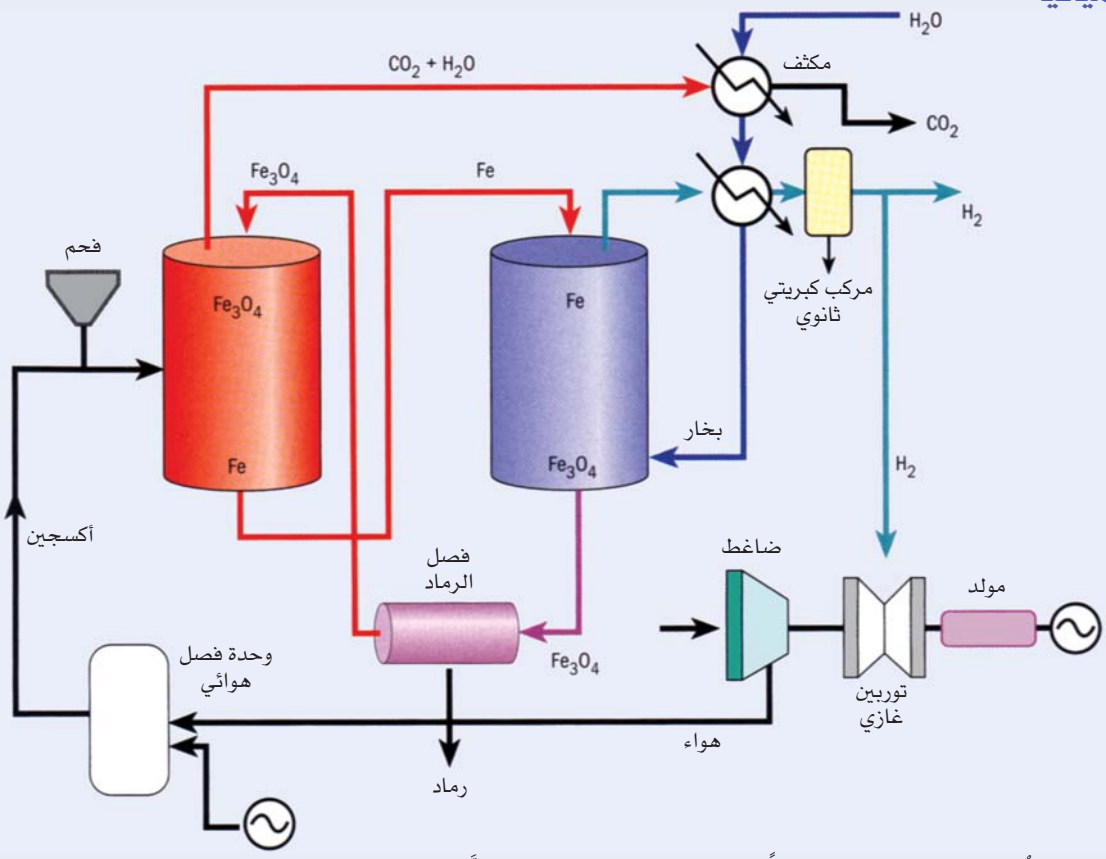
إن التركيز المرتفع للكربون في الفحم والتزايد المتوقع باستخدامه قد كشفا حاجة ملحة لإيجاد طرائق أكثر صداقة للبيئة لدى استخلاص الطاقة من الفحم. ويبدو أن الفيزيائيين يمتلكون دوراً أساسياً يلعبونه في مثل عمليات تحويل الفحم النظيفة.

احتراق الفحم

يتشكل الفحم من صخور رسوبية قابلة للاحتراق ويتكون بشكل رئيس من الكربون، ويشتمل أيضاً على الهدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت وآثار من معادن ثقيلة. ففي محطة طاقة تقليدية تعتمد على الفحم، تحترق داخل المرجل، وبوجود الهواء، جسيمات الفحم المسحوق ذات الأبعاد التي تقارب 100 ميكرومتر. تُستخلص الحرارة الناجمة عن الاحتراق لتدوير التوربينات البخارية التي تولِّد الكهرباء. غير أن الاحتراق يُولِّد أيضاً تياراً غازياً يشكل النتروجين حوالي 80% منه (يأتي النتروجين بشكل أساسي من الهواء الفاقد للأكسجين) و10-15% من ثنائي أكسيد الكربون وملوثات متنوعة تتضمن أكسيد النتروجين وأكسيد الكبريت والسيليسيوم والزرنيخ والزئبق، وتتم إزالتها عادة باستخدام تقانات الاستقصاء مثل الإرجاع بحفازات منتقاة أو الترسيب بالكهرباء الساكنة. والتحدي الأكبر هو إيجاد طريقة ذات تكلفة مناسبة لإزالة التركيز المنخفض من ثنائي أكسيد الكربون المرافق للتيار الغازي للوقود.

تتضمن عملية إدارة الكربون ثلاث مراحل أساسية: أولاً، فصل ثنائي أكسيد الكربون أو حجزه من التيار الغازي للوقود، ومن ثم ضغطه بحيث يمكن نقله على هيئة تيار غازي مرتفع الضغط، وأخيراً إيصاله إلى مواقع احتجاز أو خزن. وهنا، إما أن يضخ ضمن مكمن جيولوجي مناسب أو تتم تهيئته ليتفاعل مع معدن ما لتخزينه بشكل دائم (انظر Physics World, September 2006, pp 24-29). ويوجد حالياً في حقل سليبنر الغازي في النرويج محطة ذات طاقة تشغيلية كاملة لمعالجة الكربون، والطرائق المستخدمة فيها لنقل ثنائي أكسيد

الشكل 2: دورة كيميائية



إنها "عملية إعادة تشكيل العُرى الكيميائية للفحم مباشرةً والحائزة على براءة اختراع ومطوَّرة في جامعة ولاية أوهايو مهمتها تحويل الفحم إلى هدروجين عبر سلسلة تفاعلات كيميائية. ويتطلب ذلك وجود مفاعلين اثنين: مفاعل وقود (الأحمر) ومفاعل هدروجيني (الأزرق). يحتوي الأول على جسيمات من أكسيد الحديد (Fe_3O_4) مفصلة بشكل خاص لتخدم كوسط تفاعلي، يتفاعل مع الفحم لينتج الحديد المعدني وتيار من بخار متدفق مكون تحديداً من ثنائي أكسيد الكربون والماء وآثار traces من الملوثات. وبنتيجة ذلك، يمكن الحصول بسهولة على احتجاز تيار CO_2 من خلال تكثيف H_2O في تيار غازي متدفق. إن جسيمات الحديد المرجعة من مفاعل الوقود ثم تفاعلها مع بخار في مفاعل الهدروجين، ينتج الهدروجين في الوقت الذي يؤكسد جسيمات الحديد ثانية إلى Fe_3O_4 لإعادة استخدامها في مفاعل الوقود.

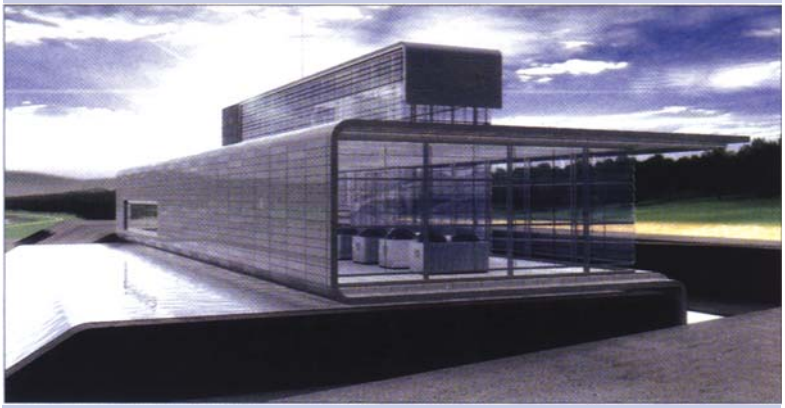
الكربون واحتجازه من الغاز الطبيعي قابلة للتطبيق في أي محطة كهرباء مبنية على الوقود الأحفوري. ولكن أكثر المهمات صعوبة وأكبرها تكلفة هي عملياً مهمة أسْر ثنائي أكسيد الكربون التي تتطلب من ناحية أخرى طرائق مختلفة نوعاً ما.

يتم حالياً تطوير عدة تقانات لاصطياد ثنائي أكسيد الكربون من الفحم. وتتمثل إحداها المثبتة صناعياً (وتمَّ تبنيّها في سليبنر) بحل ثنائي أكسيد الكربون المنخفض التركيز والموجود في غاز الاحتراق في مذيب يدعى أحادي إيثانولأمين (monoenthanolamine MEA) عند درجة الحرارة 38 درجة سلزية ومن ثم إطلاقه من المذيب إلى وحدة أخرى ورفع درجة حرارته لتصل إلى 150 درجة سلزية. ونتيجة لذلك يكون قد تم فصل غاز ثنائي أكسيد الكربون عالي النقاوة عن التيار الغازي للوقود وتهيئته للاحتجاز.

تستهلك عملية MEA حوالي 30% من الطاقة الكلية المتولِّدة في المحطة (ويعود ذلك بشكل أساسي إلى الكمية الكبيرة من البخار ذي الدرجة الحرارية العالية اللازمة لتسخين المذيب)، أي ما يعادل 70-80% من التكلفة الكلية لمعالجة الكربون –حوالي 60 دولاراً للطن الواحد. ولتخفيف هذه الغرامة الطاقية، اقترح الباحثون في شركة الطاقة، ALSTOM، عملية بديلة هي "الأمونيا المثلّجة chilled ammonia" التي تستخدم طمي أحادي كربونات وثنائي كربونات الأمونيا لحلّ ثنائي أكسيد الكربون. وتقوم ALSTOM حالياً بالعمل مع شركة أمريكية لتشغيل وحدة تجريبية وقودها من الفحم بطاقة 5 ميغاواط وذلك من أجل إثبات هذه التقنية. وقد حقق باحثون آخرون حديثاً، من بينهم أحد المشاركين في هذا المقال (LSF)، أسراً اقتصادياً لـ CO_2 باستخدام مادة ماصّة عالية درجة الحرارة وفعّالة مثل الحجر الكلسي وكربونات البوتاسيوم وسيليكات الليثيوم.

هناك طريقة أخرى لإدارة ثنائي أكسيد الكربون الناتج من احتراق الفحم تتمثل في استخدام الأكسجين المخصّب enriched Oxygen بدلاً من الهواء في عملية الاحتراق. وبسبب غياب النتروجين، تعطي عملية الوقود الأكسجيني oxyfuel هذه تياراً غازٍ وقودي ذا تركيز عالٍ من ثنائي أكسيد الكربون الجاهز للاحتجاز. والجانب السلبي في هذه المقاربة هو أنها تحتاج إلى وحدة فصل هوائية مركزة لتوليد الأكسجين، وتستهلك هذه الوحدة حوالي 28% من الإنتاج الطاقي الكلي للمحطة. وقد تم اختبار هذه التقانة من قبل شركة بابكوك وويلكوكس في أوهايو بالولايات المتحدة، على وحدة تجريبية

الشكل 3: محطة الجيل المستقبلي



تحاول محطة الجيل المستقبلي ذات البليون دولار أمريكي في الولايات المتحدة إثبات جدوى إنتاج الكهرباء والهدروجين من الفحم إضافة لأسر وخزن CO_2 الناتج. وإذا نجحت، فستكون محطة الوقود الأحفوري العالمية الأولى ذات الانبعاث الصفري.

طاقتها 1.5 ميغاواط، كما أنها تعمل حالياً في أليانس في أوهايو على محطة طاقتها 30 ميغاواط. وبالاشتراك مع شركة SaskPower وAir liquid، تجري الآن دراسة جدوى محطة قدرة كهربائية تجارية تقترب فيها إصدارات ثنائي أكسيد الكربون من الصفر وذلك باستخدام تقنية احتراق الوقود الأكسجيني.

ولكن بشكل عام، تكون عملية أسر الكربون الناتج من احتراق الفحم عملية مكثفة الطاقة وباهظة الكلفة. ويعود السبب في ذلك إلى أن الاحتراق يستهلك كميات كبيرة من أكسجين الهواء لإحداث أكسدة تامة للكربون ورفع كمية الحرارة المنطلقة، الأمر الذي يتطلب فصل المحتوى النتروجيني من الهواء سواء قبل أو بعد الاحتراق. وهناك بديل أكثر جاذبية من وجهة نظر إدارة الطاقة وهو تحويل الفحم إلى غاز بحيث يتأكسد جزئياً، مولداً بذلك وقوداً وفي الوقت الذي يستهلك فيه كمية أقل من الأكسجين.

تحويل الفحم إلى غاز

يتطلب تحويل الفحم إلى غاز بشكل نمطيٍّ استخدام بخار و/أو أكسجين ذي درجة حرارة عالية وذلك للحصول على خليط من أحادي أكسيد الكربون والهدروجين يسمى الغاز الصناعي syngas، إضافة إلى ملوثات مثل كبريت الهدروجين والأمونيا والزئبق. وكذلك يعرف الغاز الصناعي باسم غاز البلدة الذي جرى إنتاجه أساساً باستخدام مخططات تصنيع قديمة واستعمل في الإنارة والطبخ في القرن التاسع عشر. وقد تم استبداله لاحقاً بالغاز الطبيعي، الذي يحتوي على قيمة حرارية أعلى بكثير. وخلال النصف الأخير من القرن العشرين، بدأت عدة دول بتحويل الفحم إلى غاز لتوليد الكهرباء إضافة إلى إنتاج الوقود السائل.

ولتوليد الكهرباء، يتم أولاً تنقية الغاز الصناعي الخام ومن ثم إرساله عبر منظومة دورة مركبة يتحقق فيها توليد كهرباء إضافية من الحرارة التي تنفثها جملة توربينية غازية. وهذه هي عملية "دورة مركبة لتغويز متكامل integrated gasification combined cycle (IGCC)"، قد يكون مردودها أكبر من 45%- أي أنها أفضل بنسبة 10% من محطة فحم تقليدية. بالإضافة إلى ذلك يمكنها تخفيض كمية ثنائي أكسيد الكربون المنبعث بقدر مهم بفضل إمكانية تحويل أحادي أكسيد الكربون في تيار الغاز الصناعي إلى الهدروجين لاحقاً عبر تفاعل التحوّل الغازي المائي (WGS) التالي: $CO + H2O \rightarrow CO_2 + H_2$. وهكذا يحوي التيار الغازي تركيزاً عالياً من ثنائي أكسيد الكربون (لغاية 60%)، والذي يمكن اصطياده بسهولة للحصول على هدروجين نقي جداً. فيمكن عندئذ استخدام الهدروجين، بدلاً من الغاز الصناعي، لتوليد الكهرباء بوساطة منظومة دورة مركبة دون إصدار ثنائي أكسيد الكربون. ويقدر بأن اصطياد ثنائي أكسيد الكربون بهذه الطريقة سيزيد تكلفة توليد الكهرباء من منظومة IGCC بنسبة 25% فحسب.

تعمل حالياً عدة مشاريع تغويز للفحم، بما في ذلك محطة بولك IGCC لكهرباء تامبا بطاقة 313 ميغاواط في فلوريدا، ومشروع واباش ريفر للتغذية بالتغويز IGCC بطاقة 292 ميغاواط في إنديانا، وكلتاهما في الولايات المتحدة، ومحطة نيون بغنوم لإعادة التغذية الكهربائية IGCC بطاقة 253 ميغاواط في Buggenum، بهولندا. وبالإضافة إلى توليد الكهرباء والهدروجين، يمكن استخدام الغاز الصناعي وقوداً لتصنيع المواد الكيميائية والوقود السائل كالمازوت والبنزين. وتتمثل الجوانب السلبية في مشاريع التغويز هذه في تعقيداتها وتكاليفها، وسبب ذلك على سبيل المثال أنها تتطلب وحدة فصل هوائي (ولو أنها تتطلب طاقة أقل من تقانات اصطياد الكربون التقليدية). لكن المقاربات الجديدة لتغويز الفحم المعتمدة على الفصل الغشائي أو العُرى الكيميائية ستخفف التكلفة بشكل ملموس عملياً لاصطياد ثنائي أكسيد الكربون.

الأغشية والعُرى

خلافاً لعمليات التغويز التقليدية، التي اعتُمدت بشكل واسع في محطات الطاقة الكهربائية الكبيرة، ما تزال تقانات الفصل الغشائي والعُرى الكيميائية حالياً في الإطار المخبري أو في مرحلة الريادة. ففي التقانة الأولى تستخدم الأغشية اللاعضوية والبوليميرية أو الهجينة لفصل أصناف كيميائية مختارة بشكل فعال من مزيج غازي، وبشكل مفضل عند درجات حرارة عالية لتجنب الضياع الحراري.

أظهر في العام الماضي كل من Gary Stiegel وMassood Ramezan العاملَين في مخبر تقنية الطاقة الوطني في الولايات المتحدة أن تقانات الأغشية تتمتع بإمكانية تخفيض تكلفة إنتاج الهدروجين بأكثر من 25% وذلك بوساطة تغويز الفحم. وقد اعتمد مخططهم على غشاء مسامي طُوِّر في مخبر Oak Ridge الوطني، حيث أمكن انتزاع الهدروجين وتعزيز تفاعل التحول الغازي المائي

(الشكل 1) في آن معاً. ويمكن لتقانات الأغشية أن تستخدم أيضاً لتخفيض تركيز كبريت الهدروجين إلى مستوى أجزاء من مليون جزء لصالح تطبيقات خلايا الوقود fuel-cell. وتعود تحديات استخدام الأغشية إلى حياكة نفوذ المواد وانتقائيتها، وبخاصة عند درجات الحرارة العالية، وإلى إيجاد الطرائق لتخفيف تكاليفها وتحسين موثوقيتها.

ومن ناحية أخرى، تُبَسِّط عمليات العُرى الكيميائية المخطط الإجمالي لتحويل الكربون carbon-conversion وتُخفِّض الملوثات في الوقت نفسه. وبدلاً من تحويل الفحم مباشرة إلى حرارة أو هدروجين أو غاز صناعي، تتضمن عملية العُرى الكيميائية سلسلة تفاعلات تحوِّل الفحم بمساعدة وسطاء intermediates كيميائية. وعندما يحدث مخطط تفاعلي كهذا في وسط ذاتي الديمومة، ينخفض مجمل الضياع الطاقي في العملية.

لقد جرى اقتراح استخدام عملية احتراق الفحم لتوليد الكهرباء قبل 25 عاماً تقريباً. ومنذ ذلك التاريخ، جرت دراسة هذه التقانة بشكل موسّع على عدة أصناف من الوقود بما في ذلك الغاز الطبيعي والفحم ومشتقات التصنيع الغازي وذلك لصالح الاحتراق والتصنيع الغازي كليهما. وبشكل خاص، تستخدم هذه التقنية حالياً لتحويل الفحم إلى هدروجين في "عملية إعادة تشكيل العُرى الكيميائية للفحم مباشرة" التي طوَّرها المؤلفان الحاليان لهذه المقالة في جامعة ولاية أوهايو والحائزة على براءة اختراع (الشكل 2).

إن الجمع بين قابلية فصل CO_2 المتكامل بالعُرى الكيميائية ومردوده الكبير في التحويل الطاقي (أكثر من 80%، وهو أكبر بكثير من 60-70% في عمليات التغويز التقليدية)، يجعل من هذا الفصل تقانة واعدة لتحويل نظيف للفحم clean coal conversion. إن هذه التقانة، مجتمعة مع عمليات قريبة منها لتحويل الغاز الصناعي وإنتاج الوقود السائل، توضّحت سلفاً في وحدة مخبرية طاقتها 2.5 كيلوواط في جامعة ولاية أوهايو، وكذلك في بيان تجريبي ذي مقياس ريادي يعمل بطاقة 25 كيلوواط.

إن تطوير عمليات ناجعة واقتصادية
وخالية من الملوثات لتحويل الوقود الأحفوري
يمثِّل تحدِّياً
لجميع الاختصاصات العلمية

إن مفتاح نجاح مثل تقانة العُرى الكيميائية هذه يكمن في تطوير وسط تفاعلي مديد جداً وعالي النشاط. فعلى سبيل المثال، ولدى تَطوير جسيمات أكسيد الحديد من أجل مشروع أوهايو، بحيث تَسْمحُ للتفاعل بأن يكون ذاتي الاكتفاء، كان لا بُدَّ أنْ نأخذ في الحسبان عواملَ مثل تكرارية التدوير recyclibility والتفاعلية reactivity والمورفولوجيا morphology وقوّة الانضغاط. علاوة على ذلك، فإن دوران كمية كبيرة من المادّة الصلبة في منظومة مفاعلٍ مركّب تحت درجات حرارة وضغوط عالية يتطلب تقنيات متقدمة وغير جائرة لأغراض الرصد والتحكُّم. وتتضمن مثل هذه التقانات تصويراً طبقياً حجمياً volume tomography للسعة الكهربائية، على غرار ما طوّره المؤلف الحالي (LSF) والكيميائي والمهندس الكهربائي الفيزيائي Warsi Warsito في جامعة ولاية أوهايو.

التحدي الفيزيائي

إن تحويل الفحم إلى هدروجين ووقود سائل ومواد كيميائية وكهرباء يتطلب مقاربة راقية متعددة الاختصاصات. وتشمل هذه المقاربة، على سبيل المثال، التفاعل الكيميائي وهندسة المفاعل وعلم المواد وهندستها والتقانة النانوية وتقانة الجسيمات وتقانة الأغشية والتدفقات المتعددة الأطوار وتصميم المنظومة والاستمثال optimization. إن جميع هذه المجالات معقدة وأساسية وتطبيقية وكل منها وثيق الصلة بالفيزياء.

وهناك مثال جيد على كيفية مساهمة الفيزيائيين في عمليات تحويل نظيفة ألا وهو العمل الجديد لـ Vasile Iusan من جامعة بتروزاني في رومانيا، الذي استخدم ممالات gradients حقل مغنطيسي مركب لإزالة الكبريت من الفحم. ويمكن لهذه العملية أن تخفض تكاليف التحكم بالملوثات مقارنة بمقاربات الهندسة الكيميائية التقليدية. ومع تزايد الطلبات على الطاقة وأسعار النفط، إضافة إلى الحاجة الملحة لتخفيف إصداراتنا من ثنائي أكسيد الكربون، يجب على مثل هذه التنميات تحسين كفاءة وجدوى الكلفة لعمليات تحويل الفحم بشكل كبير. وبشكل خاص، تريد وزارة الطاقة الأمريكية وبالتحالف مع عدة شركات دولية حالياً بناء محطة وقود أحفوري معدوم الإصدار –تسمى جيل المستقبل FutureGen– قادرة على احتجاز ثنائي أكسيد الكربون وإنتاج الهدروجين في آن معاً.

ونظراً لكون مجال تقانة الفحم النظيف يشتمل على عدة اختصاصات وهو ذو وجوه متعدّدة جداً، فإن دور الفيزيائيين يَمتدُّ إلى ما وراء المجالات التقليدية، كالمواد والتجهيزات، ليشمل تكاملَ المنظومة وتحقيقَ استمثالها، وطرائق تحويل وقود أحفوري مبتكرة أيضاً. وإن تطوير عمليات تحويل وقود أحفوري خالية من الملوثات وذات جدوى اقتصادية ما يزال يشكّل تحدياً لكل العلماء في مجالات عديدة. وإن تأثير النجاح في هذا الحقل سَيَكُونُ ضخماً، والفرصةُ سانحة الآن.

المؤلف: ل. فان و ف. لي.

نشر هذا المقال في مجلة Physics World, July 2007، وتمّت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

فجر جديد للقدرة الكهربائية النووية

ملخص

على الرغم من أن صورتها تبدو غير صديقة للبيئة، تعود القدرة الكهربائية النووية بثبات إلى أجندة الطاقة في العالم، ويعود الفضل في ذلك إلى ضرورة الحدّ من إصدارات ثنائي أكسيد الكربون. يصف P. Norman وA. Worrel وK. Hesketh كيف سيكون الجيل القادم من محطات القدرة الكهربائية النووية أنظف وأكثر كفاءة مما كانت عليه على الإطلاق.

الكلمات المفتاحية: احترار عالمي، قدرة كهربائية نووية، انبعاثات ثاني اكسيد الكربون، ملوثات، مفاعلات.

يتجذّر الاحترار العالمي في واحد من أكثر الأفكار أساسية للفيزياء النيوتنية، ومفاده: لا يوجد فعل بدون ردّ فعل. وبصياغة أبسط، إننا لا نستطيع الاستمرار في ضخ ثنائي أكسيد الكربون والملوثات الأخرى الناتجة من حرق الوقود الأحفوري إلى داخل بيئتنا بدون معاناة تداعيات ذلك. لقد أوضح علماء البيئة هذه المشكلة منذ وقت قصير، لكنّ الحكومات لم تعط هذه المسألة حقها إلا الآن. إن تغير المناخ الذي يصنعه الإنسان أحد أعظم الأخطار التي يواجهها كوكبنا، ويُقدَّر بأنه مسؤول حتى هذه اللحظة عن موت ما يزيد عن 160000 شخص على امتداد العالم كل سنة نتيجة موجات الحرّ، والفيضانات وتلف المحاصيل.

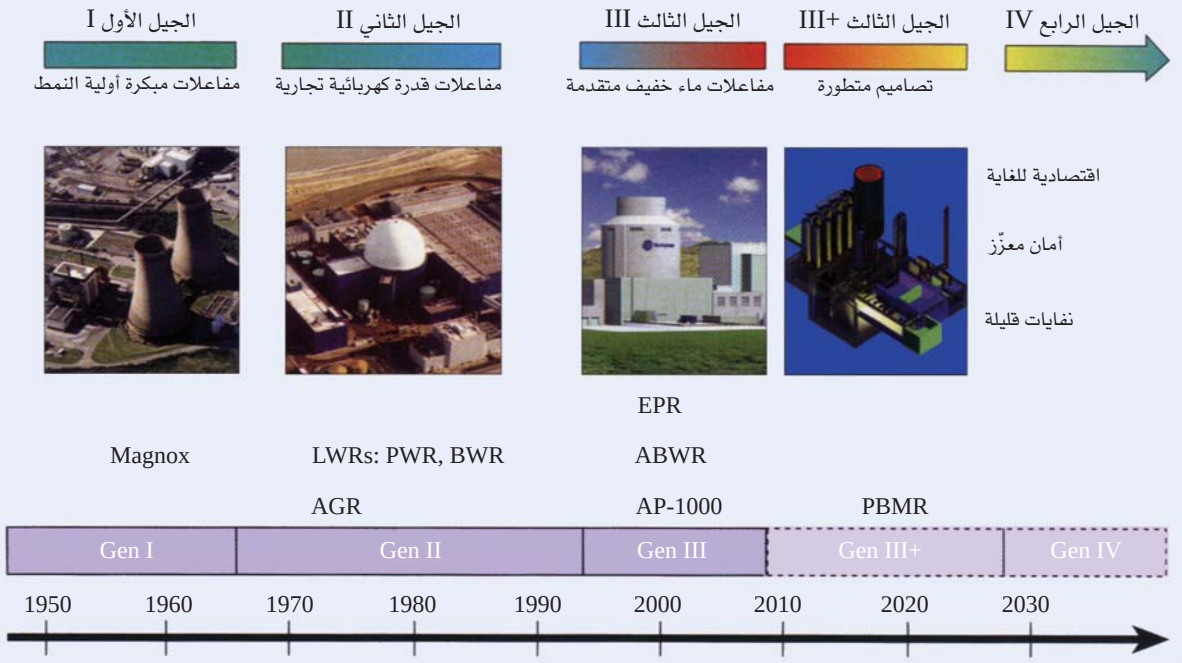
يشرف ب. نورمان على دراسة الماجستير بعد الدراسة الجامعية الأولى في فيزياء المفاعلات النووية وتقانتها في جامعة برمنجهام بالمملكة المتحدة. بريده الإلكتروني هو pi.norman@bham.ac.uk.

أما أ. وورال فإنه يعمل مع ك. هيسكت في منظمة Nexia Solutions في المملكة المتحدة.

ومع ذلك فإننا نواجه أحجية في استهداف الاحترار الحراري. إذ يزودنا الوقود الأحفوري بما لا يقل عن 85% من احتياجاتنا من الطاقة الكلية، بدءاً من الكهرباء التي تمدُّ بيوتنا وانتهاءً بإنتاج البضائع المصنعة وإمدادات أقواتنا. يمكن لمصادر الطاقات المتجددة، مثل تلك التي تستخدم الشمس، والرياح والأمواج أن تساعد في إنقاص اعتمادنا على الوقود الأحفوري، غير أن طبيعتها غير الموثوقة ونتاجها output المتدني في الغالب إنما يعني أنها لا تستطيع تزويدنا إلا بجزء يسير من حلّ أزمة الطاقة. وفي الواقع، إن معظم أشكال الطاقة المتجددة لها وقع بيئي مؤثر في حد ذاتها ومثال ذلك تغيير تضاريس المشهد الأرضي أو تعريض الحياة البرية للخطر. وكذلك تتطلب وضع محطات الطاقة الأحفورية على أهبة الاستعداد إلى حين انخفاض خرج مصادر الطاقة المتجددة، مثال تقاعس التوربينات الهوائية عن توليد الطاقة في الظروف الساكنة.

ولحسن الحظ، يوجد خيار آخر لمعالجة أزمة الطاقة التي تلوح في الأفق: إنه القدرة الكهربائية النووية. فعلى المستوى الذري، تنطلق في حادثة انشطار نووي طاقة حرارية تقارب مئتا ميغا فولط (200 MeV)، بالمقارنة مع قليل من الإلكترون فولط (eV) الذي يتولّد في كل مرة تتكسّر فيها رابطة جزيئة هيدروكربونية عند حرق الوقود المعتمد على الكربون. ونتيجة لذلك، يمكن لحبيبة وقود واحدة لا يتجاوز طولها سنتمتراً واحداً أن تنتج من مفاعل نووي كمية الكهرباء نفسها التي تنتج عن 1.5 طن من الفحم. يضاف إلى ذلك أن الطاقة النووية تنتج كميات ضئيلة من النفايات، على عكس الحجوم الضخمة من الملوّثات التي تضخ بشكل غير مراقب إلى البيئة عند حرق الوقود الأحفوري. وبالرغم من كون النفايات النووية أكثر سمّية بكثير من هذه الملوثات، فإن بالإمكان على الأقل احتواءها تماماً تحت السيطرة.

لقد ظهرت القدرة الكهربائية النووية إلى الواجهة في أواخر الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي، مع بناء عدّة محطات للقدرة الكهربائية النووية حول العالم. غير أن المخاطر البيئية المرافقة للنفايات النووية بقيت دائماً مثار جدل ضد القدرة الكهربائية النووية.



لعبة التوليد: لقد تطور تصميم المفاعلات منذ افتتاح محطة الطاقة النووية الأولى في المملكة المتحدة في العام 1956 تطوراً واسعاً. فمع كون التمييز بين التصميمات المختلفة ليس واضحاً تماماً، فإن وزارة الطاقة النووية (DOE) في الولايات المتحدة (US) قد صنفت المفاعلات في أربعة أجيال عندما بدأت النظر ببناء مفاعلات جديدة في أواسط التسعينيات من القرن الماضي وأواخرها. وهنا أطلقت على منشآت الماغنوكس المبكرة، التي مازال العديد منها قيد العمل، اسم الجيل الأول I، في حين سمّيت المفاعلات التي تلتها في السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي –أي مفاعلات الماء الخفيف (LWRs)– الجيل الثاني II. إن هذين الجيلين يؤلفان معظم محطات الطاقة النووية الموجودة في العالم اليوم، ويحتمل بناء كثير منها مستقبلاً. أما تصاميم الجيل الثالث III، التي تشبه مفاعلات الجيل الثاني باستثناء احتوائها ملامح أمان معززة، فإنها جاهزة للبناء، مع أن بعض البلدان تتابع تطوير تصاميم أكثر تقدماً من هذا الجيل "الجيل الثالث المحسّن III". أما تصاميم الجيل الرابع للمدى الأطول IV فإنها ما تزال في مراحلها المبكرة –وقد اختارت وزارة الطاقة DOE ستة تصاميم منها للموازنة بينها، وهي تبشر بطاقة نووية أكثر نظافة وأفضل كلفة من الناحية الاقتصادية بالمقارنة مع سابقاتها وذلك بحلول منتصف القرن الحالي.

وإذا ما أضيف إلى ذلك حادثة تشيرنوبل 1986 وقوى السوق في قطاع الطاقة نجد أن الصناعة النووية انتابها هبوط في الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي. ولكن الانتعاش عاد الآن على ما يبدو. ففي مايو (أيار)، على سبيل المثال أعلنت المملكة المتحدة عن نيتها بناء أسطول جديد من محطات القدرة الكهربائية النووية عبر البلاد كلها، وكذلك فعلت بضعة بلاد أخرى، بما فيها الصين وفنلندة وفرنسا والهند وروسيا، فأعلنت جميعها أو حتى بدأ بعضها العمل في بناء مفاعلات جديدة.

ليست الحاجة الملحّة لمحاربة تغير المناخ وحدها هي التي تُزكي هذا الانتعاش النووي، بل وأيضاً الحُجج الاقتصادية المبنية على الارتفاعات التصاعدية المستمرة لأسعار الغاز والنفط، بالإضافة إلى الاهتمامات الاستراتيجية لضمان حصول كل بلد على إمداد مستقر من الطاقة قد شكلت عوامل رئيسة أيضاً. وفي الواقع، إن هذه الحجج الاقتصادية والاستراتيجية هي من الشدة بحيث يبدو من المستحيل الآن رؤية حل فعلي لاحتياجاتنا من الطاقة بدون أن تلعب القدرة الكهربائية النووية دوراً مهماً مرة ثانية. وحيث توجد قدرة كهربائية نووية يوجد فيزيائيون.

تاريخ من التصميم

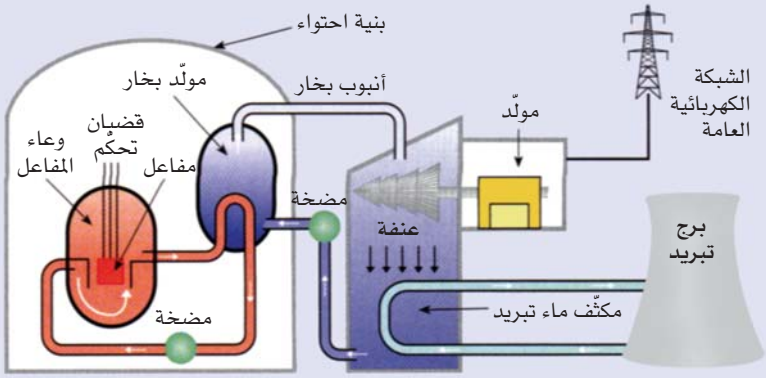
تجري تغذية المفاعلات النووية بالطاقة المتحررة من الانشطارات النووية. وتتضمن هذه العملية قذف نوى اليورانيوم-235 بالنترونات، فتقلبها إلى نوى يورانيوم-236 مع طاقة إضافية لتصبح مشوهة distoted فتنفصم إلى شدفتين انشطاريتين ثقيلتين ومعهما نترونين

استعراض سريع: القدرة الكهربائية النووية

- افتتحت أول محطة للقدرة الكهربائية النووية في المملكة المتحدة عام 1956، ويوجد الآن أكثر من 400 مفاعل قيد التشغيل على امتداد العالم.
- معظم هذه المنشآت مفاعلات ماء خفيف، يُستعمل الماء فيها وسيلة لتبريد المفاعل (إذ تُستخلص طاقة لإدارة العنفات) ولتهدئة النترونات المنطلقة أثناء الانشطار.
- يمكن للقدرة الكهربائية النووية أن تلعب دوراً مهماً في مكافحة الاحترار العالمي، لكونها تنتج كميات ضخمة من الطاقة بدون أية غازات دفيئة.
- وبالرغم من أن القدرة الكهربائية النووية تعرقلها الصورة المطبوعة لمشكلة النفايات المشعة، فقد عادت مجدداً إلى أجندة البحث عن حل في عدة بلدان ومن ضمنها المملكة المتحدة.
- سيكون الجيل القادم من المفاعلات النووية أكثر أماناً وأفضل اقتصاداً من التصميمات الحالية وستولّد كذلك نفايات أقل.

أو ثلاثة نترونات إضافية من كل حادثة انشطار. وينطلق ذلك الفرق الكتلوي الصغير بين هذه النواتج النهائية والنترون الأولي ونواة اليورانيوم-235 على شكل طاقة وفق معادلة آينشتاين الشهيرة.

ينتهي معظم هذه الطاقة على شكل طاقة حركية لنواتج الانشطار، الأمر الذي يولّد كمية كبيرة من الحرارة عبر تصادمها مع الذرّات المحيطة بها. فتحمل هذه الحرارة إلى بعيد عن طريق مبرّد مثل ثنائي أكسيد الكربون أو الماء (الذي يشكل دارة المبرد الرئيسة) لتستعمل في غلايات حرارية في دارة ثانوية تولّد بخاراً يدير بدوره عنفة ومولّداً (كهربائياً) –تماماً كما هو حال محطات الطاقة المعتمدة على الوقود الأحفوري. هذا وسيهرب بعض النترونات المنطلقة إلى خارج المفاعل بينما يمتص البعض الآخر، غير أن قرابة نصفها سيشطر نوى يورانيوم أخرى، قادحاً بذلك انشطاراً تسلسلياً. وكي نبقي هذه العملية تحت السيطرة فإن معظم المفاعلات يتطلب وجود مهدّئ –يكون عادة من الغرافيت أو الماء لأن ذراتهما الخفيفة تكون ماصات جيدة لطاقة النترونات الحركية.



القدرة من النواة: يبدأ توليد القدرة الكهربائية النووية من لبّ المفاعل، حيث تطلق النترونات على نوى اليورانيوم-235 مسببة انشطارها إلى نوى أخف منها إضافة إلى نترونات أخرى. ويجب تبطئة هذه النترونات بواسطة المهدئ لتكون قادرة على البدء بتفككات انشطار جديدة مبقية على تفاعل تسلسلي. وفي حالة مفاعل الماء المضغوط (المبين في الشكل)، يستخدم الماء مهدئاً، ولكن الغرافيت أو الماء الثقيل يستعملان في تصاميم أخرى. وتمكّننا "قضبان التحكّم" الماصة للنترونات، التي نستطيع إدخالها إلى لبّ المفاعل وفق الرغبة، من توهين التفاعل أو إغلاقه. وتسبب التصادمات بين نواتج الانشطار والذرات المحيطة بها حرارة يمكن أن يستخلصها المبرد (الماء في حالة مفاعل الماء المضغوط) الدائر في اللب مولداً بخاراً في دارة ثانوية. فيدير البخار العنفة والمولّد، اللذين يوصلان بالشبكة الكهربائية العامة.

لقد تم في العام 1956 افتتاح أول محطة طاقة نووية تجارية في العالم، وذلك في المملكة المتحدة عند موقع سيلافيلد Sellafield على شاطئ كمبريان Cumbrian، واستمرت هذه المحطة تعمل قرابة نصف قرن قبل إغلاقها في العام 2003. أما مفاعلات كالدر هول Calder Hall الأربعة فقد كانت من النمط ماغنوكس Magnox، الذي يعني استعمال خليطة المغنيزيوم "اللاتأكسدية" في تغليف قضبان وقود اليورانيوم. وإلى جانب استبقائه منتجات الانشطار الطيارة مثل السيزيوم والسترونسيوم، فإن كساء الماغنوكس هذا يكون ذا مقطع امتصاص عرضي منخفض متدنٍّ للنترونات، وبالتالي فهو يقلل من "الامتصاص الطفيلي pararitic absorption" للنترونات. سيبطئ المهدئ المصنوع من الغرافيت النترونات نتيجة الانتشار المرن لأن قضبان الوقود والغرافيت تحتوي على ثقوب تسمح بجريان غاز التبريد فيصبح توزع طاقة النترونات الحركية مقارباً لتوزعها في حالة التوازن الحراري مع الغرافيت. ولما كانت النترونات عند مثل هذه الطاقات تتصف باحتمال تفاعل عال مع الذرات، فإن مفاعلات الماغنوكس تستطيع استخدام وقود يحتوي على مستويات طبيعية من اليورانيوم-235 (قرابة 0,7%) بحيث تتفادى الحاجة إلى"إغناء" اليورانيوم أكثر من الطبيعي، وتكاليف ذلك.

كان لدى المملكة المتحدة في أوائل السبعينيات من القرن الماضي 11 محطة توليد نووية من نوع ماغنوكس (تضم ما مجموعه 26 مفاعلاً) منها ما هو عامل بالكامل أو في مراحل مختلفة من البناء أو التخطيط. وكذلك صدّرت المملكة المتحدة تصميم ماغنوكس –الذي اصطلح تسميته الجيل الأول –I إلى اليابان وإيطاليا، فأنشأت كل منهما محطة واحدة. غير أنه في رهان على زيادة نسبة خرج الطاقة الكهربائية إلى خرج الطاقة الحرارية عمد مجلس توليد الكهرباء المركزي عندئذ إلى إدخال مفهوم المفاعل المتقدم المبرّد بالغاز (AGR) الذي يدعى اليوم تصميم "الجيل الثاني II". كان الافتتاح الأول، أواسط السبعينيات من القرن الماضي، لسبع محطات AGR (14 مفاعلاً) في المملكة المتحدة وهي مازالت عاملة حتى اليوم.

إن المهدّئ moderator (الغرافيت) والمبرّد cooler (ثنائي أكسيد الكربون) هما نفسهما المستعملان في كلا التصميمين ماغنوكس وGR. غير أن مفاعلات AGR ذات مردود حراري أعلى بسبب تشغيلها عند درجة حرارة تقارب 600 سيلزية مقابل الدرجة 370 سيلزية في وحدة الماغنوكس. وبما أن اليورانيوم يتحول في درجات الحرارة العالية إلى طور بلوري يجعله يتمدّد، (الأمر قد يضعف الكساء) فإن مفاعلات AGR تستخدم أكسيد اليورانيوم وقوداً لها. وبما أن الماغنوكس يصبح ليناً وحتى يمكن أن يشتعل في الهواء عند درجة حرارة عمل AGR فقد استعمل الفولاذ غير القابل للصدأ كساءً مكانه. وبما أن الفولاذ يمتص نترونات أكثر من الماغنوكس فقد تطلب مفاعل AGR يورانيوم ذا محتوى من اليورانيوم-235 قرابة بضعة آحاد بالمئة، وتسترد الكلفة الإضافية الحاصلة عبر زيادة خرج الطاقة من الوقود.

وكذلك نفّذت المملكة المتحدة أبحاثاً على تصاميم "المفاعل السريع fast reator" حتى أوائل التسعينيات من القرن الماضي، وقد جرى ذلك، على سبيل المثال، في موقع داونري Dounreay شمال اسكتلندة. فهذه المفاعلات لا تمتلك مهدّئاً، لذلك تحتفظ النترونات المنطلقة، من حادثة انشطار، بطاقات حركية ضخمة. ونتيجة لذلك، يمكن أن تقلب المفاعلات السريعة اليورانيوم المستنفد (أي اليورانيوم الذي أزيل منه

كل اليورانيوم-235 تقريباً) إلى بلوتونيوم، الذي يمكن أن يستعمل بدوره وقوداً نووياً أيضاً. وربما أن نترونا واحداً على الأقل ينجم عن تدمير كل ذرة بلوتونيوم عبر الانشطار في الوقود المستهلك، فإن المفاعل السريع –أو المفاعل الولود– يعطي مواد قابلة للانشطار أكثر مما يستهلك، وبالتالي سيزيد من حيث المبدأ احتياطات الوقود النووي زيادة عظيمة.

بما أن النترونات ذات الطاقة العالية في المفاعل السريع تكون ذات احتمال تآثر interacting أخفض مع نواة أخرى، فإن المفاعلات تتطلب مادة قابلة للانشطار أكثف من مثيلاتها في المفاعلات الأخرى، وكذلك مواد تقوى على تحمل التدفقات النترونية العالية جداً وكنتيجة لذلك تكون المفاعلات السريعة أكثر تعقيداً وكلفة من مفاعلات ماغنوكس أو AGR، لكونها تحتاج جزئياً إلى دارة تبريد إضافية وبالتالي فهي لم تستعمل على نطاق تجاري على الإطلاق.

مفاعلات الماء الخفيف

أما في أمكنة أخرى من العالم، فقد أعقبت فرنسا في البداية المملكة المتحدة وشيّدت مفاعلات مشابهة لتصميم الماغنوكس خلال ستينيات القرن الماضي. وفي غضون ذلك، أدركت الولايات المتحدة أن أكثر المفاعلات اقتصاداً هي تلك التي يشار إليها عادة بمفاعلات الماء الخفيف (LWRs). إذ إن بناء هذه المفاعلات أبسط من مفاعلات ماغنوكس أو AGRs كما أنها تستفيد من اقتصاد الإنتاج الواسع. ويذكر على سبيل المثال أن الوقود قد تحسّن عبر جهود متضافرة لبلدان عديدة بحيث يمكن الآن استدامة خرج الطاقة المفيدة بصورة تفوق وقود AGR الذي كانت المملكة المتحدة قد طورته لوحدها.

تستخدم مفاعلات الماء الخفيف الماء العادي مهدئاً ومبرداً، وتعمل بوقود أكسيد يورانيوم ذي إغناء يصل حتى 5% من اليورانيوم-235 ضمن كساء من خليطة زركونيوم. وهي تندرج تحت نوعين رئيسيين: مفاعل الماء المضغوط (PWR) ومفاعل الماء الغالي (BWR). وتحفظ مفاعلات الماء المضغوط الماء في دارة المبرد الأولية على شكل سائل، وتولد البخار في دارة ثانوية تعمل عند ضغوط أخفض من تلك (انظر الشكل). وعلى النقيض من ذلك، تستعمل مفاعلات الماء الغالي دارة ضغط وحيدة ذات طورين (ماء–بخار) وفيها يدير البخار المنطلق من اللب core العنفات بشكل مباشر. وتكمن ميزة هذا التصميم في عدم الحاجة إلى دارة تبريد ثانوية وما يرافقها من مبادلات حرارية وأنابيب ومضخات وصمامات. غير أن هذه الميزة يميل إلى معاكستها التعقيد المتزايد في نواح أخرى، وبخاصة صعوبات الصيانة وإنهاء العمل مستقبلاً لأن البخار السائر إلى العنفات ذو طبيعة مشعّة وبالتالي فهو يلوثها.

تنشأ كثير من ميّزات مفاعلات الماء الخفيف (LWR) عن امتلاكها لُبّاً شديد التراص، وهذا أمر ممكن لأن الماء أفضل المهدئات الشائعة فعالية من بين المهدئات المستعملة لتبطئة نترونات الانشطار. وهذا بدوره يجعل مفاعلات الماء الخفيف أفضل اقتصادياً وأسهل بناء وتشغيلاً من منشآت الماغنوكس أو المفاعلات المبردة بالغاز (مع أن الأخيرة لا تتطلب مستويات عالية من اليورانيوم المخصّب كالأولى). فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون وعاء الضغط الذي يوجد فيه المفاعل بالإضافة إلى كل البنى المحيطة به صغيراً بما يكفي لبنائه في مصنع ثم نقله إلى الموقع، في حين أن وعاء الضغط لماغنوكس أو للمفاعلات المبردة بالغاز هو من الكبر بحيث يتطلب بناؤه في الموقع.

يمكن للقدرة الكهربائية النووية أن تفيد في إبطاء الاحترار العالمي وأن تزودنا بمؤونة موثوقة من الكهرباء كجزء من مزيج الطاقات المتباينة

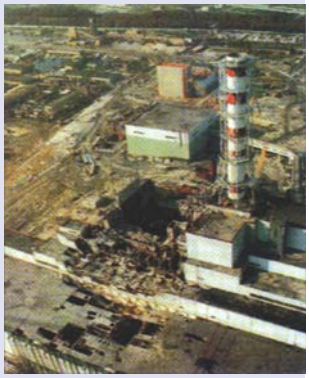
وبالرغم من أن المملكة المتحدة كانت قد صممت المفاعلات المبردة بالغاز AGR لتنافس مفاعلات الماء الخفيف LWR، التي كانت منافسة إلى حد ما، فقد انتهى التصميم بكلفة أعلى قليلاً لدى بنائه وتشغيله من مفاعلات LWR. وإذا ما أضيف إلى ذلك أداؤه التشغيلي الأسوأ قليلاً فإن المنافسة لصالح LWR جاءت كبيرة في النهاية –بما يشبه إلى حد ما، حالة البوينغ بالنسبة لصانع الطائرة الصغيرة في المملكة المتحدة. وقد لَحَظَت ذلك المملكة المتحدة عندما قررت إتباع مفاعلاتها AGR بمفاعلات PWR فبنت أول مفاعل من هذا النوع في المملكة المتحدة (Sizewell B على شاطئ سافولك)– الذي بدأ عمله عام 1988. في الواقع، فإن من بين المفاعلات البالغ عددها 436 والعاملة حالياً في العالم يوجد 357 مفاعلاً من نوع الماء الخفيف. ومن هذه الأخيرة يوجد 264 مفاعلاً تعمل بالماء المضغوط، وإن هذه الأخيرة هي التي يسود بناؤها في الوقت الحاضر.

مشيّدات جديدة

ينشغل العديد من البلدان اليوم بمشكلة تلبية متطلبات هذه البلدان من الطاقة مع إنتاج كميات أقل من ثنائي أكسيد كربون في الوقت ذاته. ولا تعتبر المملكة المتحدة استثناء من ذلك. فعندما جاء رئيس وزرائها السابق توني بلير إلى السلطة عام 1997– وذلك بعد سنتين من ربط سايزويل بالشبكة online– قرر "إيقاف" موضوع القدرة الكهربائية النووية. لكنه يبدو الآن جلياً قبول حكومة المملكة المتحدة بأن الطريقة الوحيدة لتحقيق الأهداف الطموحة في إنقاص إصدارات ثنائي أكسيد الكربون تكمن في المحافظة على الأقل على إسهام الطاقة النووية الحالي البالغ 18% من "مزيج طاقاتها".

لا يتم بناء محطة طاقة نووية بين ليلة وضحاها. فعندما تقرر حكومة المملكة المتحدة المُضّي قدماً ببناء أسطول جديد من المحطات النووية (وهو قرار قيد التشاور ينتظر البت فيه في تشرين الأول/ أكتوبر)، فإنها ستحتاج عندئذ اتخاذ قرار آخر بشأن أي التقانات سوف تتبنى ومن سيبني ويشغّل هذه المحطات. تترك هذه الخيارات الأخيرة لقوى السوق، اعتماداً على من سيتقدم من ائتلافات شركات بيع وامتلاك المفاعلات النووية، ومن ثم خضوعها لمعايير أمان وبيئة شديدة. وفي الإجمال، يستغرق قرابة عشر سنوات قبل وَصْل محطة نووية جديدة ما بالشبكة الوطنية.

إبقاء المفاعل النووي تحت السيطرة



خلافاً لما يريد منك بعض المجموعات المناهضة للنووي أن تعتقد، فإن المفاعلات النووية ليست غير مستقرة وعلى استعداد للخروج عن السيطرة في أية لحظة. فهناك مبادئ فيزيائية راسخة تستخدم لضمان أمان أي مفاعل مُشيّد بصورة صحيحة. فعلى سبيل المثال، يجري إبطاء النترونات المنطلقة بالانشطار، في مفاعلات الماء الخفيف، عن طريق تصادمها بنوى الهدروجين والأكسجين (يقوم بمعظم ذلك الهدروجين فقط) مما يجعلها أسهل احتجازاً. غير أنه إذا ما زاد عدد التفاعلات لسبب ما فإن الحرارة الإضافية الناتجة ستجعل المهدئ يتمدّد –وبالتالي تؤدي إلى نقصان معدل التفاعل بحيث تمنع المنظومة الخروج عن السيطرة. ويتم تقديم آلية تغذية راجعة أخرى مشابهة تدعى التوسيع الدوبلري Doppler broadening عن طريق زيادة امتصاص النترونات في مواد المفاعل أثناء تسخينها، والهدف هو تصميم مفاعل تقوم فيه عدة آليات مشابهة بالتشارك معاً لتحقيق منظومة مستقرة.

لقد كان المفاعل الروسي RBMK مثالاً على منظومة فقيرة التصميم. ففي عام 1986 كان أحد هذه المفاعلات في تشيرنوبل مسؤولاً عن أسوأ كارثة نووية في التاريخ. فهذه المفاعلات استخدمت الغرافيت مهدئاً للنترونات والماء مبرداً للمنظومة، وهما في العادة اختياران جيّدان ولكن الدمج غير الموفق بين الاثنين جعل هذا المفاعل خطراً جداً: إذ كان معظم التهدئة عن طريق الغرافيت بينما عمل الماء في الأغلب ماصاً. فلدى تسخين الماء وصل حد الغليان فنقصت بذلك كثافة الماص. وقاد هذا بدوره إلى مزيد من التفاعلات مما جعل الفقد بالغليان يزداد أكثر فأكثر قادحاً بذلك عروة تغذية راجعة غير مستقرة.

هذا ويوجد عامل مساهم آخر للحادثة يرتبط بالنترونات الصادرة عن نتاج الانشطار. فالنترونان أو الثلاثة المتحررة في حادثة انشطار تدعى النترونات اللحظية promptneutrons، لأنها تصدر إما مباشرة لحظة الانشطار أو تتبخر بسرعة من نتاج الانشطار المستثارة. غير أن نواتج الانشطار هذه بحد ذاتها تقذف نترونات أيضاً عقب اضمحلالات بيتا. ومع أنها لا تزيد نسبتها عن 1% بالمقارنة مع عدد النترونات اللحظية، فإن هذه "النترونات المتأخرة"–التي يمكن أن تتقدم للبدء بانشطارات أخرى– تؤمن في الحالة العادية للمفاعل مستويات استطاعة متغيرة ببطء شديد وبشكل آمن. إلا أنه في حالة تشيرنوبل ازداد عدد النترونات بسرعة عالية وبشكل غير آمن بسبب النترونات اللحظية لوحدها، مما جعل استطاعة المفاعل الكلية تقفز من 10% إلى 100 مرة من استطاعته الكلية في غضون ثلاث ثوان. يوجد هذا الخطأ في مفاعلات RBMK فقط، مما يعني عدم إمكان حدوث "تشيرنوبل آخر" مرة ثانية.

إن أكثر المرشحين احتمالاً لبناء مفاعلات جديدة في المملكة المتحدة من نوع الماء المضغوط مثل سايزويل ب، هما: أريفا Areva EPR (مفاعل الماء المضغوط الأوربي) ووستنغهاوس AP-1000 (وتعني AP advanced passive منفعلاً متقدّماً كما يعني الرقم 1000 MW 1000 من الاستطاعة الكهربائية التي يمكن أن تولّدها مثل هذه الوحدة). ومن التصاميم الأخرى المحتملة مفاعل الماء الغالي المتقدم (ABWR)، الذي هو نسخة مستمثلة من مفاعل الماء الغالي BWR، بصورة رئيسية. وكذلك مفاعل كاندو المتقدم (ACR) الذي يعتمد بصورة رئيسية على مفاعلات كاندو الكندية الناجحة جداً. إن هذه الوحدات تشبه مفاعلات الماء المضغوط PWR ولكنها تستخدم الماء الثقيل (D2O) بمثابة مهدئ. ولا يأسر الماء الثقيل أياً من النترونات عملياً، لكن احتواءه على الديتريوم يجعل منه مبطّئاً جيداً. هذا يعني إتاحة نترونات انشطار أكثر، وبالتالي يسمح لمفاعلات ACR العمل بوقود منخفض التخصيب كثيراً.

إن السمة المشتركة بين جميع تصاميم "الجيل الثالث" هذه تتمثل في بساطة تشغيلها؛ فهي تتطلب مداخلة أقل ووقوداً أقل وتكون أسهل صيانة من التصاميم السابقة. وتمتلك أيضاً سمات أمان منفعلة متقدمة تعتمد على قوى فيزيائية مثل الثقالة والنقل بالحمل convection بدون الحاجة إلى معدات ميكانيكية مثل المضخات، أو الحاجة إلى مساعدة طفيفة منها. غير أن مجموعات الحملات مثل CND والسلام الأخضر أهملت هذه السمات عملياً وركّزت عوضاً عن ذلك على المخاوف المثارة حول تأثير النفايات النووية التي سيخلفها أسطول محطّات القدرة الكهربائية النووية الجديد.

ففي حين يصحّ تماماً أن محطات نووية أكثر تعني نفايات أكثر، فإن حجم النفايات المتولّد من الخرج لكل كيلو واط ساعي سيكون أقل بكثير في التصاميم الحديثة مما عليه في التصاميم القديمة المشابهة. وعلى سبيل المثال، سيولد أسطول مفاعلات LWR ذي عشرة غيغا واط سعة جديد قرابة مثلي الكمية من الكهرباء على مدى حياته البالغة 60 عاماً مما يعطيه الأسطول الحالي، ومع ذلك لا ينتج إلا 10% زيادة من النفايات المشعة ذات المستوى العالي خلال المدة الزمنية نفسها ضمن افتراضات معقولة. وإضافة إلى ذلك، يمكن للمفاعلات الجديدة أن تسمح لنا بالانتفاع بالبلوتونيوم المدني عند استعماله كوقود "الأكسيد الممزوج" المصنوع من أكاسيد اليورانيوم والبلوتونيوم.

تستعمل جميع التصاميم AP-1000, EPR, ACR&BWR الوقود نفسه، وكذلك أوعية الضغط نفسها ومولّدات البخار ومركبات رئيسية أخرى مثل تلك المستعملة والعاملة اليوم في مفاعلات الجيلين الأول والثاني. لذلك يمكن بناء محطات جديدة اعتماداً على هذه التصاميم مباشرة. وفعلاً، يتم بناء مفاعل EPR الآن في فنلندة (انظر الشكل)، وسيتبعه آخر في فرنسا، في حين تعاقدت الصين لشراء بضعة مفاعلات من النوع AP-1000. ويمكن أن نكون جاهزين في غضون العشرين سنة القادمة لبناء ما يعرف بتصاميم مفاعلات الجيل الرابع IV.

الجيل الرابع IV

اختارت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة في أواخر تسعينيات القرن الماضي ستة تصاميم من الجيل الرابع IV انطلاقاً من قائمة

قصيرة ناقشت أكثر من مئة مفهوم أو اقتراح "لتوسيع فرص استعمال الطاقة النووية". ثلاثة من هذه التصاميم هي لمفاعلات سريعة، ذات دورة وقود متجددة ينتج فيها بلوتونيوم-239 من اليورانيوم-238 عن طريق تفاعلات احتجاز نترونات وبالتالي يمكنها الاستمرار لمئات السنين باحتياطيات اليورانيوم الموجودة حالياً. وتختلف التصاميم الثلاثة بعضها عن بعض بصورة رئيسية باختيار المبرد coolant: وبالتحديد الصوديوم السائل أو الرصاص السائل أو غاز الهيليوم، إذ إن بعضها أحسن نقلاً للحرارة من بعضها الآخر في حين أن البعض الآخر أكثر إشكالية إذا تسرّبت.

يوجد تصميم آخر من الجيل الرابع هو مفاعل الماء فوق الحرج supercritical، يستخدم فيه الماء في طوره فوق الحرج كمبرد. فالماء في هذه الحالة (أي في الحالة التي لا تمييز فيها بين سائل وغاز) يكون ذا سعة حرارية نوعية عالية جداً، الأمر الذي يتيح مردوداً حرارياً أعلى مما تتيحه مفاعلات الماء الخفيف LWR المتوافرة حالياً.

يوجد أيضاً مفاعل درجة الحرارة العالية جداً (VHTR) وهو من أقرباء تصاميم مفاعل درجة الحرارة العالية الحالي (HTR) مثل تقانة السرير الحصوي pebble-bed technology المتّبعة في جنوب إفريقية. فهذه المفاعلات تستخدم نمطيّاً مهدئات من الغرافيت ومبردات غازية، وتتصف بمنظور الفعاليات الحرارية العالية يضاف إلى ذلك، أنها ذات أمان عالٍ جداً لأن محتواها من الوقود المشع محصور تماماً حتى لو بلغت درجة حرارة المفاعل ما ينوف عن 1500 درجة سلزية (أي أعلى بخمسمئة درجة سلزية من درجة حرارة التشغيل الاعتيادية).

ولكن ربما كانت أكثر النواحي إثارة في تصميم المفاعل VHTR تتمثل في توليد إنتاجه الهدروجين عن طريق التحليل الكهربائي للماء أو عن طريق التفاعلات الكيميائية الحرارية وبالتالي كونه يلعب دوراً في اقتصاديات الهدروجين المستقبلية. إذ أن توليد الهدروجين عملية شديدة التكثيف للطاقة، تتطلب كميات ضخمة من الكهرباء أو الحرارة –وكلاهما متوافر بكثرة في تصميم المفاعل VHTR وبدون إصدارات ثنائي أكسيد الكربون عملياً. وإن إنتاج الهدروجين لا يؤثر على أداء المفاعل، مع أنه ينقص من الخرج الكهربائي فعلاً. ومن ناحية أخرى، إن استعمال الوقود الأحفوري لإنتاج الهدروجين أمر غير مبرّر بيئياً.

إن تصميم مفاعل الجيل الرابع النهائي –الذي يدعى مفاعل الملح المصهور– هو أكثر التصاميم راديكالية. فالوقود هنا يكون على شكل ملح يورانيوم يدور ضمن المبرد بحيث ينقطع التفاعل التسلسلي مباشرة عند أي ضياع في المبرد. أما كيف يقوم بذلك عملياً فلم يتقرّر بعد رسمياً، حيث إن الأبحاث حول تصميم الملح المصهور –وجميع تصاميم الجيل الرابع، في الواقع – ما تزال في مرحلة مبكرة جداً. ومن غير المتوقع نجاح التصاميم الستة جميعها من الناحية التجارية الواقعية. فسيهمل بعضها في النهاية عندما يبرهن بعضها أفضليته على البعض الآخر. ومع بعض التفاؤل، سيأتي الاندماج النووي بحلول ذلك الوقت ليضيف بعداً جديداً تماماً للقدرة الكهربائية النووية.

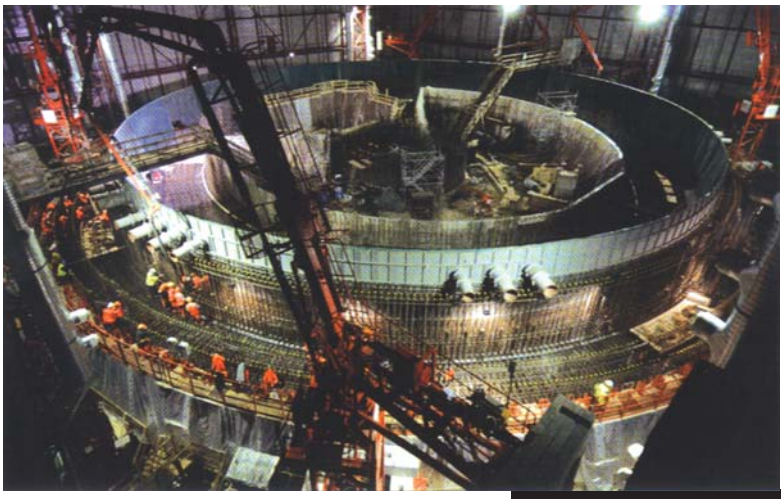
عصر نهضة نووي

أصاب الركود صناعة القدرة الكهربائية النووية في أوربا (باستثناء فرنسا) وكذلك في الولايات المتحدة منذ أواسط ثمانينيات القرن الماضي، مع القليل من تراخيص إنشاء محطات جديدة.

التعامل مع النفايات

مستويات النفايات: توضع النفايات ذات المستوى المتدني مثل القفازات والألبسة التي يرتديها العاملون في المحطات النووية في برميل قبل أن ترصّ رصّاً شديداً للتخزين (يساراً)، في حين تغلّف النفايات ذات المستوى المتوسط مثل أغطية الوقود بالإسمنت (في الوسط). أما النفايات ذات المستوى العالي المؤلفة من نتاج الانشطارات وعناصر ما بعد اليورانيوم فتزجّج وتوضع في قوارير فولاذية غير قابلة للصدأ ثم تخزّن في سراديب مهندسة.

إن الاعتقاد الشائع هو أن المفاعلات النووية تولد كميات ضخمة من النفايات النووية، وأنه يصعب إدارة هذه النفايات بأمان، وأنها مختلفة نوعاً ما عما تولّده الصناعات الأخرى من نفايات سامة. أما الواقع فهو مختلف: إذ إن حجم النفايات منخفض نسبياً ولا سيما النفايات ذات المستوى العالي المؤلفة بصورة رئيسية من نتاج الانشطار المشع وما بعد اليورانيوم (الذي يصل فقط إلى بضعة أمتار مكعبة لكل 1GW PWR في السنة). وفي حين تمثل هذه النفايات ذات المستوى العالي مخاطر مهمة، فإن نصف قرن من الخبرة تظهر إمكان إدارتها بصورة مأمونة جداً. أما بخصوص النفايات المشعة ذات المستوى المنخفض والأكثر ضخامة في الحجم، فإن مخاطرها الكامنة تقع بين المنخفضة جداً وحدّ الإهمال عملياً (إذ تعادل الجرعة اليومية الإضافية لعامل في مخزن نفايات منخفضة المستوى قرب سيلافيلد، على سبيل المثال، ما يحصل عليه من أكل جوزة برازيلية في اليوم !). ولسوء الحظ، فقد أخفقت المملكة المتحدة، على سبيل المثال، في إحراز أي تقدم نحو بناء مكامن جيولوجية نهائية لنفاياتها المشعة ذات المستوى العالي، إذ لم يتقرّر إلاّ في أواخر العام الفائت بأن تلك هي أفضل طريقة للتعامل مع مثل هذه المواد. وهذا أمر سياسي أكثر منه تحد تقني، وهو مستقل إلى حدٍّ كبير عما إذا كانت ستبنى محطات طاقة نووية جديدة أم لا. وبغض النظر عما إذا كنت مؤيداً للقدرة الكهربائية النووية أم ضدها، فلا بد من التخلص من النفايات الحالية في النهاية وستبقى الكمية نفسها تقريباً حتى ولو لم نشيّد محطات طاقة نووية جديدة.



الجيل الثالث III
أول مفاعل ماء مضغوط أوربي EPR في العالم يتم بناؤه في موقع أولكيلوتو Olkiluoto بفنلندة وسيكتمل عام 2009.

ويعود ذلك جزئياً إلى جهود المجموعات المناهضة للطاقة النووية وكذلك لحادثة تشيرنوبل عام 1986، غير أن قوى السوق لعبت دوراً كذلك. ففي المملكة المتحدة مثلا جعل التنافس مع الغاز الطبيعي وإعادة تنظيم سوق الطاقة والدعم الحكومي غير المؤكد من الصعب على المحطات النووية الجديدة تأمين الاستثمارات الخاصة الضرورية لذلك. أما في بلدان أخرى، كان التنافس مع الفحم الرخيص هو الذي قوّض إنشاء محطات نووية جديدة، في حين أن النجاح في إطالة أعمار المحطات النووية الراهنة في المملكة المتحدة والولايات المتحدة، ويا للسخرية، هو الذي أعاق بناء محطات جديدة.

ولكننا ندخل اليوم عصر نهضة القدرة الكهربائية النووية. وبالرغم من أن القدرة الكهربائية النووية ليست الحل الكامل لتغيرات المناخ في حد ذاتها، فإنها يمكن أن تساعد في إبطاء الاحترار العالمي، وأن تزودنا بإمدادات موثوقة من الكهرباء كجزء من مزيج الطاقات المتنوعة. ومن انفضاض الثروات، فقد عنت زيادة أسعار الغاز والبترول مؤخراً أن محطات القدرة الكهربائية النووية تمثل الآن أحسن خيار طاقوي من الناحية الاقتصادية في العديد من البلدان. وباعتبار أن احتياطيات الغاز والبترول آخذة بالنضوب فإن المملكة المتحدة وحكومات أخرى غيرها بحاجة إلى اتباع الطريق الذي سلكته الصين وكوريا الجنوبية واليابان في السعي إلى برنامج نووي جديد.

الاستشراقات بخصوص صناعة القدرة الكهربائية النووية التي تبدو أنصع مما كانت عليه هذه الصناعة حتى قبل خمس سنوات مضت، يحتمل أن يجد الفيزيائيون أنفسهم في إطار طلب المزيد.

لذا نستطيع توقع رؤية أسطول جديد من المفاعلات في المملكة المتحدة، ربما يكون خليطاً من تصميمات EPR و-AP 1000، قادمة على الطريق خلال 10 إلى 15 سنة قادمة وستستمر في عملها ربما حتى 2080. وقبل ذلك التاريخ قد نرى أيضاً مفاعلات الجيل الرابع IV، التي يمكن لبعضها أن ينتج هدروجيناً. وبحلول ذلك التاريخ، تكون القدرة الكهربائية النووية بالتعاون مع الطاقات المتجددة قد ساعدت المملكة المتحدة على إنقاص إصدارات ثنائي أكسيد الكربون إلى مستوى أكثر استدامة. بالمقابل، فإن استبدال الأسطول النووي الحالي بحيث تحل محلها الطاقات المتجددة كي تزودنا بالجزء ذاته من الطاقة (الذي يبلغ حالياً قرابة 19% من كامل الطاقة في المملكة المتحدة) لن يجعلنا نسهم في إنقاص إصداراتنا على الإطلاق.

إذ إن المجال النووي ذو أهمية على امتداد العالم وهو أحد المجالات الذي سيستعمل الفيزيائيون فيه مهاراتهم فعلياً خارج النطاق التعليمي (الأكاديمي). وستكون أهمية معرفة علم المواد وكيفية انتقال الحرارة داخل المفاعل كأهمية المعرفة بالتفاعلات النووية وفيزياء النترونات، تلك المواضيع التي تدرّس في مقررات ما بعد التخرج في الماجستير.

ويا للسخرية، فإن الحكم الحديث الناجح الذي أدخلته مجموعة السلام الأخضر أوائل هذا العام ضد عملية حكومة المملكة المتحدة فيما يخص مراجعة تأمين الطاقة، قد أعطى أيضاً إشارة البدء للنهوض ببرنامج القدرة الكهربائية في المملكة المتحدة، لأن الحكومة استجابت مؤكدة بعناد شديد إلى إعادة المراجعة والإصرار على الحاجة إلى القدرة الكهربائية. ولسوء الحظ، فقد أدّت تظاهرات مجموعات أنصار البيئة ضد محطات القدرة الكهربائية النووية إلى مجرد المزيد من بناء محطات وقود أحفوري إضافية. إن إقامة مختبر نووي وطني في المملكة المتحدة هو دليل آخر على الصحوة النووية، ويبدو أن المدّ آتٍ وعلينا الترحيب بفجر جديد للقدرة الكهربائية النووية.

للتعرف أكثر على القدرة النووية

JJ Duderstadt and LJ Hamilton 1976 Nuclear Reactor Analysis (Wiley, New York)

T Goddard 2006 A future for nuclear power Physics World April pp 15-17

KS Krane 1987 Introductory Nuclear Physics (Wiley, New York)

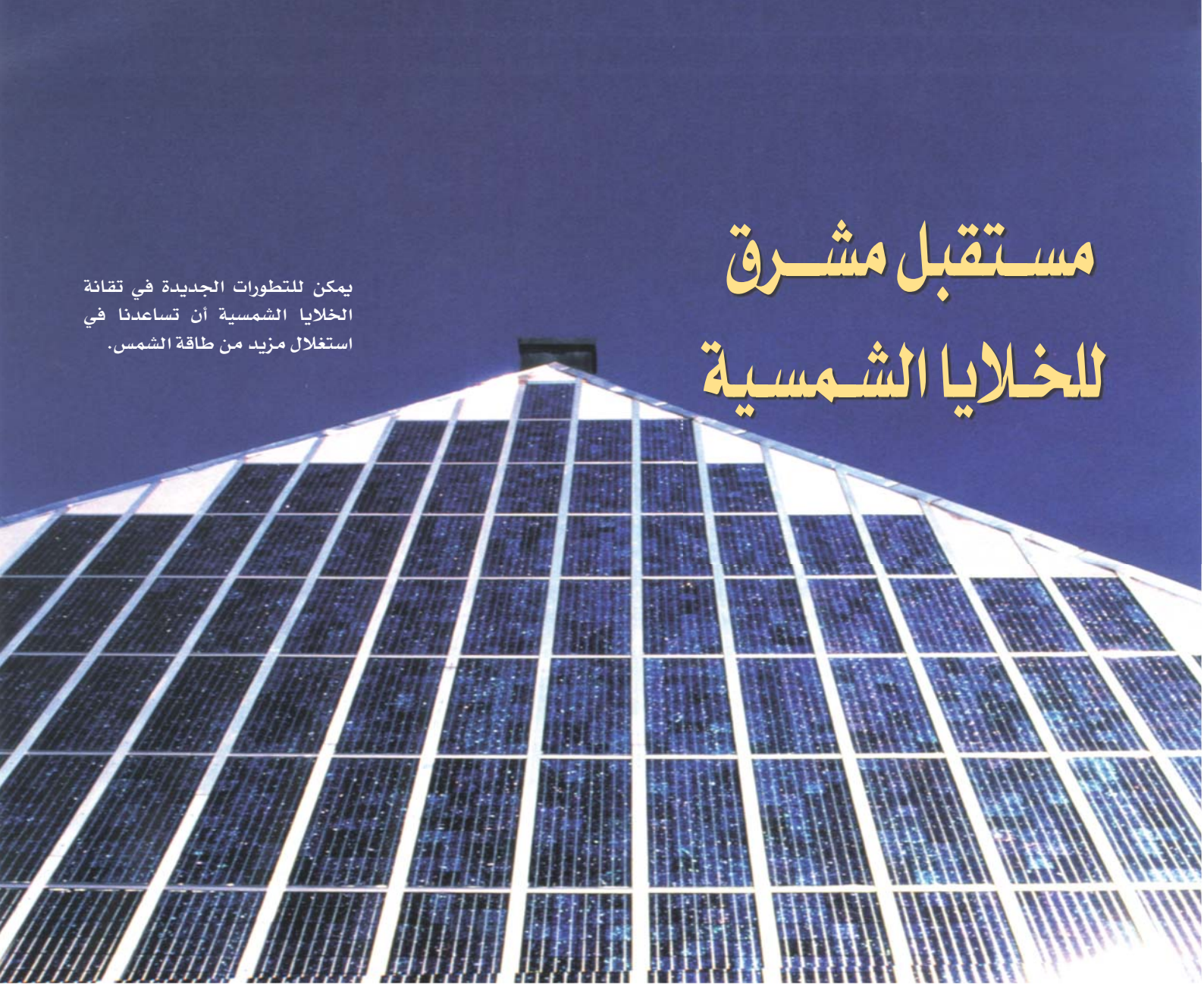
W J Nuttall 2005 Nuclear Renaissance: Technologies and policies for the Future of Nuclear Power (IOP Publishing, Bristol)

W M Stacey 2001 Nuclear Reactor Physics (Wiley, New York)

المؤلف: ب. نورمان و أ. وورال وك. هيسكث.

نشر هذا المقال في مجلة Physics World, July 2007، وتمّت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مستقبل مشرق للخلايا الشمسية



يمكن للتطورات الجديدة في تقانة الخلايا الشمسية أن تساعدنا في استغلال مزيد من طاقة الشمس.

يناقش Edwin Cartlidge أن التقانة النانومترية تستطيع أن تحيل الخلايا الشمسية من منتجات مشكاتية إلى نبائط تقدِّم جزءاً مهماً من طاقة العالم.

الكلمات المفتاحية: خلية شمسية، تقانة نانوية (نانومترية)، خلايا الجيل الثالث، الأجيال الثلاثة للخلايا الشمسية، خلايا البئر الكمومي، خلايا النقط الكمومية.

إن احتراق الجلد في يوم صيفي حار، أو القدرة المرعبة للترناد (الإعصار القمعي) أو وجود نصل بسيط لعشب ما، جميعها يشهد على شيء واحد هو كمية الطاقة الهائلة المنقولة إلينا من الشمس. ففي ساعة واحدة تقدم الشمس كمية من الطاقة تساوي الكمية التي تستهلكها البشرية قاطبة في السنة (حوالي 5×10^{20} J جول) وتطلق في 36 ساعة كمية من الطاقة بقدر ما هو موجود من احتياطي النفط المقدَّر. فإذا أضفنا هذا على حقيقة أن الطاقة الشمسية غير ناضبة أساساً، وأنها متاحة لكل إنسان في هذا العالم وأنها لا تولد غازات الدفيئة أو ملوثات مؤذية أخرى، فإنه يبدو من الصعب تخيُّل سبب لعدم استفادتنا منها بشكل أكبر.

السبب الأساسي هو التكلفة؛ فالكهرباء التي تولِّدها الخلايا الشمسية (أو الفوتوفلطية) تكلف حوالي 0.30 دولاراً أمريكياً للكيلو واط الساعي (kWh)، بينما تكلف الكهرباء المستخرجة من الرياح ما يقارب 0.05 دولاراً لكل kWh وتلك التي تستخرج من الغاز الطبيعي حوالي 0.03 دولاراً لكل kWh. ومن الناحية التقانية، تأتي الصعوبة في اشتقاق الطاقة من أشعة الشمس (بالمقارنة مع الوقود الأحفوري، على سبيل المثال) من أن لهذه الأشعة كثافة طاقة منخفضة نسبياً. والنتيجة هي أنه في بلاد كالولايات المتحدة، على سبيل المثال، تولد الخلايا الفوتوفلطية حوالي 0.02% فقط من الكهرباء، وتأتي الغالبية الساحقة المتبقية للكهرباء من الفحم والغاز والطاقة النووية.

لكن الوضع بدأ يتغيَّر؛ فالتحسينات المتتالية على الخلايا الشمسية الأساسية المصنعة من السليكون الوحيد البلورة single-crystal silicon خفضت اليوم تكلفة الكهرباء الفوتوفلطية عشرين مرة في الثلاثين سنة الماضية، والتطورات المستمرة للمواد البلورية الأرخص يجب أن تشهد استمرار هذا المسعى. وحسب تقرير قدمه العالمان الأمريكيان G.Crabtree وN.Lewis إلى وزارة الطاقة في عام 2005، فإن الخلايا الشمسية ستصبح منافسة بما يكفي لتوليد كهرباء بتكلفة 0.02 دولاراً لكل kWh لصالح استخدامها على نطاق واسع في غضون 20- 25 سنة القادمة.

لكن البعض يعتقد أن ارتقاء الطاقة الشمسية يمكن أن يكون أكثر درامية بكثير (دراماتيكياً). إذ يقدِّر كرابتري ولويس بنفسيهما أن الانتشار الواسع في استخدام الخلايا الفوتوفلطية قد يحدث قريباً مع حلول عام 2015 إذا استطاع الفيزيائيون أن يحققوا جيلاً جديداً من نبائط أكثر تقدماً عبر استخدامهم التقانة النانوية. إن هذه النبائط تتضمن خلايا مبنية على النقاط الكمومية أو نبائط ذات بلورات نانوية، وهي أرخص وأكثر فعالية من الخلايا الموجودة حالياً. وفي الحقيقة، ذاك هو الوعد المرتقب من هذه التقانات حسب ما جاء في تقرير مقدَّم إلى الحكومة الألمانية في عام 2003 وتوقع أنه بحلول عام 2050 يمكن للفوتوفلطيات أن تغطي ربع حاجيات الطاقة في العالم.

إن مثل هذا التحول سيتطلب إرادة سياسية ضخمة. بيد أن الحاجة الماسة المتزايدة التي تواجه، أو على الأقل تناقش، بها الحكومات مسألة التغير المناخي توحي بأن هذه الإرادة يمكن أن تتولّد. وبالرغم من إمكانية تخفيض الانبعاثات العالمية لغازات الدفيئة باستخدام مصادر غير أحفورية للطاقة، فإن بعض الباحثين، أمثال فيزيائي الحالة الصلبة K.Barnham من الكلية الملكية (إمبيريال كوليج) في لندن، يعتقدون أن بإمكان الفوتوفلطيات أن تأخذ كثيراً من الصعوبات على عاتقها. ويشير برنهام إلى أن المملكة المتحدة وسَّعت قدرتها الفوتوفلطية بمقدار 40% كل عام –وهو أقل مما حصل عالمياً في عام 2004– وبعدها يمكنها أن تصبح أكثر من معوضة عن الفقد في طاقة التوليد التي يسببها إيقاف المفاعلات النووية المتقادمة في مدى العشرين سنة القادمة.

أساسيات الخلايا الشمسية

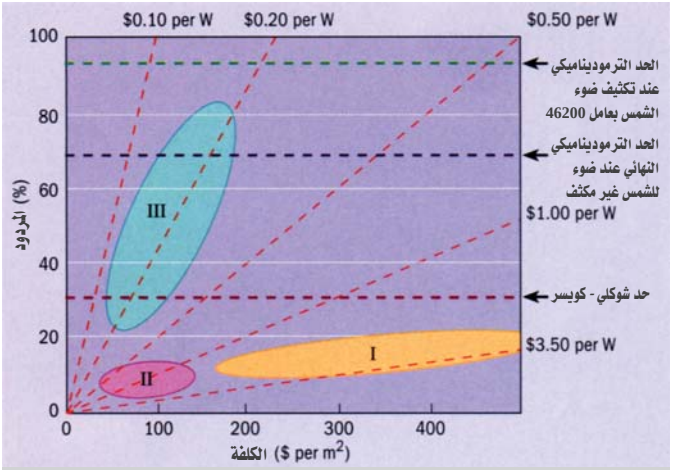
بقيت الخلايا الشمسية المصنعة من السليكون على ما هي عليه بدون تغيير منذ اكتشافها في مختبرات Bell في الولايات المتحدة منذ خمسين عاماً تقريباً. حيث يطعَّم جزء من رقاقة السليكون ليخلق زيادة في عدد الثقوب (أي ليشكل نصف ناقل من النوع p) بينما يطعَّم الجزء الآخر من الرقاقة ليحتوي على زيادة في عدد الإلكترونات (أي ليشكل نصف ناقل من النوع n)، وعند الوصلة بين هاتين المنطقتين، تتحد الإلكترونات بالثقوب فيتشكل حاجز كمون potential barrier، يحافظ على انفصال الإلكترونات والثقوب المتبقية. والآن، إذا سقط فوتون بطاقة كافية على الخلية، فإنه يحث إلكترونات من عصابة التكافؤ على الصعود إلى عصابة النقل مولداً أزواجاً من الإلكترونات والثقوب election-hole pairs. وهنا تُجْبَر الأزواج التي تتشكل بالقرب من الوصلة p-n على الانفصال تحت تأثير الحقل الكهربائي بحيث تذهب الثقوب إلى المنطقة ذات النمط p-type في حين تذهب الإلكترونات إلى المنطقة ذات النمط n-type، وبذلك ينشأ تيار كهربائي.

يقاس أداء الخلية الشمسية بمردودها: بمعنى نسبة القدرة الكهربائية التي تولدها الخلية إلى القدرة الضوئية الواردة على الخلية. ففي العام 1961 أجرى الفيزيائيان W.Shockly (الذي تقاسم جائزة نوبل للفيزياء لعام 1956 لاختراعه الترانزستور) وH.queisser عملية حسابية توصلا فيها إلى أن أقصى مردود لأبسط أنواع الخلايا الشمسية يمكن أن يصل إلى 31%. وهذا من أجل خلية تتكون من وصلة p-n واحدة، وتولد زوج إلكترون وثقباً واحداً فقط لكل فوتون وارد، ومعرضة لضوء الشمس غير المكثّف، وتبدِّد على شكل حرارة كل فوتون وارد تزيد طاقته على الفرجة العصابية في نصف الناقل.

ستكون خلايا الجيل الثالث ذات مردود عالٍ جداً وسيكون إنتاجها رخيصاً يضاهي نبائط الفلم الرقيق

إن الغالبية العظمى من الخلايا الشمسية الموجودة في السوق اليوم والتي تدعى خلايا الجيل الأول، مصنوعة من خلايا أحادية من السليكون. مع العلم بأن أفضل النبائط التجارية أداءً يصل مردودها إلى ما يقارب 18% (وهذا أقل بشكل ملحوظ من الرقم الذي سجَّله في المختبر M.Green وزملاؤه في جامعة نيو ثاوث ويلز بأستراليا، وهو 24.7%). لكن إنتاج خلايا الجيل الأول غالٍ بسبب التكاليف الباهظة للتنقية والتبلور ونشر رقاقة السليكون الأحادي البلورة. ويهدف "الجيل الثاني" من الخلايا الشمسية إلى تقليل هذه التكاليف باستخدام أفلام رقيقة من السليكون وأنصاف نواقل أخرى، هي مركبات، مثل ثنائي سيلينيد الإنديوم والنحاس وتولوريد الكادميوم، محمولة على ركازات من الزجاج. ولكن بينما تكون نبائط الجيل الثاني أرخص كثيراً من الخلايا الشمسية المصنعة من السليكون الأحادي البلورة، فإنها تعاني من عيوب بنيوية تجعلها أقل كفاءة من نظيراتها الوحيدة البلورة.

يعمل الباحثون اليوم من أجل التغلب على هذه القيود على خلايا الجيل الثالث، التي لو أمكن تطبيقها فإنها ستأتي بخلايا ذات مردود عالٍ جداً وسيكون إنتاجها رخيصاً يضاهي نبائط الأفلام الرقيقة (انظر الشكل أعلاه). أما الطريق إلى صنع نبائط الجيل الثالث هذه فإنها تكون بانتهاك واحد أو أكثر من معايير شوكلي كويسر Shockley-Queisser. ويتمثل أحد الخيارات لعمل ذلك في تكثيف ضوء الشمس باستخدام مرايا وعدسات. إن عدد أزواج



فجوة الأجيال المردود بدلالة الكلفة للأجيال الثلاثة للخلايا الشمسية. خلايا الجيل الأول، القائمة على رقائق سليكونية أحادية البلورة باهظة الثمن، وهي تشكل حوالي 85% من النبائط التي تباع اليوم. وخلايا الجيل الثاني، التي تؤلف الأفلام الرقيقة من السليكون وأنصاف نواقل أخرى، هي أرخص لكن مردودها أقل. بينما نبائط الجيل الثالث مصنوعة من تقانات أكثر تقدماً ومن مواد هي في مراحلها المبكرة من التطور ولكنها تعد بمردودات قليلة التكاليف. تبين الخطوط الأفقية الحدود العليا النظرية للمردودات (من الأسفل إلى الأعلى) لخلية شمسية نموذجية، وهي خلية متقدمة معرضة لضوء الشمس غير المكثف، وخلية متقدمة خاضعة لضوء الشمس المكثف بعامل يبلغ 46200 –وهو الحد الأعظمي الممكن. الخطوط القطرية المنقطة تمثل مواضع الكلفة الثابتة بواحدة القدرة، مقيسة بالدولارات لكل واط ذروة. ونظراً للتغيرات الطبيعية للقدرة الشمسية التي تصل منطقة معينة خلال دورة النهار/الليل والتغيرات في غطاء السحب، فالقدرة الكهربائية المتوسطة الناتجة من خلية شمسية في سنة واحدة تبلغ حوالي 20% من تقدير ذروتها. إن كل قيمة تبلغ دولار لكل واط ذروة تنقل إلى كلفة كهربائية للواحدة حوالي 0.05 دولار لكل كيلو واط ساعي على مدى عمر يبلغ 30 عاماً لخلية شمسية نموذجية.

الإلكترونات والثقوب، ومن ثم التيار الذي تعطيه الخلية، يتناسب ومعدل الفوتونات الساقطة على الخلية. هذا المفعول بحد ذاته لن ينتج عنه مردود عالٍ لأن التيار في واحدة تدفق ضوء الشمس لا يزداد، ولكن نظراً لأن فلطية الخرج للوصلة p-n تزداد لغاريتمياً مع التيار، فإن خرج القدرة (وبالتالي المردود) يزداد بالفعل بصورة لغاريتمية. ولو أن جميع نواحي الخلية بقيت متساوية، فإن تكثيف ضوء الشمس الوارد يستطيع أن يزيد المردودات إلى حوالي 41%.

ثمة خيار آخر يتمثل في تكديس خلايا عديدة من أنصاف نواقل ذوات فرجات طاقة bond gaps مختلفة بعضها فوق بعض. يسمح هذا الإجراء للنبيطة أن تولد تياراً من مجال لطاقة الفوتون أكثر اتساعاً من مجال خلية واحدة مصنعة من السليكون الأحادي البلورة. ولإمداد مركبة فضائية بالطاقة، حيث لا تعدّ التكلفة قضية كبيرة، تستخدم الآن خلايا متعددة الوصلات يصل حد مردودها إلى 43% إذا كانت تحتوي على وصلتين منفصلتين، و49% من أجل ثلاث وصلات و66% من أجل عدد غير محدود من الوصلات.

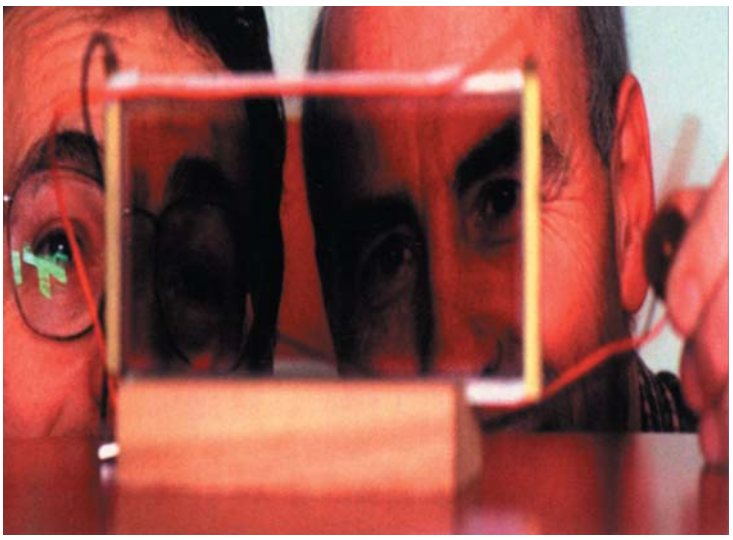
وهناك خيار إضافي لتجاوز الحد التقليدي 31% يقوم على تحويل بعض من طاقة الفوتونات الزائدة (أي الفرق بين طاقة الفوتون وفرجة الطاقة لنصف الناقل) إلى طاقة مفيدة. وتتمثل إحدى الطرق لعمل ذلك في خلق أزواج متعددة من الإلكترونات والثقوب من أجل كل فوتون وارد. فمن المعلوم جيداً وعلى مدى عقود أن هذه الظاهرة تأخذ مجراها داخل أنصاف النواقل الضخمة، حيث تضرب إلكتروناتُ النقل السريعة (المزودة بالطاقة) إلكتروناتٍ أخرى من عصابة التكافؤ فتنتقل إلى عصابة النقل. لكن هذا المفعول محدود جداً (ففي السليكون)، مثلاً، لاينتج عنه أكثر من إلكترون واحد لكل فوتون وارد.

ولكن وحسب رأي الفيزيائي V.Klimov من مختبر لوس ألاموس الوطني في نيو مكسيكو، يمكن تعزيز ما يدعى مضاعفة الحاملات carrier multiplication عن طريق صنع الخلايا الشمسية من شبكات مكونة من بلايين من القطع الدقيقة من نصف ناقل يطلق عليها اسم نقط كمومية quantum dots، وذلك بدلاً من قطعة كبيرة من نصف ناقل. وفي تجارب أجريت في العام الماضي، تمكن كليموف من توليد سبعة أزواج من الإلكترونات والثقوب لكل فوتون وارد وذلك بإنارة بلورات أحادية يبلغ حجم كل منها 5 nm من سيلينيد الرصاص بنبضات خاطفة من ضوء الليزر. ويقول في هذا الصدد بأن هذه العملية يمكن أن تؤدي إلى خلايا شمسية بمردودات تتجاوز 40%.

يعترف كليموف بأنه لا يعلم بالضبط كيف تتصرف النقط الكمومية كي تحقق هذه التضاعف الفوتوني، لكنه يعتقد بأن ذلك قد يكون في جزء منه بسبب العملية التي تحدث في أنصاف النواقل الضخمة وكذلك (ربما) بسبب تشكيل "الإلكترونات الافتراضية virtual electrons". وتخص هذه العملية الأخيرة إلكتروناً مكتسباً طاقة تفوق ما تمخض عن فوتون وارد، وإن كان ذلك لفترة قصيرة جداً من الزمن، ومن ثم ينقل بعضاً من طاقته الزائدة إلى إلكترون في عصابة التكافؤ.

كما يمكن استخدام النقط الكمومية لصنع خلايا "حامل الشحنة الحار" hot-carrier cells، التي لا تضيع فيها الطاقة الإضافية التي يقدمها الفوتون كحرارة (حسبما هو الحال في الخلايا الشمسية التقليدية) بل تنتج عنها إلكترونات ذات طاقة عالية ومن ثم فلطية أعلى من فلطية الخلية المعيارية. مع الإشارة إلى أن الفيزيائي غرين Green من جامعة نيو ثاوث ويلز هو أحد العاملين على هذه التقانة. إنه يشرح ذلك قائلاً "من الممكن أن نتناول بالتغيير خواص المادة على المقياس الميكروي وذلك عند بناء مادة من القاع صعوداً على هيئة نقط كمومية". "ويضيف "وهكذا يمكن تقليل كمية الحرارة التي تضيع بسبب الاهتزازات الذرية، وذلك بتغيير صلابة التآثر بين النقط الكمومية والمادة المدفونة فيها هذه النقط".

ورغم أن الأمر يمكن أن يستغرق 10- 15 سنة كي تصل هذه التقانة إلى السوق، إلا أن مجموعة غرين بنت الآن خليتها الأولى القائمة على النقط الكمومية، ويعتقد غرين أن النبائط التجارية القائمة على هذه التقانة قد تصل مردوداتها من 20 إلى 30%. ويضيف غرين قائلاً: "سأكون مندهشاً جداً إذا لم تستخدم الخلايا الشمسية هذه التقانة بصورة أو بأخرى في غضون 30 عاماً من الآن".



مبتكرون شمسيون: مارتن غرين من جامعة نيو ثاوث ويلز بأستراليا (أقصى اليسار)؛ وديفيد كاهِن يعملان مع جيم ماك كويلان من جامعة أوتاغو بنيوزيلندا.

خلية البئر الكمومي

قبل أن يمكن استخدام النقط الكمومية لصنع خلايا شمسية مبنية على مضاعفة حاملات الشحنة أو على حاملات الشحنة الحارة، توجد عقبتان حاسمتان ينبغي تخطيهما. الأولى هي كيف نفرِّق الإلكترونات والثقوب التي تولدت في نبائط كهذه –أي الوظيفة التي تنجزها الوصلة p-n في الخلايا الشمسية المصنعة من السليكون– أما العقبة الثانية فهي إيجاد طريقة لوصل النقط الكمومية المفردة. وربما يمكن عمل ذلك بواسطة أسلاك نانوية أو بوضع النقط قريبة بعضها من بعض والاعتماد على العبور النفقي الكمومي.

إنّ نبيطة الجيل الثالث الأخرى من الخلايا الشمسية والتي تستفيد من البنى ذات المقياس النانوي هي ما يسمى خلية البئر الكمومي الشمسية quantum-well solar cell لقد بنى بارنهام وزملاؤه في الإمبيريال كوليج بلندن مثل هذه الخلية بإقحام 50 شريحة من زرنيخيد الغاليوم إنديوم نصف الناقل، الذي له فرجة عصابية منخفضة نسبياً، وكل شريحة منها لا يتجاوز سمكها بضعة نانومترات، بين قطع أثخن قليلاً من فسفيد زرنيخيد الغاليوم، الذي له فرجة عصابية أعلى. إن كل شريحة من المادة ذات فرجة الطاقة الأخفض والمربوطة من كل جانب منها بالركازة ذات الفرجة العصابية الأعلى تشكل بئراً كمومياً تُمتَص فيه الفوتونات التي تهرب منها بعدئذ الإلكترونات والثقوب بفضل طاقتها الحرارية.

يمكن لخلايا البئر الكمومي الشمسية أن تكون لها مردودات تبلغ أكثر من 30%.

تُزيح الآبارُ الكمومية مجالَ الطاقة التي تعمل الخلية بدءاً منها نحو الأسفل، وفي عملها هذا تخفض الفرجة العصابية لزرنيخيد الغاليوم بحيث يمكنه أسر جزء أكبر من طيف الفوتونات التي تضرب الخلية. وهذا يخفض قليلاً الفلطية الخارجة من الخلية (لأن الطاقة الوسطى لأزواج الإلكترونات والثقوب الناتجة تكون أقل)، لكن هذا الهبوط في الفلطية يكون أكثر مما استعيض عنه بالتيار المتزايد، مؤدياً في النهاية إلى خرج قدرة أعلى. وتكون الطريقة الأكثر بداهة لإنقاص الفرجة العصابية لخلية زرنيخيد الغاليوم بإنماء طبقة من زرنيخيد الغاليوم إنديوم فوقها. ولكن ووفقاً لبارنهام، فإن عدم التوافق في الفسحات الذرّية atomic spacing بين المادتين يُقْحم انخلاعات dislocations تقلل من مردود المادة المركبة.

وعلى غرار الخلايا الشمسية الأخرى من الجيل الثالث، يجب تعريض البئر الكمومي لضوء الشمس المركز. فعن طريق تبئير الضوء الوارد كي يغطي مساحة صغيرة جداً من الخلية الشمسية وذلك باستخدام وسائط ضوئية رخيصة نسبياً، تنخفض المساحة اللازمة من الخلية كما تنخفض التكلفة الكلية للمنظومة. ولما كانت الخلية ذاتها لا تشكل إلا الجزء الأقل من التكلفة الكلية للمنظومة فمن المعقول إذن أن نستخدم خلية أغلى سعراً ولكنها أعلى مردوداً. لقد سجل بارنهام والعاملون معه مردودات وصلت إلى 27% في خليتهم عندما عرضوها لضوء الشمس المركز 300 ضعف. هذا ويزعم الباحثون أن مردود خليتهم يمكن أن يذهب إلى أبعد من 30% وذلك بإعادة تمرير الفوتونات عندما تعود الإلكترونات والثقوب للاتحاد، كما هي تفعل بصورة محتومة. لقد أسس بارنهام وزملاؤه حديثاً شركة تدعى QuantaSolK، من أجل تسويق تقانتهم، ويخططون لبيع خلاياهم ذات الآبار الكمومية إلى مصنّعي المبئّرات (الضوئية) في غضون الأشهر الستة أو التسعة القادمة.

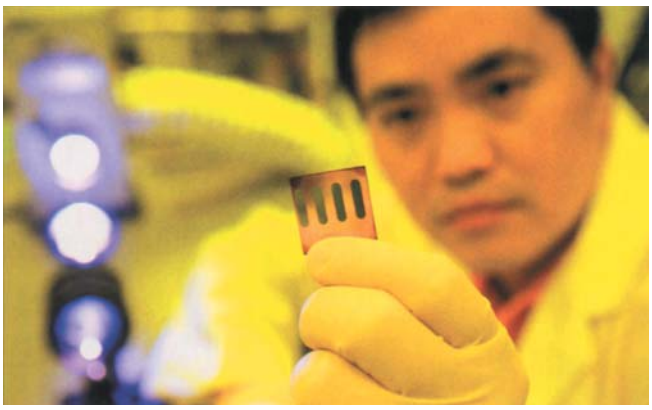
الأصبغة واللدائن

الخلية الشمسية "المتحسسة بالأصباغ" dye – sensitized هي نوع مختلف كلياً من خلايا الجيل الثالث الشمسية. بابتداع وريادة ميخائيل غراتزل M.Grätzel من المعهد الفدرالي السويسري للتقانة والعاملين معه. تمّ تصنيع هذه الخلية من تركيبة من صبغ كيميائي وثنائي أكسيد التيتانيوم، وهو نصف ناقل ذو فرجة طاقة عريضة، وهو أرخص من السليكون. تحرر الفوتوناتُ التي تصل الخلية إلكترونات من جزيئات الصباغ، التي تنتقل بعدئذ إلى عصابة النقل في نصف الناقل ثم تخرج منها إلى إلكترود. وفي أثناء ذلك، يتّحدُ الثقبُ الذي تُرك في الصباغ بإلكترون في طبقة من الكهرليت الذي يمكث بين نصف الناقل والإلكترود الثاني.

تتمثل إحدى ميزات الخلايا الشمسية المبنية على الصباغ في عدم ضرورة توافق الفرجة العصابية لنصف الناقل مع طيف الضوء المرتطم بالخلية؛ فطيف امتصاص الصباغ يمكن توليفه بسهولة على هذا الطيف –الأمر الذي يفسر لماذا يمكن استعمال ثنائي أكسيد التيتانيوم نصف الناقل ذي الفرجة العصابية العريضة الرخيص. وما دامت لا توجد ضرورة لجعل طبقة نصف الناقل سميكة، فإن الخلية الصباغية يمكن أن تُحمل أيضاً على ركازات لدنة وقابلة للانثناء. إضافة إلى ذلك، ولكون الخلايا شفافة، فإن من الممكن طمرها في نوافذ.

ووفقاً لما يقوله غراتزل، فإن العلماء قد تخلوا عن هذه الفكرة بسبب الشدة المحدودة للضوء الذي يجمعه الصباغ. ولكنه والعاملين معه قد بينوا إمكانية التغلب على هذه المشكلة باستخدام شكل نانوي التبلور من ثنائي أكسيد التيتانيوم، إذ إن شبكة البلورات الناقلة النانوية الحجم تؤمّن عدداً هائلاً من الأماكن المنعزلة والزوايا المظلمة والتي تستطيع فيها جزيئات الصباغ أن تترابط، فتتضاعف بذلك مساحة السطح المتوفرة للصبغ بأكثر من 1000 ضعف. ويقول غراتزل إن هذه الخلية ذات الأداء الأفضل للمجموعة حتى اليوم ذات مردود يزيد قليلاً على 11%، والتي ينبغي لها، حسب تقديره، أن تجعل الخلايا المتحسسة بالصباغ والمصنعة تجارياً أرخص من تلك الخلايا التقليدية المصنعة من السليكون بثلاثة أو أربعة أضعاف. وفي هذا العام بدأت شركة G24 Innovations إنتاجها التجاري الأول من الخلايا الشمسية المتحسسة بالصباغ في منشأة في مدينة كارديف بالمملكة المتحدة.

وأخيراً، هناك تقانة نشأت حديثاً بعد الخلايا المتحسسة بالصباغ، لكنها تشكل إحدى الإمكانيات المرموقة، تلك هي الخلايا الشمسية العضوية organic solar cell. إن هذه النبائط، التي تستخدم اللدائن كمكونات فعالة، هي من حيث الإمكانية أرخص كثيراً من نبائط أنصاف النواقل. كما أنها مرنة، مما يعني إمكانية تغليف السطوح فيها أو لفها على البنى المختلفة. في أوائل هذا العام ادعى David Carroll



الانتباه للتفاصيل: *جيوين ليو من جامعة ويك فوريست بالولايات المتحدة يتفحص إحدى الخلايا الشمسية البوليميرية لمجموعته.*

وزملاؤه، وهو فيزيائي من جامعة فوريست بنورث كارولينا، أنهم قد صنعوا خلية شمسية مبنية على البوليمير polymer-based solar cell بمردود يبلغ 6%. ورغم أن هذا الرقم قليل طبقاً للمعايير السليكونية، فإن ذلك المردود يدعو مع ذلك للإعجاب بالنسبة للبوليميرات ذات فرجة الطاقة الواسعة وباعتبارها ليست على قدر من الجودة عند فصل أزواج الإلكترونات والثقوب.

لقد حقق كارول وزملاؤه مردودهم العالي عن طريق صنع عروق veins بأحجام نانومترية في البوليمير المتعدِّد الزمرة 3- هكسيلثيوفين polymer poly (3-hexylthiophene) حيث وجهت الإلكترونات والثقوب بسرعة خارج النبيطة قبل أن تتمكن من إعادة الاتحاد. على كل حال، يعتقد الباحثون أن باستطاعتهم تحقيق مردودات أعلى تصل إلى 10% بتغطية أو تغليف البوليمير لقطعة من كبل ليف ضوئي fiber optic cable. ويلعب الليف دورين: فهو أولا يبقي الفوتونات داخل البوليمير حتى يتم امتصاصها، وهو ثانياً يأسر فوتونات من مجال أوسع لزوايا الورود. هذه النقطة الأخيرة تزيد جزء النهار الذي تستطيع الخلية أن تنجز فيه سويات الذروة (من حوالي ساعة بخلية من أفلام رقيقة إلى حوالي ست ساعات) ويقول كارول الذي يقوم فريقه حالياً ببناء نماذج أولية لتشكيلات منوعة من كل من الأفلام الرقيقة والألياف: "الخلايا الشمسية من اللدائن هي التي ستبقى بكل تأكيد" ويضيف قائلاً: "إنها تشكل خلايا مرنة جيدة جداً مؤهلة لتزويد قدرة كهربائية تفوق ما يزوّده أكثر من السليكون على امتداد اليوم. ولم يكن باستطاعتي قول ذلك حتى قبل ستة أشهر خلت من الآن".

بحلول عام 2050 يمكن للفوتوفلطيات أن تلبي ربع حاجة العالم من الطاقة.

التغلب على مشكلة التخزين

وعلى كل حال فإن بناء خلايا فوتوفلطية ذات مردود، ولذلك تكون رخيصة، لا يشكل

ضماناً بأن القدرة الشمسية ستصبح جزءاً رئيسياً من مزيج الطاقة العالمي. حتى لو أمكن تحويل هذه النبائط إلى منتجات تجارية عالية الأداء، فستبقى هناك مشكلة البناء والتركيب الفعلي للعدد الهائل من اللوحات الذي سنكون بحاجة إليه. إن ما يستخدمه الناس اليوم من الطاقة هو بمعدل 13 ترّاواط (TW)، ويتنبأ كثير من الخبراء أن النمو السكاني والتوسع الاقتصادي سيزيدان هذا الرقم إلى حوالي 45 ترّاواط TW بحلول العام 2050. إن توليد 20 تراواط من تلك الطاقة بواسطة ألواح ذات مردود 10% يعني، حسب كرابتري ولويس، تركيب هذه الألواح فوق 0.16% من السطح الترابي للكرة الأرضية. فإذا علمنا أن جزءاً فقط من هذه ستتلقاه هذه الألواح على منازل الناس، فإنه ينبغي إقامة مزارع واسعة في مناطق ذات كميات لا بأس بها من ضوء الشمس. ولا يخفى أن محاولة إقامة مثل هذه المزارع في الغرب ستواجه بشكل ساخر الاعتراض لأسباب بيئية.

هناك عقبة أخرى تتمثّل في البنية التحتية اللازمة لتأمين الكهرباء الشمسية إلى من يحتاجها (عندما تبنى الخلايا في مزارع). وربما تكون مسألة كيفية تخزين الكهرباء أكبر تحدٍّ، إذا علمنا أن الشمس لا تضيء كل الوقت. ونذكر هنا أن أحد الخيارات الذي يستخدمه حالياً منتجو الكهرباء من القدرة النووية، يشمل تجميع المياه إلى هضبة عندما يكون الطلب على الطاقة قليلاً ثم إطلاقها عندما يكون الطلب كبيراً وبذلك يولدون كهرباء حسب المطلوب. ويمكن للطاقة الشمسية أيضاً أن تخزَّن بصورة ممكنة باستعمال بطاريات أو دواليب تعديل السرعة flyweels أو حتى من خلال تكوين الهدروجين. بيد أن البنية التحتية اللازمة لضخ الهدروجين إلى حيث يلزم ستكون باهظة الكلفة جداً.

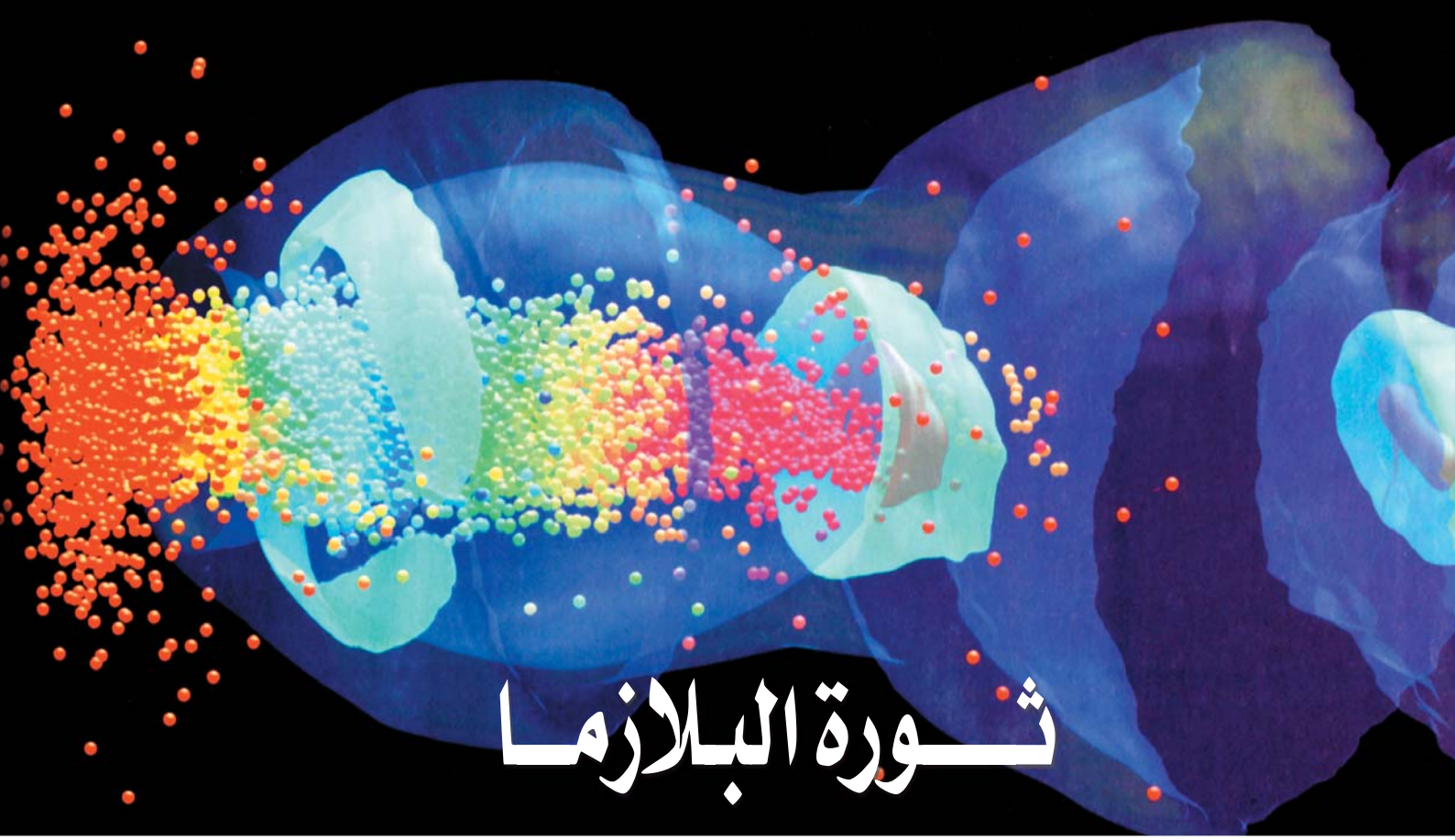
وبناء على ذلك يبقى أن ننتظر لنرى فيما إذا كان بالإمكان استحواذ نمو سريع للتيار في الطاقة الفوتوفلطية. وعلى وجه الخصوص، ليس من المؤكد إلى أي مدى ستدعم الحكومات الطاقة الشمسية. لقد وضعت ألمانيا برنامجاً يضمن في القانون أن مولدي الطاقة الشمسية سيُدفع لهم قدر من المال مقابل الكهرباء المأخوذة من عندهم، حُدّد حدّه الأدنى، من قبل شركات تشغّل شبكات كهربائية، توزع الكلفة الإضافية التي تتعرض لها بين زبائنها. وقد نتج عن هذا قيام عدد من شركات الفوتوفلطية الضخمة، من بينها Q- cell القائمة بالقرب من ليبزيغ بألمانيا، التي تقدر قيمتها الآن بعدة بلايين من الدولارات وهي تنمو بسرعة خارقة. أما في اليابان –التي هي موطن ومقر شركة Sharp كبرى مصنّعي الفوتوفلطيات في العالم– فقد خطط لزيادة طاقتها من الخلايا الشمسية إلى حوالي 100 جيغاواط (حوالي 30 ضعفاً للطاقة العالمية الحالية) بحلول عام 2030.

لكن بلداناً أخرى لا تبدو متحمسة. ففي الولايات المتحدة، على سبيل المثال، لا يزال من الصعب الحصول على المال من أجل البحث في مجال الفوتوفلطية. فوزارة الطاقة في الولايات المتحدة تنفق حالياً حوالي 100 مليون دولار في العام على تطوير الطاقة الشمسية، لكن جزءاً صغيراً منها فقط يذهب على البحث في التقانات الجديدة. ويقول كارول: "لا توجد تحديات تقنية لا يمكن التغلب عليها". ويفسر ذلك بقوله: "أي لا توجد قوانين فيزيائية تمنع فعلاً من بناء نبائط ذات مردودات عالية. يمكن استغلال التقانة للتجارة والربح إذا ساهم قطاع الشعب بالاستثمار".

يعتقد كارول، شأنه شأن آخرين، أن الطاقة الشمسية ستغطي جزءاً من الإنتاج العالمي للطاقة خلال فترة زمنية تمتد من 10 إلى 20 عاماً. لكنه يظن أن هذا يمكن أن يحدث أبكر من ذلك إذا كان السياسيون راغبين بتمويل مزيد من البحث. وفي ذلك يقول "يمكنك أن تحلّ أي شيء بالعلم"، ويضيف قائلاً "لكن يجب عليك ألاّ تبخل على العلماء من أجل القيام بذلك".

– *الكاتب: إ. كارتليدج محرر أخبار في مجلة Physics Word.*

– *نشر هذا المقال في مجلة Physics Word, July 2007، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.*



ثـــورة البـلازمـــا

ملخص

تلتزم مسرِّعات الجسيمات التي تستخدم تقانة البلازما بأن تعصف بمجالات فيزياء الجسيمات عالية الطاقة ومعالجة السرطان. وتبقى التحديات أن توجد مكنات أصغر قداً وأرخص ثمناً في متناول اليد.

الكلمات المفتاحية: صادم خطي، اهتزاز حقل المَخْر، تدويم.

بعيداً عن التحديات النظرية والهندسية لبناء مسرعات الجسيمات، تمثل التكلفة المطلقة مصدر قلق للفيزيائيين الذين يتضمن عملهم تسريع وسحق الجسيمات تحتَ الذرية معاً بسرعة عظيمة. يعتقد العديد من فيزيائيي الجسيمات بأنَّ الصادم الخطيَ الدولي المخطط له (هو صادم بوزيتروني كلفته 7 ملايين دولار يمكن أن يستهل تشغيله في غضون عقد من السنين) إذا ما انطلق قدماً فقد يكون آخرَ مسرعٍ ضخم يبنى لعدة عقود طالما أن الحكومات أخذت تمارس الضغوط عَلى التمويل.

تعتبر تكلفة المسرعات مصدر قلق ليس فقط لهؤلاء الذين يَصْبون إلى مكنات متزايدة الكبر بغية سبر مستويات متزايدة المقاس. إذ يعتقد بعض أطباء الأورام أنه يمكن للحزم البروتونية أن تعطي نتائج متفوقة لمعالجة بعض الأورام بأشعة X التقليدية، لكنهم يقولون أن حجم وتكلفة المسرعات قد حدّا من عدد الدراسات فيما يخص الجدوى السريرية لهذه المعالجات.

يقول Charlie Ma، وهو مدير قسم الفيزياء الإشعاعية في مركز the Fox Chase للسرطان في فيلادلفيا، بنسلفانيا: "إذا استطعنا تصغير قدود المسرّعات، فإننا نستطيع تخفيض كلفة المعالجة البروتونية إلى شيءٍ قليلٍ جداً". فبناء مركز للمعالجة البروتونية ذي سكلوترون تقليدي أو مسرعات سنكروترونية يكلف ما بين 100 مليون دولار و200 مليون دولار، الأمر الذي يُفسِّر سبب قلة وجود هذه المنشآت (راجع فقرة "استهداف الأورام" في نهاية المقال).

ولكن إذا ما استمر بحثُ المُسرِّع في التقدم بالمعدل السريع الذي رأيناه في السنوات الأخيرة، فإن الاقتصاديات قد توشك على التبدّل نحو الأفضل. وتقوم مجموعةٌ قليلةٌ من الفرق بالعمل على طريقةٍ جديدةٍ لتسريع الجسيمات –تعرف باسم تسريع حقل الصحوة wakefield acceleration– وهذا الأمر لا يفيد في دفع الفيزيائيين باتجاه مجال الاكتشاف القادم للطاقة فحسب، بل يُقدّم مسرعات مكتبية table-top معقولة التكلفة يمكن أن تُحدث ثورة في معالجة السرطان.

وتتضمن هذه التقنية تمرير إما حزمة ليزرية أو حزمة من الجسيمات عبر بلازما. وهنا تبعثر الحزمة إلكترونات مما يسبب توزيعاً غير مستوٍ للشحنة ما بين الجسيمات المبعثرة وأيونات البلازما. ولكي يتم إعادة توزيع مستوٍ للإلكترونات، فإنه يتم سحبها رجوعاً باتجاه أيونات البلازما الموجبة التي تجمعت باتجاه مؤخرة نبض الحزمة. ولكن الإلكترونات تتجاوز مواقعها الأصلية مُحْدثة اضطراباً شبيهاً بالمَخْر wake يسمى اهتزاز حقل المَخْر wake field oscillation. وضمن هذا المَخْر توجد جيوب pockets من أيونات البلازما يسميها الفيزيائيون فقاعات bubbles، وذلك بفضل شكلها الكروي.

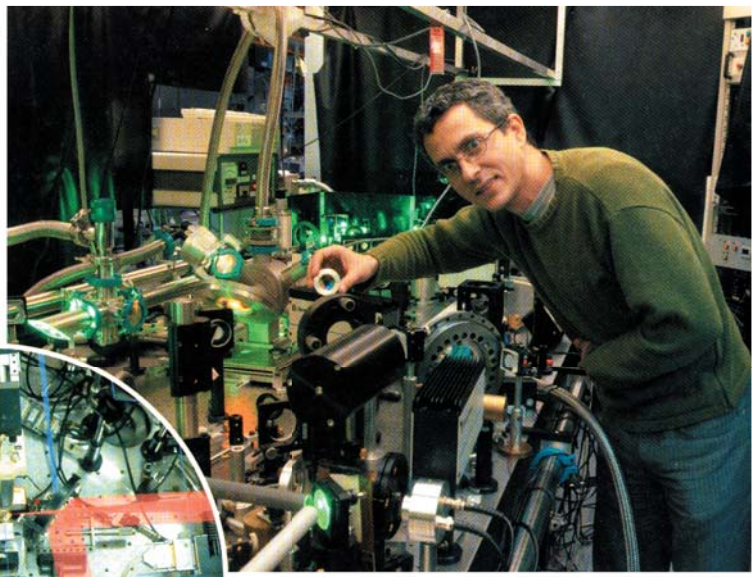
يقول Wim Leemans : يمكن للتجارب في الأعوام القليلة القادمة أن تنشئ حقلنا أو تعطله

يسبِّب مَخْر الموجة المتهشِّمة تدويماً turbulence ولا يُعدُّ المَخْر المتولِّد في البلازما استثناءً من ذلك. ولكن كما يعرف راكبو الأمواج surfers ومالكو القوارب، إذا صدف أن اصطدمت بالموج تماماً في المكان الصحيح فإنك قد تتسارع بفعل الموجة المتكسرة. لذلك فإن بعض الإلكترونات تستطيع أن تركب موجة حقل المَخْر البلازمي the plasma wakefield. بينما تستطيع جسيمات أخرى مثل البروتونات المحقونة داخل الحزمة أن تسرع تلك الإلكترونات وصولاً إلى طاقاتٍ مرتفعةٍ جداً.

وعند استخدام حزم الجسيمات لخلق المَخْر فإن ذلك كثيراً ما يسمى ببساطة تسارع المَخْر البلازمي. ويُخْلَق هذا الاضطراب من خلال تنافر إلكترومغنطيسي بين الحزمة والإلكترونات البلازما. وبالنسبة لتسارع حقل المَخْر الليزري laser wakefield acceleration يسبب الضغط الإشعاعي من حزمة الليزر تشكيل المخر.

تأثير الفقاعة:

في السنوات الثلاث الأخيرة، ولَّد تسارع حقل المخر فقاعةً من الإثارة خاصةً به. ويقول Swapan Chattopadhayay، مدير معهد كوكرفت (وهو مركز بحوث مسرِّعات تعاوني. تمَّ افتتاحه في العام الماضي في منطقة وارينغتون في المملكة المتحدة): بأن تجربة حقل المخر في مركز المسرع الخطي بستانفورد (SLAC) بكاليفورنيا في هذا العام قد افتتحت فصلاً جديداً في فيزياء المسرعات.



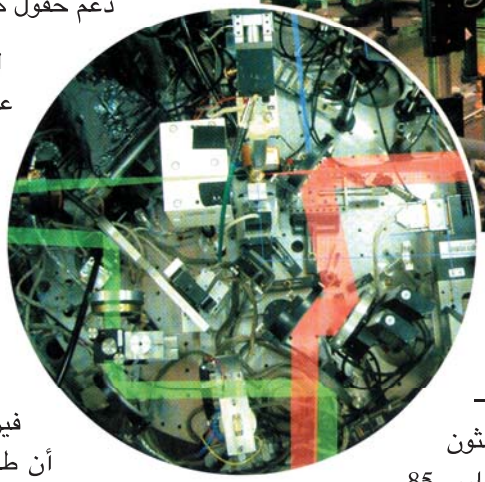
يستخدم Victor Malka ليزراً معاكساً للتحكم لحقن الإلكترونات ضمن الحقول البلازمية

وباستخدام إطالة مقدارها 400 متر للمسرع الأساسي ذي الطول 3.2 كيلومتر الموجود في SLAC – وهو أطول المسرعات الخطية في العالم– استطاع الباحثون أن يضاعفوا طاقة الحزمة الإلكترونية فوق مسافةٍ تساوي 85 سنتيمتراً فقط. صحيح أن الكثير من الحزمة يفقد الطاقة في تنصيب setting up حقل مخر البلازما، لكن القليل من الإلكترونات (0.02% فقط) قد تم تسريعه من 42 غيغا إلكترون فولط إلى حوالي 85 غيغا إلكترون فولط. ويشار هنا إلى أن التقانة التقليدية يكون عليها أن تسرِّع الإلكترونات إلى حوالي ثلاثة كيلومترات بغية تحقيق هذا التسريع في الطاقة. يقول Chattopadhyay: "إن هذه الحيلة في إرسال الحزمة الإلكترونية الخاصة بمركز SLAC من خلال نفث بلازمي plasma jet من أجل مضاعفة طاقته دون الحاجة إلى مضاعفة حجم المنشأة هو أمرٌ رائع في الواقع".

يقول أحد أعضاء فريق SLAC، وهو خبير فيزياء المسرِّعات Chandrashekhar Joshi من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس (UCLA)، بأن أخذ أبحاث مسرع حقل المخر الليزري إلى SLAC كان الخطوة المنطقية التالية لصالح الحقل. ويضيف موضحاً: "إن الليزرات ذات النبض القصير تكون قويةً، لكن الحزم تحتوي نمطياً على طاقاتٍ تعادل عشرات الجولات. أما طاقات حزم الجسيمات particle beams فإنها بالمقابل تكون من رتبة آلاف الجولات (كيلوجولات). وبكلمات أخرى، تستطيع تقانة حزم الجسيمات أن تصل إلى طاقاتٍ تفوق كثيراً طاقات التقانة المعاصرة المعول عليها.

انشطار الأيونات:

نظرياً، لا يوجد ثمةَ حدٍّ للطاقات التي يمكن أن تصل إليها مسرعات حقل المَخْر البلازمية. ففي المسرعات التقليدية، يتم تسريع الجسيمات بواسطة حقل كهربائي– بحيث إنه كلما زاد انحدار المجال gradient الكهربائي زاد التسريع. ولكن الحقل يستطيع الزيادة كثيراً فقط قبل أن تبدأ مادة الجوف cavity material المحيطة (مثل النحاس أو مادة ناقلة فائقة) في التفكك حينما تنتزع الإلكترونات من ذراتها. وبما أن البلازما (بالرغم من كونها حيادية neutral عموماً) تكون مفككة سلفاً إلى ذراتها وإلكروناتها، فإنها تستطيع دعم حقول كهربائية أكثر قوةً بكثير.



لقد شكلت تجربة SLAC إنجازاً على صعيد عدة جبهات. فقد بينت أن التكنولوجيا (التقانة) يمكن أن تعمل على مسافات كبيرة، تصل أحياناً إلى المتر، بدلاً من السنتيمترين اللذين تحققا في السابق باستخدام تقانة الليزر. وكذلك قد أنتجت ما يكفي من الطاقة لتكون محط اهتمام في فيزياء الجسيمات العالية الطاقة. بيد أن طاقة الإلكترونات المسرَّعة والمسافة التي تواصل بها الإلكترونات تسارعها ليستا

يقول Charlie Ma : إذا استطعنا تصغير قدود المسرّعات ، فإننا نستطيع تخفيض كلفة المعالجة البروتونية إلى شيء قليل جداً

الخاصيتين المهمتين الوحيدتين فقط لسرع ما. فثمةَ عوامل أخرى أساسية لا بد أيضاً من تناولها: فلا بد لعدد الجسيمات المسرعة، أو كثافة الطاقة، أن تكون أعلى ما يمكن، ويجب أن يكون للجسيمات انتشار للطاقة منخفض، مما يعني أنها جميعاً تتصف بطاقات متشابهة. وبوجود انتشار للطاقة مقداره 100%، فإن تجربة SLAC ما تزال عليها أن تقطع بعض الطريق للنجاح.

إن التجارب باستخدام مسرعات حقل المخر wakefield الليزرية، مع كونها تعمل بطاقات أقل وفوق مسافات أقصر من مسرعات البلازما، فهي تحرز التقدم بوجود هذه العوامل الأساسية. وفي العام 2004، استخدمت ثلاثُ فرق أجهزةً ليزرية في تسريع الإلكترونات بحيث استحوذوا طاقات متشابهة وكثافات طاقة معقولة، تتجاوز 10^{9} إلكترون لكل حزمة. وهذه التجارب نشطت الاهتمام بتسريع حقل المَخْر الذي اقترحه لأول مرة الفيزيائيان Toshiki Tajima وJohn Dawson في UCLA منذ ربع قرن مضى.

ولكن من أجل إجراء تجارب صدم الجزيئات، على غرار تلك التجارب في SLAC، فإن الحزم يجب أن تصل إلى كثافات طاقية تبلغ 10^{34} من الجسيمات. ولن يكون الجزء الزهيد من الإلكترونات المسرعة في SLAC بأي شكل من الأشكال قريباً من الكفاية لتجربة صدم.

وفي أواخر العام المنصرم، حقق باحثو تسريع حقل المَخْر خطوة إلى الأمام. فقد حققت تجارب العام 2004 بتسريع إلكترونات فوق المدى 0.1 غيغا إلكترون فولط، ولكن تعاوناً بين باحثي مخبر Lawrence Berkeley الوطني في كاليفورنيا وفريق يرأسه Simon Hooker من جامعة أكسفورد في بريطانيا عزّز الإلكترونات إلى أكثر من 1 غيغا إلكترون فولط.

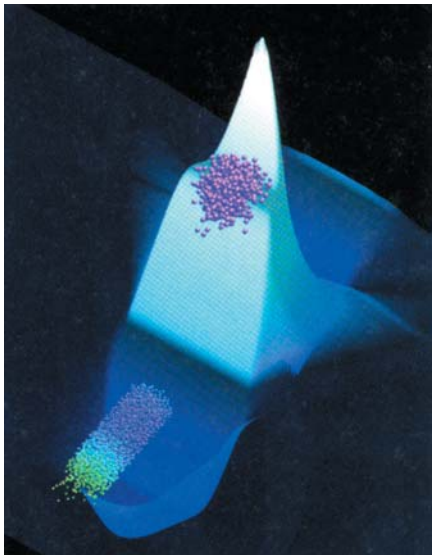
خطوات صغيرة:

ومع ذلك، لا يُعدُّ هذا حد الطاقة الأعلى الذي يتخذ مكاناً في منطقة التيرا إلكترون فولط وما وراءها، بل إنه يظل مكسباً معتبراً بالنسبة للتجارب السابقة. وحسبما يقول Wim Leemans، رئيس الفريق في مخبر لورنس بيركلي الوطني: "إن هدفنا القادم هو الوصول إلى 10 غيغا إلكترون فولط، وهو ما سوف نحتاج من أجله إلى جهاز ليزري أكبر حجماً، أي حوالي تيرا واط واحد".

وأكثر من ذلك، فقد استطاع الباحثون صنع حزم جسيمات أضيق تتميز بانتشارات حزمية ضيقة، بمعنى قسمة انتشار الطاقة على طاقة الذروة. وتُعَدُّ الانتشارات الضيقة هامةً في معالجة السرطان، حيث تحدد الطاقة مدى العمق الذي ستودع فيه البروتونات طاقتها القصوى في الجسم. ولقد حقق الباحثون انتشاراً للحزم يبلغ أقل من 5% بالمقارنة مع نسبته في العام 2004 وهي 10% ونسبة 100% فقط منذ سنوات قليلة مضت. ولكن ما يزال ثمة مجال للتحسين إذ يقول Karl Krushelnick، وهو فيزيائي مسرع حقل المَخْر من جامعة ميتشيغان في Ann Arbor: "بالنسبة للعديد من العمليات التي نود أن نستخدم لها هذه الحزم الإلكترونية، فإن هذا الرقم لا بد بالتأكيد أن يكون أقل من 1%".

وفي العام الماضي أيضاً، قام Victor Malka وفريقه في كلية العلوم التطبيقية Ecole Polytechnique في باليسيو خارج باريس– بتطوير تقنية تستخدم حزمة ليزرية ثانية معاكسة من أجل خلق حزمة إلكترونية تستطيع تغيير طاقتها أثناء مسيرها. وتُستخدم الحزمة الليزرية الثانية هذه في التحكم بحقن الإلكترونات التي تعلو حقل المَخْر. أما الإلكترونات المسرَّعة الناتجة فإنها تملك انتشاراً طاقياً يقل عن 10%، وعبر تغيير الطريقة التي يتراكب بها الليزران يستطيع الباحثون موالفة طاقة الحزمة من 15 ميغا إلكترون فولط إلى 250 ميغا إلكترون فولط. ومن المهم أن الحزمة كانت أقل عرضةً للفشل منها كما في إعدادات التجارب السابقة.

جسيمات للناس



تستطيع الإلكترونات آن تركب موجات البلازما الضخمة

يقول Malka: "نملك حالياً فهماً جيداً والكثير مما أنجزه العلم، وتبقّى علينا على نحو ما العمل التقني المطلوب لتحسين وإقرار المكنات كي نحقق إنتاجاً تجارياً". أما التطبيق التجاري الذي يفكر به Malka فيما يخص بحوث مجموعته فإنه يتمثل في معالجة السرطان. فمنذ العام 2004، كان Malka يتعاون مع فريق يقوده طبيب الأورام Uwe Oelfke من المركز الألماني لأبحاث السرطان في هيدلبرغ في إنجاز محاكيات صارمة تقارن بين المعالجة بالبروتونات والمعالجة بالأشعة السينية وذلك لاستهداف الأورام. ويأمل الفريق أن يطبق نتائجه على المرضى في غضون السنوات الخمس القادمة.

وإذا استطاع باحثو حقل المَخْر تحقيق النجاحات التي يأملونها في غضون السنوات

القادمة، فإن المسرعات المكتبية table-top يمكن أن تصبح أكثر قوة مما هي عليه الآن. وسوف يتم تنفيذ العديد من التجارب (التي تعد حالياً حبيسة منشآت كبيرة قليلة نسبياً والتي تكون من الناحية النمطية كبيرة الحجم ومرتفعة الكلفة) في أقبية الجامعات باستخدام التقانة المضغوطة والرخيصة. يقول Leeman: "يمكن للتجارب في الأعوام القليلة القادمة أن تنشئ حقلنا أو تعطله، ومع ذلك، فكلي أمل بأننا سنتمكن من تناول المزيد من القضايا مثل جودة الحزمة مثلما آمل في نجاح تسريع حقل المَخْر بشكل حقيقي".

وحتى عند الحد الطاقي الأعلى، فإن من المرجح أن يعمد الجيل القادم من المسرعات الضخمة جداً إلى دمج البلازما. ووفقاً لـKrushelnick، تعد حقول مَخْر البلازما الطريقة الوحيدة ذات التكلفة المقبولة لتحقيق ممالات gradients التسريع الكبيرة جداً والمطلوبة للحصول على طاقات عالية قصوى، وربما حتى ذات مقاسات تترا terascale. هذا ويمكن أن تستخدم تقنيات البلازما بشكل أولي في دعم تقانة المسرعات الموجودة حالياً (كما هو الحال مع تجربة SLAC) أو في تنصيب المسافات المتعددة لبناء مسرع حقل مَخْر البلازما من لا شيء. ويحاول فريق SLAC بالفعل استخلاص كيف يمكن لمسرعات البلازما الصغيرة الكثيرة أن تتحد لتشكيل مكنة يُعوّل عليها. ويقول Joshi أنه يأمل أن يستطيع هو وفريقه أن يتناولوا جميع القضايا العلمية الملحة العالقة وأن يقترحوا مسرِّعاً مبنياً بشكلٍ كاملٍ على البلازما في غضون عشر سنوات.

المؤلف: Navros Patel مؤلف مستقر في مدينة نيويورك
نشر هذا المقال في مجلة Nature, September 2007.

استهداف الأورام:

يمكن للمعالجة الإشعاعية المعيارية أن تحدّ من نمو الورم لدى الكثيرين من مرضى السرطان. وهي تعمل بواسطة إيصال جرعات عالية من أشعة إكس إلى الجسم بحيث يتأين ما يكفي من الجزيئات لتدمير خلايا الورم. ولكن بما أن الخلايا الورمية صعبة الاستهداف بشكل دقيق، فكثيراً ما تدمر أشعة إكس أنسجة سليمةً حول الورم، ولذلك لا يستطيع الأطباء استخدام الجرعات العالية بالشكل الذي يودونه.

ويجادل أنصار العلاج بالبروتونات بأن البروتونات في حزمة جسيمية ما ينبغي أن تكون قادرةً على استهداف الأورام بشكل أدق مما تفعله أشعة إكس. ويعود ذلك إلى أن البروتونات تفقد أغلب طاقتها في اللحظة التي تسبق توقفها حينما تسافر عبر المادة. وهكذا، فسوف يحصل التأين الأقصى حينما تقترب البروتونات من توقفها المستهدف، وهو الأمر الذي يعتمد على طاقة الحزمة، مما يدع النسيج السليم غير

يمكن لجرعة الاشعاع (الخطوط الملونة) أن تتوزع بشكل أضيق حول ورم البروستات (بالأحمر) مع العلاج بالبروتونات (أسفل) أكثر مما يفعل العلاج الاشعاعي التقليدي

ممسوس إلى حدٍّ كبير. وثمة محاكيات حاسوبية نفذها طَبيب الأورام Charlie Ma وزملاؤه من مركز Fox Chase للسرطان في فيلادلفيا– وهي تؤيد الفكرة القائلة بأن الحزم البروتونية المولدة التي تولّدها مسرعات حقل المخر تستطيع استهداف الأورام بشكل أكثر دقة بكثير من تقنيات المعالجة الإشعاعية التقليدية (أنظر المحاكيات إلى اليمين).

وثمة آخرون يجادلون بأن البيولوجية الإشعاعية للمعالجة البروتونية غير مفهومة جيداً. وأن التفوق المزعوم للحزم الجسيمية على المعالجة الإشعاعية التقليدي لم يثبت على نحو كافٍ في العيادات.

ويتساءل Steve Hahn، وهو طبيب أورام عبر المعالجة بالإشعاع في كلية الطب التابعة لجامعة بنسلفانيا في فيلادلفيا، قائلاً: "تتميز الحزم البروتونية بخصائص فيزيائية محببة، ولكن يبقى السؤال هو: هل ستتم ترجمة ذلك إلى نتائج إكلينيكية متقدمة؟"."وربما تتطلب الإجابة على ذلك تجارب الطور الثلاثي العشوائي".

يقول Ma بأنه يحمل بعض التعاطف لوجهة النظر هذه إلا أنه يحاول أن يبرهن أن التكاليف حدّت من قبول المعالجة البروتونية، طالما أنها كانت قد اقترحت لأول مرة في الأربعينيات من القرن الماضي. وتستخدم مكنات المعالجة البروتونية الراهنة مسرعات تقليدية باهظة وكبيرة الحجم، ولهذا فإنها تحتاج إلى مكان متسع. حيث يمكن أن يكلف التدريع الإشعاعي حوالي 40 مليون دولار، وفقاً لقول Ma، بحيث يصل الرصيد الإجمالي لكلفة المعالجة في مركز المعالجة البروتونية إلى 100 مليون دولار أو أكثر.

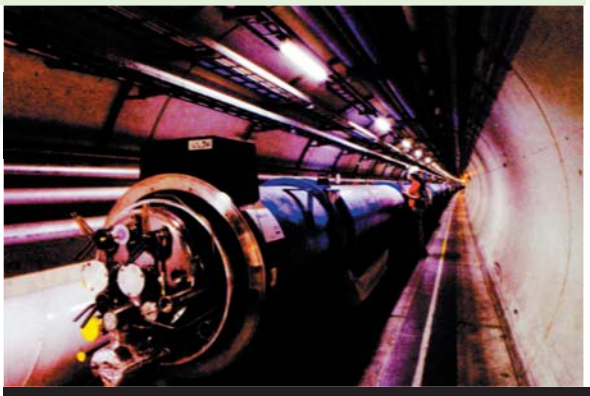
ومع وجود القليل من المنشآت السريرية في العالم، فإن تجارب الطور الثلاثي phase-III trials المراحل التي يطالب بها Hahn كانت قليلةً ومتباعدة فيما بينها. ففي واحدة من أكبر الدراسات السريرية المعروفة حتى الآن، فقد حقق 1255 شخصاً معالجة بالبروتونات من أجل سرطان البروستات معدلات بقاء على قيد الحياة مساوية لأولئك الذين تلقوا العلاج الإشعاعي التقليدي والجراحة، ولكن مع تأثيرات جانبية أقل. ويعتقد Ma أن مسرعات حقل المخر ذات الكلفة المقبولة إنما تقدم أفضل طريقة للرد على المخاوف حول النتائج السريرية. ويوافق Hahn قائلاً: "يعد مسرع حقل المخر بجعل هذه التقانة أقل تكلفةً وواسعة التوافر، مساعداً بذلك على حل التناقض التجريبي".

ويتفاءل Ma بأن مرفق حقل المَخْر الليزري الذي يعمل فريقه على إيجاده في المخبر سرعان ما سينقلب إلى منظومة سريرية. وإذا سار كل شيء وفقاً لما هو مخطط له، فسوف يبدأ مركز Fox Chase للسرطان بمعالجة أوائل مرضاه في غضون السنوات الخمس أو العشر المقبلة، وسوف يصبح مرفقاً سريرياً أولي النموذج لجيل جديد من مراكز المعالجة البروتونية المتضامّة compact.

وفي ألمانيا، يعتقد طبيب الأورام Uwe Oelfke من مركز أبحاث السرطان في Heidelberg أنه سيتمكن من البدء باستخدام مسرعات حقل المَخْر على المرضى المصابين بسرطانات العيون التي يصعب علاجها وذلك حالما تتوافر حزم البروتونات ذات الطاقة 70 ميغا إلكترون فولط وهو ما يفوق ما أمكن تحقيقه حتى الآن باستخدام التسريع الليزري لحقل المَخْر بمقدار 12 ميغا إلكترون فولط. وهو يقول: "إذا كان بالإمكان بناء شيءٍ ما كهذا ويقوم بعمله بشكلٍ موثوق، فإن ذلك سيكون خطوة جبارة".

العلم الضخم يعوزه ابتكار خلاء يناسبه

ستكون تقانة الخلاء حاسمة لنجاح العديد من تجارب المستقبل الكبيرة. ويلخص Joe Herbert بعض التحديات العامة التي تواجه العلماء في هذا الصدد.



يقدم نفق LHC فراغاً صغيراً لتجهيزات الخلاء.

سوف يستند الجيل القادم من تجارب العلم الضخم، مثل المصادم الهيدروني الضخم (LHC)التابع للمختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات (سرن CERN)، وكذا المفاعل التجريبي النووي الحراري (الاندماجي) الدولي (ITER)، على منظومات خلائية توسع حدود تقانة اليوم فيما يخصّ الحجم وقوة الضخ. وهناك تقانات أخرى مثل ليزر الإلكترون الحر بأشعة X الأوربي (XFEL) سوف تتطلب شروط خلاء صاف إلى أبعد الحدود، في حين سيتضمن الهوائي الفضائي لقياس التداخل (LISA) إطلاق منظومات خلائية إلى الفضاء.

يتمثّل التحدي الرئيسي الذي يواجه علماء الخلاء الذين يعملون على مثل هذه التجارب في تأمين وسط خلائي مناسب بتكلفة معقولة. أما كيف يمكن تحقيق ذلك فإنه يختلف من مشروع إلى آخر. وتبحث هذه الإضافة في التحديات النوعية التي تصاحب كل مشروع من هذه المشاريع الأربعة.

ففي حين تختلف كل هذه التجارب بعضها عن بعض اختلافاً كبيراً، فإنها تطرح مجموعة مشابهة من التحديات أمام علماء الخلاء. وتشمل مجموعة التحديات هذه فهم المتطلبات الخلائية للتجربة وكيف سيؤثر تصميمها الميكانيكي على المنظومة الخلائية، والتعامل مع الارتيابات المختلفة في البارامترات المشغّلة لتجهيزات الخلاء، وتصنيع مكونات الخلاء ومعالجتها، وإيجاد أناس متدربين تدريباً مناسباً وكافياً لبناء المنظومة وتشغيلها.

يبرز العديد من التحديات المبكرة لأن مصممي التجربة –وهم الفيزيائيون الذين سيستخدمون المنشأة كأداة للبحث في نهاية المطاف– قد لا يعرفون ما تتطلبه منظوماتها الخلائية. ويسعى الباحثون إلى طلب أفضل خلاء ممكن، حتى ولو لم يكن ذلك ضرورياً. إن الإفراط في المواصفات يؤدي إلى إنفاق غير ضروري، الأمر الذي يمكن تفاديه لو امتلك عالم الخلاء فهماً أولياً جيداً للكيفية التي ستؤثر بها شروط الخلاء على التجربة. وحتى لو كانت متطلبات الخلاء محدّدة بشكل جيد، فقد يصعب جداً حساب درجة دقة الضغط المتوقّعة في المواضع المهمة في منظومة خلاء ضخمة. هذا، ويجب أَخْذ ارتيابات عديدة بالحسبان، لأن إجراء تغيير في التصميم حتى لو كان صغيراً يمكن أن يؤدي إلى اختلاف كبير في شروط الخلاء. كنتيجة لذلك، فإن تصميماً ما غالباً ما سيمر في بضعة تكرارات قبل تحقيق خلاء مرضٍ.

وكذلك يجب على علماء الخلاء أن يتفهّموا المطالب والحدود التي سيفرضها التصميم الفيزيائي للتجربة على منظومة الخلاء. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكون مواد دخيلة قد اختيرت للاستفادة من الميكانيكية، أو الحرارية أو الكهربائية، حتى على الرغم من عدم معرفة الخصائص الخلائية لتلك المواد بشكل جيد. إن قياس الخواص الحرارية لإزالة الغازات المتشرِّبة لمثل هذه المواد، وإيجاد وصفات للمعالجة والتنظيف بهدف تقليل الغاز إلى مستوى مقبول قد يستغرق قدراً كبيراً من الوقت. وعلى سبيل المثال، فإن طرد الغاز هذا يشكل تحدياً لا يستهان به لأولئك الذين يبنون المفاعل التجريبي النووي الحراري العالمي ITER. فالمنظومة الخلائية لهذا المشروع ينبغي أن تتدبر حمولات غازية من عدة آلاف من مكوِّنات تُصنع من مواد متخصِّصة لابدّ أن تتماشى مع الوسط المزعج داخل جهاز الاندماج.

إن مسرعات الجزيئات مثل LHC وXFEL، توضع عادة في أنفاق يكون حَيِّزها صغيراً وضيقاً بالنسبة لمضخّات التخلية. يُضاف إلى ذلك أن الأطوال الهائلة للعديد من المسرِّعات الحديثة (حوالي 27 كيلو متراً في حالة المصادم الهيدروني الضخم LHC) يمكن أن تضع قيوداً قاسية على سرعات الضخ. وفي حالة المسرِّع LHC يتمّ تخفيف هذه المشكلة بوضع طلاءات غير قابلة للتبخير تحوّل بدورها جدران حجرات التخلية إلى مضخات.

هناك تحدٍّ آخر يتمثّل في تجهيزات التخلية ذاتها، والتي غالباً ما يكون أداؤها غير محدد تماماً. فسرعات الضخ لمضخات UHV، على سبيل المثال، قد لا تكون معروفة إلاّ من أجل قلة من أنواع الغازات. ولمزيد من تعقيد الأمور، قد تحقِّق المضخات المتشابهة سرعات مختلفة، وذلك بالاعتماد على الكيفية التي كانت تستخدم فيها المضخة في الماضي. هذا، ويمكن أن يكون لمقاييس الخلاء

تأثير رئيسي أيضاً على التخلية (وبخاصة عند الضغوط المنخفضة جداً) وغالباً ما تترك استقراريتها شيئاً ما مرغوباً فيه. ولربما يكون من غير المستطاع تلبية المتطلبات الخاصة لمنشأة ضخمة عبر التجهيز التجاري، ولابد من تطوير منظومات جديدة. وعادة ما يتضمن ذلك توسيع تقانات موجودة بدلاً من تطوير شيء ما من لاشيء.

وحالما يتم توصيف التصميم يجب تصنيع المكوّنات وتحضيرها، وغالباً ما يكون ذلك باستخدام مواد وطرق عند تخوم صناعة الخلايا أو حتى ما بعد مقدراتها. ويمثل ضمان الجودة تحدِّياً رئيسياً، وغالباً ما ينبغي على المشروع أن يقدّم الإجرائيات الضرورية، وشؤون العاملين والتجهيزات. ومن نافلة القول إن المشاريع الكبيرة تتطلب قدراً كبيراً من التصميم المفصّل، وقدرة التصنيع والمعالجة، بالإضافة إلى الحفظ الحريص على السجلات. أما التحدي الأخير فإنه يتمثل في إيجاد عدد كاف من الناس المؤهلين والمدرّبين بشكل جيد ممن يفهمون الخلاء فهماً صحيحاً. صحيح أنه ليس بالفن المشعوذ، ولكنه ليس بالعلم الدقيق أيضاً.

نُشر هذا الخبر في مجلة: Physics World, July 2007

الاسترخاء بعد الانضغاط الشديد

الشكل: البحث عن التوازن
حليب بارد في قهوة ساخنة.

هل تكون القواعد التي تقرر الاسترخاء في التوازن هي ذاتها في العالَمين التقليدي والكمومي؟ لقد دعمت التجارب الحديثة فكرة التماثل هذه، بيد أن دراسة أجريت باستخدام ذرّات فائقة البرودة تناقض ذلك الآن.

تقودنا خبراتنا اليومية إلى أن نتوقع سَعْي الأشياء إلى التوازن بسرعة حينما ينتابها اضطراب انطلاقاً من سكون. فالحليب البارد المصبوب في قهوة ساخنة، على سبيل المثال، يوزع نفسه في الحال وبالتساوي، جاعلاً درجة الحرارة متساوية في كلّ أرجاء السائل. ويُدعى هذا النوع من النظام، الذي يتناول بمرور الوقت كلّ حالة متاحة له فينتهي بها إلى الاسترخاء في حالة توازن حقيقي باسم الطاقوية ergodic (الإرغودية). ولكن على عكس مثال الحليب في القهوة، ليست كلّ المنظومات التي يحكمها الميكانيك التقليدي هي منظومات إرغودية، ويصعب دفع منظومة ليست بطبيعتها إرغودية إلى حالة إرغودية تسعى إلى التوازن.

لقد كان لودويك بولتزمانL. Boltzmann أول من تصدى لمفهومي الطاقوية (الإرغودية) والعكوسية الترموديناميكية thermodynamic irreversibility في الميكانيك الإحصائي التقليدي. إذ إن مبرهنته المشهورة "مبرهنة H-theorem H" لعام 1872 تنص على أن الغاز المثالي يصل إلى التوازن انطلاقاً من حالة أولية عشوائية. ولكن حتى في علم الميكانيك التقليدي، فإن عملية الوصول إلى التوازن وتساوي درجة الحرارة غير مكفولين. فهناك صنف من المنظومات المتعدّدة الأجسام many-body systems، التي توصف بما يسمى النماذج القابلة للتكامل integrable models، يتّبع علم ديناميك مختلف غير إرغودي non-ergodic لا يسمح بالاسترخاء نحو التوازن الحقيقي. إن منظومات كهذه ذات عدد لانهائي من قوانين الانحفاظ conservation

التي تمنع اعتيان المجال الطوري بأكمله، وهذا يعني عدم إمكانية بلوغ التوازن الحقيقي.

في الحقيقة، وتبعاً لفرضية جيدة الأساس في علم الديناميك التقليدي، وهي مبرهنة كولموغروف–أرنولد–موزر Kolmogrov-Arnold-Moser (KAM)، فإن منظومة تقليدية ما لا يشترط فيها حتى أن تكون قابلة للتكامل تماماً كيما تكون غير إرغودية، إذ يكفيها أن تكون إلى حدٍّ ما قابلة للتكامل. فالهزازات اللاخطية المقترنة coupled nonlinear oscillators في صفيف خطي، على سبيل المثال، لا تصل إلى التوازن (أي تتشارك طاقتها بالتساوي) حتى لو لم تكن هذه المنظومة قابلة للتكامل إلاّ عندما تميل المسافة بين الهزازات إلى الصفر. هذا، ويظل النظريون يجادلون فيما إذا كان يوجد مكافئ لمبرهنة KAM في الديناميك الكمومي، لكن آخرين شرعوا بتناول المسألة بصورة تجريبية. وقد اختاروا كأساس للبرهان ديناميكية إحدى المنظومات الكمومية الخاصة القريبة من القابلة للتكامل –هي تكثيفة condensate من ذرّات باردة محتجزة في مصيدة أحادية البعد.

في السنة الماضية فقط، قيس توزع الاندفاع الخطيّ لتكثيفة من الذرّات محصورة في أنبوب أحادي البعد ثم استُبْعدت من التوازن. إنها لم تتوازن مجدّداً مدة طويلة جداً من الزمن –وبدلاً من ذلك مرّت ذرّات مفردة بعضها عبر بعض بصورة متكررة بدون الوصول إلى السكون إطلاقاً. وقد جرى تأويل "مهد نيوتن الكمومي quantum Newton's cradle "هذا على أنه إشارة لديناميك غير إرغودي في منظومة قريبة من قابلية التكامل، تماماً مثلما يشاهد في الحالة الكلاسيكية.

درس هوفربرث Hofferberth وآخرون منظومة مشابهة تمّ إخراجها عن وضع التوازن بطريقة مختلفة، فتوصلوا إلى الاستنتاج المعاكس تماماً. لقد أخذوا تكثيفة مفردة من ذرّات روبيديوم فائقة البرودة محجوزة في مصيدة مغنطيسية أحادية البعد، ثم شطروها على امتداد طولها إلى نصفين متماثلين. وبعد إبقاء الغيوم الذرّية منفصلة لوقت معين، تمّ إطلاقها ولوحظت الأهداب تتشكّل مع تداخل أمواج المادة لكل تكثيفة. وبإعادة هذه التجارب مرات عديدة لاحظ هوفربرث وآخرون أن موضع أهداب التداخل يزداد عشوائية بازدياد "زمن الإبقاء hold time".

إن تفسير هذه الملاحظة هو كالتالي: بعد الانشطار يتطور الطوران المتماثلان الأوليان للتكثيفتين بصورة مستقلة. ويصبح الطور النسبي بين التكثيفتين مختلطاً أثناء تأثر interaction الذرّات في داخل كلّ تكثيفة، ويعبّر فقدان الترابط هذا عن نفسه في عشوائية أهداب التداخل. قد تبدو هذه الحجة مفاجئة من وجهة النظر الكلاسيكية، لأن المنظومتين المتماثلتين المحضّرتين في الحالة نفسها ينبغي أن تتطورا بالطريقة ذاتها بكلّ تأكيد. ولكن في المنظومة الكمومية، فإن القياسات المتماثلة على دالات موجية متماثلة يمكن أن تعطي نتائج مختلفة.

وبتعبير أدق في هذه الحالة، تكون الدالة الموجية wave function التي تصف الطور النسبي بين التكثيفتين في حالة "منضغطة squeezed" تماماً بسبب وجود ارتياب ضئيل جداً في الطور النسبي. ولكن مع مرور الوقت بعد الانفصال، تنتشر الدالة الموجية لتشكل توزعاً احتمالياً أكثر اتساعاً. وفي أي قياس منفرد، سيكون للطور النسبي قيمة غير معدومة في مكانٍ ما ضمن حيّز انتشار القيم التي تغطيها الدالة الموجية، حتى بالرغم من بقاء قيمتها الوسطى مساوية للصفر بعد العديد من القياسات.

هذا النوع من التحليل هو الذي طُبِّق أولاً على طراز الموجة المفردة single-wave mode الذي يصف تكثيفة كبيرة ثلاثية الأبعاد، حيث تكهّن بـ' انتشار' للطور مع مرور الزمن الأمر الذي كان قد شوهد فعلاً. وفي تكثيفات أحادية البعد، تمنع مبرهنات صارمة وجود ترتيب طويل المدى، كما ينبغي أخذ خصيصة تعدد الطرز للانتشار الطوري بالاعتبار. لقد جرى توسيع لهذا التحليل يوحي بأن درجات حرِّية غير الطور النسبي (وبخاصة الطور الناتج عن جمع كلتا التكثيفتين) قد تقوم بدور خزّان حراري، مما يؤدي إلى اضمحلال للتماسك "تحت أسي subexponential" مُمَيِّز للترابط مع زمن الإبقاء. هذه البصمة المُتَنَبَّأ بها نظرياً لمنظومة تسترخي نحو وضع التوازن الحراري هي بالضبط ما نشره هوفربرث وزملاؤه، مقترحين أن الديناميكيات التي يشاهدونها هي إرغودية حقاً.

إن فكرة نمذجة مجموعة جزئية من درجات الحرّية باستخدام حمّام حراري فعّال أمر شائع لمجالات فيزيائية عديدة. بيد أن هذا قلما يصلح افتراضاً واضحاً في الحالة الخاصة للذرّات في مصيدة ذات بعدٍ واحد، لأن منظومة كهذه تكون قابلة للتكامل بشكل قريب جداً. وستكون قابلة للتكامل تماماً حيث لا يكون كمون المصيدة ضحلاً على امتداد محور التكثيفة. وثمّة فرضية شائعة تتمثل في أن الكمون حين يتغيّر تغيّراً قليلاً على مقاس المسافات الذرّية interatomic distances، فإن التوازن ينبغي أن يبقى ممنوعاً. وفي الوقت الذي دعمت فيه النتيجة السابقة وجهة النظر هذه، نجد أن هوفربرث وآخرين يعرضون جواباً مختلفاً.

ما الذي سبّب هذا الاختلاف؟ ربما نجم ذلك من الحالات الأولية أو من درجة الحصر القطري radial confinement، التي كانت في التجربة الأقدم أكبر بكثير، والتي تؤثر على الدقة التي يمكن أن توصف بها الجملة عن طريق نموذج قابل للتكامل. ولربما يتولّد ذلك في درجة حرارة الحالة الأولية، التي كانت أعلى كثيراً بالنسبة للكمون الكيميائي للمنظومة في التجربة الجديدة. ولربما كذلك أن هذه التجربة كانت خاضعة لكمون ضعيف سبّبته سويات منخفضة من عدم الاضطراب في الحقل المغنطيسي.

وإنه لسؤال جوهري مفتوح يتعلق بالضبط بنوع وكِبَر الاضطرابات اللازمة في نموذج كمومي قابل للتكامل لاستعادة الطاقوية

(الإرغودية) بشكل فعّال، وللسماح للمنظومة ببلوغ التوازن. إن حلاً لهاتين النتيجتين التجريبيتين قد يقدم دعماً قوياً لفهمنا هذه الأسئلة الأساسية.

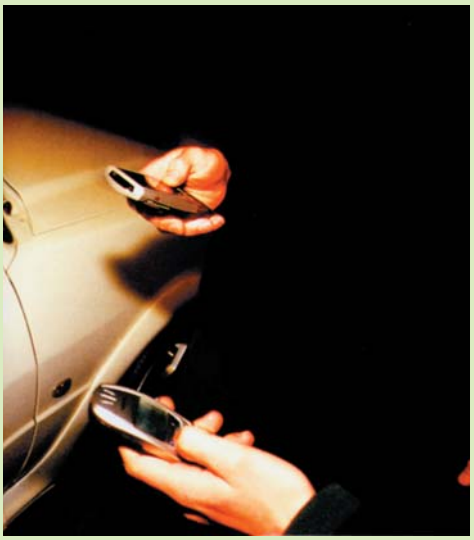
في غضون ذلك، يجب أن نتعلم درساً عملياً من تجارب هوفربرث وزملائه وهو أن خصيصة تعدُّد الطرُز multi-mode للديناميك الكمومي في المنظومات ذات الأبعاد المنخفضة يمكن أن تضع قيوداً أساسية أمام تطبيقات مقاييس تداخل الذرّات الباردة من أجل علم القياس والمطيافية، حيث إنها تسرِّع اختلاط أهداب التداخل. ولكن القيمة المهمّة في أبحاثهم تكمن في بيان كيف تستطيع منظومات ذات ذرات فائقة البرودة أن تواجه الأسئلة الأساسية في الديناميك الكمومي في غير حالة التوازن للعديد من الجسيمات المتآثرة. وسوف تستحثّ هذه النتائج مناقشات ساخنة، مع تضمينات لما وراء بحوث الذرّة الباردة.

*الطاقوية ergodicity= نظام غير محقّق يمثل أحصائياً مجموع التحققات الممكنة.

نُشر هذا الخبر في مجلة: Nature, 20 September 2007

نحن نعرف أين أنت،

إن هاتفك الخلوي يخبرنا بذلك



تعدُّ الهواتف الخلوية المجهَّزة بـ GPS حلماً يتحقق لصالح المحقِّقين الحكوميين

لاشيء خاف. فما دام هاتفك الخلوي قيد العمل، فإنه يعرف أين أنت، ولا يهمُّه من سيبلِّغ ذلك. إن المحامي K. Bankston من مجموعة الدفاع عن السرِّية التابعة لمؤسسة Electronic Frontier Foundation في سان فرنسيسكو يعرف ذلك جيداً. وقد استمر منذ أواخر العام 2005 يحاول مقاومة الجهود السرية التي تمارسها حكومة الولايات المتحدة للوصول إلى استقاء معلومات هواتف المستخدمين الخلوية بدون تفويض منهم.

وبمعونة قلّة من المحامين والقضاة المَعْنيِّين بذلك حقق بانكستون تقدُّماً، ولكنه اليوم يواجه شيئاً آخر يُقلِقُه. فهو يقول أن مجموعة كبيرة من التقانات الناشئة التي تدعى الخدمات المتركزة على الموقع location-based services أو (LBS اختصاراً) قد تجعل الناس أكثر تأثُّراً تجاه التجسُّس الحكومي من أي وقت مضى. وقد أعلن بانكسون في أوائل العام الحالي تفاصيل عن أسوأ مخاوفه وذلك في مؤتمر(Where 2.0) في سان جوزه بكاليفورنيا. وفي الوقت ذاته يزداد اتكال أقسام الشرطة والمحامين على معطيات قضائية التقطتها الهواتف الخلوية في مسعىً لحل بعض القضايا.

يغطي مصطلح LBS تشكيلة عريضة من خدمات تَقَصِّي الموقع location tracking التي تتعهّد باستخدام الـ GPS والتقانات المشابهة الأخرى لفعل كل شيء بدءاً من مساعدتك على العثور على أصدقائك في مدينة حاشدة ومروراً بإرشادك إلى مطعم قريب وانتهاءً بإيجاد الأطفال الضائعين. وتقول الشركات التي تعرض هذه الخدمات أن لديها قدرة كبيرة على تغيير الطريقة التي يتواصل بها أحدنا مع الآخر. وتستطيع كذلك تحسين مواقع الشبكة websites والخدمات الراهنة عبر تقديم معلومات تتعلّق بموقعك مثل هدية المطاعم.

لكن بانكستون وزمـلاءه قلقون من اندفاع الناس بالجملة لاستحواذ هذه الخدمات وهم يفعلون ذلك دون فهم الأخطار التي يفرضونها على خصوصياتهم. فهو يقول: "لا يعرف معظم الناس أنهم يحملون في جيوبهم جهازاً مستقصياً لمواقعهم".

صحيح أن المقدرة على اقتفاء أماكن وجودكم مصممة داخل طريقة عمل الهواتف الخلوية، بيد أن دقة المعلومة تعتمد على موقع الهاتف وعلى كون هذا الهاتف مجهَّزاً بـ GPS. فجميع الهواتف تبثُّ رقماً تعريفياً identifying number إلى أقرب صار mast خلوي، الأمر الذي يعني أن موقع الهاتف يمكن تحديده ضمنَ بضعة كيلومترات على الأقل. ولكن في المناطق المدنية urban areas حيث تلتزُّ الصواري بشكل مكثف يكون الاقتفاء أكثر دقة. إذ يستطيع الهاتف الواحد أن يتّصل ببضعة أبراج دفعة واحدة. وبما أن أقرب الأبراج يتلقى الإشارة الأقوى فإن المعلومات يمكن أن تتضافر لتحديد موقع الهاتف ضمن حدود عشرات قليلة من الأمتار.

لقد فرض القانون الفيدرالي في الولايات المتحدة على جميع الهواتف منذ بداية العام 2005 بأن تجعل هذه المعلومة متاحة لمراكز نداء الطوارئ. وكذلك الأمر في المملكة المتحدة حيث تعتمد سيارات لندن للإسعاف على هذه المعلومة في الوصول إلى أصحاب النداء. وكذلك استخدم رجال فرض القانون هذا المؤشر للربط بين المشتبه بهم وبين مسارح الجريمة، وذلك من خلال تحليل تسجيلاتهم الهاتفية.

وفي كل الأحوال، فقد تقلّصت المسافة التي يمكن فيها اقتفاء امرئ ما بدقة لتبلغ أمتاراً قليلة بفضل إضافة أجهزة GPS إلى الهواتف الخلوية، الأمر الذي يحسِّن إلى حد كبير الخدمات التي تستطيع شركات LBS تقديمها. فعلى سبيل المثال طرحت شركة Loopt of Palo Alto في كاليفورنيا برمجية software هاتف خلوي تدمج التحديد الخلوي للمكان cellular triangulation مع GPS بغية الاقتصار على تعريف أصدقاء معيّنين بموقعك دون سواهم.

ولكن هذا يعني كذلك أنه يمكن تحديد مواقع مستخدمي الهواتف الخلوية بطريقة لم تكن ممكنة من قبل بهذه البساطة، الأمر الذي يقول بانكستون أنه قد يخدم المتلصّصين.

بيد أن شركة Loopt and uLocate (وهـي شركة مقرُّها في فرامنغهام في ولاية مساشوستس) التي تستخدم معلومات يجمعها هاتف خلوي مجهَّز بـ GPS كي تتيح للمستخدمين التفتيش عن المطاعم والفنادق ومكنات ATM القريبة، تخضع لضغوط كبيرة لتأكيد عدم إتاحة موقع شخص ما إلاّ لمن يملك موافقة شخصية على ذلك، وكذلك بأن يتم محو تداعيات ذلك لدى انتهاء المستخدم بحيث لا تبقى أية سجلات. ويقول Dan Gilmartin من شركة uLocate في هذا الصدد: "إننا على علم تام بك كآخر مستخدم كان تحت المراقبة".

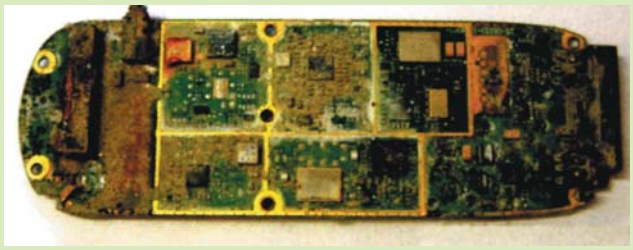
ومع ذلك، حتى ولو لم يختزن الهاتف ذلك فإنه يجمع وفي الوقت الحقيقي in the real time معلومات GPS عالية الدّقة عن الموقع، ويقول بانكستون أنَّ الحكومة تستطيع مطالبة قاضٍ ما بأن يأذن بالوصول إلى المعلومة. فهو يقول: "صحيح أن الحمايةً البنيانية architectural protection الخاصة بشركة Loopt عالية، ولكن حمايتها القانونية منخفضة".

إن القانون الفيدرالي يحظر على شركات الهاتف كشف مواقع المستخدمين بدون إذنهم، إلاّ حينما تلاحق الحكومة تحريات إجرامية. ففي هذه الحالة، يجب أخذ إذن بذلك من قاضٍ. بيد أن الظروف التي يمنح قاضٍ ما على أساسها إذناً ما قد أصبحت مؤخراً مثار تأويل.

ومن الناحية التقليدية لم يمنح القضاء الأذن بتعقُّب أحد ما إلاّ إذا كان لدى الحكومة ما يسوِّغ ذلك، الأمر الذي يتطلب أن يكون هناك سبب مُرَجَّحٌ لاشتباههم بجريمة ما. ولكن في أيلول/سبتمبر 2005 تبيَّن أن وزارة العدل في الولايات المتحدة قد طلبت الإذن بشكل سرِّي من أحد القضاة بالسماح بتعقُّب مستخدمين للهاتف أثناء ممارستهم مع عدم وجود سبب مرجَّح. وجادلت هذه الوزارة بأن ذلك التعقُّب كان ضرورياً لاستكمال محاكمتها. وعلى الرغم من أن أحد القضاة في نيويورك رفض مبدئياً طلب وزارة العدل، فإن قاضياً آخر في الولاية نفسها رخَّص لها بالوصول إلى هاتف شخص آخر مشتبه به suspect. ولما كانت جلسات الاستماع يمكن أن تحدث خلف أبواب مغلقة، فما من أحد يعرف كم من المرّات أقرَّ القضاة طلبات التجسُّس دونما وجود سبب مرجِّح حسب قول بانكستون الذي يضيف قائلاً: "إننا لا نعرف ما يجري".

يقول O. Kerr، وهو أحد أساتذة القانون في جامعة جورج واشنطن في العاصمة واشنطن، أن فرص مراقبة الحكومة فرداً معيَّناً هي قليلة جداً لأن حوالي 50 إلى 100 طلب فقط هو مجموع ما تقدمت بها الحكومة إلى المحكمة. ولكنه يقول بأن الهواتف الخلوية تشكِّل تخوُّفاً. "ثمّة قلة من الناس الأبرياء ربما تكون خصوصياتهم قد افتضحت".

"لا يعرف معظم الناس أنهم يحملون في جيوبهم نبائط تتعقَّب الموقع"



تفضح الهواتف الخلوية المشتبه بهم بجرائم

يمكن لمعطيات الموقع الدقيق التي تقدمها الهواتف الخلوية المجهَّزة بـ GPS أن تتيح للحكومات تعقُّب حركات المشبوهين عن قرب يفوق السابق. بيد أنه تبيَّن أن مواهب الهواتف النقّالة في كشف الفساد هي أكثر اتساعاً.

فالهواتف الخلوية قد لا تبدو مؤشِّراً قاطعاً عن الجريمة. بيد أن هذا هو بالضبط ما يراه بعض ضباط الشرطة في هذه الهواتف. فذواكرها الرقمية تشكل موئلاً لثروة نفيسة من الاتصالات الهاتفية والتسجيلات الصوتية والفيديو والصور والبريد الإلكتروني ورسائل النصوص في حين يكون مكنزها الحاسوبي مصدراً لأدلة مادية موثوقة مثل الدنا DNA وبصمات الأصابع.

"ومع أن الهواتف الخلوية لم تُبتكر لغرض فرض القانون أصلاً، فقد أصبحت مهمة بشكل لا يُصدَّق في ذلك المجال" حسب قول A. Goode التي تعمل مستشاراً للأدلة الرقمية لدى هيئة خدمات الاتصالات البعيدة القضائية (FTS) التي تمتلك مختبرات في المملكة المتحدة وكندا.

فهي تقول أن أحد مصادر الدنا على الهاتف يأتي من خلايا الشدق cheek المتوسِّفة التي تحط على الميكروفون انطلاقاً من أنفاس مستخدم الهاتف. فقشارات flakes الجلد تحط على كبسات الأزرار وعلى سمّاعة الهاتف بينما يمكن لها كذلك استحواذ DNA ثمين.

وكذلك تُعدُّ الهواتف الخلوية مصدراً لبصمات أصابع عالية الجودة تبعاً لأسلوب تآثر المستخدم مع هذه الهواتف. فعلى سبيل المثال، تذكر Goode أن مجرد زلق بطاقة SIM في الشق المخصص لها باستخدام أصبع السبابة غالباً ما يترك بصمة مقروءة جدّاً. ونشير إلى أن بصمات الأصابع والدنا كليهما قد يكونان حاسمين في إثبات من كان المستخدم الفعلي لهاتف ما. وتقول Coode: "يكون زبائننا أحياناً محامِيْ دفاع يسعون إلى إثبات عدم كون شخص ما هو المستخدم للهاتف. إنهم يطلبون استحضار بصمات الأصابع أو الدنا لإظهار ذلك".

وفيما يخصُّ الجانب الرقمي، تكون المعطيات التي يستعيدها الاختصاصيّون بالبرمجيات القضائية صامدة إلى حد مذهل، إذ إن الهاتف الخلوي حتى لو غُمر بالماء لن تتغيَّر حالة ترانزستورات ذاكرته، وبذلك غالباً ما تبقى قوائم الاتصالات الهاتفية والصور ومعلومات أخرى غيرها سليمة، الأمر الذي قد ينشئ شبكة اتصالات هاتفية تخصُّ المشتبه به وتبقى عاملة على الأغلب. وتقول Goode في هذا الصدد: "لقد بقينا قادرين على استرجاع البيانات من هاتف استقر في قاع بحيرة مدَّة تفوق السنة". ويجدر بالذكر أن FTS قد طوّرت برمجية تستخلص بيانات المستخدم من أنماط مختلفة من جهاز الهاتف الموحَّد وذلك باستخدام المعارف المختلفة التي تستفيد منها الشركات لتوظيف دبوس الاكتتاب subscriber's PIN بغية تجفير encryption ذواكرها الرقمية.

ولكن يطرح قضاة الهواتف تحديات جديدة كذلك. فالضباط في مسرح الجريمة قد يفسدون الأمور لمجرّد ترك الهاتف مفتوحاً switched on أثناء نقله إلى المختبر. وتجدر الإشارة إلى قطعة رئيسية من المعطيات تخص راموز منطقة الموقع location area code (أو LAC اختصاراً)، وهي التي توصِّف الصاري mast الذي اتصل به الهاتف الخلوي آخر مرة. فهذا الراموز سيُمْحى من الذاكرة ويحل محلّهُ الموقع الحالي الجديد لذلك الهاتف. وهنا تقول Goode "عليك أن توقف اتصال الهاتف بالشبكة. فحتى مجرَّد السماح باستقبال نصوص أو رسائل جديدة قد يتلف الدليل عليها".

وكصمام أمان، يجب إغلاق الهاتف الخلوي عند مسرح الجريمة أو حفظه مختوماً في كيس رقاقة معدنية لحجبه عن أمواج الراديو التي تحاول ربطه بالشبكة. وتقول Goode بهذا الصدد: "إذا لم تفعل الشرطة ذلك فإننا غالباً ما نجد راموز منطقة الموقع (LAC) يحدد الصاري القريب من مخبرنا ببساطة". ويشار إلى أن الضجيج "التشويش على الرسائل" في المختبر يمنع الهاتف الخلوي من أن يستشعر ويتّصل بالشبكة.

وإذ تتزايد فوائد الهواتف الخلوية لخبراء القضاء أكثر من أي وقت مضى، بما في ذلك ما يُعنى منها بالتفجيرات، التي جرت في لندن صباح الجمعة، فإن حجز المعلومات عنهم يعدُّ أمراً حرجاً. وفي هذا الصدد تقول Goode:"لا توجد الآن حادثة إجرامية لا تتضمن دليلاً هاتفياً".

---

*التجفير Encryption: تبديل نصّ واضح في الجهاز المرسل لمنع التنصّت غير المشروع على خط الإرسال.

نُشر هذا الخبر في مجلة: NewScientist, 7 July 2007

القانون الصيني يتطلَّع إلى كبح الخوف من الإخفاق

في مسعىً لتشجيع المجازفة العلمية وضبط سوء التصرف المفرط، تخطط الصين لإجازة الإخفاق تشريعاً. فقد اقترحت وزارة العلوم والتقانة (MOST) قانوناً يسمح للعلماء الصينيين بالإعلان رسمياً عن الإخفاقات في أبحاثهم دون تعريض فرص تمويل أبحاثهم مستقبلاً للخطر. ولكن النقاد يقولون إن السياسات ذات الوقع الحقيقي، مثل تأسيس منظومات للتقييم والإشراف الفعّالين أمور مطلوبة بشكل مستعجل.

يقول Cheng Guodong وهو عالم جيولوجي من مركز الأبحاث الهندسية والبيئية للأقاليم الباردة والقاحلة في Lanzhou، بمقاطعة Gansu: "يَقَعُ الباحثون الصينيون تحت ضغط هائل لإعطاء نتائج، إذ يكون لأدائهم في المختبر مفعول الدومينو على نواحٍ أخرى من حياتهم مثل الترقيات والرواتب والمعونات ولذلك تكون العواقب وخيمة إذا هم أخفقوا".

يعتقد البعض أن الخوف اللاحق للإخفاق يمنع العلماء الصينيين من المجازفة ويفضي إلى سوء السلوك البحثي عبر البلاد. ووفقاً لمشروع القانون لن يكون لفشل المشاريع البحثية أي مفاعيل مهنية على الباحثين طالما كانوا يستطيعون البرهنة على أن التجارب قد خُطِّط لها جيداً وأجريت بالشكل الصحيح، حسبما يقول Xue Lan، وهو نائب المدير التنفيذي لأكاديمية تطوير البحوث للقرن الواحد والعشرين، بجامعة Tishngua في بكين، والذي يرأس الفريق الذي قدّم مسودة الاقتراح.

لقد جرى الإفصاح عن القانون المقترح في 26 آب/أغسطس، وهو اليوم الذي سبق نشر المنظمة الدولية للتعاون والتطوير الاقتصادي للتقرير الذي يدعو إلى تحسين الأهلية الإبداعية في الصين. ويشار في هذا الصدد إلى أن الصين أصبحت في العام 2005 سادس أكبر الدول المنفقة على الأبحاث والتنمية، وهي تمتلك حالياً عدداً من الباحثين يفوق أي بلد آخر باستثناء الولايات المتحدة. ولكن التقرير الذي أعدَّته بعثة Most، يستنتج أن الصين ما يزال أمامها مشوار طويل تقطعه لبناء منظومة الإبداع الوطني الناضج الذي ترغبه.

ويقول بعض المعلِّقين إن الصين بحاجة إلى إدخال إصلاحات جذرية لتحسين أهليتها الإبداعية. ولكن هل تكون إجازة "الإخفاق" المقترحة رسمياً هي الطريق لتحقيق هذه الغاية؟ Li Gong (وهو المشرف التنفيذي لـ"Mozilla Online" التي تعدُّ الفرع الرديف في بكين لشركة البرمجيات العالمية) غير مقتنع بذلك. وهو يشير إلى ذلك قائلاً: "إن نقطة البدء في هذا المقترح تُعَدُّ خاطئةً أساساً. فقد يكون تعريف الإخفاق في البحث العلمي إشكالياً problematic لأن النتائج السلبية نفسها تقدم معرفة بحدِّ ذاتها".

يقول "Muming Poo"، وهو عالم أعصاب من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، ومدير معهد العلوم العصبية في شنغهاي: "إنها خطوة مفيدة لكنها صغيرة". ولكن التعديل المقترح مبني على مقدّمة منطقية تقول بوجود تثمين حدِّيٍّ لنجاح مشروع ما أو فشله في الصين، والحال هي غير ذلك، حسب قوله. ويعتقد العديد من الباحثين أن الافتقار إلى جهاز تقييم شفاف هو السبب الحقيقي وراء الأداء السيئ لعلماء الصين وأن من الضروري التصدِّي لذلك بشكلٍ عاجل، ويقول Cheng:"من دون ذلك، فسوف ينهار كل شيء".

يقول Bai Lu، وهو عالم أعصاب من المركز الوطني لصحة الطفل والتنمية البشرية في Bethesda. ماريلند:"يتحمل الخوف من الفشل مسؤولية جزئية فقط عن سوء الإدارة المفرط للبحث العلمي في الصين، إذ يحتلّ صميم المشكلة عدم وجود آلية إشراف فعّالة تضمن عدم إفلات المحتالين من العقاب. فالافتقار إلى ثقافة المسؤولية يمثِّل قضية أكبر اتساعاً وعمقاً".

وفقاً لصحيفة China Daily، يفيد مشروع القانون بأن المحققين

الأساسيين ينبغي أن يؤسسوا سجلات مصداقية لموظفيهم بغية ضبط الاحتيال، والطلب إلى الباحثين أن يتحلوا "بالانضباط السلوكي". ويقول Lu في هذا الصدد: "بيد أن الانضباط السلوكي الذاتي غير كافٍ.. وهذه هي المشكلة".

على الرغم من الانتقادات، فإن للقانون المقترح مؤيديه. ويوضِّح Duan Yibing، الذي يعمل باحثاً في السياسة العلمية لدى معهد السياسة والإدارة في بكين، أن القوانين الأساسية تحمل سلطة عليا في الصين، لذلك فإن التشريع الذي يتعرَّف إلى المخاطر الذاتية المرتبطة بالبحث العلمي ويقبل بالإخفاق– من شأنه أن يرسل إشارة واضحة.

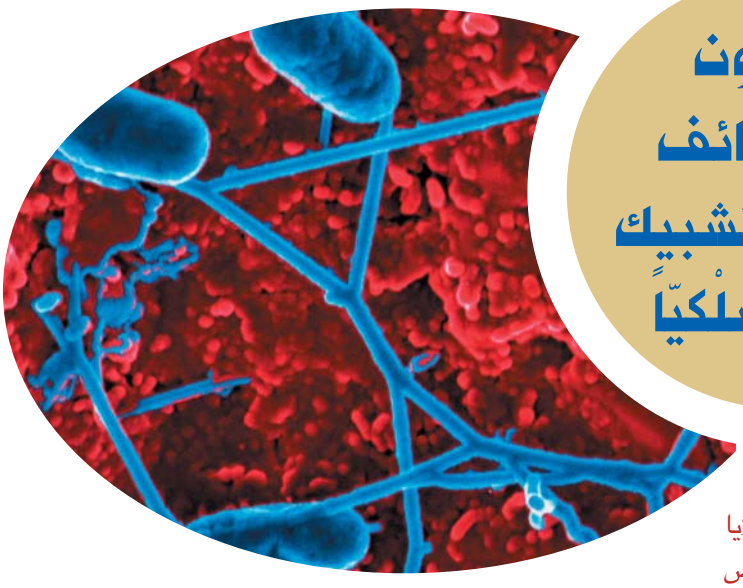
يقول Raghnath Mashelkar، وهو رئيس أكاديمية العلوم الوطنية الهندية في نيودلهي: "إن الإقدام على المجازفة هو الناحية الأهم في العلم، ولذلك فإن الصين تفعل الشيء الصحيح، فالقانون سوف يؤثر على الطريقة التي يتصرف بها الباحثون ووكالات التمويل ويخلق بيئةً مساعدةً على الإبداع". ففي الهند، قام Mashelkar بنجاح بخلق مشكاة niche للإبداع، وذلك عبر إعداد موارد تمويلٍ خاصة،(مثل صندوق Kite-Flying والمبادرة القيادية للتقانة الهندية في الألفية الجديدة)، لصالح المشاريع ذات المجازفة العالية، وهي استراتيجية يعتقد ماشيلكار المذكور آنفاً أنها يمكن أن تقدِّم للصين دروساً مفيدة.

وقد لا تكون التشريعات وحدها كافيةً لإحداث تغيير جوهري في ثقافة البحث العلمي في الصين، حسبما يعترف موظف في Most لا يود الإفصاح عن اسمه. إنه يقول بأن سلسلةً من الضوابط والسياسات الداعمة، وبضمنها تلك الخاصة بتحسين أجهزة التثمين والإشراف هي الآن قيد المناقشة. وحسب قوله:"لن يقوم القانون بتقديم مبدأ إرشادي لصياغة تلك القواعد وحسب، بل إنه يقدم دافعاً مهماً لتنفيذها".

تقوم الآن اللجنة الراهنة للمؤتمر الوطني للشعب الذي يُعدُّ المشرِّع الأعلى في الصين بتمحيص القانون المقترح. ويتوقع أن يَصدُر قرارٌ بذلك في شهر آذار/مارس المقبل.

نُشر هذا الخبر في مجلة: Nature,Vol 449, 6 September 2007

قد يكون من وظائف البكتيريا تشبيك التربة سلْكيّاً



● الشكل: صورة ذات ألوان زائفة تُظْهر خلايا بكتيرية موصولة بشكل واضح بعضها مع بعض عبر أسلاك نانوية.

يمكن للبكتيريا أن تُنشئ شبكات تمديدات كهربائية تحوِّل التربة إلى بطارية جيولوجية حسبما يزعم فريق من الباحثين. فبعض بكتيريا التربة تُشكِّل شبكات من "أسلاك" دقيقة توصل الخلايا البكتيرية الفرادى في دارة كهربائية شبكية الشكل حسبما يذكرون. وتسمح هذه التمديدات للبكتيريا بالتخلص من الإلكترونات المتولِّدة في أثناء الاستقلاب بحيث تنقلها إلى مِكبّات dumps إلكترونية بعيدة.

يمكن أن تعمل الأرض من تحت أقدامنا كدارة عملاقة تبنيها الميكروبات من أجل تغذية منظوماتها الاستقلابية بالقدرة اللازمة حسبما يوحي Yuri Gorby، وهو كيميائي جيولوجي سابق في المختبر الوطني لشمال غرب الباسفيك في ريشلاند بولاية واشنطن

ويعمل الآن في معهد J. Craig Venter في لايولا بكاليفورنيا. فبينما تستهلك البكتيريا المغذّيات من أجل الطاقة، فإنها تلفظ الإلكترونات غير المرغوب بها داخل تلك الدارة.

لقد اكتشف غوربي وزملاؤه في السنة الماضية أن البكتيريا التي تحمل اسم Shewanella oneidensis تستطيع أن تُنمّي خيوطاً قطرها 100 نانومتر (أي مئة جزء من المليون من المليمتر). وتتصف هذه الخيوط بخاصيّة التوصيل الكهربائي. هذا وقد قدّم هؤلاء الباحثون دليلاً على أن الميكروبات تستخدم هذه "الأسلاك النانوية nanowires" لغرض استبعاد الإلكترونات المتولّدة أثناء التفاعلات الاستقلابية باتجاه سطح حبات معدنية في التربة. فبدون مُتَلَقٍّ acceptor إلكتروني لا تستطيع البكتيريا تأدية وظيفتها بشكل صحيح وتموت جرّاء ذلك. وقد وجد هؤلاء الباحثون أن بضعة أنواع بكتيرية أخرى تقوم أيضاً بتوليد مثل هذه الأسلاك النانوية.

تعمل جزيئات الأكسجين كمستوعبات إلكترونية مناسبة لصالح البكتيريا التي تقع بالقرب من السطح. ولكن القليل من الهواء يخترق بعض الأوساط مثل رسوبيات البحيرات أو الترب المشبعة بالماء. ويعتقد غوربي وفريقه اليوم بأنهم وجدوا الدليل على أن التمديدات (الأسلاك) النانوية البكتيرية يتصل بعضها مع بعض في شبكة تنقل الإلكترونات إلى السطح المهوّى aerated. وهنا قام الباحثون بملء أعمدة بلاستيكية برمل مبلّل مشرَّب بمركب غذائي (هو اللاكتات)، ثم سمحوا لـ S.oneidensis بالنماء في هذه التربة "التربة الملفّقة". ولم تكن سوى ذروة العمود على تماس مع الهواء.

لقد كشفت الإلكترودات المغروزة على ارتفاعات مختلفة فوق الأعمدة أن شحنة كهربائية أخذت تجتاز العمود صعوداً بعد حوالي عشرة أيام. لقد عمد فريق غوربي إلى فحص الرمل تحت عدسة المجهر فوجدوه محشواً بشبكة من الخيوط بين الخلايا البكتيرية، واقترحوا بأن هذه الأسلاك تؤمّن مسارات لنقل الإلكترونات نحو الأعلى باتجاه السطح.

وعلى النقيض من ذلك، فإن هذا الفريق حين استنبت مستعمرة من خلايا طافرة mutant cells لا تستطيع أن تبْرز spawn إلاّ خيوطاً نحيلة جداً ومضعضعة وغير ناقلة ظلت الإلكترودات المغروسة في العمود غير مشحونة.

ويرد في هذا الصدد قول غوربي:"يمثّل هذا مجالاً جديداً في الميكروبيولوجيا، وأظن أننا سنجد أن ذلك هو أسلوب حياة مهيمن للميكروبات تعيش من خلاله في مجتمع يتواصل كهربائياً". فالبطاريات الرسوبية التي تغذي بالقدرة نبائط منخفضة الطاقة مثل المحسّات sensors قد تكون تستثمر بشكل غير مقصود هذه الشبكات الكهربائية، حسب قوله. وفيما يخص تقنية العمل، فإن الإلكترودات في هذه النبائط يتم غرزها داخل الرسوبيات تحت الماء بقصد التقاط التيارات الزهيدة التي يولّدها النشاط الميكروبي. ويقول غوربي في هذا الصدد: "يبيّن عملنا كيف يجري تحريك هذه الإلكترونات".

أما Kenneth Nealson، وهو مختص بالبيولوجيا في جامعة ساوذرن كاليفورنيا بمدينة لوس أنجلس، تعاون مع غوربي في اكتشاف الأسلاك النانوية الميكروبية في السنة الماضية، فإنه يقول: "إذا كانت هذه الفكرة صحيحة فإنها تكون ملفتة للنظر بحق".

> "أظن أننا سنجد أن ذلك هو أسلوب حياة مهيمن للميكروبات تعيش من خلاله في مجتمع يتواصل كهربائياً".

ولكن لا يقتنع الجميع بهذا الادعاء، إذ يقول Derek Lovley، وهو ميكروبيولوجي في جامعة مساشوستس بمدينة أمهرست: "اعتقد أن العديد منا يتمنّى أن يُصدق أن المجتمعات الميكروبية يمكن تشبيكها wired جيداً، لأن ذلك يُعدُّ فكرة جذابة وفتّانة. ولكن ما من دليل على ذلك". ويضيف قائلاً بأن معظم الميكروبات في الأوساط اللاهوائية لا تحتاج مسعى طويل المسافة للوصول إلى أكسجين كيما تتخلص من الإلكترونات التي تتولّد حينما تقوم بتفكيك المادة العضوية.

هذا ويقول لافلي أنه بالإضافة إلى ذلك، لا تبيّن التجارب بشكل قاطع أن الخيوط تعمل كأسلاك، كما لا تُبيِّن أن هذا هو الذي يسمح للإلكترونات بالانتقال عبر تلك المنظومة. إنه يعتقد بأن الميكروبات ربما تطرح الإلكترونات عن طريق قيامها بإطلاق جزيئات ذوّابة تنقل الإلكترونات مكوكيّاً وليس عن طريق تمرير تلك الإلكترونات على طول أسلاك نانوية.

ونورد هنا قول لافلي في هذا الشأن:"إن من المُوَثَّق جيداً أن الـ Shewanella تطلق جزيئات ذوّابة تعمل كمكوكات لنقل الإلكترونات. فالفرق بين النمط الفطري wild-type والنمط الطافر قد يعود إلى عجز الطوافر mutant عن التفاعل مع المكّوك الذوّاب للإلكترونات. إن ذلك يمثّل تفسيراً أكثر استحساناً".

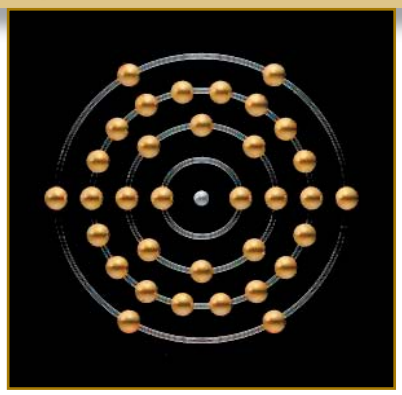
وأخيراً يشارك Bruce Logan (وهو ميكروبيولوجي في جامعة ولاية بنسلفانيا في University Park عمل على البطاريات الرسوبية المُسيَّرة ميكروبياً) في مثل هذه التحفّظات قائلاً:"أعتقد أنهم يرون أسلاكاً نانوية ولكنني لا أرى دليلاً على أن اتصالاً طويل المسافة قد ترسّخ هنا. صحيح أن ذلك قد يكون ممكناً، ولكن هذه المعطيات لا تبرهن عليه".

وهنا يعترف نيلسون قائلاً: "يتضح وجود أسئلة حول هذه النقطة تفوق الإجابة عنها".

نُشر هذا الخبر في مجلة: Nature, Vol 449, 27 September 2007

السلينيوم

الرمز:	Se
العدد الذرّي: (البروتونات في النواة)	34
الوزن الذرّي: (موجود طبيعياً)	79



ماهيته

السلينيوم معدنٌ لافلزي يشبه الكبريت ويمكن أن يوجد بشكل بلّوري رمادي، أو مسحوق أحمر اللون، أو بشكلٍ أسود زجاجي. وهو يظهر في الطبيعة في ستة نظائر مستقرة. (النظائر هي أشكال مختلفة من العنصر لها عدد البروتونات نفسه في النواة ولكن لها عدد مختلف من النترونات). أما الأكثر انتشاراً بين هذه النظائر فهو النظير (سلينيوم -80)، إذ إنه يؤلف حوالي نصف السلينيوم الطبيعي. أما النظائر المستقرة الخمسة الأخرى وتوافرها النسبي فهي السلينيوم-74(0.9%)، والسلينيوم-76(9.4%)، والسلينيوم-77 (7.6%)، والسلينيوم-78(24%)، وأخيراً السلينيوم-82(8.7%). ومن بين النظائر المشعّة الرئيسية التسعة للسلينيوم، يوجد واحد فقط وهو (السلينيوم-79) ذو عمر نصف طويل بقدرٍ كافٍ لتأكيد الخطورة في مواقع الإدارة البيئية التابعة لوزارة الطاقة (DOE) مثل هانفورد. ويبلغ عمر نصف (السلينيوم-75) 120 يوماً، في حين تقلّ أعمار النصف لبقية النظائر الأخرى عن ثماني ساعات. ويتحلّل السلينيوم-79 عن طريق إصدار جسيم بيتا بعمر نصفٍ يساوي 650000 عام بدون إشعاع غاما يلازمه. ويوجد السلينيوم-79 في الوقود النووي المستنفد والنفايات الناتجة عن إعادة معالجة هذا الوقود. ويحدُّ النشاط النوعي المنخفض لجسيم بيتا وكذلك طاقته المنخفضة نسبياً من المخاطر الإشعاعية لهذا العنصر.

مصدره

يظهر السلينيوم طبيعياً كعنصرٍ نادرٍ في أغلب أنواع الترب والصخور والمياه، وهو يرافق الكبريت في المواد البركانية المقذوفة. وتوجد التراكيز الأعلى في الترب بالقرب من البراكين وفي معادن مثل clausthalite، naumannite، tiemannite، senenosulfur، ولكن السلينيوم لا يوجد في المكامن المركّزة. وعلى الرغم من عدم استطاعة استرجاعه اقتصادياً من التربة بشكل مباشر، فإنه يتولّد عموماً كناتج ثانوي لعملية التنقية الكهرلية للنحاس. ويتم إنتاج السلينيوم-79 بواسطة الانشطار الإشعاعي. فعندما تنشطر ذرّة من اليورانيوم-235 (أو أي نكليد انشطاري آخر)، فهو ينشطر عموماً بشكلٍ لاتناظري إلى شدفتين كبيرتين–نواتج انشطارية ذات أعداد كتلية تتراوح ما بين 90 و140 تقريباً– ونترونين اثنين أو ثلاثة. (العدد الكتلي هو مجموع عدد البروتونات والنترونات في نواة الذرّة). ويُعَدُّ السلينيوم-79 واحداً من تلك النواتج الانشطارية، فهو يتولّد بمردود يبلغ حوالي 0.04%. وهذا يعني أنه يتم إنتاج أربع ذرّات من السلينيوم-79 في كل 10000 انشطار. ويمثل السلينيوم-79 أحد العناصر المكونة للوقود النووي المستنفد والنفايات النووية ذات السوية العالية التي تنتج عن معالجة الوقود المستنفد، والنفايات المشعة المرتبطة بتشغيل المفاعلات النووية ومنشآت إعادة معالجة الوقود.

استخدامه

ثمّة عددٌ من التطبيقات الصناعية يتميز بها السلينيوم. فهو يستخدم في الخلايا الضوئية والخلايا الشمسية، ومقاييس التعرُّض exposure meters لغرض التصوير الفوتوغرافي وكموالف toner لغرض الاستخدامات الناسخة copier والفوتوغرافية. وكذلك يستخدم السلينيوم في تنصيل (إزالة اللون) الزجاج، وفي إضافة اللون الأحمر القرمزي إلى الزجاج الشفاف والغشاوات شبه الزجاجية والميناوات enamels. وله كذلك استخدامات إضافية في المقومات rectifiers وتجهيزات إلكترونية أخرى غيرها، وكعامل بركنة vulcanizing في معالجة المطاط، وكمادة مضافة في الفولاذ العديم الصدأ والخلائط (السبائك) الأخرى. هذا، وتُستخدم مركّبات السلينيوم كمبيد حشري لمقاومة الحشرات التي تهاجم النباتات الزراعية وكذلك في معالجة أمراض جلدية عديدة.

وجوده في البيئة

يكون السلينيوم موجوداً بالشكل الطبيعي في القشرة الأرضية بتركيز وسطي يبلغ حوالي 0.05 ملّيغرام لكلّ كيلوغرام (mg/kg)، ويبلغ تركيزه في مياه البحر حوالي 0.45 مكروغرام لكلّ لتر (µg/L). وتوجد كميات ضئيلة من السلينيوم-79 في التربة حول العالم ناجمة عن السقط الإشعاعي. كما يمكن أن يوجد أيضاً في منشآت نووية معينة، مثل المفاعلات النووية ومنشآت معالجة الوقود النووي المستنفد. وتوجد أعلى تراكيز السلينيوم-79 في موقع هانفورد في المناطق التي تحتوي على نفايات من معالجة الوقود المشعّ، مثل الخزانات الموجودة

في القسم المركزي من الموقع. ويُعدُّ السلينيوم عموماً أحد المعادن المشعّة الأقل انتقالاً في التربة، حيث إنه يلتصق بقوة بجسيمات التربة بشكل تفضيلي. ويُقدّر بأن التراكيز في التربة الرملية تفوق تركيزها في المياه الخلالية (في فراغات المسامِ بين جسيمات التربة) بمئة وخمسين ضعفاً، وقد تكون أقل انتقالاً من ذلك في الترب الطينية، حيث تتجاوز نسب التركيز 700. ويحدُّ المردود الانشطاري المنخفض للسلينيوم-79 من وجوده في مواقع وزارة البيئة DOE، لذلك فهو لا يُعدُّ على العموم ملوثاً خطراً للمياه الجوفية في تلك المواقع. ويبلغ تركيزه في النباتات بالشكل النمطي 0.025 (أو 2.5%) بالنسبة لتركيزه في التربة، على الرغم من كون المستويات أعلى من ذلك بكثير في النباتات الحاوية على السلينيوم والحديد seleniferous. هذا، ويمكن أن يسبِّب السلينيوم "مرض الترنح الأعمى blind staggers " لدى الحيوانات التي تشرب المياه أو تلتهم النباتات أو الحيوانات (وبخاصة الحشرات) في المناطق التي تتميز بارتفاع نسبة السلينيوم فيها. وينصح عموماً بأن يتم إقصاء المواشي عن موارد المياه المحتوية على السلينيوم بنسبة تفوق 0.5 mg/L. يُعدُّ السلينيوم عنصراً أساسياً بالنسبة للإنسان، وهو ضروري للوظيفة الإنزيمية السويّة. وتوجد مناطق قليلة في غرب الولايات المتحدة وأستراليا والصين لا تمتلك ما يكفي من السلينيوم الطبيعي في التربة لدعم الاحتياجات الغذائية البشرية. إن الجرعات اليومية الموصى بتناولها تبلغ 55 و70µg بالنسبة للنساء والرجال على التوالي، وهو ما يمكن تأمينه في وجبة نمطية من الخضار الطازجة. وثمّة أغذية معينة تُعدُّ غنية بالسلينيوم مثل الثوم.

سيرورته في الجسم

يمكن أن يدخل السلينيوم الجسم عن طريق تناول الطعام أو شرب المياه أو تنفس الهواء. ويُعدُّ الامتصاص المعوي المعدي المصدر الأساسي للسلينيوم المختزن داخل الجسم لدى عموم السكان. ويتم امتصاص حوالي 80% من السلينيوم الموجود ضمن الغذاء والمركّبات اللاعضوية الذوّابة عبر القناة الهضمية وصولاً إلى مجرى الدم. وعلى أية حال، تُعدُّ عناصر السلينيوم والسلينيدات غير فعّالة (غير نشيطة) بيولوجياً بشكل نسبي، وتبلغ نسبة ما يتم امتصاصه عبر الأمعاء من هذه المركّبات حوالي 5% فقط. وبعد وصوله إلى الدم، يتراكم السلينيوم بشكل انتقائي في الكبد بنسبة (15%)، وفي الكليتين (5%)، وفي الطحال (1%) وكذلك في البنكرياس (0.5%). أما ما تبقّى فإنه يتوضّع بشكل متجانس في الأعضاء والأنسجة الأخرى. ومن كميات السلينيوم المتوضّعة في أيّ من الأعضاء والأنسجة يُستبقى ما نسبته 10% بعمر نصف بيولوجي يبلغ ثلاثة أيام، وما نسبته 40% تبقى بعمر نصف يساوي ثلاثين يوماً، و50% بعمر نصف يساوي 150 يوماً. (تخصُّ هذه المعلومة موديلات مبسطة لا تعكس إعادة التوزع البينية).

تأثيراته الصحية الأساسية

لا يُعدُّ السلينيوم خطراً صحيّاً إلا في حال دخوله الجسم. ولا يُعدُّ التعرض الخارجي لأشعة غاما مصدر قلق لأن السلينيوم-79 يضمحل عن طريق إطلاق جسيم بيتا بدون أشعاع غاما. وحينما يكون داخل الجسم، يُبدي السلينيوم خطراً صحيّاً بسبب جسيمات بيتا التي تنطلق خلال اضمحلاله الإشعاعي، ويترافق خطره الأهم بالاحتمالية المتزايدة للإصابة بالسرطان. ويُعدُّ السلينيوم مضاد أكسدة رئيسي يستطيع حماية أغشية الخلايا ويمنع توليد الجذور الحرة، وبذلك يقلِّل من خطورة بعض أنواع السرطان (بما فيها سرطانات الثدي والقولون والرئة والبروستات) وكذلك أمراض القلب والأوعية الدموية. ولكنه يمكن أن يكون ساماً بالجرعات العالية، ويمكن للتعرُّض المزمن لمستويات معتدلة منه أن تسبب الإعياء والالتهاب المعدي المعوي وفقدان الشهية المرضي والتنكُّس الكبدي. وثمّة سبب شائع للتسمم بالسلينيوم لدى البشر يتمثل في الإفراط بتناول الفيتامينات.

خطورته

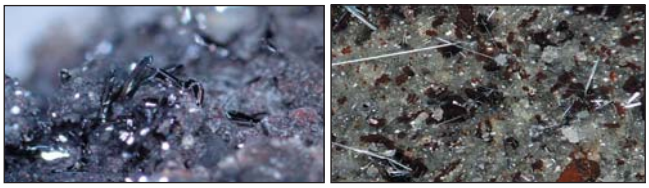
لقد تمّ حساب معاملات خطورة الوفاة بالسرطان وفقاً للعمر وذلك فيما يخص جميع النكليدات تقريباً، بما في ذلك السلينيوم (انظر الجدول المرافق). ويُعدُّ الابتلاع سبيل التعرُّض الأكثر إقلاقاً، لأن معامل الخطورة هذا يفوق معامل الاستنشاق بثلاثة أضعاف، ويُعدُّ الابتلاع بشكل عام الوسيلة الأكثر شيوعاً لدخوله الجسم. وكما الحال مع النكليدات الأخرى، يبلغ معامل الخطورة الخاص بمياه الصنبور حوالي 75% من المعامل الخاص بالابتلاع الغذائي. ولقد أوجدت إدارة حماية البيئة (EPA) قيمة للسميّة أطلق عليها مصطلح الجرعة المرجعية (RfD) لتقدير السميّة الكيميائية. والجرعة المرجعية هي تقدير أعلى جرعة يستطاع تناولها يومياً بدون التسبُّب بحدوث تأثير لاسرطاني ضائر adverse. وتعتمد تلك القيمة على دراسات لأشخاص يعيشون في أماكن تتميز طبيعياً بتراكيز مرتفعة من السلينيوم في التربة. وتبلغ الجرعة المرجعية للسلينيوم ومركّبات السلينيوم 0.005 ملغم لكلّ كيلوغرام يومياً، وذلك بالاعتماد على التسمُّم بالسلينيوم (selenosis) (فقدان الشعر أو الأظافر). وقد شوهدت هذه التأثيرات عند مستويات تفوق بمقدار 70 إلى 100 مرة المقدار اليومي الموصى به.

معاملات الخطورة الإشعاعية

يَرد في هذا الجدول معاملات خطورة مختارة مرتبطة بالابتلاع والاستنشاق. وقد استخدمت أنماط امتصاص مفترضة موصى بها بالنسبة للاستنشاق، واستخدمت قيم غذائية بالنسبة للابتلاع. وتوافق مقادير الخطورة للوفاة بالسرطان وحدة إدخال هي (pCi^{-1})، وقد ورد معدلها بالنسبة لجميع الأعمار ولكل من الجنسين (10^{-12} تعادل جزءاً من التريليون). وتتوفر كذلك قيم أخرى بما فيها المرضية.

النظير	مقدار الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الابتلاع (pCi^{-1})
السلينيوم-79	2.3×10^{-12}	6.7×10^{-12}

قيمة السمية الكيميائية	
الصيغة	التأثير اللاسرطاني
السلينيوم ومركباته	0.005 ملغم/كغم-يوم



الخواص الإشعاعية للنظير الرئيسي للسلينيوم						
النظير	عمر النصف (عام)	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الإشعاع (MeV)		
				ألفا(α)	بيتا(β)	غاما(γ)
Se-79	650000	0.070	β	-	0.056	-

Ci = أسر الإلكترون، g= غرام، MeV= مليون فولط إلكترون ، والشرطة تعني أن العملية غير قابلة للتحقق. وقد تم إدراج الأرقام مقرّبةً إلى أهم منزلتين عدديتين.

نُشر هذا الخبر في مجلة: *ANL, July 2002*

الفحم.. مَلِكٌ مكبَّل..

لقد أجبر الحصار الاقتصادي جنوب إفريقيا على تشذيب تقانة الفحم المستخدمة اليوم في Secunda pumalanga.

لن تكون أسعار النفط المستديمة الارتفاع كافية لجعل إسالة الفحم مجدية من الناحية الاقتصادية بدون اكتتاب شعبي واسع النطاق.

يظل تحويل الفحم المشوب إلى وقود سائل نظيف الاحتراق موضوعاً للتحدي بالنسبة لصناعة الطاقة. وكما تناهى إلى سمع العلماء في الشهر المنصرم في الاجتماع السنوي للجمعية الكيميائية الأميركية في بوسطن، ماساتشوستس، فإن عملية تحويل الفحم إلى سائل يمكن معرفتها جيداً– ولكن تحقيقها على نطاقٍ واسع قد يظل بعيداً لبعض الوقت.

تقول Caroline Burgess Clifford، وهي مختصة بكيمياء الوقود في معهد الطاقة بجامعة ولاية بنسلفانيا في University Park: "إن اقتصاديات هذه النقطة الآن ليست جيدة النفع. إننا لا نملك كثيراً من المعلومات التي نقدمها للناس كي يعوِّلوا عليها". كما أن انبعاثات غازات الدفيئة تبعد إسهام المستثمرين. وهي تقول في هذا الصدد: "لا يميل الناس إلى الاستثمار في إسالة الفحم coal liquefaction بسبب مشكلة غاز ثنائي أكسيد الكربون".

لقد ردع التلازم الطويل الأمد بين الفحم وانبعاثات ثنائي أكسيد الكربون العديد من المراقبين عن الأخذ به جدياً كـ"وقود أخضر/نظيف". لقد كانت إسالة الفحم من الناحية التقليدية نهجاً اعتمدته بلدان مثل ألمانيا في الثلاثينيات من القرن الماضي وجنوب إفريقيا لاحقاً، وهي ببساطة بلدان لا تملك خياراً آخر.

والآن مع أسعار النفط التي لا تبدي أي علامات على انخفاضها أخذت الحكومات وشركات الطاقة تبديان اهتماماً متجدداً بالفحم مما يشجع العلماء والمهندسين على التفكير ثانية بتقانات استحضار وقود شبيه بالنفط.

إن العملية السائدة لإسالة الفحم (والتي طورها كل من Franz Fischer وHans Tropsch في مركز Kaiser Wilhelm لأبحاث الفحم في العام 1923) تستخدم درجات حرارة وضغط مرتفعة لتفكيك السلاسل الهدروكربونية الطويلة في الفحم، بحيث تُشكل مزيجاً من أول أكسيد الكربون والهدروجين. ويمرر هذا المزيج على محفز يعتمد الحديد أو الكوبالت لإنتاج سائل يحتوي على هدروكربونات ذات أطوال مختلفة. ومن ثم يستطاع تكرير السائل بنفس طريقة تكرير النفط الخام.

لقد جرى المزيد من التطوير لهذه التقنية بواسطة شركة الطاقة Sasol في جوهانزبرغ بجنوب إفريقيا. إذ إنها كانت تحاول أن تلبي احتياجات البلاد من الطاقة حينما واجهت جنوب إفريقيا، بنظامها العنصري، مقاطعةً اقتصاديةً أوقفت وارداتها النفطية. ولقد استكشفت الولايات المتحدة ودول أخرى تلك التقانة خلال أزمة النفط في منتصف السبعينيات من القرن المنصرم، ولكن بعد ذلك سرعان ما انتهت البحوث والتنمية العالمية في مجال إسالة الفحم إلى توقفٍ واقعي.

مقاربة مباشرة

تعد طريقة Fischer-Tropsch غير مباشرة، إذ إنها تنتج مزيجاً غازياً يعاد دمجه فيما بعد في هدروكربونات سائلة. وكذلك جرى اختبار مقاربات مباشرة، ولكن على نطاقٍ أضيق. وتتضمن هذه المقاربات سحق الفحم ومزجه في مذيب solvent، يعامل فيما بعد مع الهدروجين في درجة حرارة 450 مئوية ضمن شروط ضغط عالٍ وبوجود محفز. وكما هي الحال في الطرق غير المباشرة، فإنه يمكن بعدئذ تكرير المزيج بطريقةٍ مماثلة للنفط.

يقول Elliot Kennel، وهو مهندس كيميائي في جامعة غرب فرجينيا الجنوبية في مورجنتاون Morgantown، بأن الإسالة المباشرة تعتبر أقل جدوى اقتصادياً من عملية Fischer-Tropsch وذلك لأنها تستهلك كمياتٍ كبيرةً من غاز الهدروجين، الذي يعد إنتاجه باهظ الثمن.

"لا يميل الناس إلى الاستثمار في إسالة الفحم بسبب مشكلة غاز ثنائي أكسيد الكربون" حسبما تقول Caroline Burgess Clifford

ولذلك يعمل Kennel على خفض كمية الهدروجين المطلوبة، من نسبة 10% –ككتلة– مطلوبة للطرائق المباشرة لإنتاج النفط الخفيف، إلى نسبة لا تتجاوز 0.5%. وسوف يؤدي ذلك إلى خفض الطاقة المطلوبة لتسيير العملية. فهو يشرح ذلك قائلاً: "إن هدرجة الفحم (بمعنى امتصاص الهدروجين) تتطلب طاقةً.. فإذا استطعنا تقليل امتصاص الهدروجين فإننا نستطيع صرف طاقة أقل".

تعطي عملية Kennel مزيجاً من الهدروكربونات يفوق في كثافته وثقله ما تعطيه الطرائق المباشرة الأخرى التي تنتج نفطاً أقل في المصفاة ونواتج قطرانية أكثر كثافة. ولكنه يقول إن النواتج الثانوية تتميز بانخفاض نسبة الكبريت والمعادن الثقيلة، الأمر الذي يجعل عملية بيعها أكثر سهولةً. ويشارك فريقَ Kennel عدةُ مستهلكين صناعيين لهذه النواتج الثقيلة، ومن ضمنهم شركة GrafTech، الرائدة في تصنيع الغرافيت ومقرها في Parma بولاية أوهايو، وAlcoa، وهي منتجة للألمنيوم ومركزها في Pittsburg بولاية بنسلفانيا.

وكذلك تقوم Burgess Clifford بمسعىً يتوخى عملية للإسالة تكون أكثر جذباً. فقد أجرت، على سبيل المثال، اختباراتٍ في محطة منشأة تجريبية صغيرة من أجل إنتاج مزيج هدروكربوني غنيٍ بالزيوت الثقيلة المستخدمة في وقود الطائرات. وتتم العملية بمزج قطران الفحم مع النفط الخفيف (وهو منتجٌ مكرر أو مقطر من المصفاة) وهدرجة المزيج باستخدام المحفزات والشروط النمطية المطابقة لتلك المستخدمة في المصفاة. ولكنها تشير إلى أن هذه العملية ليست مهيأةً بعد للتسويق التجاري وتقول في هذا الصدد:"صحيح أننا نستطيع تنفيذ ذلك فوراً ولكن لن يكون الأمر على نحو ما تريده مصفاة ما".

خطوات تجريبية

لقد استجمعت شركاتٌ صناعية قواها في بناء محطة تجريبية بتكلفة 600 مليون دولار في Gilberton، بولاية بنسلفانيا. وسوف تستخدم هذه المحطة عملية Fischer-Tropsch لتحويل ما يقارب 4300 طن من الفحم يومياً إلى وقود للنقل وإلى حرارة وكهرباء ونواتج ثانوية كيميائية متعددة. ويتم دعم المشروع من قبل مخبر تقانة الطاقة الوطني الأمريكي ويتضمن شركتي Sasol وShell ومستشارية الطاقة في كاليفورنيا Nexant، وكذلك Uhde وهي شركة كيميائية هندسية مقرها Dortmund، في ألمانيا. وتقول هذه الشركات بأنها ستبني المزيد من المحطات إذا نجحت المحطة التجريبية.

وفي الصين، ثمةَ عدة مشاريع لإسالة الفحم على نطاقٍ تجاريٍّ قيد الإنجاز، (بما في ذلك مشروعُ الإسالة المباشرة الذي بدأته في العام 2004 شركة للفحم الحجري مقرها الأصلي في شنغهاي هي Shenghua في Erdos، بمنغوليا الداخلية، والذي عند افتتاحه في عام 2008، سوف يحول 6400 طن من الفحم يومياً إلى منتجاتٍ نفطية وذلك في سنته الأولى، مع وجودِ خططٍ لزيادة قدرته تلك في غضون السنوات التالية.

يقول Kennel بأن أساسيات إسالة الفحم باتت راسخة جيداً، وأن التركيز بات على تشذيب العمليات الموجودة. وهو يقول في هذا الصدد:"نحن نتحدث حالياً عن جعلها أقل تكلفة وأكثر فعالية ورفقاً بالبيئة".

البحث عن الأسواق

تمثّل هذه النقطة الأخيرة بحق المشكلة الأكثر صعوبةً بالنسبة لإسالة الفحم. إذ إن معالجة طن من الفحم تعطي من غاز ثنائي أكسيد الكربون ما يفوق كثيراً ما يعطيه طن من النفط الخام، فالقضية البيئية تعوِّل على الاحتمال الضعيف بإمكانية "أسر" أو عزل ثنائي أكسيد الكربون. ولن يستطيع أي من المشاريع المزمع إنشاؤها تحقيق ذلك.

هذا ويعترف Kennel قائلاً: "إن الشيء الذي يشغل تفكير الجميع هو غاز ثنائي أكسيد الكربون.. إذ إن المجتمع يحاول أن يستنبط طريقة ما لاحتجازه". وتقول Clifford في هذا الشأن بوجود مخاوف حول انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون الأمر الذي يحول دون الاستثمار التجاري الضخم في حقل إسالة الفحم، في الوقت الذي تُعدُّ فيه الأموال العامة ضرورية إذا ما أريد بناء محطات جديدة.

تدّعي شركة Sasol أن غاز ثنائي أكسيد الكربون الناجم عن معاملها أنقى من ذاك الذي ينتج من محطات القدرة (الكهربائية) التي تستخدم الفحم لتشغيلها، ولذلك ينبغي أن تكون إسالته واحتجازه أكثر سهولة. ولكن قول ذلك هو أسهل من فعله. وأغلب الناس من خارج صناعة الفحم يشككون بالجدوى الاقتصادية لإسالة الفحم، حتى قبل تحديد التكاليف الكبيرة والمجهولة للاحتجاز والتخزين.

يقول Robert Wine، وهو الناطق باسم شركة نفط Bp، ومقرها لندن:"إن أسعار النفط المرتفعة تجعل بالتأكيد تقانات مثل إسالة الفحم أكثر طلباً.. إنها مشاريع مكلفة، ولن تكون منافسةً إلا عندما ترتفع أسعار البترول، أو حينما تستطيع اجتذاب دعم الحكومة".

نُشر هذا الخبر في مجلة: Nature,Vol 449, 6 September 2007

التطبيقات التشخيصية للتقنيات النووية

إعداد: د. محمد عادل باكير
رئيس دائرة الطب النووي، قسم الطب الإشعاعي

تعتبر الطاقة النووية واحدة من الوسائل المستخدمة في نطاق الصحة البشرية وتستعمل في العديد من التقنيات في مجال تشخيص ومعالجة كثير من الحالات المرضية.

تمتلك التقنيات التي تستعمل الطاقة النووية في مجال العلوم الطبية إمكانية متميزة من حيث مقدرتها على إظهار وظائف الجسم المختلفة بتغير الزمن، وذلك من خلال مشاهدة صور متتالية لعضو ما في الجسم خلال فترات زمنية قصيرة جداً حتى استعراض صورة في كل ثانية وبشكل دقيق، وتتضح أهمية ميزة كهذه إذا ما عرفنا أن واحداً على الأقل من كل ثلاثة مرضى تقبلهم المشافي في العديد من الدول المتقدمة يخضعون لأحد الإجراءات النووية في تدبيرهم الطبي، وسيتم التركيز في هذه المقالة على أهم التطبيقات التشخيصية في الطب النووي.

يعرف الطب النووي Nuclear Medicine بأنه الحقل الطبي الذي يتم من خلاله استخدام المواد المشعة غير المختومة Unsealed Radioactive Sources في تشخيص ومعالجة الحالات المرضية المختلفة. وتشكل الإجراءات التشخيصية الجزء الرئيسي لهذا الحقل، وتجري من خلال إعطاء المريض مادة مشعة يتم اختيارها بشكل دقيق ومناسب للدراسة من حيث النظير المشع والشكل الكيميائي الذي يشكل ما يسمى بالمستحضر الصيدلاني المشع Radiopharmaceutical، وذلك لتقييم وظيفة عضو ما من أعضاء الجسم أو للحصول على صورة هذا العضو التي تفيد في تحديد الحالة المرضية باستخدام كاشف خاص هو الكاميرا الغامية (غاما–كاميرا) الشكل (1)، التي تقوم بالتقاط الفوتونات الصادرة عن العضو ومن ثم تشكيل صورة للعضو المدروس بعد إجراء تحليل دقيق لهذه الفوتونات وتبدلاتها من خلال حاسب وبرامج متطورة تظهر التبدلات الوظيفية والشكلية الناجمة عن الحالة المرضية المدروسة.

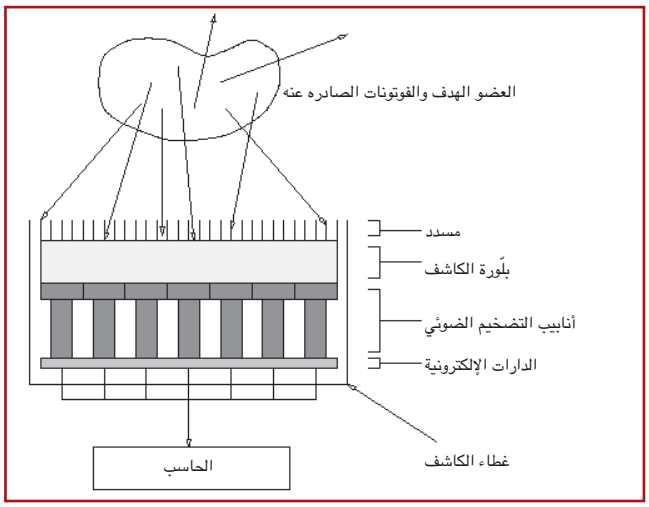
الشكل رقم (1): صورة لجهاز الغاما – كاميرا

تتمتع المستحضرات الصيدلانية المشعة بخصائص محددة تمكنها تبعاً لتركيبها الكيميائي من التوضع في عضو هدف أو نسيج ما من الجسم مثل الرئتين، الكلية، الكبد، ويتوافر حالياً عدد من هذه المستحضرات الصيدلانية المشعة يتجاوز المئة وتكون موسومة بنظائر مشعة صنعية مختلفة. وتتطلب الدراسات التشخيصية النووية هذه تعرض المريض إلى جرعة شعاعية صغيرة جداً، وهذه الجرعة يمكن تخفيضها إلى الحدود الدنيا من خلال استعمال النظائر المشعة الأقصر عمراً وبحسب الدراسة المطلوبة، ويبين الجدول رقم (1) أهم النظائر المشعة الطبية واستعمالاتها الرئيسية في مجال الطب النووي.

النظير المشع	الاستعمال	عمر النصف
^{99m}Tc	معظم دراسات الأعضاء المختلفة للجسم	6 ساعات
^{123}I	الغدة الدرقية	13 ساعة
^{201}Tl	الدراسات القلبية	72 ساعة
^{67}Ga	الدراسات الورمية والالتهابية	78 ساعة
^{111}In	الدراسات الدماغية والورمية والالتهابية	67 ساعة
^{81}Kr	الدراسات الرئوية	13 ثانية
^{18}F	الدراسات الورمية	110 دقيقة

الجدول رقم (1): أهم النظائر المشعة الطبية واستعمالاتها الرئيسة في مجال الطب النووي

يجري إعطاء المستحضر الصيدلاني المشع إلى المريض إما عن طريق الحقن الوريدي أو عن طريق السبيل الهضمي أو من خلال الاستنشاق عن طريق الجهاز التنفسي. يتوضع هذا المركب ضمن عضو أو نسيج معين يدعى بالعضو أو النسيج الهدف (target organ)، ويصدر المستحضر المذكور إشعاعات غاما في جميع الاتجاهات انطلاقاً من العضو المدروس. يقوم (جهاز الغاما – كاميرا) بالتقاط الأشعة التي تأتي بمواجهة الرأس الخاص بهذا الجهاز الشكل رقم (2)، وتمر تلك الإشعاعات عبر مسدد collimator بحسب طاقة النظير المشع المستخدم والذي يوجه الإشعاعات باتجاه بلّورة خاصة تحول إشعاعات غاما إلى ومضات scintillations يجري تضخيمها عبر أنابيب تضخيم خاصة PM tubes، ويقوم الخرج Output الناجم عن هذه الأنابيب بتغذية دارة خاصة بنبضات تحدد مكان وقوع الومضة في البلّورة وبالتالي تعكس مكان إصدار الفوتون من الجسم. وبمساعدة حاسب ووحدة عرض خاصة يتم على أساس هذه الومضات تشكيل صورة ببعدين تعطي الحالة الوظيفية النوعية لعضو أو نسيج معين. وتدعى هذه الصور بالصور الساكنة static أو المستوية planar. وعندما يتم استقبال هذه الصور بشكل متتابع وسريع نحصل على ما يسمى بالدراسة الدينامية dynamic study للمستحضر الصيدلاني المشع المحقون وسلوكه في العضو المدروس، الأمر الذي يوضح فاعلية الضخ القلبي أو انفراغ المعدة أو سيرة عملية التنفس أو الإفراز البولي.... . إن هذه الإجراءات تشبه تلك التي تستخدم فيها الأشعة السينية X-ray من حيث إعطاء صورة لعضو ما أو لجزء منه، ولكن الفارق الأساسي في إجراءات الطب النووي يكمن في أن الصورة التي يتم الحصول عليها تعطي قياساً لفاعلية فيزيولوجية أو وظيفية كيميائية حيوية محددة في الجسم أو العضو المدروس في حين أن الصور المأخوذة بالأشعة السينية أو التصوير بالأمواج فوق الصوتية Ultrasound (وإلى حد ما التصوير بالمرنان MRI) تعطي تفاصيل تشريحية فقط للعضو المدروس. وبذلك يكون من الممكن استخدام تقنيات الطب النووي للحصول على صور وظيفية functional images للعديد من الوظائف الجسمية مثل دوران الدم والعمليات الاستقلابية والتبدلات الورمية. ومن هنا تأتي أهمية استخدام مثل هذه التقنيات في الحالات المرضية التي تلعب فيها الوظائف البيولوجية أهمية كبيرة، في حين لا تشكل التبدلات التشريحية والخصائص الفيزيائية للحالة المرضية أهمية تذكر. ونذكر من الأمثلة على مثل هذه الحالات: الأمراض العصبية مثل مرض الزهايمر (Alzheimer's Disease) إذ لا تشاهد الآثار الفيزيائية للمرض إلاّ على المستوى المجهري، وكذلك في أمراض القلب حيث تلعب الفعالية النسبية للأنسجة أهمية كبيرة، وفي حالات السرطان حيث يعطي معدل الاستقلاب في الأنسجة معلومات قيمة حول ما إذا كانت أنسجة خبيثة أم لا، وذلك بالإضافة إلى المعلومات التي يتم الحصول عليها بخصوص استجابة هذه الأورام للمعالجة.



الشكل رقم (2): شكل تخطيطي يبين محتويات رأس جهاز الغاما – كاميرا وتلقيه الفوتونات الصادرة عن المادة المشعة المتوضعة في العضو الهدف المراد تصويره

ومع التطور الحاصل في مجال الحواسيب الحديثة، جرى تطوير العديد من التقنيات التصويرية الحديثة التي يتم بموجبها الحصول على صور بزوايا مختلفة ومقاطع باتجاهات مختلفة للجسم. وتدعى هذه التقنية بالتصوير المقطعي المحوسب Computerised Tomography (CT). أما التقنيتان الرئيسيتان المعتمدتان على النظائر المشعة فهما:

– التصوير المقطعي بالإصدار الفوتوني الوحيد
Single-Photon Emission Tomography (SPECT)

– التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني
Positron Emission Tomography (PET)

أولاً: تقنية الـ SPECT:

تستعمل في هذه التقنية نظائر مشعة تتّصف بإصدارات غاما وحيدة Single Gamma Emitters. وهنالك العديد من النظائر المشعة المستعملة في هذه التقنية نذكر من أكثرها شيوعاً ^{99m}Tc، و^{67}Ga و^{201}Tl، و^{123}I. وعلى الرغم من وجود تحديات وصعوبات كبيرة في وسم العديد من المركبات الفعالة بيولوجياً في هذه النظائر، فهناك عدد من العقاقير القابلة للوسم تستطيع إظهار بعض الفعاليات الاستقلابية في جسم الإنسان (مثال ذلك مركب ^{99m}Tc-Sestamibi الذي يتوضع في الميتوكوندريا)، وتبيان التروية الدموية (مثل استعمال ^{201}TL في القلب و^{99m}Tc في الدماغ) والكشف عن وجود بعض أنواع السرطانات (مثل ^{123}I-MIBG، ^{67}Ga-Citrate و^{99m}Tc-MDP) والكشف عن وظائف الكبد (مثل ^{99m}Tc-Sulphercolloid)، ناهيك عن العديد من المركبات المشعة الأخرى.

يجري من خلال هذه التقنية استعمال جهاز الغاما–كاميرا مثلما هو موضح في الشكل رقم (2) حيث يتم التقاط أشعة غاما الصادرة عن جسم المريض بواسطة مكاشيف خاصة detectors على نحو ثنائي الأبعاد يحدد اتجاه أشعة غاما بواسطة مسدد collimator بين الكاشف والمريض حيث يتم امتصاص الفوتونات غير المرغوب بها والصادرة عن الجسم من المسدد بينما يمرر فقط الفوتونات المتجهة في الشكل الصحيح نحو هذا المسدد والتي يتم تمريرها إلى الكاشف. يشكل مجموع الكاشف والمسدد مع الإلكترونات ما يسمى برأس الكاميرا الذي يدور حول المريض بسلسلة من الزوايا (3-6 درجات عادة) وبزمن قدره ما بين 15-20 ثانية لكل مرتسم لإعطاء مرتسمات لعضو ما من الجسم (Projections) تستغرق عادة 15-20 دقيقة يتبعها معالجة رقمية لإظهار صور المريض المقطعية وباتجاهات مختلفة: تاجية coronal ومعترضة traverse وسهمية sagital. ويؤدي تزويد الكاميرا برأسين أو أكثر إلى زيادة مردود الكشف لجهاز الغاما–كاميرا، وكذلك يخفض الوقت اللازم لإجراء التصوير إلى النصف بالمقارنة مع التصوير باستخدام الكاميرا الوحيدة الرأس إذ يأخذ مرتسمين بوقت واحد ومرتسماً من قبل كل رأس. كما وقد تم تطوير كاميرات حديثة مؤلفة من ثلاثة رؤوس موضعة على شكل مثلثي لإجراءات الدراسات الدماغية ولكن المردود الناجم عن إضافة الرأس الثالث كان بسيطاً.

إن التصوير بجهاز الغاما – كاميرا الذي يُظْهر التوزع الحيوي لمستحضر صيدلاني مشع محقون في الجسم يعطي، كما ذكر سابقاً، صوراً ثنائية البعد 2D. ويلاحظ أن وجود أنسجة تغطي أو تبطن العضو الهدف المراد دراسته يسبّب في كثير من الأحيان حالة من التشوه أو التداخلات تنجم عن الفعالية الإشعاعية الموجودة في تلك الأنسجة المسماة الأنسجة غير الهدف Non-Target، مما يؤدي إلى عدم الحصول على تعداد كمي دقيق لوظيفة العضو المدروس. وللتغلب على هذه المشكلة. جرى تطوير تقنية الـ SPECT من خلال إجراء مقاطع للعضو المدروس تساعد على التخلص من أثر الفعالية الإشعاعية المشوهة والناجمة عن الأنسجة المجاورة للعضو الهدف، مما يساهم في الحصول على تعداد كمي أكثر دقة والكشف عن الآفة المرضية بحساسية أعلى وتحديد مكان توضعها.

وعلى العموم تتجلى المزايا التي تتمتع بها تقنية الـ SPECT بالمقارنة مع طريقة التصوير البسيط (المسطح) Planar بالنواحي التالية:

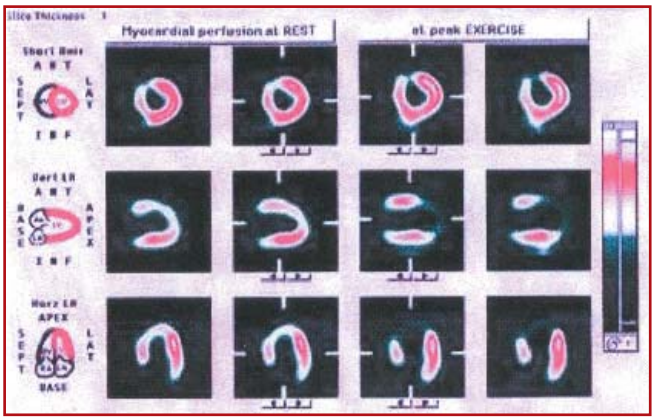
1) زيادة التباين بين النواحي التي تتّصف بوظائف مختلفة.
2) زيادة وضوح مكان توضع الآفة المرضية.
3) زيادة قدرة الكشف عن وظيفة مرضية ما.
4) تحسين دقة التعداد الكمي لوظيفة العضو المدروس.

وهنالك العديد من التطبيقات السريرية لتقنية الـ SPECT، التي نذكر منها، تقييم وظائف القلب والدماغ والكشف عن الإصابات العظمية والورمية والالتهابية .....

1 – في مجال أمراض القلب:

تستخدم تقنية الـ SPECT في مجال أمراض القلب بعد حقن المريض بأحد المركبين المشعين ^{201}Tlcl أو ^{99m}Tc-mibi من أجل تشخيص نقص التروية القلبية Ischemic Heart Disease. ويعتمد مبدأ التشخيص على أن النسيج العضلي القلبي تحت حالة معينة من الجهد يتلقى جرياناً دموياً أقل مما يتلقاه النسيج العضلي الطبيعي وهو الذي يتظاهر على صورة الجهد بشكل منطقة خالية من المادة المشعة تعوض بشكل طبيعي بعد الراحة فيما إذا كانت المنطقة تعبر عن نقص تروية فقط وليس احتشاء. أما في حال الاحتشاء فإن هذه المنطقة تبقى خالية من المادة المشعة في حالتي الراحة والجهد لعدم وجود تروية دموية على الإطلاق. يجري اختبار الجهد إما على شكل تمرين حركي فيزيائي (Exercise Test) أو بشكل دوائي pharmacologically باستعمال مركبات الأدينوزين Adenosine أو Dobutamine أو Dipyrdamore. يتم وضع التشخيص بمقارنة الصور المأخوذة عقب اختبار الجهد مع تلك المأخوذة في حالة

الراحة. وبشكل عام إذا كانت الصور المأخوذة في حالة الجهد طبيعية المشهد فليس من داعٍ لأخذ صور في حالة الراحة وتكون على العموم معبِّرة عن حالة تروٍية قلبية سليمة. لقد أعطى التصوير المقطعي SPECT في دراسة التروية القلبية دقة بلغت حوالي 83% (حساسية 85% ونوعية 72%). وهي نتائج مماثلة لاختبارات نقص التروية القلبية غير الراضة الأخرى بما في ذلك اختبار الجهد مع التصوير القلبي بالأمواج فوق الصوتية echocardiography. ولكن استعمال القثطرة القلبية يمثِّل الطريقة المعيارية الذهبية مع أنها تبقى طريقة راضة. ويظهر الشكل رقم (3) العضلة القلبية لمريض مصاب بحالة نقص تروية حيث أخذت صور المقاطع الرئيسية للقلب باستعمال تقانة الـ SPECT.



الشكل رقم (3): يظهر عضلة القلب بالمقاطع الثلاثة (المحور القصير، المحور الطويل عمودياً، المحور الطويل أفقياً) والتصوير بتقانة الـ SPECT. تظهر الصور منطقة ناقصة التروية بحالة الجهد، تعود هذه المنطقة لترويتها الطبيعية بحالة الراحة (حالة نقص تروية في العضلة القلبية)

2 – في مجال أمراض الدماغ:

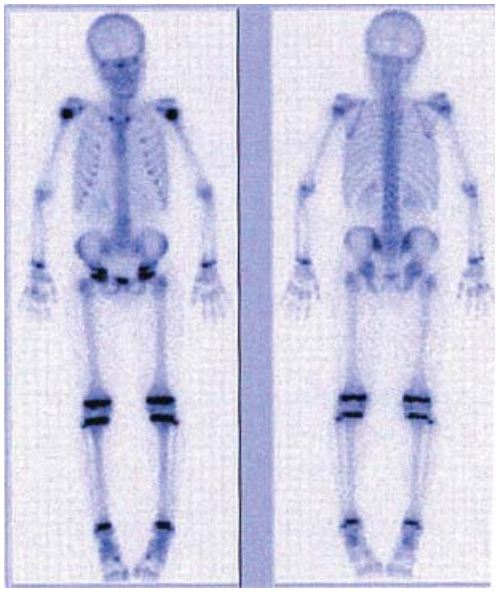
يستعمل مركب ^{99m}Tc-HMPAO في تصوير وظائف الدماغ حيث يتم قبط هذا المركب من قبل أنسجة الدماغ بشكل يتناسب مع جريان الدم الدماغي، مما يسمح بتقييم جريان الدم الدماغي عبر التصوير بجهاز الغاما–كاميرا. وباعتبار أن جريان الدم الدماغي مرتبط بشكل وثيق مع الاستقلاب الناحي (Regional) واستعمال الطاقة في الدماغ فإن المركب ^{99m}Tc-HMPAO والمركب الآخر المشابه ^{99m}Tc-EC يستعملان في تقييم الاستقلاب الناحي في الدماغ في محاولة لتشخيص وتفريق الأسباب المختلفة لحالة الخرف Dementia مثلاً. وأعطت الدراسات الحديثة دقة لتقنية الـ SPECT في حالة الزهايمر بلغت 88%. كما أن حساسية هذه التقنية بلغت 91% في قدرتها على التفريق بين حالة الزهايمر وحالات الخرف الوعائي بالمقارنة مع المعايير السريرية التي تعطي حساسية قدرها 70% فقط. هذا وتعطي تقنية الـ SPECT صوراً للاستقلاب في الدماغ على شكل بقع ناقصة في القشرة المخية في حالات الحوادث الوعائية المتعددة التي تختلف بشكل كبير عن الشكل الذي يبدو فيها تراجع الاستقلاب بشكل متجانس والذي يعبر بشكل نموذجي عن مرض الزهايمر.

3 – في مجال التصوير العظمي بالنظائر المشعة:

يجري عادة التصوير العظمي باستعمال النظائر المشعة لكامل الجسم وبالوضعين الأمامي والخلفي باستعمال المركب المشع ^{99m}Tc-MDP الذي يعطي تبايناً ممتازاً للصور ذات البعدين 2D. ويعرض الشكل رقم (4) صورة الجهاز العظمي بالوضعين الأمامي والخلفي بعد حقن المريض بمركب ^{99m}Tc-MDP وإعطائه صوراً مستوية ثنائية البُعد 2D بجهاز الغاما–كاميرا. وهنالك بعض النواحي في الجسم (وفي بعض الحالات المرضية) تكون فيها هذه الصور المأخوذة بالبعدين غير كافية لإعطاء التشخيص الدقيق. وهنا يمكن لتقنية الـ SPECT أن تكون مساعدة في عملية التشخيص من خلال زيادة التباين الذي يوضح التشخيص. تساعد هذه التقنية في تشخيص العديد من الأمراض العظمية مثل داء باجيت، والتنخر العظمي، والتهاب المفاصل، وذات العظم والنقي و..... ونشير على العموم إلى أن هذه التقنية في التشخيص غير نوعية ولكن حساسيتها مرتفعة.

4 – في مجال أمراض الكبد:

يمكن لتقنية الـ SPECT تحديد امتداد حالات الساركوم وأورام الكبد والأورام الوعائية والانتقالات الورمية والكيسات وأمراض خزن الغليكوجين،.....



الشكل رقم (4): صورة بالوضعين الأمامي والخلفي للجهاز العظمي بعد الحقن الوردي لمركب ^{99m}Tc-MDP والتصوير المستوي (Planer) بجهاز الغاما–كاميرا

ثانياً– تقنية الـ Positron Emission Tomography, PET:

1- آليتها: إنها إحدى تقنيات الطب النووي التصويرية الأكثر تطوراً وفاعلية، فهي تعطي صورة ثلاثية الأبعاد 3D لعضو أو نسيج ما من الجسم وتوضح بالتالي أية آفة مرضية أو تبدل وظيفي مرضي في الأبعاد الثلاثة. وتُستعمل في هذه التقنية النظائر المشعة التي تتفكك بالإصدار البوزيتروني (وهي عموماً ذات عمر نصف قصير)، ومن

الشكل رقم (5): يظهر جهاز الكاميرا البوزيترونية

أكثر هذه النظائر شيوعاً ^{18}F (110 د). ^{11}C (20 د). ^{15}O (2 د). ^{13}N (10 د). يجري إنتاج هذه النظائر عموماً بواسطة جهاز مسرع خاص يدعى السيكلوترون Cyclotron، وبسبب قصر عمر هذه النظائر يتم إنتاجها في مكان قريب من مكان الاستعمال الذي يوجد فيه جهاز التصوير PET. ويجري إدخال هذه النظائر خلال مراحل التصنيع ضمن مركبات يستطيع الجسم استخدامها بشكل فيزيولوجي مثل الغلوكوز أو الماء أو الأمونيا، أو بعض الحموض الأمينية.

إن قصر عمر النظائر المشعة المستعملة في هذه التقنية يساهم في تخفيض الجرعة الشعاعية التي يأخذها المريض، كما يسمح بتكرار الدراسة خلال فترة قصيرة، في حين أن عمر النصف للنظائر المشعة المستعملة في تقنية الـ SPECT يتراوح بين عدة ساعات وعدة أيام مما يساهم في تناول المريض جرعة شعاعية أكبر ولا يترك مجالاً لتكرار الدراسة إلا بعد مضي وقت أطول نسبياً.

ولإجراء عملية التصوير باستعمال تقنية الـ PET يتم حقن المريض وريدياً بواحد من المركبات السابقة يتمّ تصنيعه بإدخال نظير مشع مصدر للبوزيترون خلال عملية التصنيع.

فلدى تفكك النظير المشع المتوضع في نسيج ما من الجسم ينطلق البوزيترون الذي يسير لمسافة عدة ملليمترات تبعاً لطاقته، ثم تجري عملية إفناء Annihilation مع إلكترون من المحيط مما يؤدي إلى إصدار زوج من فوتونات غاما يصدران باتجاهين متعاكسين تقريبا (بزاوية 180°). يتم التقاط هذين الفوتونين (طاقة كل منهما 511 Kev) بواسطة مكاشيف موضوعة حول المريض حيث يتحول الفوتون ضمن المكشاف إلى ضوء تلتقطه أنابيب تضخيم وتجري معالجة الإشارات الصادرة إلكترونياً لإعطاء صورة العضو أو النسيج المدروس. ويفيد الشكل رقم (5) في عرض صورة لجهاز الكاميرا البوزيترونية المستخدمة في التصوير. ويشار هنا إلى أن هذه التقنية تعتمد على الكشف المتزامن لزوج الفوتونات الصادر عن عملية الإفناء Annihilation في النسيج الهدف حيث يتم رفض الفوتونات التي لا ترد إلى المكشاف على شكل أزواج. وبذلك يصبح من الممكن تحديد مكان مصدرها في النسيج. إن عملية تسديد الفوتونات بهذه الطريقة (والتي تدعى بالتسديد الإلكتروني electronic collimation) تبدي حساسية كبيرة بالمقارنة مع التقنية السابقة الـ SPECT التي تعتمد على التسديد الفيزيائي physical collimation والذي يحتاج إلى مسددات رصاصية.

2- تطبيقاتها السريرية:

تعتبر تقانة الـ PET من الوسائل التشخيصية الهامة في تقييم مرضى السرطان. ويستعمل في الوقت الحالي وفي معظم الدراسات والإجراءات التشخيصية لمرضى السرطان السكر الموسوم بالنظير المشع المصدر للبوزيترون ^{18}F ويدعى المركب ^{18}FDG (Fluorodeoxyglucose). يتم الحصول على النظير المشع ^{18}F عن طريق السيكلوترون وبعمر نصف يبلغ 110 دقائق من خلال عملية قذف الـ ^{18}O ببروتون وبالتفاعل ^{18}O (p.n)^{18}F. وبعد الحصول على هذا النظير يجري إدماجه ضمن جزيئة الغلوكوز في الموضع 2 وينتج عن ذلك المركب المعروف بـ ^{18}FDG. يتنافس هذا المركب مع الغلوكوز الطبيعي في عبور الجدار الخلوي من خلال حامل خاص يسهل عملية عبوره وهذا الحامل هو البروتين الناقل للغلوكوز Glucose Transporter Protein الموجود على الغشاء الخلوي. وتجري ضمن الخلية عملية فسفتة لهذا المركب ليصبح ^{18}FDG-6-phosphate بواسطة الأنزيم هكسوكيناز فيحتجز ضمن الخلية (يوجد هذا الأنزيم بتركيز مرتفع في الخلايا الورمية). ولا يخضع هذا المركب لأية عمليات استقلابية أخرى. إن عملية إزالة الفسفتة تحدث من خلال أنزيم غلوكوز–6– فوسفات إلا أن هذه العملية بطيئة جداً في الخلايا الورمية بالمقارنة مع الخلايا السليمة نظراً لانخفاض تركيز أنزيم إزالة الفسفتة غلوكوز-6-فوسفات في الخلايا الورمية، أضف إلى ذلك أن مركب الـ ^{18}FDG لا يخرج من الخلايا الورمية بسبب طبيعته الأيونية. وتشكل هذه الخاصة لمركب الـ ^{18}FDG التي تمكنه من التوضع الكبير في الخلايا الورمية أساساً لاستعماله في تدبير الأورام ولا سيما في الكشف عن الأورام غير المعروفة المنشأ unknown origin tumours، وفي التمييز بين الأورام السليمة والخبيثة، وكذلك في تحديد مرحلة الورم ومراقبة جدوى المعالجة وتقييم النكس.

إن التصوير باستخدام مركب الـ ^{18}FDG والتصوير بتقانة الـ PET بواسطة الكاميرا البوزيترونية يتطلب أن يكون المريض صائماً لمدة لا تقل عن 4 ساعات، كما أن سكر الدم يجب أن يكون ضمن الحدود الطبيعية نظراً لمنافسة السكر الطبيعي للمركب

المستخدم في الدراسة في التوضع في الخلايا الورمية، فكلما كان تركيز السكر الطبيعي منخفضاً في الدم كان توضع المركب ^{18}FDG أعلى في الخلايا الورمية، الأمر الذي يعزز قدرة هذا المركب على الكشف عن التوضعات الورمية. يعطى المريض عادة عن طريق الحقن الوريدي 5-15 ميللي كوري من المركب المذكور ويترك بحالة راحة تامة لمدة 45-60 دقيقة قبل التصوير لإعطاء الفرصة للمركب كي يتوضع في العضو الهدف أو النسيج الورمي المطلوب التحري عنه.

وأما أهم الحالات الورمية التي يستخدم في كشفها وتدبيرها مركب ^{18}FDG فهي:

أ- **سرطان الرئة:** يستعمل ^{18}FDG-PET بصورة رئيسية في تحديد مرحلة الورم وتعتبر أكثر دقة من التصوير الطبقي المحوري CT أو التصوير التجاوبي المغنطيسي MRI وكذلك يفيد التصوير بهذه التقنية في نفي أو تأكيد وجود انتقالات إلى غدة الكظر وهو ما يصعب كشفه بالتقنيات التصويرية الأخرى، وكذلك يلعب التصوير بهذه التقنية دوراً كبيراً في تقييم الاستجابة للمعالجة والكشف المبكر عن النكس. كما يمكن باستعمال تقنية الـ PET تمييز طبيعة عقد الرئة المفردة (خبيثة أم سليمة) وبحساسية 83% ونوعية 90%.

ب- **سرطان الكولون والمستقيم:** يستعمل ^{18}FDG-PET في تقييم المريض قبل العمل الجراحي وكذلك في تحديد انتشار الورم وتحديد الأورام القابلة للاستئصال الجراحي من تلك التي تكون بحالة انتشار وكذلك يفيد هذا الإجراء في تحديد مكان النكس لمريض لديه ارتفاع مصلي في معدل الواسم الورمي.

جـ- **اللمفومات:** يفيد ^{18}FDG-PET في تحديد مرحلة اللمفومات بشكل يساوي أو يتفوق أحياناً على التصوير الطبقي المحوري كما يفيد في الكشف عن البقايا الورمية عقب المعالجة الجراحية والكيميائية وتمييزها عن النسيج الليفي الناجم عن المعالجة والذي لا يمكن تحديده بالتصوير الطبقي المحوري.

الشكل رقم (6): صورة لمريض مصاب بحالة الميلانوما مأخوذة بجهاز الكاميرا البوزيترونية بعد حقن المريض بمركب ^{18}FDG
تظهر الصورة انتشار الورم في جميع أنحاء الجسم مع انتقال كبير في الساق اليسرى.
تم إلغاء العمل الجراحي على الساق (بتر) بسبب الانتشارات الواسعة التي ظهرت بالتصوير بالـ PET

د- **الميلانوما Melanoma:** يفيد ^{18}FDG-PET بصورة خاصة لدى مرضى الميلانوما في البحث عن أماكن الانتقالات في الجسم. ويعرض الشكل رقم (6) صورة مأخوذة بجهاز الكاميرا البوزيترونية بتقنية (PET) بعد حقن مريض مصاب بحالة ميلانوما بمركب ^{18}FDG، حيث تبيّن الصورة الانتشارات الورمية لهذا الورم في جميع أنحاء الجسم والتي لم تتوضح بالتصوير بالتقنيات التصويرية الأخرى. وبنتيجة هذا التصوير توقف العمل الجراحي للمريض (بتر الساق) الذي لا يحقق أية نتيجة إيجابية للمريض استناداً إلى معطيات PETS.

توقيت الشياع والخصوبة عند عنزات الماعز الشامي باستخدام البروستاغلاندين الصنعي ف 2 ألفا، الايليرين

د. معتز زرقاوي
هيئة الطاقة الذرية السورية، دائرة الإنتاج الحيواني، قسم الزراعة

ملخص

لتقييم تأثير البروستاغلاندين الصنعي ف 2 ألفا، الايليرين في توقيت الشياع ومعايير أخرى ذات صلة ، 9 عنزات شامية محلية كل منها إمّا حقنت عضلياً بجرعة مقدارها 2 مل من البروستاغلاندين الصنعي، الإيليرين (0.3 مغ من مادة التيابروست (Tiaprost، مرتين وبفاصل زمني مقداره 12 يوماً (P) أو استخدمت كحيوانات شاهد (C) دون معاملة. استجابت العنزات في المجموعة P إلى المعاملة بالإيليرين وأظهرت شياعاً بلغ بالمتوسط 96 ساعة، بينما أظهرت العنزات في المجموعة (C) شياعاً بلغ بالمتوسط 199 ساعة من إدخال التيوس إليها. لم تؤثر المعاملة معنوياً ($P > 0.05$) في طول فترة الحمل، ومعدل المواليد للعنزات، ووزن الولادة ووزن فطام المواليد بعمر 3 أشهر. عند إعطاء الجرعة الثانية من البروستاغلاندين ف 2 ألفا، تشكلت أجسام صفراء نشيطة في مبايض بعض العنزات المعاملة بالإيليرين بدلالة التركيز العالي لهرمون البروجستيرون. يمكن الاستنتاج بإمكانية استخدام البروستاغلاندين الصنعي ف 2 ألفا، الإيليرين، بجرعة مقدارها 2 مل (0.3 مغ من مادة التيابروست (Tiaprost مرتين وبفاصل زمني مقداره 12 يوماً لتوقيت شياع عنزات الماعز الشامي المحلي ضمن الموسم التناسلي دون أي تأثير جانبي في المعايير التناسلية أو معايير النمو.

الكلمات المفتاحية: إيليرين، تناسل، عنزات شامية، بروجستيرون.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Journal of Applied Animal Research 2007*

إزالة الفلور بالترسيب من حمض الفسفوريك التجاري السوري المصنع بالطريقة الرطبة

د. محمد الخالد عبد الباقي
هيئة الطاقة الذرية السورية، مكتب التعدين المائي

ملخص

تمَّت دراسة عملية إزالة الفلوريد من حمض الفسفور التجاري السوري عن طريق ترسيبه باستخدام مختلف أملاح البوتاسيوم والصوديوم، وذلك عند شروط مختلفة من النسبة الستيكيومترية والحرارة وزمن الخلط. وتمَّ تحديد الشروط المثلى التي تحقق نسبة إزالة عليا للفلور. وقد أعطت جميع الأملاح المدروسة مردوداً عالياً تراوحت ما بين 95-97%، وينصح باستخدام كلوريد الصوديوم التجاري وذلك لأسباب اقتصادية.

الكلمات المفتاحية: حمض الفسفور، ترسيب، فلور.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Indian Journal of Chemical Technolog. (IJCT), July 2007*.

التيار المحفز حرارياً وضوئياً في الخلايا الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ المبنية على أساس $CuGaSe_2$ وحيدة البلورة

معين سعد، عمار قسيس
هيئة الطاقة الذرية السورية، قسم الفيزياء

ملخص

جرى تحليل مميزات التيار–الجهد للخلايا الشمسية ZnO/CdS/CuGaSe2 المبنية على أساس CuGaSe2 وحيدة البلورة والتي خضعت للمعالجة الحرارية المتكررة، وذلك باستخدام معادلة الديودين. أظهر تحليل منحني المواءمة أن نقل التيار في هذه الخلايا محكوم بآليتين متنافستين ترتبطان ارتباطاً وثيقاً بحالات السطح البيني (interface states)، وأن هاتين الآليتين تتحفزان بالحرارة والضوء. وقد تمَّ حساب قيم طاقة تحفيز كل من الآليتين من تابعية وسائطهما لدرجة الحرارة. لقد وجد أن قيم طاقة التحفيز المحسوبة تتبع درجة الحرارة وشدة الإضاءة. وتمَّ بيان السلوك العام لهذه التبعية بشكل كيفي.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية، CuGaSe2، إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني، العبور النفقي، طاقة التحفيز.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: Renewable Energy,2007.

الإجاص السوري (Pyrus syriaca Boiss) دراسة بيئية وجزيئية

د. نزار مير علي، ناديا حيدر، عماد النابلسي
هيئة الطاقة الذرية السورية، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية.
د. محمد العودات
هيئه الطاقة الذرّية السورية، قسم الوقاية والأمان.

ملخص

هدفت الدراسة إلى الوقوف على الطرز الوراثية للإجاص السوري Pyrus syriaca Bois الذي ينمو في سورية، وعلاقاتها الوراثية، إضافة إلى الظروف المناخية وعلاقتها بهذه الطرز الوراثية. جمعت 59 عينة من المناطق الجغرافية المختلفة في سورية، لتحليل الدنا (DNA)، باستعمال التقنية المعتمدة على الـ PCR المسماة بالتضخيم العشوائي للـ DNA المتعدد الشكل Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD).

أظهرت النتائج أن الإجاص السوري واسع الانتشار، وينمو في الظروف المناخية وأنماط الترب المختلفة السائدة في سورية. ولم تظهر الدراسة علاقة ارتباط بين الاختلافات الشكلية للأوراق والثمار والتوزع الجغرافي. علاوة على ذلك، لم تنعكس الاختلافات الشكلية في الاختلافات الجزيئية الناتجة، ومع ذلك فقد أظهرت شجرة القرابة المبنية على نتائج RAPD ، أن العينات تجمعت في عنقودين رئيسين، حيث تنتمي معظم عينات العنقود I إلى المناخات الرطبة وشبه الرطبة، بينما تنتمي معظم عينات العنقود II إلى المناخات شبه جافة.

الكلمات المفتاحية: التنوع الحيوي، التوزع، البيئة، الإجاص السوري، RAPDs.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: Advances in Horticultural Science, 2007.

الثوابت الضوئية للأفلام الرقيقة شبه السليكونية (Si:Ox:Cy:Hz) المتوضعة على الكوارتز من سداسي ميثيل ثنائي السيلوكسان في بلازما انفراغ المهبط المجوف الراديوية البعيدة

د.صقر سلوم، د.منذر نداف
هيئة الطاقة الذرّية السورية، قسم الفيزياء

ملخص

درس توضع أفلام رقيقة شبه سليكونية لابلورية (Si:Ox:Cy:Hz) في بلازما انفراغ المهبط المجوف الراديوية البعيدة باستخدام سداسي ميثيل ثنائي السيلوكسان كمونومير والأرغون كغاز مغذي، من أجل تعيين الثوابت الضوئية للأفلام وتشخيص البلازما كتابع للاستطاعة الراديوية (100-300 W) ومعدل تدفق المولد الطليعي (1-10 sccm). تم تشخيص البلازما باستخدام مطيافية الإصدار الضوئي. وتمَّ الحصول على الثوابت الضوئية (قرينة الانكسار، معامل الانطفاء وثابت العزل الكهربائي) من خلال قياسات النفوذية والانعكاسية في المجال [300-700 nm]. وجد أن قرينة الانكسار تزداد من 1.92 إلى 1.97 مع ازدياد الاستطاعة من 100 واط إلى 300 واط، ومن 1.70 إلى 1.92 مع ازدياد معدل تدفق المولد الطليعي من 1 إلى 10 sccm. قدرت قيمة الفرجة الطاقية الضوئية Eg وذيل الامتصاص الضوئي ΔE من أطياف الامتصاص الضوئي، وجد أن Eg تتناقص من 3.28 eV إلى 3.14 eV مع ازدياد الاستطاعة من 100 واط إلى 300 واط، و من 3.54 eV إلى 3.28 eV مع ازدياد معدل تدفق المولد الطليعي من 1 إلى 10 sccm. وجد أن ΔE تزداد مع ازدياد كل من الاستطاعة الراديوية المطبقة ومعدل تدفق المولد الطليعي. تمَّ ربط تبعية الثوابت الضوئية لبارامترات التوضع بمطيافية الإصدار الضوئي للبلازما.

الكلمات المفتاحية: سداسي ميثيل ثنائي السيلوكسان، مطيافية الإصدار الضوئي، ثوابت ضوئية، رُسابة البخار الكيميائي المعزز بالبلازما، انفراغات المهبط المجوف الراديوية.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: Vacuum, 2007.

الخصائص المجراعيّة للكاشف الهلامي المتلوّن بالإشعاع في مجال الأشعّة السينية التشخيصيّة

د. ممدوح برو
هيئة الطاقة الذرية السورية، قسم الوقاية والأمان

ملخص

وُجد أن طريقة قياس الجرعة بالمواد الهلامية قادرة على معالجة قضايا معقدة تتعلق بقياسات الجرعة خصوصاً في تطبيقات المعالجة الإشعاعية الحديثة العالية التقنية. مقياس الجرعة الهلامي المتلون المكون من كبريتات الحديدي والكزيلينول البرتقالي والجلاتين (FXG) هو أحد الأنظمة المستخدمة في مثل هذه التطبيقات. تبدي بعض مقاييس الجرعة الكيميائية استجابة مختلفة لطاقات الأشعة السينية الصغيرة والمتوسطة عندما تقارن مع فوتونات غاما عالية الطاقة. اختبرت استجابة مقياس الجرعة FXG للطاقة ومعدّل الجرعة. بالإضافة إلى دراسة استجابة الكاشف، تناول البحث خصائص أخرى مهمة تتعلق بقياس الجرعة من أجل حزم أشعة سينية مختلفة النوعيّة وفي مجال جهود مطبقة على الأنبوب تتراوح مابين 100 kV و300 kV، استخدمت وحدة معالجة بالأشعة السينية العميقة (orthovoltage) لغرض تشعيع عينات نظامية الحجم من FXG مأخوذة من مجموعات مختلفة لجرع إشعاعية في المجال من 0 Gy إلى 20 Gy.

الكلمات المفتاحية: قياس الجرعة الإشعاعية، كاشف هلامي متلون بالإشعاع، نوعيات حزمة الأشعة السينية.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2007.

هجرة اليورانيوم في البيئة الرسوبية الفسفاتية في التدمرية الشمالية، منطقة العوابد، سورية

د. جمال أصفهاني، موسى عيسى، رشاد الحنت
هيئة الطاقة الذرية السورية، قسم الجيولوجيا.

ملخص

طبقت مقاربة التحليل العاملي في بحث نشر سابقاً، على معطيات المسح الإشعاعي الطيفي الجوي لمنطقة العوابد، التدمرية الشمالية، سورية. برهنا أن نموذجاً مؤلفاً من أربعة معاملات(F1, F2, F3, F4) يعتبر كافياً لتمثيل تلك المعطيات، حيث تم تفسير ما نسبته 94% من تفاوتها. تم التوصل إلى رسم خريطة ليثولوجية معاملية تتضمن إحدى عشرة وحدة إشعاعية صخرية.

حددنا، ولأول مرة، مناحي هجرة اليورانيوم بمنطقة العوابد اعتماداً على معطيات المسح الإشعاعي الجوي. وضعنا خرائط إقليمية تشرح سلوكية هجرة اليورانيوم. بيَّن النموذج الجيولوجي–الإشعاعي المقترح بشكل واضح أن اتجاهات هجرة اليورانيوم تتأثر بقوة بشبكة المسيلات المائية وبطبوغرافية وأنظمة الشقوق في منطقة الدراسة. تلعب ليثولوجيا الوحدات الإحدى عشر المدروسة دوراً أساسياً في معدل هجرة اليورانيوم. وقد وجد أن الوحدات الفوسفاتية الأربع P1, P2, P3, P4 هي المصدر الرئيس لليورانيوم في منطقة الدراسة حيث تكون هجرة اليورانيوم إلى خارج منطقة الدراسة. تمَّ إغناء الوحدات الليثولوجية السبع الأخرى C1, C2, C3, M1, M2, M3, M4 باليورانيوم خلال التطور الجيولوجي للقشرة الأرضية حيث إن هجرة اليورانيوم تكون في داخل الوحدات. كما بينا أن هجرة اليورانيوم حصلت من مصدره ولمسافة قصيرة محددة بحدود الوحدات الليثولوجية التي تحيط بالوحدات الفوسفاتية. تعتبر هذه النتيجة هامة من وجهة نظر استكشافية، وتقترح أن مستقبل فعاليات التحري عن اليورانيوم هي قريبة من المصادر الفوسفاتية، فيما إذا كانت هذه العملية هي التي تؤدي إلى توزع اليورانيوم.

الكلمات المفتاحية: التنقيب عن الفوسفات واليورانيوم، هجرة اليورانيوم، مسح إشعاعي جوي بمطيافية أشعة غاما، منطقة العوابد، سورية.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Applied Radiation and Isotopes, 2007*.

وراثة الفوعة المرضية لدى الفطر Pyrenophora graminea

د. محمد عماد الدين عرابي، محمد جوهر
هيئة الطاقة الذرية السورية، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية.

ملخص

يعد الفطر Pyrenophora graminea العامل المسبب لمرض تخطط أوراق الشعير مرضاً اقتصادياً هاماً منتشراً في العالم. بغية دراسة وراثة الفوعة المرضية في هذا الفطر أجري التهجين بين عزلتين مختلفتين إلى حد كبير في الدنا وفي فوعتهما المرضية. كان من إجمالي 70 نسلاً تمَّ اختبارها وفق الطراز الوراثي للشعير "فرات 1"، 36 نسلاً بفوعة مرضية عالية و 34 نسلاً بفوعة مرضية منخفضة. تدعم النتائج النموذج الذي يشير إلى وجود مورثة رئيسة مفردة تتحكم بفوعة الفطر المدروس (نسبة 1:1، $X^2 = 0.72$، P=36.3). سوف تسمح المعطيات التي حصلنا عليها الآن بعمل خريطة وراثية للمورثة المسؤولة.

الكلمات المفتاحية: الشعير، Pyrenophora graminea، تخطط الأوراق، الفوعة المرضية، توريث.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Australasian Plant pathology, 2007*.

دراسة تجريبية لتأثير سعة المكشاف على استجابة قناة إلكترونيات نووية عامة

جمال عساف
هيئة الطاقة الذرّية السورية، قسم الخدمات العلمية.

ملخص

تمَّت دراسة الضجيج والإشارة في قناة إلكترونيات نووية، حيث جرت، بشكل خاص، مقارنة بين النتائج التجريبية ونماذج نظرية وخاصة فيما يتعلق بالضجيج. تمَّ في هذه النماذج الأخذ بعين الاعتبار تأثير السعة الكهربائية الكلية عند مدخل القناة وكذلك فرضيات نموذج عمل المضخم الأولي (حقيقي ومثالي). تبيَّن في المحصلة أن تأثير سعة الدخل على الضجيج كان أكبر من تأثيرها على الإشارة، كما تبيَّن أيضاً أن نموذج المضخم الأولي الحقيقي يعطي تطابقاً أكبر بين النتائج التجريبية والحسابية.

الكلمات المفتاحية: ضجيج، السعة الكهربائية للمكشاف، مضخم أولي، الشحنة المكافئة للضجيج.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Radiation Measurements, 2007*.

الشكل البلوري للبورون هدروجين

محمد خير صبرة
هيئة الطاقة الذرّية السورية، قسم الفيزياء.

ملخص

في بلّورة ثلاثية الأبعاد، جرت دراسة توجيهين مختلفين لسلاسل البورون هدروجين. يستند هذان التوجيهان إلى زمرتي الفضاء $P2_1/a$ و$P2_1/n$، معتمدين على ما إذا كان شكل الرابطة المفردة –الرابطة المزدوجة في كلتا السلسلتين في الخلية الواحدية في طور متوافق أو في طور متعاكس على التوالي. باستخدام نظرية التابعية للكثافة FP-LAPW ضمن التقريب المتدرج المعمم، توصلنا إلى الحجوم المثلى وطاقات الحالات المستقرة وعصابات الطاقة وكثافة الحالات. وقد بينت نتائجنا أن ترتيب الطور المتوافق يسلك سلوك ناقل رديء بينما يمتلك ترتيب الطور المتعاكس فرجة طاقية 0.5 eV.

الكلمات المفتاحية: بورون، هدروجين، نظرية التابعية للكثافة، خلية أحادية الميل.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Journal of Physics: Condensed Matter, 2007*.

ملخصات تقارير علمية

تعيين الراديوم -226 في المياه العذبة باستخدام مطيافيّة ألفا

محمّد عماد بيرقدار

قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

للراديوم أربعة نظائر طبيعية هي: Ra-223 وRa-224 وRa-226 وRa-228. النظائر الثلاثة الأولى هي من مصدرات ألفا، في حين أن الأخير هو مصدر لأشعة بيتا. وبسبب الأهمية الكبيرة لتحديد مصدرات ألفا في المياه العذبة (مياه الشرب) فلقد ركّز هذا العمل على تحديد الراديوم-226 باستخدام مطيافيّة ألفا لكونه ذا عمر نصف طويل 1600 سنة مقارنة مع عمر النصف للنظيرين Ra-223 وRa-224 (11.4 و3.66 يوم على الترتيب).

يمكن تطبيق هذه الطريقة في حقول الاعتيان، إضافةً إلى أن حدّ الكشف فيها منخفض والذي يجعل بدوره تحليل عيّنات المياه (التي لا تتجاوز قساوتها 40 درجة فرنسيّة) مُرضياً في برامج المراقبة البيئية والصحيّة، شريطة أن يجري تعداد العيّنات مباشرة (أو بحدود 48 ساعة).

الكلمات المفتاحية: راديوم، مطيافيّة ألفا، قساوة، مياه عذبة، طرائق تحليلية إشعاعيّة.

تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تطبيق تقنية التحليل بالتنشيط النتروني في تحليل عناصر الأثر

د. إبراهيم خميس، أحمد سرحيل، نزار الصمل

قسم الهندسة النووية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

طبقت طريقة المقارن المفرد k_0-standardazation (single-comparator) باستخدام رقائق عنصر الذهب في تحليل عناصر الأثر في مختلف العيّنات البيئية، كما تمّ تطبيق واستخدام برنامج k_0-IAEA التحليلي المستخدم في دراسة ومعالجة الأطياف وتحليل العيّنات وحساب تراكيز العناصر. كما حسبت قيم الثوابت النووية الخاصة بمفاعل منسر في المواقع الداخلية.

الكلمات المفتاحية: طريقة المقارن المفرد، التحليل بالتنشيط النتروني، برنامج k_0-IAEA، ثوابت نووية، بيئية.

تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تقدير الجرعة الإشعاعية الداخلية الناجمة عن نظائر اليورانيوم للعاملين في الصناعة الفسفاتية باستخدام مطيافية ألفا

د. محمد حسان خريطة، خالدية سخيطة، ظهيرة الدلاّل

قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

نظراً لاحتمال تعرض العمال في الصناعة الفسفاتية لليورانيوم (تعرضاً داخلياً) عن طريق الاستنشاق وتوضعه في الأعضاء والنسج وطرح جزء منه خارج الجسم عن طريق التعرق أو الإطراح البولي، فقد عُنيت الدراسة الحالية بتعيين اليورانيوم في بول هؤلاء العمال وأوضحت النتائج أن بعض التحاليل للعيّنات كانت أعلى من حدّ الكشف للجهاز، أي يوجد في العيّنات كميات من اليورانيوم، وعليه هناك حاجة لإجراء مراقبة روتينية لهؤلاء العمال.

الكلمات المفتاحية: اندخال، عيّنات البول، مستوى التقصي المشتق، مستوى التسجيل المشتق، جرعة إشعاعية داخلية.

تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

اختبار الجرعات المثلى لإحداث الطفرات في نوعي القطن G. hirsutum و G. barbadense

د. دانا جودت، انتصار قره جولي

قسم التقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

زرعت بذور ستة أصناف من القطن من نوع Gossypium hirustum، كما زرعت بذور صنف C6040 من النوع Gossypium barbadense، ضمن أحواض بلاستيكية (30×60×20 سم) تحوي مادة التورب (Trefgroup, Netherlands). أخذت نسبة الإنبات للأصناف جميعها بعد 14 يوماً من الزراعة، حيث تمّ اختيار النباتات مع أول ورقة حقيقية للقراءة، فكانت أعلى نسبتي إنبات هما 83.3 و80% لكلٍّ من: C6040 ورقة 5 على التوالي. تمّ تعريض بذور الصنفين رقة 5 وC6040 الطويل التيلة لأشعة غاما من مصدر كوبالت 60 (^{60}Co) من خلية غاما (Isolvated روسي الصنع) المتوفرة في قسم تكنولوجيا الإشعاع/هيئة الطاقة الذرّية بشدة إشعاعية 4 كيلوكوري. استخدمت الجرعات التالية:

500, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100 غراي للصنف رقة 5، واستخدمت الجرعات التالية:

300, 250, 200, 150, 100 غراي للصنف C6040 بمعدل 1.8548 كيلوغراي/سا. وقد أظهرت النتائج تأثير الجرع المختلفة على كلٍّ من نسبة الإنبات، الطول الكلي، المسافة بين الأوراق الفلقية وأول ورقة حقيقية، وتوقيت الإزهار.

الكلمات المفتاحية: نبات القطن، وقت الإزهار، طفرات.

تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أنجزت في قسم التقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة استحراق وقود المفاعل منسر وتحديد تراكيز نواتج الانشطار الرئيسية باستخدام الكودين WIMS-D4 وCITATION

هشام حاج حسن، نضال غازي، د. علي حينون

قسم الهندسة النووية - دائرة أمان المفاعلات -
هيئة الطاقة الذرّية - ص . ب6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرى في هذا العمل استخدام الكودين BORGLES وWIMS-D4من مجموعة الكودات MTR_PC لتحضير مكتبة نووية للمقاطع المجهرية للعناصر الأساسية الداخلة في تركيب المفاعل منسر لأجل 6 مجموعات طاقية. ثم استخدمت هذه المكتبة لاحقاً في الكود الثلاثي البعد CITATION للقيام بحسابات استحراق واستنفاد الوقود مع تحديد تراكيز نواتج الانشطار الأساسية ودراسة تأثيرها على معامل التضاعف الفعّال للمفاعل. وقد تطلب ذلك إدخال بعض التعديلات الجديدة على البرنامج الفرعي NUCY المتعلق بحساب تراكيز الأكتينيدات ونواتج الانشطار. عالجت الدراسة تأثير تراكم نواتج الانشطار ذات عمر النصف المتوسط والطويل على مدى عمر القلب من خلال دراسة سلوك 15 ناتج انشطار موزعة على 3 مجموعات حسب مقاطع امتصاصها للنترونات. وقد بيَّنت نتائج حسابات الاستحراق أن عمر القلب يحدده بالدرجة الأولى تراكم السماريوم Sm-149 يليه Gd-157 وCd-113 بالدرجة الثانية. وبيَّنت النتائج أن تراكم هذه النظائر خلال عمل منسر لمدة 100 يوم متواصل أدت إلى تراجع التفاعلية بحدود *mk* 2. وتبدو هذه القيمة قريبة من القيمة التجريبية المتوفرة عن المفاعل والبالغة حوالي *mk* 1.8 تقريباً والمقابلة لاستهلاك التفاعلية خلال سنوات العمل الأخيرة حتى تاريخه والتي تبلغ بمجملها حوالي 100 يوم عمل مستمر. وتجدر الإشارة إلى أن محاكاة فترات العمل المتقطع للمفاعل بفترة زمنية مستمرة تُعدُّ تقريباً مقبولاً بالنسبة لنواتج الانشطار ذات عمر النصف الطويل والتي تحدد بشكل رئيسي عمر القلب، في حين يبدو هذا التقريب مغالياً بالنسبة لنواتج الانشطار القصيرة عمر النصف (خاصةً الكزينون-135) نظراً لتفككها السريع أثناء فترات توقف المفاعل التي تعقب فترات التشغيل مما يحول دون تراكمها بالقدر المفترض لحالة التشغيل المستمر.

من جهةٍ أخرى، جرت في سياق هذا العمل دراسة إمكانية تخفيض إغناء الوقود الحالي من خلال استبدال نوعين من الوقود النووي به هما UO2-Mg وU3Si-Al. علماً أن اختبار الخليطتين اقتصر على الخواص النترونية من حيث تحقيق الحرجية والمحافظة على المواصفات الحالية للتدفق النتروني في مواقع التشعيع. وقد تبيَّن أن استخدام الإغناء المنخفض (حوالي 20%) للنمط الأول من الوقود يحقق الشرط الحرج، أما النمط الثاني المتمثل بخليطة السيليكات فلم يحقق الشرط الحرج في حالة الإغناء المنخفض مما يتطلب رفع معدل الإغناء إلى المستوى المتوسط البالغ 33%. وقد تمَّ بالنسبة لهذين النوعين من الوقود تحديد مساهمة مختلف نظائر البلوتونيوم على قيمة keff خلال عمر الوقود، كما جرى التقصي عن إمكانية استخدام ماصات قابلة للاستحراق من الكادميوم والغادولينيوم (Gd-157, Cd-113) من خلال مزجها مع الوقود الطازج بشكل متجانس لدراسة أثرها التحكمي الطويل المدى على قيمة فائض التفاعلية. وقد تبيَّن أن التغير الزمني لفائض التفاعلية في حال استخدام الكادميوم يظهر سلوكاً أكثر تجانساً مع الزمن بسبب معدل الاستحراق المنخفض لهذا العنصر.

وقد تضمن العمل استخدام الكود CITATION لدراسة تأثير إضافة طبقة من البريليوم بسماكة 3 mm إلى العاكس العلوي، حيث بيَّنت المقارنة تقارباً جيداً بين النتائج الحسابية والقيم التجريبية بحيث لم يتجاوز الخطأ النسبي 5%.

الكلمات المفتاحية: الكود CITATION، مجموعة الكودات MTR_PC، الكود WIMS-D4، مقاطع مجهرية، مفاعل البحث منسر، استحراق واستنفاد الوقود، ماصات مستحرقة.

تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مساهمة في تنميط بروسيلا الحمى المالطية في بعض مناطق سورية

د. أيمن المريري

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - دائرة الميكروبيولوجيا والمناعيات - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب.6091 - دمشق - سورية

ملخص

يُعدُّ داء البروسيلات من الأمراض المشتركة المنتشرة لدى العديد من الحيوانات. ويكون السبب الرئيسي لعدوى الإنسان بالبروسيلا هو تناوله للحليب الملوث أو مشتقاته. تمّ اختبار 4280 عيّنة دموية و6872 عيّنة حليب من جميع المحافظات السورية. استخدمت الطرائق المصلية؛ واختبار الحلقة في الحليب وأيضاً العزل البكتيري. وجد تحت النوع 3 من البروسيلا الضأنية في كل المناطق المدروسة. تُعتبر هذه الدراسة الأولى التي توضح تواتر الحمى المالطية وتنميط البروسيلا ابتداءً من عيّنات الحليب في سورية.

الكلمات المفتاحية: يرسينيا، بروسيلا، حليب، تنميط، مجترات.

تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مقارنة أداء جهازي التبعثر النتروني ومقياس رطوبة التربة بطريقة سبر الوسعية الكهربائية للتربة (Diviner2000)، لتقدير المحتوى الرطوبي في الترب المالحة

فريد العين، جلال العطار، فؤاد حسين

قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

أجريت تجربة حقلية في ترب مالحة، رملية طينية وطينية القوام، في دير الزور لمقارنة أداء جهاز التبعثر النتروني (Neutron Scattering, NS) وجهاز سبر الوسعية الكهربائية للتربة (Diviner2000) في قياس المحتوى المائي للتربة، وذلك من حيث كفاءة ودقة عمل هذه الأجهزة ومدى حساسيتها لملوحة التربة وكثافتها الظاهرية. أظهرت نتائج هذه التجربة أن جهاز الـ Diviner2000 كان أكثر حساسية للناقلية الكهربائية للتربة ECe ولكثافتها الظاهرية ρb ولقوامها مقارنةً مع جهاز الـ NS. إلا أن إدخال قيم كلٍّ من ρb وECe كمتحولات مستقلة في معادلة الانحدار غير الخطي المتعدد لجهاز Diviner2000 قد حسَّن من نتائج معايرة هذا الجهاز، ومع ذلك فإن قيم معامل الارتباط (R^2) لعلاقة الوسعية الكهربائية للتربة بالرطوبة لجهاز Diviner2000 بقيت منخفضة مقارنةً بنظيراتها في جهاز التبعثر النتروني.

الكلمات المفتاحية: جهاز التبعثر النتروني، جهاز سبر الوسعية الكهربائية للتربة (Diviner2000)، معايرة، ملوحة.

تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تأثير معاملة درنات البطاطا بعد حصادها ببذور نبات الحلبة، ومبيد اللوفنيرون، لحمايتها من الإصابة بحشرة فراشة درنات البطاطا Phthorimaea operculella

د. جورج سعور

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية- هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

اختبر مسحوق بذور الحلبة Trigonella foenum-graecum (L.)، والمستخلص الكحولي (الميثانول) للبذور، ومبيد حشري مثبط لتصنيع الكيتين (مانع انسلاخ) اللوفنيرون lufenuron، لتحديد مقدراتها وتأثيرها المتبقي residual activities في منع عملية وضع البيوض عند حشرة فراشة درنات البطاطا Phthorimaea operculella Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae). لم يسجل إلا ظهور ضعيف جداً لفراشات الجيل الأول عند درنات البطاطا المعاملة بمبيد الحشرات اللوفنيرون. تؤمن الحلبة (كمادة نباتية) وفق نتائج هذه الدراسة، حماية فعالة لدرنات البطاطا من أضرار الإصابة بحشرة فراشة درنات البطاطا في المخازن التقليدية غير المبردة.

الكلمات المفتاحية: فراشة درنات البطاطا، حلبة، مبيد اللوفنيرون، تنفير لعملية وضع البيوض.

تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية أنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إمكانية استعمال الحمأة في الزراعة

د. محمد العودات، د. محفوظ البشير، د. فواز كردعلي، د. فارس الأصفري

قسم الوقاية والأمان، وتكنولوجيا الإشعاع و الزراعة
هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

درس تأثير إضافة الحمأة الجافة –الناتجة من محطة معالجة مياه المجارير في دمشق– في خصائص التربة، وإنتاج المحاصيل، وفي تركيز العناصر المعدنية الثقيلة والكائنات الممرضة في التربة والنباتات ولموسمين متتاليين. بيَّنت النتائج أن إضافة الحمأة الجافة إلى التربة زاد إنتاج المحاصيل كافة بمعدل وصل إلى الضعف، كما زودت التربة بالعناصر الغذائية التي تحتاجها المحاصيل وبخاصة الآزوت والفسفور. كان تركيز العناصر المعدنية الثقيلة والممرضات في التربة والنباتات مطابقاً للمواصفة السورية. وبالنتيجة، فإن إضافة الحمأة الجافة إلى التربة الزراعية بمعدل حتى 40 طن/هـ يُعدُّ طريقة فعالة في تحسين خصائص التربة، وإنتاج المحاصيل، كما أنها طريقة فعالة في التخلص من الحمأة، وتلافي تأثيراتها السلبية.

الكلمات المفتاحية: زراعة، عناصر ثقيلة، ممرضات، حمأة.

تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الزراعة، الوقاية، تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة الرخويات المنتشرة على طول الشاطئ السوري إشعاعياً

د. محمد سعيد المصري، سامر ماميش، محمد عبد الحليم
قسم الوقاية والأمان ـ هيئة الطاقة الذرّية ـ ص.ب. 6091 ـ دمشق ـ سورية

د. ازدهار عمار
قسم البيولوجيا البحرية ـ المعهد العالي للبحوث البحرية ـ ص.ب 2242 ـ جامعة تشرين ـ اللاذقية

ملخص

جرت في هذا البحث دراسة النشاط الإشعاعي في عدد من أنواع القاعيات الحيوانية في أربعة مواقع مختارة على طول الشاطئ السوري هي البسيط واللاذقية وبانياس وطرطوس، وتمَّ حساب معاملات تركيز النكليدات المشعة (الرصاص-210 والبولونيوم-210 ونظائر اليورانيوم والبوتاسيوم-40 والسيزيوم-137) في كل من الجسم الرخو والقوقعة بهدف تحديد الأنواع التي يمكن اعتمادها مشعرات حيوية لهذه النظائر. أوضحت معالجة النتائج إحصائياً باستخدام طريقة الرسم الصندوقي (Box Plot) أنه يمكن استخدام الجسم الرخو للنوع Spondylus spinosus والنوع Chama pacifica كمشعر حيوي للنظائر المشعة المدروسة وكذلك قوقعة كل من Strombus persicus وSpondylus spinosus، في حين أظهر الجسم الرخو لكل من Brachidonta variabilis وSpondylus spinosus انتقائية للكادميوم والرصاص وأظهر النوع Pinctada radiate انتقائية للزنك والـ Thais haemostoma للنحاس. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الرخوي المهاجر من البحر الأحمر Strombus persicus كمشعر للرصاص والزنك والنحاس وقوقعة الرخوي Thais haemostoma للرصاص. تكمن أهمية نتائج الدراسة الحالية والتي تُعدُّ أساساً للنظائر المشعة في الرخويات المنتشرة على طول الشاطئ السوري بأنها الدراسة الوحيدة في الحوض الشرقي من البحر المتوسط التي تحدد أنواع الرخويات الممكن استخدامها مشعرات حيوية للنكليدات المشعة.

الكلمات المفتاحية: نكليدات مشعة طبيعية وصنعية، عناصر نزرة، رخويات، شواطئ سورية، مؤشرات حيوية.

تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

January

Sun		6	13	20	27
Mon		7	14	21	28
Tue	1	8	15	22	29
Wed	2	9	16	23	30
Thu	3	10	17	24	31
Fri	4	11	18	25	
Sat	5	12	19	26	

February

Sun		3	10	17	24
Mon		4	11	18	25
Tue		5	12	19	26
Wed		6	13	20	27
Thu		7	14	21	28
Fri	1	8	15	22	29
Sat	2	9	16	23	

March

Sun		2	9	16	23	30
Mon		3	10	17	24	31
Tue		4	11	18	25	
Wed		5	12	19	26	
Thu		6	13	20	27	
Fri		7	14	21	28	
Sat	1	8	15	22	29	

April

Sun		6	13	20	27
Mon		7	14	21	28
Tue	1	8	15	22	29
Wed	2	9	16	23	30
Thu	3	10	17	24	
Fri	4	11	18	25	
Sat	5	12	19	26	

May

Sun		4	11	18	25	
Mon		5	12	19	26	
Tue		6	13	20	27	
Wed		7	14	21	28	
Thu	1	8	15	22	29	
Fri	2	9	16	23	30	
Sat	3	10	17	24	31	

June

Sun	1	8	15	22	29	
Mon	2	9	16	23	30	
Tue	3	10	17	24		
Wed	4	11	18	25		
Thu	5	12	19	26		
Fri	6	13	20	27		
Sat	7	14	21	28		

July

Sun		6	13	20	27	
Mon		7	14	21	28	
Tue	1	8	15	22	29	
Wed	2	9	16	23	30	
Thu	3	10	17	24	31	
Fri	4	11	18	25		
Sat	5	12	19	26		

August

Sun		3	10	17	24	31
Mon		4	11	18	25	
Tue		5	12	19	26	
Wed		6	13	20	27	
Thu		7	14	21	28	
Fri	1	8	15	22	29	
Sat	2	9	16	23	30	

September

Sun		7	14	21	28	
Mon	1	8	15	22	29	
Tue	2	9	16	23	30	
Wed	3	10	17	24		
Thu	4	11	18	25		
Fri	5	12	19	26		
Sat	6	13	20	27		

October

Sun		5	12	19	26	
Mon		6	13	20	27	
Tue		7	14	21	28	
Wed	1	8	15	22	29	
Thu	2	9	16	23	30	
Fri	3	10	17	24	31	
Sat	4	11	18	25		

November

Sun		2	9	16	23	30
Mon		3	10	17	24	
Tue		4	11	18	25	
Wed		5	12	19	26	
Thu		6	13	20	27	
Fri		7	14	21	28	
Sat	1	8	15	22	29	

December

Sun		7	14	21	28	
Mon	1	8	15	22	29	
Tue	2	9	16	23	30	
Wed	3	10	17	24	31	
Thu	4	11	18	25		
Fri	5	12	19	26		
Sat	6	13	20	27		

*Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria
**Department of Marine Biology, Higher Institute for Marine Research, Tishreen University, Lattakia, P.O. Box: 224, Syria

In the present work, radioactivity has been studied in several Mollusca collected from four selected sites (Al Basset, Lattakia, Banise and Tartous) along the Syrian coast. Concentration Factors (CF) of radionuclides (Lead-210, Polonium-210, Uranium Isotopes, Potassium-40 and Ceasium-137) in mussels and shells of Mollusca have been calculated in order to determine the species that could be used as Bioindicators for these isotopes. Statistical analysis of the results using the box plot method showed that the mussels of Spondylus gaederopus spinosus and Chama pacifica can be used as biomonitor for the studied radionuclides in addition to shell of Strombus decorus persicus and Spondylus gaederopus spinosus. While the mussels of Brachidonta variabilis and Spondylus gaederopus spinosus have shown good selectivity for Cd and Pb and Pinctada radiate for Zn and Thais Haemastoma haemostoma for Cu. In addition, the migrant Mullusca from the Red Sea, Strombus decoruspersicus, can be used as biomonitor for lead, Zn and Cu, Cd, while the shell of Thais Haemastoma haemostoma for lead. However, the importance of the results of the present study that are considered as a baseline data for radionuclides in Mullusca distributed along the Syria coast and it is the only study in the eastern Mediterranean basin, that defined the Mollusca species which could be use as biomonitors for radionuclides.

Key Words: Natural and Artificial Radionuclides, Trace element, Mollusca, Syrian coast, Biomonitors.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

soil electrical conductivity (ECe) and bulk density (ρb) on the precession, accuracy and sensitivity of the tested equipments were evaluated. The study showed that, Diviner2000 was very sensitive to soil bulk density and electrical conductivity of the soil (i.e. soil salinity) compared to the NS. Multiple non-linear regressions improved the fitting when both parameters (ρb and ECe) were included in the equation, even though the correlation coefficient (R^2) remained low in the case of Diviner2000.

Key Words: NS, neutron scattering; CP, capacitance probe; calibration; salinity.

POST-HARVEST POTATO TREATMENT WITH FENUGREEK SEED AND LUFENURON AS PROTECTANTS AGAINST THE POTATO TUBER MOTH, PHTHORIMAEA OPERCULELLA (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)

G. SAOUR

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Fenugreek, Trigonella foenum-graecum (L.), seed powder, its methanol extract, and chitin synthesis inhibitor lufenuron were evaluated for their oviposition deterrence and residual activities on the potato tuber moth Phthorimaea operculella Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae). However, almost no F_1 progeny was produced from tubers treated with lufenuron insecticide. This study reveals T. foenum-graecum to be a potent plant material for protecting potatoes from P. operculella infestation and damage.

Key Words: Phthorimaea operculella, Fenugreek, lufenuron, oviposition deterrence.

THE POSSIBILITY OF UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE IN AGRICULTURE

M. AL- OUDAT, M. AL- BACHIR, F. KURD ALI, A.F. ASFARY

Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

The effects of dry sewage sludge application on soil properties, crop productivity heavy elements concentrations and pathogens in soil and plants were studied for two successive seasons. The results showed that sewage sludge application significantly increased crop yield by up to two folds, and provide the required amount of nutrients needed by crops especially nitrogen and phosphorous. The concentration of heavy metal and pathogens did not exceed the Syrian regulations in both soil and crops. Therefore, addition of sewage sludge to the agricultural soils at a rate up to 40 t/h-1 is considered an effective way of improving soil properties, crop productivity and provides a good procedure to utilize sewage sludge, in reducing its negative effects on the environment.

Key Words: Agriculture, heavy metal, pathogens, sewage sludge.

A RADIOACTIVITY STUDY OF MOLLUSCA DISTRIBUTED ALONG THE SYRIAN COAST

M.S. AL-MASRI*, I. AMMAR**, S. MAMISH*, M.A. HALEEM*

actinides and fission products. The burn up results indicated that the core life time of MNSR is being mainly estimated by Sm-149 following by Gd-157 and Cd-113. The accumulation of these actinides during 100 continuous operation days caused a reduction of ca. 2 mk for the excess reactivity. This result seems to be in good agreement with the available empirical value of 1.8 mk which relates to the whole discontinuous operation period of the reactor since its start and up to now. The calculation procedure simulates the sporadic operation with an adequate continuous operation period. This approximation is valid for the long lived actinides that mainly dictate the core life time. However, it is an overestimation for the concentration of short lived radioactive products like Xe-135.

In the framework of this analysis the possibility of replacement of current MNSR fuel through low enriched fuels has been explored for two the fuel types UO2-Mg and U3Si-Al. The results indicate that the first type (UO2-Mg) realize the criticality conditions with low enrichment of 20%, whereas the second type (U3Si-Al) required increasing the uranium enrichment up to 33%. For both fuel types the contribution of plutonium isotopes on the criticality has been also evaluated. Additionally, the influence of mixing burnable absorbers (Gd-157, Cd-113) with the fresh fuels was investigated to identify their long-term control effect on the excess reactivity. The calculation showed that the decreasing of excess reactivity in case of Cd-113 is more homogenous and over the time due to the lower burn up rate of Cd-113.

Finally, the study was devoted also to calculate the contribution of adding a 3 mm Beryllium shim to the top reflector. The comparison of calculation results with the available experimental data indicates good agreement with a relative deviation of about 5%.

Key Words: CITATION, WIMSD4, MTR_PC Package, Microscopic Cross sections, MNSR Reactor, Fuel Burnup and Depletion, Burnable Absorber.

TYPING OF BRUCELLA MELITENSIS IN SOME AREA OF SYRIA

Ayman AL-MARIRI
Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Brucellosis is a zoonosis of large animals. Humans usually acquire Brucella organisms by ingestion of contaminated raw milk and milk products. A total of 4280 blood samples and 6872 of raw milk collected from all the provinces of Syria, were examined. The serum samples were tested; where the milk samples were subjected to MRT and isolation of brucella organisms. Brucella identified as B. melitensis biovar 3. This study is the first to describe the incidence of brucellosis and typing Brucella from milk samples in Syria.

Key Words: Yersinia, Brucella, milk, typing, ruminants.

PERFORMANCE OF NEUTRON SCATTERING RELATIVE TO DIVINER2000 FOR ESTIMATING SOIL WATER CONTENT IN SALT AFFECTED SOILS

F. AL-AIN, J. ATTAR, F. HUSSEIN
Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

A field experiment was conducted on sandy clay and clayey soils at Deir Ezzor to compare the performance of Neutron Scattering (NS) relative to a capacitance probe (CP), Diviner2000, in our local conditions under saline soils. The effect of

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

M. H. KHARITA, Kh. SAKHITA,
Z.ALDALLAL
Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

There is probability of exposure to uranium for workers in the phosphate industry (Internal exposure) by inhalation, and the deposition of this uranium in organs and tissues, and the consequence excretion out of the body by perspiration or urine.

This study focuses on the determination of uranium in urine samples of workers .some results seem to be higher than the detection limit of the method, therefore routine monitoring is required for those workers.

Key Words: Intake, urine samples, derived investigation level, derived registration level, internal dose.

SELECTION OF OPTIMAL DOSES FOR MUTATION INDUCTION IN TWO SPECIES OF COTTON G. HIRSUTUM AND G. BARBADENSE

D. JAWDAT, I. KARAJOLI
Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Seeds from six varieties of Gossypium hirusutum and from one variety of Gossypium barbadense were cultured in plastic containers (20 × 60 × 30 cm) with compost (Terfgroup, Netherlands). Germination readings were taken 14 days after culture, where plants with first true leaf was chosen for readings. The highest percentages of germinations were 83.3 (C6040) and 80 % (Rakka 5). Seeds of Rakka 5 were subjected to gamma radiation (^{60}Co) with radiation activity of 4 kci using the Gamma cell (Isolvated, made in Russia) at the Radiation Technology department at the AECS. The following doses were used in a rate of 1.8548 KGry/h: 100,150,200, 250, 300, 350,400 and 500 Gry. On the other hand, seeds of C6040 were subjected to 100,150,200, 250 and 300 Gry. The results indicated the effects of gamma radiation doses on germination rate, plant height, distance between cotyledons leaves and first true leaf and flowering time.

Key Words: Cotton, Flowering time and mutations

STUDYING THE FUEL BURNUP OF MNSR REACTOR AND ESTIMATING THE CONCENTRATIONS OF MAIN FISSION PRODUCTS USING THE CODES WIMS-D4 AND CITATION

H. Haj Hassan, N. Ghazi, A. Hainoun
Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

The codes WIMSD-4 and BORGLES - part of the MTR-PC code package- have been applied to prepare the microscopic cross section library for the main elements of MNSR core for 6 neutron energy groups. The generated library was utilized from the 3D code CITATION to perform the calculation of fuel burn up and depletion including the identification of main fission products and its effects on the multiplication factor. In this regard some modifications have been introduced to the subroutine NUCY in CITATION to incorporate estimating the concentration of the related

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

orientations of boron hydrogen chains have been considered. The geometrical orientations of the chains are based on the space groups $P2_1/a$ and $P2_1/n$ depending on whether the single bond - double bond pattern on the two chains in the unit cell is in phase or antiphase, respectively. Using the Full potential linearized augmented plane waves (FP-LAPW) density functional theory within the generalized gradient approximation, the optimal volumes, the ground state energies, band structures and the density of states of levels have been reported. Our results show that the in phase pattern behaves as poor conductor while the antiphase has a gap of 0.5 eV.

Key Words: boron, hydrogen, density functional theory, monoclinic unit cell.

REPORTS

DETERMINATION OF RADIUM-226 IN FRESH WATER USING ALPHA SPECTROSCOPY

M. E. BYRAKDAR

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Four Radium isotopes are present in nature, i.e. Ra-223, Ra-224, Ra-226, and Ra-228. The first three are alpha emitters while the last is a beta emitter. Because of the importance of the determination of Alpha isotope emitters in pure water (drinking water), this work focuses on the determination of radium-226 as it has the longest half-life (1600 years, in comparison to 11.4 day, 3.66 days, respectively) using Alpha spectroscopy.

This method has capability to be applied in sampling fields and low detection limit which in turn makes the analysis of low-level radioactive environmental water samples, with hardness does not exceed 40 French Degree, satisfying for Health and Environment Control Programmes. However, counting the samples using Alpha spectroscopy has to be immediate (or within 48 hours)

Key Words: Radium, Alpha spectroscopy, Hardness, Pure water, Radio analytical methods.

APPLICATION THE NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS TECHNIQUE IN TRACE ELEMENTS ANALYSIS

I. khamis, A. Sarhil, Eng. N. Alsaml

Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

The k0-standardization method (single comparator method) was implement using gold comparator for analysis trace element in environmental samples. Also nuclear reactor constants (Cd-ratio, f andα) were determined in the inner irradiation sites at MNS Reactor. k_0-IAEA software was install and apply.

Key Words: K_0-standardization method, Instrumental neutron activation, MNSR, k_0-IAEA software, Nuclear constants, Environmental.

ASSESSMENT OF INTERNAL DOSE CAUSED BY URANIUM ISOTOPES FOR WORKERS IN THE PHOSPHATIC INDUSTRY USING ALPHA SPECTROMETRY

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

and P4 are the main uranium sources in the study region, where the uranium migration is outward from these regions. The other seven lithological units C1, C2, C3, M1, M2, M3 and M4 are successivaly enriched by uranium during the geological evolution of the crust, where uranium migration is in an inward direction. It was also shown that uranium migration has occured from its source for a short distance, limited by the boundaries of the lithological units which surround the phosphatic units. This finding is important from a prospecting and exploration point of view, and suggests future uranium investigation activities are close to the phosphatic sources, if this process is creating the uranium distribution. Al-Awabed Region,

Key Words: Phosphate and uranium prospecting, Uranium migration, Aerial spectrometry survey, Syria.

INHERITANCE OF VIRULENCE IN PYRENOPHORA GRAMINEA

M. I. E. ARABI, M. JAWHAR

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Pyrenophora graminea, the causal agent of leaf stripe of barley, is an economically important disease with a worldwide distribution. To examine the inheritance of virulence in this fungus, a cross was made between two isolates that differed widely in their DNA and virulence. Of the 70 progeny tested, 36 exhibited high virulence and 34 exhibited low virulence on barley cultivar Furat1. The data support a model in which a single, major gene controls virulence in P. graminea (1:1 ratio; X^2= 0.72, P = 36.3). This information will now allow for a map-based cloning approach to identify the gene.

Key Words: Pyrenophora graminea-Virulence, Leaf stripe, Inheritance, Barley.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DETECTOR CAPACITANCE ON THE RESPONSE OF A TYPICAL NUCLEAR ELECTRONICS CHANNEL

J. ASSAF

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Noise and signal, in a typical nuclear electronics channel, were studied. Experimental results were compared with deduced theoretical models especially for the noise. In these models, the influence of the total capacitance at the input of the channel, as well as the considered type of the preamplifier (ideal and real), have been taken into account. It was found, that the input capacitance effects the noise more than the signal. Also, the real preamplifier type was more matched with the experimental result from the noise calculation.

Key Words: Noise, Detector capacitance, Preamplifier, ENC.

BORON HYDROGEN IN CRYSTALLINE FORM

M. K. SABRA

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

In a three dimensional crystal two different

index increases from 1.92 to 1.97 with increasing power from 100 to 300 W, and from 1.70 to 1.92 with increasing precursor flow rate from 1 to 10 sccm. The optical energy-band gap E_g and the optical-absorption tail ΔE have been estimated from optical absorption spectra, it is found that E_g decreases from 3.28 eV to 3.14 eV with power increase from 100 to 300 W, and from 3.54 eV to 3.28 eV with precursor flow rate increase from 1 to 10 sccm. ΔE is found to increase with applied RF power and precursor flow rate increase. The dependence of optical constants on deposition parameters has been correlated to plasma OES.

Key Words: hexamethyldisiloxane, optical emission spectroscopy, optical constants, PECVD; RF Hollow cathode discharges.

DOSIMETRIC PROPERTIES OF A RADIOCHROMIC GEL DETECTOR FOR DIAGNOSTIC X-RAYS

M.A. BERO

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

The gel dosimetry method was found to be capable of addressing complicated issues related to dose measurements particularly in modern sophisticated radiotherapy applications. The Ferrous-sulphate Xylenol-orange and Gelatin (FXG) radiochromic gel dosemeter is one of the systems used for such applications. Some chemical dosemeters show different response for low and medium energy X-rays in comparison with high energy γ–photons. The energy and dose rate dependence of the FXG dose response was examined. In addition to the detector response other important dosimetric properties of the system were investigated for different X-ray beam qualities with tube voltages in the range 100 – 300 kV. An orthovoltage X-ray therapy unit was used to irradiate standard sized samples of FXG from different batches for radiation doses in the range 0 - 20 Gy.

Key Words: radiation dosimetry, radiochromic gel detector, X-ray beam qualities.

URANIUM MIGRATION IN A SEDIMENTOLOGICAL PHOSPHATIC ENVIRONMENT IN NORTHERN PALMYRIDES, AL-AWABED AREA, SYRIA

J. ASFAHANI, M. AISSA, R. AL-HENT

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

In previously published research, a factor analysis approach has been applied to airborne spectrometric data of the Al-Awabed area, Northern Palmyrides, Syria. A model of four factors (F1, F2, F3 and F4) has proven to be sufficient to represent the acquired data, where 94% of the total data variance is explained. A scored lithological map including eleven radiometric units is established. Uranium migration trends have been determined for the first time through airborne spectrometric data of the study region, where different regional maps explaining the migration behevior have been established. A radioactive geological model of such a migration is established and clearly shows that directions of uranium migration are strongly influenced by network drainage, topography and fracturing systems in the region. Lithology of the eleven studied units also plays a dominant role in the rate of uranium migration. It was found that the four lithological phosphatic units P1, P2, P3

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

through two parallel diodes. The method is based on the fact that all parallel branches are always under the same voltage; in particular, the open circuit voltage is the same for the cell as a whole as well as for each of the two diodes. With the help of the parameters of each diode and its share in the cell short circuit current, its light current voltage characteristic can be drawn, and its individual fill factor calculated. The method suggests a way to estimate the cell fill factor with the help of the individual fill factors. The application of the method is carried out on experimental data of a ZnO/CdS/$CuGaSe_2$ single crystal solar cell.

Key Words: Solar cells, $CuGaSe_2$, interface recombination, tunnelling, activation energy.

PYRUS SYRIACA: AN ECOLOGICAL AND MOLECULAR STUDY

N. MIRALI, N. HAIDER, I. NABULSI,
1 Department of Molecular Biology & Biotechnology,
M. AL-OUDAT
Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

This study aimed at investigating the genotypes of Pyrus syriaca Boiss growing in Syria, their genetic relationships, and the environmental conditions and their relations with these genotypes. Fifty nine samples were selected from different geographical regions in Syria to analyze DNA by employing the PCR-based Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) technique. Results showed that P. syriaca is widely distributed, and thus grows under all prevalent climatic conditions of Syria and on all soil types. No correlation was found between morphological differences in leaves or fruits and the geographical distribution. Moreover, the morphological differences were not reflected in the molecular variation revealed. However, in the dendrogram constructed using RAPD data, samples were grouped in two main clusters, the majority of samples in cluster I belong to humid and semi-humid climates whereas, the majority of cluster II samples belong to arid and semi-arid climates.

Key Words: biodiversity, distribution, ecology, Pyrus syriaca and RAPDs.

OPTICAL CONSTANTS OF SILICONE-LIKE ($Si:O_x:C_y:H_z$) THIN FILMS DEPOSITED ON QUARTZ USING HEXAMETHYLDISILOXANE IN A REMOTE RF HOLLOW CATHODE DISCHARGE PLASMA

S. Saloum, M. Naddaf
Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

Deposition of amorphous silicone-like ($Si:O_x:C_y:H_z$) thin films in a remote RF hollow cathode discharge plasma using Hexamethyldisoloxane as monomer and Ar as feed gas; has been investigated for films optical constants and plasma diagnostic as a function of RF power (100-300 W) and precursor flow rate (1-10 sccm). Plasma diagnostic has been performed using Optical Emission Spectroscopy (OES). The optical constants (refractive index, extinction coefficient and dielectric constant) have been obtained by reflection/transmission measurements in the range 300-700 nm. It is found that the refractive

PAPERS

OESTROUS SYNCHRONISATION AND FERTILITY IN CYCLING DAMASCUS DOES USING THE SYNTHETIC PROSTAGLANDIN F2α, ILIREN

M. ZARKAWI

Division of Animal Production, Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

To assess the effect of synthetic prostaglandin F2α (PGF2α) Iliren, on oestrous synchronisation and other related parameters, 9 intact indigenous Damascus does each were either intramuscularly injected twice with 2 ml of synthetic prostaglandin F2α, Iliren (0.3 mg Tiaprost) at an interval of 12 d (P) or served as control (C) with no treatments. Does in group P responded to the treatment and exhibited oestrus at an average of 96 h; whereas, does in group C exhibited oestrus at an average of 199 h after bucks introduction. The treatment had no significant effect (P>0.05) on duration of pregnancy, fecundity rate of does, birth or weaning weight of kids at 3 months of age. At the second injection of PGF2α, there were active corpora lutea formed in some ovaries of the does treated with Iliren as indicated by the high concentration of progesterone. It could be concluded that it is possible to use the synthetic prostaglandin F2α, Iliren, at a dose of 2 ml (0.3 mg Tiaprost) given twice at an interval of 12 d for oestrous synchronisation in local Damascus does during the breeding season with no adverse effect on the reproductive or growth parameters.

Key Words: ilerin, reproduction, Damascus does, progesterone.

REMOVAL OF FLUORIDE FROM COMMERCIAL SYRIAN WET PHOSPHORIC ACID BY PRECIPITATION

M. K. ABEDLBAKE

Hydrometallurgy Office, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

The removal of fluoride from commercial Syrian wet Phosphoric acid was studied by precipitation with different Sodium and Potassium salts in different conditions: stoichiometric ratio, temperature and mixing time. The ideal conditions that give a high removal was obtained. All salts give high removal of 95-97%. Commercial Sodium Chloride is recommended for economical reasons.

Key Words: phosphoric acid, precipitation, fluoride.

A METHOD TO SEPARATE CELL LIGHT CURRENT INTO ITS CONSTITUENT DIODE LIGHT CURRENTS IN SOLAR CELLS DESCRIBED THROUGH TWO PARALLEL DIODES

M. SAAD , A. KASSIS

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

A method is presented which suggests the sharing out of cell short circuit current among the constituent parallel branches of the equivalent circuit, allowing for the identification of their light current contributions in solar cells described

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

Abstracts

ARTICLES

SOUNDING OUT THE BIG BANG

C. J. HOGAN
The Departments of Physics and Astronomy at the University of Washington, Seattle, US

Gravitational waves offer a unique way of studying inflation and other fundamental processes of the very early universe, explains **Craig J Hogan**, and may even connect string theory with the world of experiment.

Key Words: gravitational waves, big bang, laser interferometer space antenna, string theory, inflation of universe, cosmic phase transition.

CLEAN COAL

L-S. FAN, F. LI
Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Ohio State University, US

Coal burning is a major producer of carbon dioxide and its use is set to increase dramatically this century, **Liang-Shih Fan** and **Fanxing Li** describe how physics-based techniques are helping coal clean up its act.

Key Words: carbon dioxide, carbon combustion, fossil fuels, world warming, coal gasification.

A NEW DAWN FOR NUCLEAR POWER

P. NORMAN
runs the postgraduate MSc course in the physics and technology of nuclear reactors at the University of Birmingham, UK

Despite its environmentally unfriendly image, nuclear power is firmly back on the world's energy agenda thanks to the need to cut carbon-dioxide emissions. **Paul Norman**, **Andrew Worrall** and **Kevin Hesketh** describe how the next generation of nuclear power stations will be cleaner and more efficient than ever.

Key Words: global warming, nuclear power, carbon-dioxide, pollutants, reactors.

BRIGHT OUTLOOK FOR SOLAR CELLS

E. CARTLIDGE
A News Editor of Physics World

Nanotechnology could transform solar cells from niche products to devices that provide a significant fraction of the world's energy.

Key Words: solar cells, nanotechnology, third-generation cell, three generation of solar cells, quantum well cell, quantum dot cell.

THE PLASMA REVOLUTION

N. PATEL
A writer based in New York City

Particle accelerators that use plasma technology promise to shake up the fields of high-energy particle physics and cancer treatment. Challenges remain, but smaller, cheaper machines are within reach.

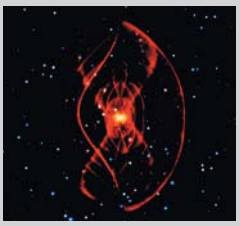
Key Words: linear collider, wake-field oscillation, turbulence.

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

CONTENTS

ARTICLES

7 **SOUNDING OUT THE BIG BANG**



Gravitational waves offer a unique way of studying inflation and other fundamental processes of the very early universe.

C. J. HOGAN

15 **CLEAN COAL**

Coal burning is a major producer of carbon dioxide and its use is set to increase dramatically this century.

L-S. FAN, F. LI

20 **A NEW DAWN FOR NUCLEAR POWER**

Despite its environmentally unfriendly image, nuclear power is firmly back on the world's energy agenda thanks to the need to cut carbon-dioxide emissions.

P. NORMAN

27 **BRIGHT OUTLOOK FOR SOLAR CELLS**

Nanotechnology could transform solar cells from niche products to devices that provide a significant fraction of the world's energy.

E. CARTLIDGE

33 **THE PLASMA REVOLUTION**

Particle accelerators that use plasma technology promise to shake up the fields of high-energy particle physics and cancer treatment.

N. PATEL

NEWS

37 BIG SCIENCE NEEDS VACUUM INNOVATION

38 RELAXATION AFTER A TIGHT SQUEEZE

40 WE KNOW WHERE YOU ARE, YOUR CELLPHONE TOLD US

43 CHINESE LAW AIMS TO QUELL FEAR OF FAILURE

44 BACTERIA MAY BE WIRING UP THE SOIL

46 SELENIUM

48 KING COAL CONSTRAINED

SCIENTIFIC HIGHLIGHT ON AN EVENT

50 SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION BASED-DEVELOPMENT LEAPFROG SCENARIO FOR SYRIA

PAPERS

56 OESTROUS SYNCHRONISATION AND FERTILITY IN CYCLING DAMASCUS DOES USING THE SYNTHETIC PROSTAGLANDIN F2α, ILIREN

56 REMOVAL OF FLUORIDE FROM COMMERCIAL SYRIAN WET PHOSPHORIC ACID BY PRECIPITATION

57 A METHOD TO SEPARATE CELL LIGHT CURRENT INTO ITS CONSTITUENT DIODE LIGHT CURRENTS IN SOLAR CELLS DESCRIBED THROUGH TWO PARALLEL DIODES

57 PYRUS SYRIACA: AN ECOLOGICAL AND MOLECULAR STUDY

58 OPTICAL CONSTANTS OF SILICONE-LIKE ($Si:O_x:C_y:H_z$) THIN FILMS DEPOSITED ON QUARTZ USING HEXAMETHYLDISILOXANE IN A REMOTE RF HOLLOW CATHODE DISCHARGE PLASMA

58 DOSIMETRIC PROPERTIES OF A RADIOCHROMIC GEL DETECTOR FOR DIAGNOSTIC X-RAYS

59 URANIUM MIGRATION IN A SEDIMENTOLOGICAL PHOSPHATIC ENVIRONMENT IN NORTHERN PALMYRIDES, AL-AWABED AREA, SYRIA

59 INHERITANCE OF VIRULENCE IN PYRENOPHORA GRAMINEA

60 EXPERIMENTAL STUDY OF THE DETECTOR CAPACITANCE ON THE RESPONSE OF A TYPICAL NUCLEAR ELECTRONICS CHANNEL

60 BORON HYDROGEN IN CRYSTALLINE FORM

REPORTS

61 DETERMINATION OF RADIUM-226 IN FRESH WATER USING ALPHA SPECTROSCOPY

61 APPLICATION THE NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS TECHNIQUE IN TRACE ELEMENTS ANALYSIS

62 ASSESSMENT OF INTERNAL DOSE CAUSED BY URANIUM ISOTOPES FOR WORKERS IN THE PHOSPHATIC INDUSTRY USING ALPHA SPECTROMETRY

62 SELECTION OF OPTIMAL DOSES FOR MUTATION INDUCTION IN TWO SPECIES OF COTTON G. HIRSUTUM AND G. BARBADENSE

63 STUDYING THE FUEL BURNUP OF MNSR REACTOR AND ESTIMATING THE CONCENTRATIONS OF MAIN FISSION PRODUCTS USING THE CODES WIMS-D4 AND CITATION

64 TYPING OF BRUCELLA MELITENSIS IN SOME AREA OF SYRIA

64 PERFORMANCE OF NEUTRON SCATTERING RELATIVE TO DIVINER2000 FOR ESTIMATING SOIL WATER CONTENT IN SALT AFFECTED SOILS

65 POST-HARVEST POTATO TREATMENT WITH FENUGREEK SEED AND LUFENURON AS PROTECTANTS AGAINST THE POTATO TUBER MOTH, PHTHORIMAEA OPERCULELLA (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE)

65 THE POSSIBILITY OF UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE IN AGRICULTURE

66 A RADIOACTIVITY STUDY OF MOLLUSCA DISTRIBUTED ALONG THE SYRIAN COAST

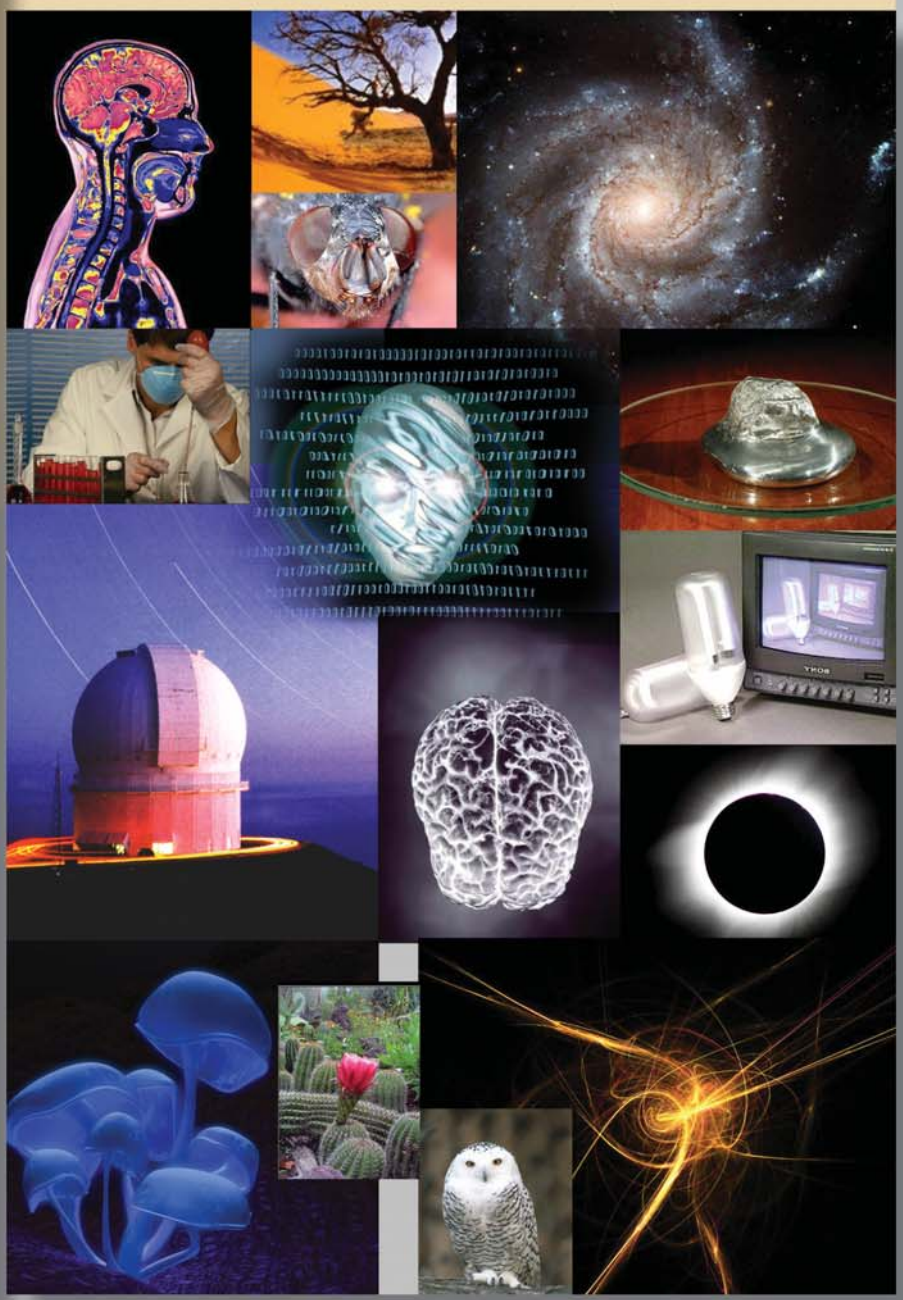
77 ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO.113

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 all different applications of Atomic energy.



Managing Editor

Dr.Ibrahim Othman

Dirctor General of A.E.C.S

Editorial Board

Dr. Adel Harfoush

Dr. Ziad Qutob

http://serversmiso.aecs.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية