عالَم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

مجلة عالم الذرّة

مجلة دورية تصدر ست مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية
في الجمهورية العربية السورية.
وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية
في الميدانين الذرّي والنووي، وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

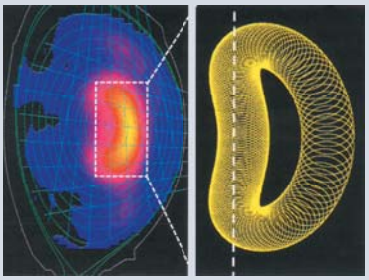
الدكتور عادل حرفوش

الدكتور زياد قطب

NO.104

المحتويات

المقالات

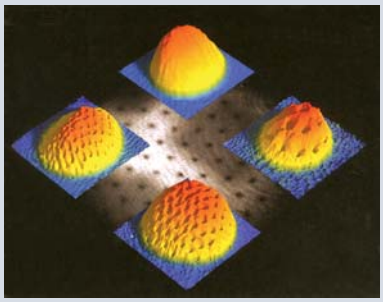


5
قُدُماً في الطريق إلى طاقة الاندماج

وجّه القرار الأخير ببناء تجربة اندماج في العالم –ITER (المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي)– في فرنسا تحدِّياً لباحثي الاندماج في كل أنحاء العالم. يصف مؤلفو هذه المقالة كيف يقوم السوار الأوربي المشترك JET في المملكة المتحدة بدور رئيسي في ضمان أن المفاعل ITER سوف يثبت واقعية الكهرباء الاندماجية.

ر. بيتس، ر. بتري، س. بنشز

14
الرقابة عند الحدود: المخدرات والأسلحة والأشعة السينية



20
البرهان بواسطة الذرّات الباردة

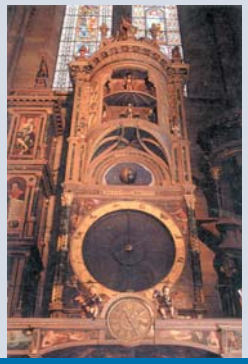
في العالم الكمومي، عالم الصغر اللامتناهي، يمكن للتآثر ما بين الجسيمات أن يقود إلى حسابات معقدة جدّاً، لدرجة أن الحواسيب الضخمة غير قادرة على فهمها. ولتجاوز هذه المعضلة، يحاول الفيزيائيون تحقيق حاسوب تماثلي بمساعدة ذرّات عالية البرودة تستطيع أن تحاكي بخصائصها جسيمات بحالة تآثر. تحقَّقت الخطوة الأولى في ربيع العام 2005 بواسطة الفيزيائي الألماني وولفغانغ كيتّرل W. Ketterle ومجموعته.

ف. شيفي

25
البلّورات الفوتونية تَسْطع

إن مقدرة البلّورات الفوتونية على أداء دور عواكس تامة والعمل على إبطاء الضوء قد يفضي إلى مكونات ضوئية بالكامل وإلى منطق فوتونات مفردة.

ت. كروس



31
الضوء البطيء يجعل الاتصالات أسرع

قام فريقان من الباحثين بإعداد ترتيبات لتخفيض سرعة الضوء تخفيضاً ذا شأن في ليف ضوئي، الأمر الذي قد يفتح الباب أمام جميع المسيِّرات الضوئية من أجل الاتصالات عن بعد.

د. غاذيار

الأخبار العلمية

35 ◄ المسح المَرَضي بحاجة إلى ثورة

37 ◄ مرض الزايمر

39 ◄ نحو إلكترونيات بلا ترانزستور

40 ◄ محرك نانوي يدوّر أجساماً ذات مقاس مكروي

42 ◄ ما مدى النظافة في عبارة نظيف جداً؟

44 ◄ الكوكب القاحل

49 ◄ الزركونيوم

ورقات البحوث

52 تأثير درجة حرارة المحيط في الهلام المتلوّن بالإشعاع FXG المستعمل في قياس الجرعة الثلاثيّ البعد

56 تشعيع البهارات ومواد التغليف ومرتديلا اللحم لتحسين مدة تخزين الناتج النهائي

تقارير علمية

65 ◄ أسس اختبار التسرُّب للتحقق من سلامة الوصلات اللحامية على الهياكل المعدنية باستخدام تقانة انبعاث الفقاعات

65 ◄ دراسة القرابات الوراثية لبعض المحاصيل البقولية التابعة للجنس Vicia وأقاربها البرية في سورية باستخدام الرحلان الكهربائي لبروتينات التخزين بطريقة SDS-PAGE

66 ◄ دراسة تأثير توزُّع فقاعات الفراغ void على التفاعلية في مفاعل البحث منسر

66 ◄ نظام الملاحقة الشمسية باستخدام المعالج التحكمي (حقول الجبسة والرميلان)

67 ◄ اختبار طريقة القيمة A لتقدير الكفاءة التثبيتية للأزوت الجوي في نبات عشبة كالار

67 ◄ دراسة انتشار النمط الأساسي TEM_{00} في المجاوبات الليزرية المستقرة

68 ◄ محاكاة ظواهر التبريد بالحمل الطبيعي لمفاعلات البحث باستخدام الكود PARET المرحلة الابتدائية في دمشق – ريف دمشق

69 ◄ تحضير طاقم من الكبريت الغرواني وضبط جودته

70 ◄ دراسة وقت الإزهار في بعض أصناف القطن المزروعة في سورية وتأثير العوامل البيئية في الإزهار

70 ◄ دراسة إمكانية مكافحة فراشة ثمار التفاح، *Cydia Pomonella* (L.)، في سورية باستعمال استراتيجية الجذب والقتل

إطلالة علمية على حدث

72 إنفلونزا الطيور

81 ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد

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

E-mail: tapo@aec.org.sy

ISSN 1607-985X

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

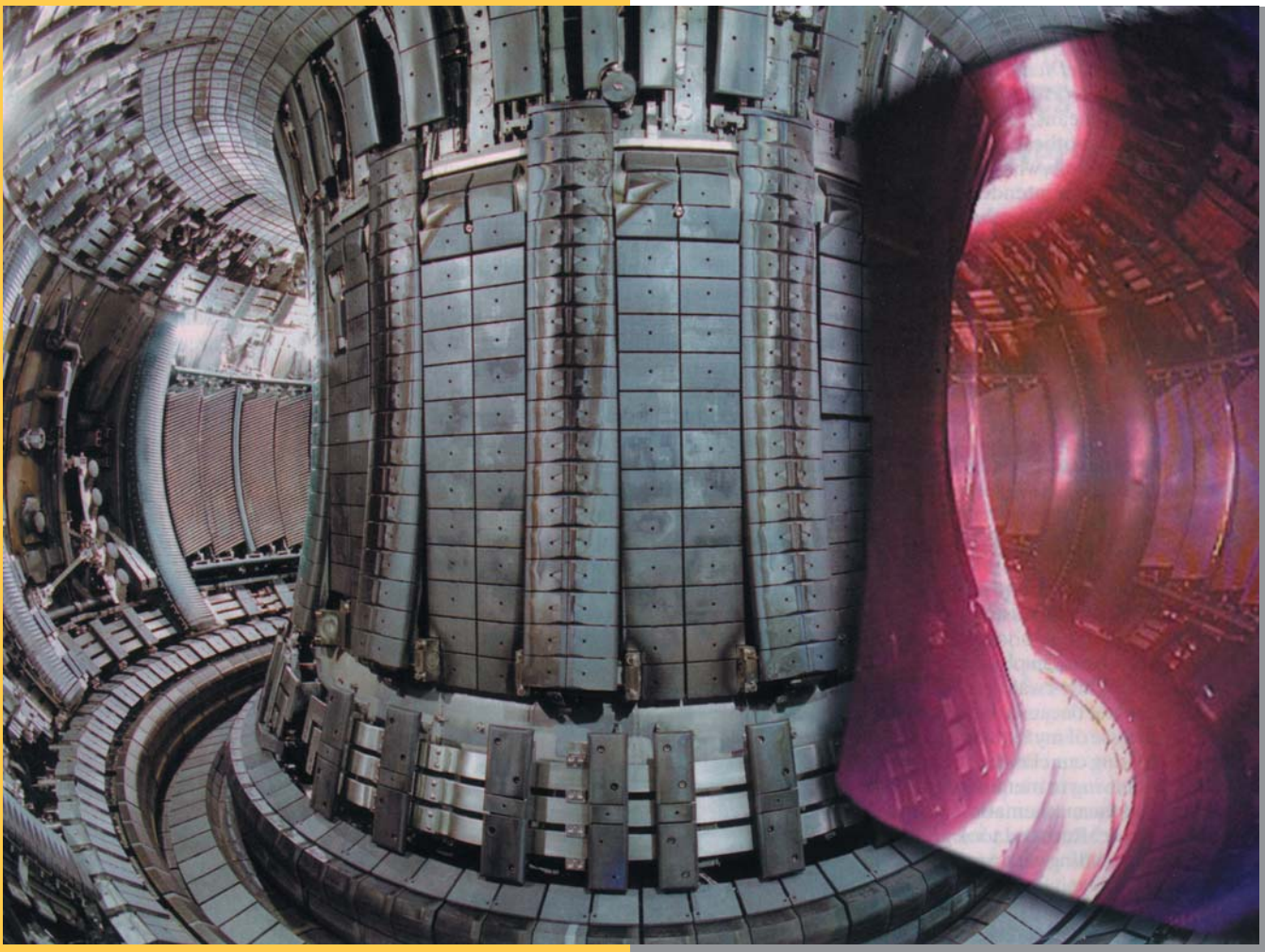
الأردن : 2 دينار السعودية : 10 ريالات وفي البلدان الأخرى : 6 دولارات

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.

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.

قُدُماً في الطريق إلى طاقة الاندماج



تدجين النجوم: تُحصر البلازما (الصورة المضافة) داخل وعاء خلاء المفاعل JET باستخدام حقول مغنطيسية وتُسخن إلى درجات حرارة هائلة وذلك تحضيراً للخطوة العالمية الكبيرة التالية نحو القدرة الكهربائية الاندماجية.

ملخص

وجّه القرار الأخير ببناء تجربة اندماج في العالم -ITER (المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي)- في فرنسا تحدّياً لباحثي الاندماج في كل أنحاء العالم. يصف مؤلفو هذه المقالة كيف يقوم السوار الأوربي المشترك JET في المملكة المتحدة بدور رئيسي في ضمان أن المفاعل ITER سوف يثبت واقعية الكهرباء الاندماجية.

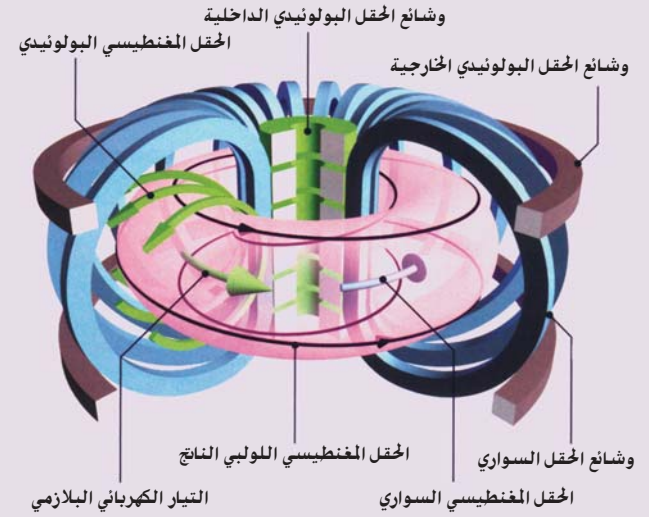
الكلمات المفتاحية:

اندماج نووي، سوار أوربي مشترك JET، ديتيريوم، تريتيوم، بلازما توكاماك.

من المتوقع أن يبلغ عدد سكان الأرض في العام 2025 ثمانية مليارات نسمة. وبحلول القرن القادم يمكن أن يصل العدد إلى 12 مليار نسمة. وحتى إذا وجدت الدول الصناعية طريقة لتخفيض استهلاكها من الطاقة فإن هذا التزايد غير المسبوق في عدد السكان –إضافة إلى ارتفاع مستوى الرفاه في العالم المتقدِّم– سوف يؤدي إلى طلب هائل للتزود العالمي بالطاقة.

وبما أن مصادرنا الأساسية من الطاقة –الوقود الأحفوري– أخذت تبدأ بالنفاد، وأن حرق هذا الوقود يسبب قلقاً بيئياً متزايداً

الشكل 1: أساسيات التوكاماك

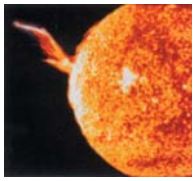


التوكاماك هو وعاء بشكل كعكة جدرانه مسلّحة تستطيع أن تحصر بلازما حارة ضمن خلاء عالٍ. وهو يقوم بذلك باستخدام تركيب من حقول مغنطيسية لتوجيه الجسيمات المشحونة كهربائياً: يخلق الحقلان "السواري" (السهم الأزرق) والبولوئيدي (الأسهم الخضراء) حقلاً إجمالياً يلتف حول السوار على هيئة لولب لطيف (اللون القرمزي). يولّد الحقل البولوئيدي تيارٌ سواري في البلازما ناتج عن محوّل يحرّض تياراً في الاتجاه السواري. وفي السوار JET بلغت شدة هذا التيار 7 MA (ميغا أمبير) وسوف تبلغ 15 MA في المفاعل ITER.

أما الحقل المغنطيسي السواري فتؤمنه وشائع خارجية ملفوفة سوارياً وهو عادة أشد بعشر مرات من مكوّنة الحقل البولوئيدية (في ITER سوف تولّد مجموعة من 18 وشيعة فائقة الناقلية، وزن كل منها 300 طن، حقلاً سوارياً يبلغ 5.3 تسلا).

فإن الجنس البشري يواجه تحدِّياً يتمثَّل في إيجاد مصادر جديدة للطاقة. فالكهرباء النووية التقليدية تنتج نفايات مشعة ذات عمر طويل، أما مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الريح أو الأمواج أو الطاقة الشمسية فإنها تُزوِّد إمداداً متغيّراً ولا يبدو أنها ستكون يوماً ما قادرة على تلبية الطلب كاملاً.

يُقدِّم الاندماج النووي مصدراً محتملاً للطاقة آمناً وغير مضر بالبيئة ومنافساً من الناحية الاقتصادية. ومن أجل تشغيل منشأة اندماج تولِّد نحو سبعة مليارات كيلوواط ساعي من الكهرباء طيلة عام كامل يكفي أقل من 100 كغ من الديتيريوم وثلاثة أطنان من الليثيوم من دون أن تصدر أية غازات دفيئة خلال العملية. أما محطة توليد الكهرباء العاملة على الفحم الحجري فإنها تَلتهم ثلاثة ملايين من الوقود وتنتج نحو 11 مليون طن من ثنائي أكسيد الكربون لكي تولِّد المقدار السنوي نفسه من الكهرباء.



فرن الاندماج: يلزم أن تكون درجة حرارة البلازما أكبر بعشر مرات من درجة حرارة أسخن جزء في الشمس لكي يحدث الاندماج بصورة فعّالة في محطة لتوليد القدرة الكهربائية.

في العام الماضي اتخذ الباحثون خطوة أساسية نحو تحقيق الغاية المتمثلة في توليد الكهرباء بالاندماج وذلك حين قرر الشركاء في مشروع المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) أخيراً أن المنشأة سوف تبنى في كاداراش في فرنسا. وكانت المفاوضات بين أعضاء ITER –وهي الصين والاتحاد الأوربي واليابان وروسيا وكوريا الجنوبية والولايات المتحدة– فيما يخص الدولة التي سوف تستضيف هذه الماكينة (التي تبلغ تكلفتها 5 مليارات يورو) قد وصلت إلى طريق مسدود منذ العام 2003. وبعد كثير من المساومات الصعبة تمَّ الاتفاق على أن فرنسا هي المكان المفضّل وأن يستلم الإدارة العامة كانام إيكيدا K. Ikeda من اليابان. وقد انضمت بعد ذلك الهند إلى المشروع فصار نصف سكان العالم ممثلين في هذا المسعى العلمي.

ومن المخطط له أن يبدأ ITER (الذي يعني "الطريق" باللغة اللاتينية) العمل في العام 2016 وسيشكّل الخطوة قبل الأخيرة باتجاه توليد الكهرباء بالاندماج على نحوٍ تجاري. ومع أن المنشأة التي يبلغ وزنها 20000 طن مُعدَّة للبناء الآن، إلا أنه لا يزال يوجد الكثير من الأعمال التي ينبغي إنجازها في تجارب الاندماج القائمة حالياً. فالسوار الأوربي المشترك Joint European Torus (JET) في المملكة المتحدة يقوم بدور حيوي في هذا المجهود لكونه الجهاز الوحيد القادر على العمل بنفس الوقود والمواد المخطط استخدامها في ITER. وفضلاً عن ذلك، فإن JET هو حالياً تجربة الاندماج الوحيدة الكبيرة بصورة تكفي لمقاربة أحمال القدرة الهائلة المتوقعة في مفاعل اندماج تجاري محتمل.

من الهراء إلى الإشراق

كان إرنست رذرفود E. Rutherford قد أعلن مرة أن "أي امرئ يتوقع مصدراً للطاقة ناجماً عن تحوّل الذرّة إنما يتحدث هراءً". لكن الخيال العلمي كثيراً ما يصبح حقيقة علمية، ومشاعر رذرفورد ثبت بطلانها بعد أقل من عشر سنوات بما بيَّنه إزيكو فِرمي E. Fermi عام 1924 من إمكان التحكّم بالانشطار النووي. لكن الاندماج، من ناحية أخرى، تبيّن أن تحقيقه أصعب كثيراً.

إن الاندماج النووي هو مصدر الطاقة في النجوم، وهو لذلك الآلية التي تشكّلت بواسطتها كل العناصر الكيميائية من حولنا. إنه العملية التي تتَّحد فيها نواتان خفيفتان لتشكِّلا نواة ثالثة أكثر ثقلاً: فبما أن كتلة النواة الناتجة تكون أقل بقليل من الكتلة الإجمالية للنواتين الخفيفتين فإن طاقة تنطلق وفقاً للتكافؤ الشهير بين الكتلة والطاقة ($E=mc^2$).

لكن هناك طريق أسرع للاندماج يتضمّن نوى الديتريوم والتريتيوم –وهو نظير للهدروجين يحتوي على بروتون واحد ونترونين– فحين تندمج هاتان النواتان فإنهما تنتجان نواة الهليوم–4 ونتروناً. وبما أن هذا التفاعل لا يتضمن إلا إعادة ترتيب البروتونات والنترونات، ولا يتضمن تحوّل بروتون إلى نترون، فإنه يجري بسرعة أكبر كثيراً من الاندماج البروتوني. ولكن، يكون خلل الكتلة النهائية في هذا التفاعل أقل، الأمر الذي يعني انطلاق طاقة أقل. ومع ذلك، وبفرض أنه يمكن جعل نوى الديتريوم والتريتيوم تتصادم إحداها بالأخرى باستمرار عند طاقات بين 10 و100 KeV، فإن التفاعلات سوف تسير بمعدّل مفيد لتوليد الكهرباء.

وإحدى الطرق للوصول إلى هذا الوضع تكون بتسخين المواد المتفاعلة بحيث ينتج غاز معتدل كهربائياً من الأيونات والإلكترونات (أي بلازما) وحَصر هذه البلازما الحارة لمدة طويلة تكفي لحدوث اندماج ذي شأن. يحدث هذا الحصر في الشمس بفضل الحقل التثاقلي الهائل لذلك النجم. أما على الأرض فالحصر confinement لوحده غير كاف: إذ ينبغي أن تكون البلازما معزولة أيضاً عن الوسط الذي يحصرها لمنع الشوائب من تلويث البلازما وإنقاص كفاءة الاندماج.

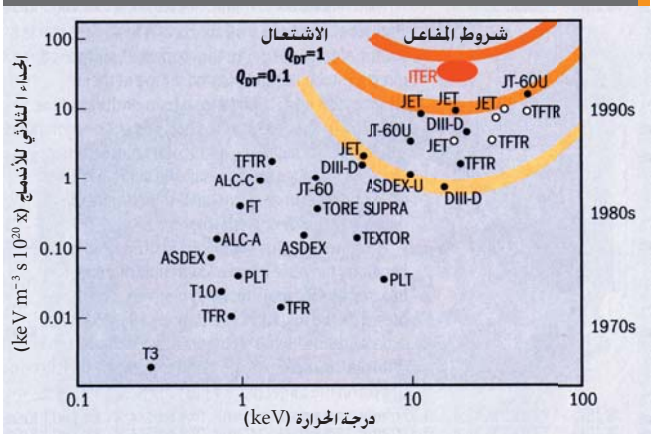
توجد طريقتان لخلق مثل هذه الشروط أولاهما هي الحصر المغنطيسي، حيث تمسك حقول مغنطيسية جسيمات البلازما المشحونة داخل وعاء احتواء containment vessel. والطريقة الأخرى هي الحصر العطالي، حيث يضغط الوقود بسرعة كبيرة لدرجة أن الاندماج يحدث قبل أن يتاح للوقود أن يتمدد ويلامس جدران الحاوية. وهذه التقنية الأخيرة هي المبدأ الذي تقوم عليه القنبلة الهدروجينية وتجري دراستها حالياً في بضعة مختبرات بحثية باستخدام ليزرات عالية الاستطاعة.

لقد تابع الباحثون الاندماج المحصور مغنطيسياً منذ العام 1958 حين أُزيلت السرية عن معظم أبحاث الاندماج في مؤتمر جينيف

نظرة خاطفة: توليد الكهرباء بالاندماج

- **الاندماج هو العملية التي تندمج فيها نواتان خفيفتان فتتشكل نواة أثقل وتتحرر طاقة.**
- **تسخير الاندماج على كوكب الأرض بواسطة تفاعلات الديتيرم والتريتيوم يمكن أن يؤدي إلى مصدر للطاقة غير مضر بالبيئة وغير محدود تقريباً.**
- **أحد السبل الواعدة لتوليد القدرة الكهربائية بالاندماج هو حصر بلازما حارة كثيفة بطريقة مغنطيسية داخل جهاز له شكل السوار يدعى توكاماك.**
- **يوفر التوكاماك JET أرضية اختبار أساسية لفهم الفيزياء والتقانات اللازمة لمفاعل اندماجي محتمل.**
- **يتوقع أن يبدأ عمل المفاعل ITER في العام 2016 وسيكون الخطوة التالية نحو مثال لمنشأة توليد الكهرباء بالاندماج والتي يمكن أن تصبح جاهزة للعمل بحلول العام 2035.**

الشكل 2: أداء الاندماج



يحدد معيار لاوسون، المستخرج عام 1955، الشروط الواجب توفرها لكي ينتج الاندماج طاقة نهائية (1keV = 12 مليون درجة C°). ومنها يمكن استخراج "جداء ثلاثي" للاندماج يعرف على أنه جداء كثافة البلازما ودرجة الحرارة الأيونية وزمن حصر الطاقة. ينبغي أن يكون هذا أكبر من نحو 5×10^{21}keVm^{-3} لكي تشتعل بلازما الديتريوم والتريتيوم. وبسبب النشاط الإشعاعي المرتبط بالتريتيوم فإن توكاماكات البحوث الحالية تشغّل عادة بالديتريوم لوحده (النقط السوداء). أما التوكاماكات الكبيرة، مثل JET وTEI، فقد استخدمت مزيجاً من الديتريوم والتريتيوم (النقط المفتوحة). وقد بزّت الزيادة في أداء التوكاماك تلك التي في قانون مور Moorés law حول غنمة شيبات السليسيوم.

للذرّة من أجل السلام. وأفضل طريقة لتحقيق الاندماج المحصور مغنطيسياً بخصوص محطة توليد كهرباء محتملة هو استخدام "توكاماك tokamak" وهو تصميم كان رائداه هما الفيزيائيان السوفييتيان أندريه ساخاروف A. Sakharov وإيغور تام I .Tamm في خمسينيات القرن الماضي. وسوف يكون ITER، مثله مثل JET، شكلاً من توكاماك.

والتوكاماك هو وعاء على هيئة كعكة أو سوار يَعزل فيه حقل مغنطيسي لولبي الجسيمات المشحونة في البلازما عن الجدران المحيطة. ويُنتج الحقل اللولبي من جمع حقل سواري يقود الجسيمات في الطريق الدائري الطويل حول السوار مع حقل آخر بولوئيدي poloidal يقودها في الطريق القصير (الشكل 1). تولّد الحقل الأول وشائع خارجية كبيرة بينما يولّد الثاني تيار يجري خلال البلازما في الاتجاه الخلفي. وتيار البلازما هذا ينشأ من حقل كهربائي سواري تولّده تحريضياً وشيعة تمر عبر مركز السوار الذي يعمل عمل الملف الأولي في محوِّل transformer (وتعمل حلقة البلازما عمل الملف الثانوي).

الإشـــعال

لكي يحدث الاندماج يجب أن تتصادم النوى بعنف وبسرعة وتواتر كبير لدرجة تكفي للتغلب على التدافع الكولوني وتجعل العملية مستمرة ذاتياً. ولذلك يلزم أن يحتفظ التوكاماك بكثافات عالية من

حين لا يكون الاختيار عديم الأهمية

إحدى أهم صفات المفاعل الاندماجي هي نوع المواد المستخدمة في سطوح "الجدار الأول" التي تصادف البلازما مباشرة، إذ ينبغي لبعض هذه السطوح أن تتحمل درجات حرارة تفوق 1000 درجة لفترات ممتدة على مدى سنوات كثيرة، وأن تواجه أيضاً تدفقات نترونية هائلة. لذلك يجب أن تُختار سطوح الجدار الأول بحيث تكون معدلات الحتّ وما ينتج عنها من تلوث البلازما دون الحدود المقبولة.

والاختيار الحالي لمادة الجدار الرئيسي في ITER هو البريليوم لأن عدده الذري منخفض واحتباسه للتريتيوم قليل وهو يزيل بكفاءة أي أكسجين موجود في التركاماك. وسوف يُبنى الحارف divèrtor الذي سيختبر أعلى درجات الحرارة (الأثلام المرئية في قعر الحجرة)، من الكربون على صفائح الهدف ومن التنغستن في الأماكن الأخرى.

وفي المفاعل JET يجري التحضير لتحديث طموح لمحاكاة هذا المزيج في الجدار الأول، وهكذا لن نكون أبداً واثقين، من دون ماكينة بحجم ITER، أن اختيار مادة معنية سيجعل توليد القدرة الكهربائية بالاندماج قابلاً للتنفيذ. وعلى سبيل المثال في انفراغ واحد يدوم سبع دقائق سوف يودع ITER في الحارف نحو ثلاثة أضعاف عدد الجسيمات التي يستخدمها JET خلال ثلاث سنوات من التشغيل! وعدا عن ذلك فإن ITER سوف يلتهم ما مقداره 50 غراماً من الوقود في الانفراغ الواحد مقارنة بنحو 0.2 غرام فقط في JET ولذلك إذا استخدم الكربون في ITER (كما هو الحال في JET وفي التوكاماكات الأخرى) أمكن أن يتجاوز مقدار التريتيوم المحتبس سريعاً جداً الحد البالغ 350 غراماً الذي تفرضه قيود الترخيص النووي. ومن ناحية أخرى، ليس من المؤكد بعد ما إذا كانت المعادن التي تحتبس التريتيوم بكفاءة أقل قادرة على تحمل الحمولات الحرارية الانتقالية للحارف المتوقعة في ITER من دون أن تتصهر. ولذلك فإن مهمة ITER هي تطبيق الخبرة المكتسبة خلال عقود من البحث في الاندماج لحل القضايا التي لا يمكن التصدي لها من دون التشغيل بنبضات طويلة واستطاعة عالية في بيئة بلازما متّقدة.

أيونات الوقود عند درجات حرارة هائلة (نحو 100 مليون درجة) لمدة طويلة بقدر كاف وكان التوصل إلى هذا في مواجهة الأشكال المتعددة لعدم استقرار البلازما تحدّياً كبيراً أمام الباحثين في مجال الاندماج.

لكن ما يجعل الاندماج أكثر جاذبية بكثير من الانشطار (الذي يكمن التحدي فيه في جعل الوقود يتفاعل ببطء خلال فترة تمتد إلى سنتين) هو بالضبط عدم وجود احتمال "الجموح" في مفاعل الاندماج. وأكثر من ذلك، فإن الاندماج لا يولّد منتجات ذات نشاط إشعاعي عالٍ، أو منتجات انشطارية، كما أن وقوده موجود في الطبيعة بوفرة (الديتريوم موجود في الماء بتركيز يبلغ تقريباً جزءاً واحداً من 6700 ويمكن استخلاصه بسهولة باستخدام التحليل الكهربائي؛ أما التريتيوم فيمكن توليده في مفاعل الاندماج نفسه).

يجري تفاعل الديتريوم–تريتيوم بأعلى سرعة وعند أخفض درجة حرارة من بين جميع التراكيب الممكنة للعناصر الخفيفة التي يمكن استخدامها للاندماج على الأرض، ولذلك فهو أفضل مرشح لتحقيق الاندماج في منشأة لتوليد الكهرباء. ونشير إلى أن كل تفاعل يعطي طاقة مقدارها 17.6 MeV يشارك فيها جسيم ألفا ونترون. وتفلت النترونات التي تحمل معظم هذه الطاقة من حقول الحَصْر ويتم أسرها في جدران التوكاماك حيث تقوم بتوليد حرارة. ونتيجة لذلك يمكن أن يُمرَّر المبرِّد الذي يدور خلال الجدران في مبادل حراري لإنتاج بخار يدير العنفات كما هو الأمر في محطة عادية لتوليد الكهرباء. وتقوم الجدران بدور إضافي، فهي أيضاً "بطانة مولِّدة" تتفاعل فيها النترونات مع الليثيوم فتعطي مزيداً من التريتيوم.

وبالمقابل، فإن جسيمات ألفا تبقى محصورة بواسطة الحقل المغنطيسي وتنقل طاقتها إلى أيونات الوقود المؤلَّف من الديتريوم والترويتيوم بفضل التصادمات الكولونية. وحين يصبح هذا التسخين بواسطة جسيمات ألفا كافياً بذاته للحفاظ على درجة حرارة البلازما وكثافتها عند المستوى المطلوب تصبح العملية مستدامة ذاتياً ويقال أن البلازما اشتعلت. ويهدف ITER من خلال هذه العملية إلى إنتاج نحو 400 MW من الكهرباء بالاندماج لعدة دقائق. وهذا يعادل "كسباً اندماجياً" Q_{DT} (نسبة الطاقة المولَّدة بالاندماج إلى الطاقة المصروفة لرفع درجة حرارة البلازما) يساوي تقريباً 10.

حين يكون $Q_{DT}=1$ يُقال أنه تمَّ التوصل إلى التعادل، ويكون $Q_{DT}=\infty$ من أجل بلازما مشتعلة.

أول من أدخل فكرة الكسب الاندماجي منذ أكثر من 50 عاماً مهندس شاب اسمه جون لاوسون J. Lawson كان يعمل في تجربة الاندماج ZETA التي كانت وقتئذٍ سرية في AERE في هارويل في المملكة المتحدة. وبدافع من "التوقعات غير الواقعية لزملائه الفيزيائيين المتحمسين" استقرأ لاوسون شرطاً مبنيّاً على كثافة البلازما وزمن حصرها يمكن أن يلبِّي مفاعلاً مفيداً. وقد تضاعفت قيمة ما يسمى بالجداء الثلاثي المستخرج من شرط لاوسون أكثر من خمس مراتب في الكِبر منذ تجارب توكاماك الأولى واضعة نظرة رنرفورد المتشائمة حول الانشطار النووي في غير محلها إلى حدٍّ بعيد لصالح الاندماج أيضاً (الشكل 2).

التحدي الاندماجي

إن أحد أسباب الضرورة الملحّة لتحقيق قدرة الاندماج الكهربائية هو المدى الواسع جداً من السلالم الزمنية والمكانية المرتبطة بالفيزياء ذات الصلة. فعلى سبيل المثال يتطلب فهم كيف يؤثر الهليوم الناتج

من تفاعلات الديتريوم–تريتيوم في استقرار البلازما اختبارات تجري في أجهزة كبيرة ولفترات زمنية طويلة. ومما يُعقِّد الأمور أكثر أن السلالم الزمنية المختلفة مرتبط بعضها بالبعض الآخر: فبنية البلازما في السلّم الماكروي، مثلاً، تعتمد على عمليات دوّامية عند سلّم نصف قطر لارمور Larmor الإلكتروني (البالغ نحو 0.1 mm). في حين أن عدم استقرار البلازما في فترات زمنية تبلغ مئات المكروثانية يمكن أن تؤثر على حتّ المواد على مدى سنين.

لا يمكن التصدي لنواحي الاندماج الحرجة هذه في آن معاً إلاّ بواسطة المفاعل ITER. والتحدّي الذي يواجه العاملين في الاندماج الآن هو توفير أكبر قدر ممكن من المعلومات لمساعدة برنامج ITER البحثي. وهنا يأتي المفاعل JET إلى الواجهة. فهو إضافة إلى كونه أكبر جهاز اندماج قيد العمل حالياً، فإنه يستطيع الدخول إلى العديد من النظم الفيزيائية الرئيسية للمفاعل ITER، وله أيضاً قدرات تقنية مشابهة مثل كونه يشتعل بوقود التريتيوم وكونه يستخدم البريليوم على الوجوه المواجهة للبلازما وأن له منظومات تسخين مشابهة لتلك التي في ITER.

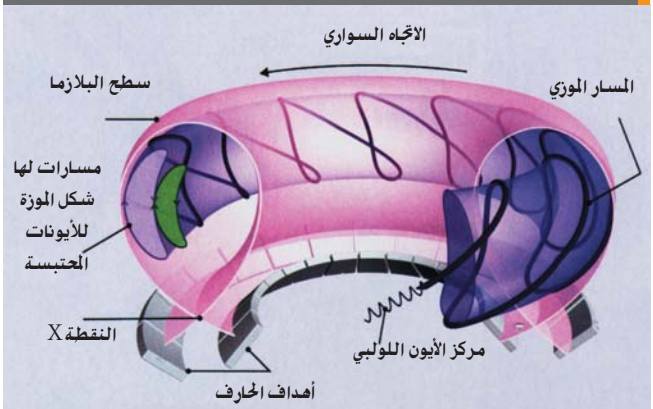
لقد تمَّ مؤخراً تحديث المفاعل JET بإضافة محسّات sensors مختلفة لتحسين معرفتنا بخواص مثل درجة حرارة البلازما وكثافتها وشكلها. ويُخطط كذلك لزيادة استطاعة التسخين في العام 2008، وهذا يضع JET في موقع أقوى بكثير للتصدي لفيزياء البلازما وللتحديات التقانية المتعلقة بأنظمة حرق البلازما.

يتحدد أداء التوكاماك في نهاية المطاف بشروط إلزامية مفروضة عند سطوحه، إضافة إلى فهم فيزياء بلازما الاندماج. وهذا يعني أنه ينبغي التعامل مع مشكلة مستعصية في الناحية الاندماجية: وهي اختيار المادة التي ينبغي استخدامها من أجل السطوح التي تواجه البلازما مباشرة.

كانت التوكاماكات الأولى أجهزة بسيطة وكان فيها للبلازما مقطع عرضي دائري وكانت تقابلها فقط جدران وعاء الخلاء المصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ. وللإقلال من التأثرات المباشرة بين البلازما والجدران كانت توضع أجسام صغيرة تدعى محدّدات limiters بصورة مناسبة على الجدران لتحدِّد سطوحاً مغنطيسية مغلقة. فوراء هذه النقطة تنتهي خطوط الحقل المغنطيسي الحاملة للجسيمات والحرارة عند المحدّدات بحيث يبقى معظم التآثر بين البلازما والسطح على بُعد سنتمترات قليلة من الجدار.

لا يعتبر تدبير هذا التآثر أو "استنفاد الجسيمات" قضية كبيرة في التوكاماكات الصغيرة، لكن يصبح هذا الأمر حاسماً لدى بناء

الشكل 3: المعامل X



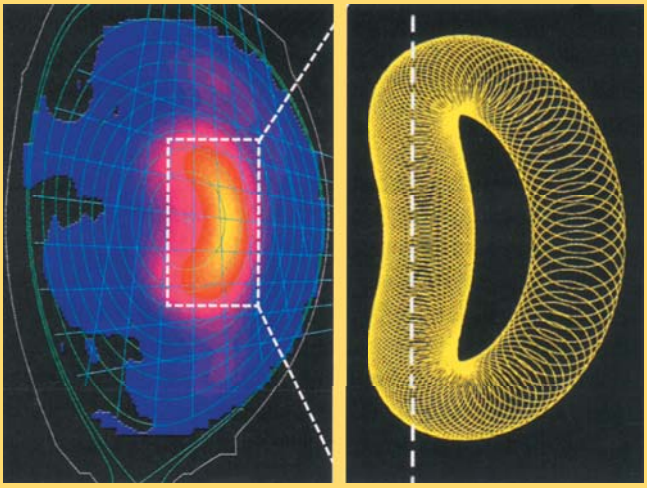
يعمد العديد من التوكاماكات، لمنع البلازما من التأثر مع الجدران (وهو ما قد يسبب تلوث البلازما) إلى استخدام جمل من وشائع مغنطيسية بولوئيدية (غير مرسومة في الشكل) لتوليد ما يسمى بنيان النقطة X للحقل البولوئيدي. تحدد النقطة X حافة سطح البلازما (السطح الوردي اللون) وهذا ما يجعل أية جسيمات تفلت من خلاله تُسحب إلى داخل أهداف الحارف. وتنساق الجسيمات المشحونة السائرة في مدارات لولبية متراصّة "gyro-orbits" tight حول خطوط الحقل المغنطيسي بسبب عدم انتظام هذا الحقل فترسم في بعض الأحيان مدارات لها شكل الموزة. وتلغي التيارات الناشئة من الجسيمات في المدارات الموزية المتجاورة إحداها الأخرى كلياً تقريباً (مثلاً حيث تمس المدارات الخضراء والزرقاء الجسيمات إحداها الأخرى). ولكن بما أن المدارات الأقرب إلى قلب البلازما تحوي عدداً أكبر من الجسيمات السريعة، لا يكون هذا الإلغاء كاملاً وينشأ تيار صافٍ يتحول إلى تيار "سير النعل" bootstrap لولبي بواسطة التصادمات مع جسيمات أخرى.

جهاز كبير مثل ITER. فالتشغيل المستدام باستطاعة عالية يولِّد حمولات كبيرة من الجسيمات والحرارة تؤدي إلى انفلات مادة السطح. ويمكن لمثل هذه الشوائب أن تدخل إلى البلازما فتلوِّثها وتُقلِّل كسب الاندماج بشكلٍ شديد. وعدا عن ذلك فإن جسيمات ألفا التي تحافظ على درجة الحرارة في بلازما الاندماج يجب إزالتها قبل أن تصبح هي نفسها مصدراً للتلوُّث.

لا تزال بعض التوكاماكات التجريبية الحديثة تستخدم محدّدات للتعامل مع الاستنفاد الجسيمي. إلاّ أن الغالبية –بما في ذلك JET وITER– تفضل استخدام وشائع مغنطيسية لتوليد "النقطة X" حيث يكون الحقل المغنطيسي البولوئيدي صفراً (الشكل 3). وتكمن مزيّة

1973 بدأ تصميم JET
1979 وضع حجر الأساس للمخبر
1983 اكتمل وشُغّل JET من قبل 16 دولة أوربية تحت إشراف "EURATOM"
1984 حفل الافتتاح الرسمي
1985 انطلاق مشروع ITER
1991 وفّر JET أول تجربة توكاماك يعمل بالديتريوم والتريتيوم منتجاً 17 MW استطاعة اندماج لمدة 0.5 ثانية تقريباً
1997 أنتج JET 16MW من استطاعة الاندماج لمدة ثانيتين–رقم قياسي عالمي.
2000 أصبح برنامج JET العلمي محكوماً من قبل اتفاقية تطوير الاندماج الأوربي (EFDA)
2003 تجارب باستخدام كميات أثر من التريتيوم
2005 اختير موقع ITER في كاداراش بجنوب فرنسا

قضية اتقاد



ستكون قضية تحسين رقابتنا على عملية الحرق الاندماجي قضية مركزية بالنسبة إلى ITER. وهذا يعني إيجاد الطرق لتعيين مواضع الجسيمات السريعة الناتجة في تفاعلات الاندماج تعييناً دقيقاً. ويقوم JET بدور مهم في هذا المسعى بعد أن أضيفت إليه مؤخراً مطيافية الإصدار النتروني وتقنيات كشف الوميض. وقد أصبح بإمكان JET كذلك في السنوات القليلة الماضية إجراء التصوير بأشعة غاما الذي يعتمد على الشوائب الأثر مثل البريليوم في البلازما الأساسية لتوفير معلومات حول جسيمات ألفا. وهنا، ينجم عن تصادم أيون بريليوم بجسيم ألفا عالي الطاقة أيون كربون ونترون مميز وشعاع غاما حيث يتاح لنا رؤية التوزع الفضائي لجسيمات ألفا ودرجة حرارتها (الصورة في اليسار). إن تموضع جسيمات ألفا في الجانب الأيمن من البلازما هو نتيجة لمنظومة التسخين ولكون شدة الحقل المغنطيسي أقل في هذه المنطقة. وهذا يتفق مع الحساب المبني على أساس المسار المدراي الكامل "لموزة" محتسبة من جسيمات ألفا كما هو مبين في الصورة اليمنى، وهذا يؤكد تنبؤاتنا ويثبت صلاحية هذه المقارنة "لمشاهدة" جسيمات ألفا في بلازما متقدة.

طريقة الوشيعة المغنطيسية في أن خطوط الحقل المتباعدة من النقطة X يمكن أن تُحرف إلى هدف بعيد حيث يمكن أن يتموضع التآثر بين البلازما والسطح وكذلك استنفاد الجسيمات.

وكذلك يُحقق بنيان النقطة X فوائد أخرى مهمة: فالحقل البولوئيدي الضعيف بالقرب من نقطة الحقل الصِّفرية يعني أن خطوط الحقل المغنطيسي تصنع عدة دورات حول السوار قبل أن تنتهي عند الأهداف الحارفة. ونتيجة لذلك تكون البلازما عند هذه الأهداف باردة لدرجة تكفي لأن تتيح اتحاد الإلكترونات والأيونات وتطفئ "شعلة" البلازما موضعياً. وتتيح درجات الحرارة المنخفضة أيضاً أن تتكوّن منطقة معتدلة ذات ضغط مرتفع فتمكن رماد الهليوم الناتج من تفاعلات الاندماج من الطّرد إلى خارج المنظومة بصورة فعالة. وسيكون ذلك، إلى جانب تخفيض الحمولات الحرارية على الأهداف targets، أمراً حاسماً بالنسبة إلى نجاح ITER ومحطات القدرة الكهربائية المستقبلية.

تُصنع الأهداف الحارفة الحالية ودروع الوقاية الأخرى داخل التوكاماكات من الغرافيت أو من مركّبات الألياف الكربونية فقط تقريباً. فللكربون كتلة ذرّية منخفضة، وهذا يعني أن أية ذرّات كربون تطلق داخل قلب البلازما سوف تُجرَّد من إلكتروناتها عند درجات حرارة تفوق 500 eV تقريباً. ونتيجة لذلك تفقد البلازما مقداراً أقل من الطاقة بواسطة الإصدار الفوتوني الناتج عن الانتقالات الإلكترونية. ولكن في درجات الحرارة المنخفضة عند المناطق الطرفية والحارفة يشعّ الكربون بصورة فعالة جداً ولذلك فهو يُبدِّد الطاقة التي كان من الممكن لولا ذلك أن تدخل في التآثرات بين البلازما والسطح. والكربون، إضافة لذلك، متين ويمكنه تحمل درجات حرارة عالية. وهذا كله إلى هذا الحدّ أمر جيد، لكن للكربون أيضاً نقيصتان رئيسيتان: فهو يتفاعل كيميائياً مع الوقود البلازمي وهو يحتبس الوقود مثل إسفنجة. وهذا يمكن أن يؤدي إلى مزيد من حتّ المادة وإلى مستويات غير مقبولة من احتباس التريتيوم.

ما هي المادة التي ينبغي علينا استخدامها في ITER؟ حتى الآن يتصرف مصممو الجهاز بشكل آمن، فهم يستخدمون الكربون في المناطق ذات التدفق الحراري العالي لمواجهة درجات الحرارة العالية، ويستخدمون البريليوم والتنغستن في الأماكن الأخرى للتقليل من احتباس التريتيوم. ولكن حتى هذه النسبة الضئيلة من الكربون إلى المعدن في السطح المقابل للبلازما (نحو 1%) ربما تكون غير مقبولة فيما يخصُّ احتباس التريتيوم في مفاعل اندماج مقبل. ولذلك فإن جزءاً من المهمة الملقاة على عاتق JET و ITER يتمثّل في السعي لإيجاد حلٍّ يستخدم المعدن لوحده.

إن ما يجعل الاندماج أكثر جذباً من الانشطار يتمثّل بالضبط في إمكانية "الانفلات" في مفاعل الاندماج.

وفي الحقيقة، فإن بعض التوكاماكات تستخدم الآن سطوحاً معدنية كلياً. فالجهاز (Alcator c-Mod) في معهد ماساتشوستس للتقانة وكذلك الماكينة الإيطالية FTU في فراسكاتي يعملان منذ سنوات عديدة بجدران مصنوعة كلياً من معدن المولبدينيوم. وكذلك فإن المكوّنات الغرافيتية المواجهة للبلازما في توكاماك (ASDEX-Upgrade) في معهد ماكس بلانك لفيزياء البلازما في غارشينغ بألمانيا يجري استبدالها الآن بمكوّنات من التنغستن بغية دراسة البلازما العالية الاستطاعة باستخدام جدار معدني (انظر المؤطر في الصفحة 8).

ولكن بما أن التوكاماك القائم الوحيد القادر على التعامل مع

البريليوم فإن JET فقط هو الذي يمكن فيه اختبار مزيج المواد المخطط استخدامه في ITER. ولذلك فإن التحضيرات جارية لإدخال البريليوم في المواضع المناسبة بغية كسب الوقت في السنوات الأولى من استثمار ITER. وسوف يتيح JET، إضافة إلى تحسين التسخين المخطط له في الفترة ذاتها، إنتاج حمولات استطاعة "الجدار الأول" بحيث تقترب من تلك المتوقعة في ITER.

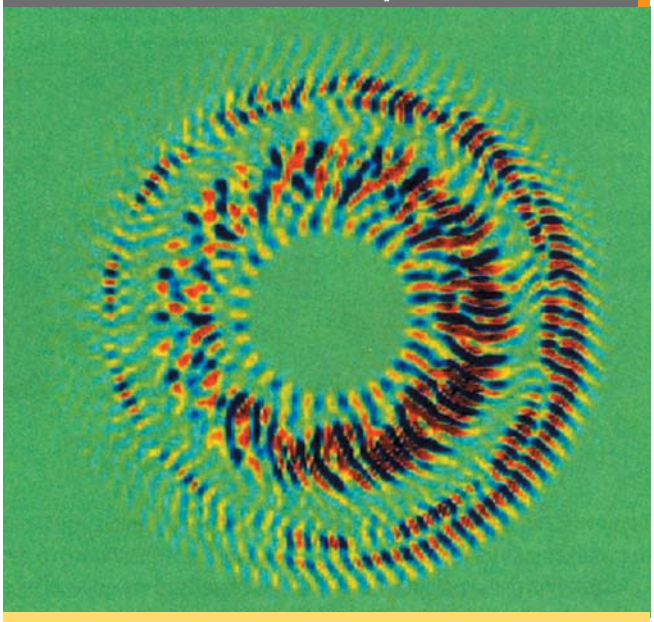
ثمن الأداء العالي

ولكن حتى باستخدام المواد المناسبة قد لا تكون جدران التوكاماك مقاومة بصورة تكفي لتحمّل أعنف الإصدارات الطاقية من البلازما. وهذه الإصدارات التي يمكن أن تُسخِّن السطح إلى آلاف الدرجات في جزء من الثانية هي تأثير جانبي لتشغيل التوكاماك في بنيان النقطة X المغنطيسية.

وإضافة إلى أن بنيان النقطة X يوفر آلية مناسبة لاستنفاد القدرة، فإنه يُولِّد، بصورة طبيعية، حاجز نقل (منطقة ذات تدرّج كبير جداً في الضغط) بالقرب من حافة البلازما. وهذا يؤدي إلى نظام من حَصْر عالي الطاقة، يدعى "سيناريو القيمة القاعدية" لتشغيل ITER. وبصورة حاسمة سيتيح سيناريو القيمة القاعدية كسباً اندماجياً كافياً للباحثين يصلح لدراسة المواد والتقانات والتحكّم بالبلازما، الأمر الذي سيكون بالغ الأهمية في الطريق إلى مفاعل اندماجي مقبل. لكن للحصر المحسّن ثمن: فتدرجات الضغط الشديدة عبر حاجز النقل يمكنها أن تقشط الطبقة الخارجية للبلازما وأن تقذف إلى الخارج نفثات من الجسيمات والطاقة. وتمثِّل "طرز الحافة المتموضعة" هذه Edge Localized Modes (ELM) سيفاً ذا حدّين. فبإمكانها بالفعل مساعدة الجسيمات على الإفلات من البلازما وهي تمنع رماد الهليوم من التراكم في مفاعل قيد العمل. ولكن النفثات إذا تركت بدون رقابة فإنها سوف تحتّ السطوح المواجهة للبلازما في محطة توليد القدرة الكهربائية بأسرع من اللزوم.

والطريقة الرئيسية للتعامل مع طرز الحافة المتموضعة إنما تتمثَّل في إخراج الحرارة من حافة البلازما بتكرار أكبر أو بسلاسة أكبر، الأمر الذي يمنع تنامي الضغط بحيث لا تصبح هذه الطرز كبيرة جداً. ولأول مرة في أي توكاماك عرض الباحثون في JET مؤخراً نظام تشغيل ذا طرز حافة متموضعة مقبولة يمكن أن تعمل أيضاً في ITER. ولتحقيق ذلك أدخلوا بصورة متعمدة في مناطق الحافة شوائب مثل النتروجين تشع طاقة وتخفض كفاءة حاجز النقل مما أفضى إلى نمط أقل حدة من طُرُز الحافة المتموضعة. ولكن المشكلة هي أن توزيع حاجز النقل يقوِّض كذلك حصر الطاقة الإجمالي وهذا ينقص أداء المفاعل الاندماجي.

الشكل 4: حاجز النقل الداخلي



نحتاج لضمان أن يسيطر تيار "سير النعل" الذي تولده البلازما على التيار النبضي التحريضي أن نُحدث مناطق ذات تدرج عالٍ في الضغط وذلك بواسطة إنقاص حجم دوامات الاضطراب داخل البلازما. وتبيّن هذه المحاكاة مقطعاً عرضياً بولوئيدياً لبلازما دائرية مثالية بدلالة كونها الكهربائي الذي يعطي تقديراً لمقدار الاضطراب. فعند نصف قطر معين ينشأ تدرج قطري شديد في دوران البلازما –ودوران القص هذا يُقوِّض الدوامات الاضطرابية فيجعلها تستقر. وتعمل الحلقة، حيث يبدو الاضطراب مستقراً، عمل حاجز نقل داخلي يحسّن حصر الحرارة والجسيمات.

وإحدى الطرق لتعويض هذا الفقد في الحصر تتمثَّل في التشغيل عند تيارات بلازمية أعلى. فالتيار البالغ 2.5 MA المستخدم في JET سوف يرتفع إلى 17 MA في ITER (وهو أعلى تيار من حيث التصميم)، وهذا لا يدع مجالاً لتحسين الأداء ويؤدي إلى مخاطر تشغيلية متزايدة. ولذلك فإن الباحثين يسعون لإيجاد طرق أخرى لتحسين الأداء عند تيارات بلازمية أخفض. ففريق JET، على سبيل المثال، هو حالياً بصدد استكشاف ما إذا كانت تغيرات في شكل البلازما يمكن أن تزيد في خسارات الحرارة بين كل من طرز الحافة المتموضعة بدون أن تخفض حصر الطاقة تخفيضاً كبيراً. وفي مكان آخر، قام الباحثون في التوكاماك ASDEX-Upgrade بحقن حبيبات من الديتريوم المتجمد في حافة البلازما بتواترات عالية بهدف "مجاراة" طرز الحافة المتوضعة. ويَستخدم الجهاز DIII-D في مخابر جنرال أتومكس في سان دييغو وشائع خارجية تمخض churn up السطوح المغنطيسية بهدف زيادة نقل الجسيمات وتلطيف طرز الحافة المتومضعة.

إبقاء البلازما مُتَّقدة

إن المشكلة الرئيسية في سيناريو القيمة القاعدية هو أن التيار البلازمي يُسيّره محوّل وهذا يجعل التوكاماك أجهزة نبضية في

طبيعتها. وأية محطة لتوليد القدرة الكهربائية تستخدم التوكاماك في هذا النظام ستكون غير فعّالة ومكلفة لأن الجهاز يبرد بين النبضات ويتعرض لإجهادات حرارية كبيرة. ولكن لحسن الحظ هناك طريقة أخرى لتسيير التيار البلازمي تدعى مفعول سير النعل bootstrap effect وذلك اقتباساً من البارون منشهاوزن الشهير، الضابط الألماني في سلاح الفرسان الروسي الذي ادعى أنه استطاع رفع نفسه بواسطة سيور نعله هو! وباختصار فإن المقاطع العرضية، التي لها شكل الموزة، لمدارات الجسيمات في البلازما تفضي إلى تيار صرف في حالة تدرجات شديدة في الكثافة أو درجة الحرارة (الشكل 3).

لكي يكون مفاعل التوكاماك قابلاً للتطبيق اقتصادياً ينبغي أن يسود "تيار سير النعل" هذا على التيار الذي تسيره الوشيعة أو منظومات التسخين الخارجية. والحيلة لتحقيق هذا السيناريو المسمى السيناريو المتقدِّم (المعاكس لسيناريو القيمة القاعدية) إنما تتمثَّل في إنقاص قدّ الدوامات الاضطرابية داخل البلازما بهدف قدح "حواجز نقل داخلية". وهذه الدوامات تنقل الجسيمات والحرارة في العادة نحو الخارج عبر السطوح المغنطيسية. لكنها يمكن أن تتقطّع عن طريق إدخال دوران قص Sheared rotation إلى البلازما (انظر الشكل 4). أو عن طريق تحوير توزع التيار البلازمي بقصد إنقاص "انحرافات المبادرة Precessional drifts" الطبيعية نحو الخارج لمدارات الإلكترونات التي تسيّرها.

ولإمكان التحكم بالسيناريوهات المتقدمة ينبغي أن يكون توزع التيار المطلوب للحفاظ على النقل مشابهاً لتيارات سير النعل المتولدة بصورة طبيعية. وقد تم إيجاد مثل هذه الشروط في JET، أما في السلم الزمني الطويل، اللازم في محطة قدرة كهربائية اندماجية، فسوف نحتاج إلى توفير تيار وحرارة يجري تسييرهما من الخارج لمنع تطور البلازما إلى حالة ذات أداء أخفض.

يمتلك JET عدة إمكانات رئيسية في هذا الصدد، أكثرها لصوقاً هو ما يتعلق بمقدرته على تسيير التيار بطرق مختلفة وذلك بفضل ثلاثة أنماط مختلفة من منظومة التسخين. وهذا يجعل JET الجهاز الوحيد الذي يمكن فيه التحكم بتوزع كل من الضغط والتيار بصورة مستقلة. وكذلك يعني حجم JET أن التيار البلازمي ينتشر في سلالم زمنية طويلة وهذا يسمح بأن "يجمد" التوزيع المرغوب للتيار بواسطة التسخين بعد فترة قصيرة من تشكل البلازما الأولية. وأخيراً فإن نبضة JET الطويلة (عشرات الثواني) مقارنة بالسلالم الزمنية التي تتطور خلالها البلازما، تمكننا من التحكّم بهذه السيناريوهات المتقدمة في حالة وجود حواجز النقل.

وسوف تتحسن هذه المقدرات بشكلٍ مثير لدى المزيد من تحسينات التسخين في JET، وتجري الآن جهود لتحسين التحكم بالحواجز التي تضمُّ حجوماً أكبر من البلازما. وسوف يُستكمل هذا بدراسات لتجارب اندماج أخرى، ففي العام 2003 مثلاً حقق الباحثون العاملون في التوكاماك TCV بلوزان/سويسرا عملية تشغيل بنظام سير النعل بنسبة 100%، بينما يجري استكشاف استخدام تسيير التيار لنبضات طويلة جداً في جهاز Tore Supra في كاداراش.

ونظراً للتحديات التي تطرحها هذه السيناريوهات المتقدمة يتنامى الاهتمام في إيجاد سيناريو تسوية "هجين". ويستخدم هذا السيناريو الهجين، مثله مثل السيناريوهات المتقدمة، تياراً شديداً يسيره سير النعل، لكنه يفعل هذا من دون الاعتماد على حواجز النقل الداخلية. فتيار سير النعل يعطي توزعاً للتيار أكثر استقرار من الذي يعطيه سيناريو القيمة القاعدية، بحيث يتيح إمكان التشغيل عند ضغط بلازما أعلى. وهذا، بدوره، يحافظ على سير النعل قوياً وهذه حلقة صالحة، ولكن تيار سير النعل ليس قوياً بقدر يكفي لأن يحل كلياً محل التسيير التحريضي، ولذلك يبقى التوكاماك نبضياً. ولكن بما أن النبضات أطول كثيراً مما هي في سيناريو القيمة القاعدية، فإن السيناريو الهجين يمكن أن يتيح تشغيل محطة توليد قدرة كهربائية بصورة مستمرة لساعات عديدة.

فيزياء الحرق Burn physics

أحد الفروق الكبيرة بين أجهزة الاندماج الحالية والمفاعل الحقيقي هو الطريقة التي تُسخّن بها البلازما. ففي توكاماكات البحوث تلزم منظومات تسخين خارجية بينما مفاعل البلازما (بالتعريف) سوف يشتعل بطريقة مستدامة ذاتياً self-sustaining وذلك بفضل جسيمات ألفا النشطة المتولِّدة في تفاعلات الديتريوم والتريتيوم. وبما أن هذه الجسيمات تنشأ داخل البلازما نفسها فينبغي أن نكون قادرين على تدبير التسخين ألفا هذا بدون ترف الضوابط الخارجية. ولا يتيح لنا سوى توكاماكات التيارات العالية (مثل JET) حصر ودراسة جسيمات ألفا هذه الناتجة عن الاندماج (انظر المؤطر في الصفحة 10).

وعلى الرغم من ضرورة جسيمات ألفا لمفاعل الاندماج، إلا أن لها أيضاً جانباً مظلماً: فهي يمكن أن تؤدي إلى نوع من عدم استقرار البلازما يعرف باسم موجات قص ألفن shear Alfvén waves، تسبب فيها الجسيمات المشحونة المرتحلة على طول خطوط الحقل المغنطيسي اهتزاز هذه الخطوط على شاكلة اهتزاز وتر الغيتار. وقد تصل سرعة موجات ألفن إلى نحو 5% من سرعة

الضوء، لكن جسيمات ألفا المتولدة بالاندماج يمكن أن تسافر حتى بسرعة أكبر، ولذلك فإنها تتجاوب معها. ويمكن لعدم الاستقرار هذا أن يعيد توزيع جسيمات ألفا ويغير شكل التسخين، أو حتى أن يسبب فقداً في حصر ألفا كلها فيطرح مشكلة أمام كمال الجدار الأول.

لكن جسيمات ألفا يمكن أن تسبب أيضاً تقلقلات بلازمية أخرى. ومثال جيد على هذا هو عدم الاستقرار المسمى "سن المنشار saw tooth"، حيث ينهار ارتفاع درجة الحرارة في قلب البلازما فجأة ويُطلق دفقة من الحرارة. ويمكن أن تساعد جسيمات ألفا في صدّ سن المنشار حتى بلوغ درجة حرارة أعلى. لكن الناحية السلبية في الأمر هي أن الانهيار النهائي يكون أكبر ويمكن أن يقدح أشكالاً أخرى من عدم الاستقرار تُقوِّض الأداء. إلا أن JET هو الرائد في استخدام سياقة التيار المتوضع localized current للمساعدة على نزع استقرار تقلقلات سن المنشار بحيث يجعلها أصغر وطأةً. وهذه تقنية مرتقبة في ITER أيضاً.

نحو الهدف النهائي

حين سُئل الفيزيائي السوفيتي ليف أرتسيموفيتش L. Artsimovich –أحد رواد البحوث حول التوكاماك– كم سيلزم من الوقت لبناء أول محطة اندماج لتوليد القدرة الكهربائية، أجاب "سيوجد الاندماج حين يحتاج المجتمع إليه". ويقترب ذلك الوقت بسرعة، ومع اقتراب بدء إشادة ITER أخيراً، تتسارع الجهود حالياً نحو مشروع طاقة الاندماج الطويل المدى.

ويقصد أن يكون ITER الوصلة التجريبية الوحيدة المطلوبة بين الأجهزة الراهنة ومحطة توليد كهرباء متجلية للعيان يشار إليها أحياناً بالاسم "DEMO". لكن هناك بعض المسائل المهمة بالنسبة إلى DEMO لا يمكن التصدي لها بواسطة ITER. ولعل أهم هذه المسائل هو الحاجة إلى تطوير مواد مقاومة للإشعاع وبصورة خاصة فيما يخصُّ وعاء الخلاء الفولاذي في DEMO. هذا وإن الدورة التشغيلية القصيرة لـ (ITER) تعني أن التخريب الذي تحدثه النترونات لن يكون قضية ذات بال، تحول دون إجراء اختبارات مفيدة للمواد عند تدفق نتروني عالٍ.

وإحدى الطرق لمعالجة هذا الأمر هو استخدام منبع نترونات مستمر يولّد تدفقات تشبه تلك المتوقعة في المفاعل ولكن بحجم اختياري أصغر. وسوف يعمل مثل هذا الجهاز، المسمى منشأة تشعيع المواد الاندماجية الدولية International fusion materials irradiation facility (IFMIF)، والذي سيكون موقعه في اليابان، بالتوازي مع ITER.

والمنشأة IFMIF هي جزء من مجموعة منشآت خُطِّط لها أن تسرّع تطوير توليد القدرة الكهربائية بالاندماج. وتضم هذه المجموعة أيضاً تحديثاً فائق الناقلية لثاني أكبر توكاماك قيد العمل –وهو المسمى JT-60U في اليابان– وتأسيس مركز بحوث اندماج جديد، في اليابان أيضاً، مكرَّس لنمذجة سيناريوهات للمفاعل ITER وإجراء دراسات حول DEMO. ويمكن أن يصبح مثل هذا الجهاز لاحقاً مركز تحكم عن بعد للمفاعل ITER فتقلُّ بذلك الحاجة إلى ترحيل الناس إلى أوربا، ويتاح التشغيل على مدار الساعة عن طريق استغلال الفرق الزمني بين اليابان وأوربا.

من المحتمل أن يبدأ بناء DEMO في وقت ما من العام 2025 وأن يبدأ تشغيله ربما بعد عشر سنوات من ذلك الموعد. ويمكن أن تقام محطات توليد الكهرباء التجارية وتعمل في نحو منتصف القرن. أما في المدى الأقرب فيؤمل أن يتم التوصل إلى أول بلازما في ITER بحلول العام 2016 وأن يكون التشغيل بكامل الاستطاعة بالديتريوم والتريتيوم في العام 2021. لقد مضى 50 عاماً تقريباً منذ أن أزيلت السرية عن بحوث الاندماج؛ ولكن في غضون أقل من 50 عاماً من الآن من المحتمل أن تصبح شموس من صنع الإنسان على الأرض واقعاً.

المؤلفون:

– **ريتشارد بيتس**
يعمل في CRPP-EPFL في لوزان بسويسرا.

– **ريتشارد بتري**
يعمل في سلطة الطاقة الذرّية في المملكة المتحدة.

– **سيمون بنشز**
يعمل في معهد ماكس بلانك لفيزياء البلازما في غارشنغ بألمانيا.
(وهم جميعاً رؤساء تجارب في JET حالياً).

– *نشر هذا المقال في مجلة Physics World, March, 2006، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

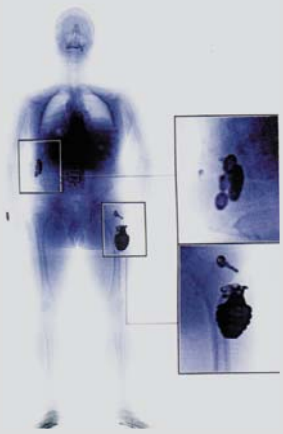
الرقابة عند الحدود:
المخدرات والأسلحة والأشعة السينية

الكلمات المفتاحية:
أشعة سينية، مخدِّرات، متفجرات، كشف بالتفلور، تصوير بالإنفاذ، مطيافية، تصوير بالتبعثر الراجع.

بعد الحادي عشر من أيلول/سبتمبر والحوادث الإرهابية حول العالم ومؤخراً في لندن غدا الأمن الآن في رأس الأجندة السياسية عبر الكرة الأرضية. وتقدِّم تقانة الأشعة السينية حلولاً لهذه المشكلة. إذ إن استخدام الأشعة السينية للأمن والرقابة له مشاركاته في الطب. ففي الحالتين يتعرض البشر للفحص، ويبرز في كليهما التساؤل عن الجرعة والخطورة والوقاية فيما يخص الشخص الذي يجري فحصه والموظف الذي ينجز الفحص. ويستجرُّ اشتراك الأطباء نقاشاً حول استخدام الأشعة السينية المؤذية (من باب الاحتمال) لأسباب أخرى غير طبية لم تسفر حتى الآن عن نتائج ملزمة.

ومع ذلك، أعدّت اللجنة الأوربية أمراً توجيهياً يجب على الدول الأعضاء في الاتحاد الأوربي أن تحوِّله إلى قانون وطني (EC 2002). ويبدو أكثر من المحتمل أن تستحثّ أحداثٌ جديدة وتشريعات جديدة تقبلاً وطلباً إضافيين لشراء ضوابط تخص نواح أمنية. ونشير إلى أن تقانة الأشعة السينية يمكن أن تكون ذات دور مهم في تطوير أفكار أمنية جديدة.

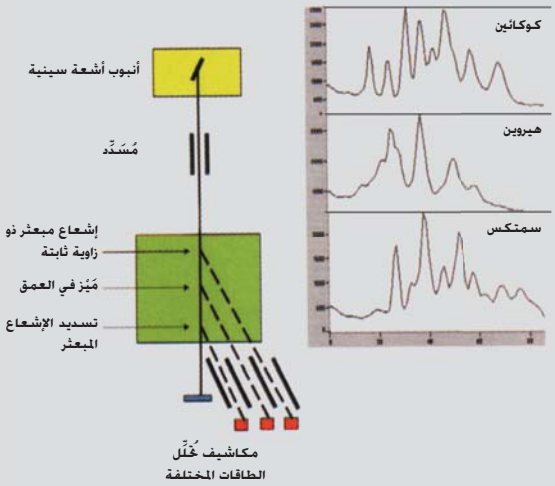
يتعامل الفحص بالأشعة السينية مع المجالات التالية:



الشكل -1 يُظْهر قنبلة يدوية ومفتاحاً ونقوداً معدنية في صورة بالإنفاذ لجميع الجسم.

الشكل -4 علامة عازل ذكري مضاعف يحوي هواءً بين الطبقتين. رزم المخدِّر في السبيل الهضمي. صورة شعاعية للبطن بسيطة الفلم.

الشكل -5 علامة زُهَيْرة rosette sign (الهواء عند نهايتي رزمة المخدِّر). رزم المخدِّر في السبيل الهضمي. تصوير محوسب (CT).



الشكل -2 مطيافية تمييز مادة مجهولة بدون معاينة وتحليل كيميائي. يجري تسديد حزمة قَلَمية إلى مادة يشتبه بأنها مخدِّر أو متفجِّرة. ثم يؤخذ الطيف ويقارن بطيوف مرجعية.

الشكل -3 مخدرات مغلفة بالبلاستك في قنينة تحوي مستحضراً تجميلياً يستعمل بعد الحلاقة.

- صور الكشف بالتفلور والإنفاذ Transmission/fluoroscopic images (الشكل 1).
- تصوير الطاقة المزدوج Double energy imaging
- التصوير بالتبعثر الراجع (والتبعثر الجبهي) Backscatter (and forward scatter imaging
- التصوير المقطعي المحوسب (CT) Computed Tomography.
- المطيافية (الشكل 2) Spectroscopy وثمة حالة خاصة تخصُّ:
- التعقيم بالإشعاع المؤيِّن (وأعني قتل أبواغ الجمرة الخبيثة).

أما أشياء الفحص فهي:

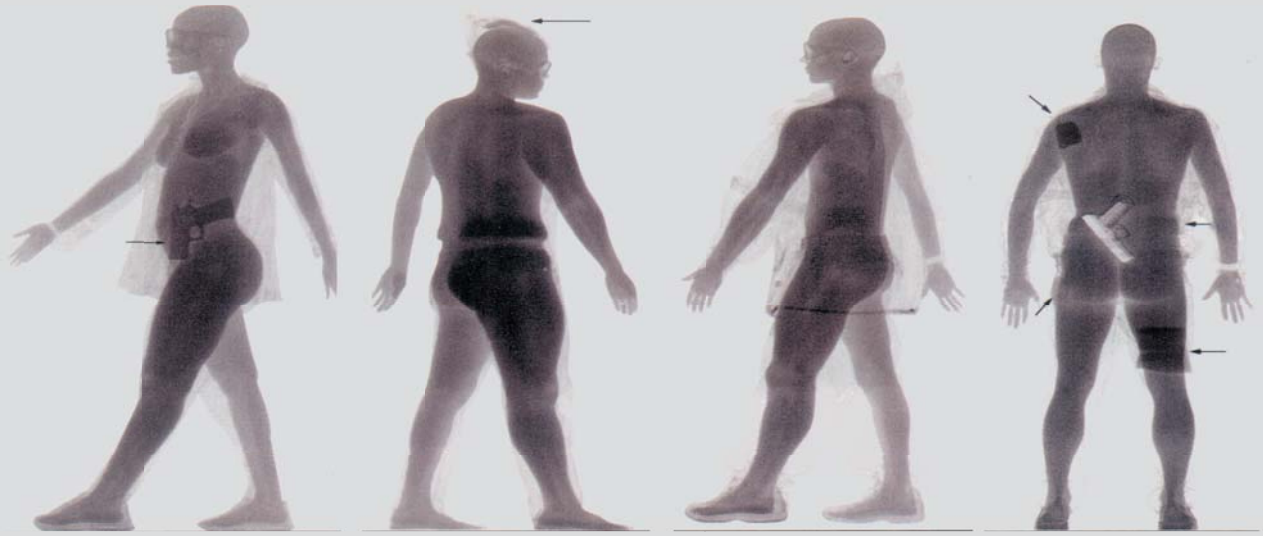
- البشر (البلاّعون للأجسام body packers واللصوص والمهرِّبون) والحيوانات.
- الأمتعة والبضائع المشحونة (بحثاً عن المخدِّرات والأسلحة والمتفجرات والمحظورات) (الشكل 3).
- السيارات والحوامات (بحثاً عن المخدرات والأسلحة والمتفجرات والكحول).
- الشاحنات والحاويات وقاطرات سكة الحديد (بحثاً عن المخدرات والأسلحة والسجائر والكحول والسيارات المسروقة).
- الرسائل (بحثاً عن المتفجرات).

وثمة حالة تخصّ البحث عن رجال.

أولاً: البشر (والحيوانات):

ينقل بلاّع الأجسام الأنموذجي 50 إلى 150 رزمة من المخدِّرات في سبيله (أو سبيلها) الهضمي (ونادراً في المهبل). ويمكن بشكل عام مشاهدة الرِّزَم في صورة البطن الشعاعية بأعداد كبيرة وبعلامات مميِّزة تأخذ شكلاً وحجماً بيضويين أو شكل مغلَّف متعاكس أو بشكل عازل ذكري condom مضاعف (يضم هواءً بين طبقتي غلاف العازل) (الشكل 4) أو بشكل زهيرة rosette (مع هواء عند نهاية الرزمة). ويمتلك الفلم التشخيصي البسيط حساسية تصل إلى 80 – 90%. وقد تظهر نتائج إيجابية زائفة (على سبيل المثال بسبب حصيات المرارة)، وكثيراً ما تتكرر هذه النتائج الزائفة مع الفاحصين غير المتمرسين (المرجع Traub et al 2003). ونشير إلى أن الرِّزم ترى بوضوح بالتصوير المقطعي المحوسب (CT) (الشكل 5) الذي يُظْهر الهواء بين الطبقات وعند نهايات الرزم، مثلما يبدي الشكل المستطيل المميِّز. ومع أن الأعمال التجريبية تشير إلى إمكانية التمييز بين الكوكائين والهروين من خلال قيم الكثافة، فإن النتائج تبقى بحاجة إلى التأكد في دراسات أوسع. وحتى في الـ (CT) فقد ذكرت التقارير فحوصاً سلبية زائفة (Traub et al 2003).

بلاّع: هي صفة المبالغة من الفعل "يبلع".



الشكل -6 الرزم (كما تشير السهم) مخبأة تحت الملابس والحزام. المسدَّس تحت البنطال. صورة بالتبعثر الراجع.

الشكل -7 المخدِّرات في حافة الجاكيت. صورة بالتبعثر الراجع.

الشكل -8 المخدِّرات مخبأة في الشعر (كما يشير السهم). صورة بالتبعثر الراجع.

الشكل -9 المسدس مخبأ تحت الملابس. صورة بالتبعثر الراجع.

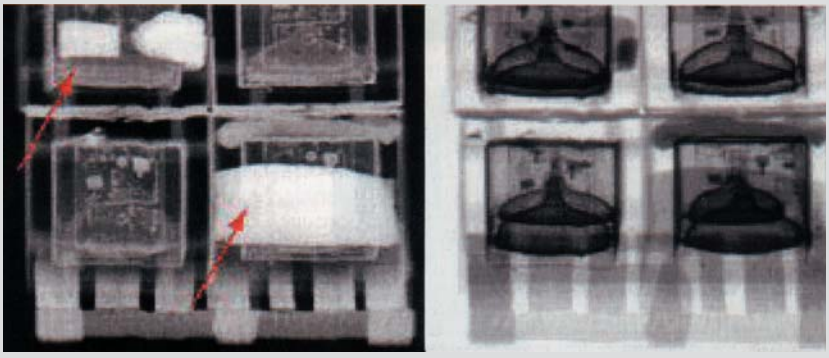
في السويد والمجر جرى باستخدام (CT) فحص شخص ينقل مخدرات في سبيله الهضمي بشكل مباشر. وفي ألمانيا وفرنسا بدأ الفاحص بفلم تشخيصيٍّ بسيط للبطن. ويمكن أن يتنبأ المرء أن شركات المخدرات الاحتكارية (الكارتلات) Cartels إذا ما توقعت الكشف المتزايد عبر الفلم التشخيصي البسيط (أو حتى الـ CT) فإنها ستلجأ إلى تغيير شكل الرِّزم وحجمها وغلافها كي تمنع اكتشافها. إن الرزم الحالية تصنعها الماكينات الآن، وقد شوهدت رزم ذات سطوح غير منتظمة وغير ذات غلاف كتيم للأشعة radiopaque. ونشير إلى أن ابتلاع مواد وأدوية كتيمة للأشعة يجعل اكتشافها أكثر صعوبة. فالفحوص باستخدام مواد متباينة قد تكون ذات قيمة إلى جانب الفلم التشخيصي البسيط والـ CT وذلك حين يثبت زوال جميع الرزم من السبيل الهضمي. هذا، ويمكن أن يشكل سطح الجسم والملابس أمكنة إخفاء للأسلحة والمخدرات والمتفجرات. وهنا يقدِّم التصوير بالتبعثر الراجع والإنفاذ Transmission and backscatter فحصاً سريعاً وسهلاً (الشكل 6 – 9). ويستبان المعدن باستخدام كلتا التقنيتين فهما تعطيان صوراً رائعة.

ثانياً: الأمتعة والبضائع (المشحونة):

تشكل الرقابة في المطارات حالة نمطية typical. حيث تبحث الشرطة عن المخدِّرات والأسلحة والمتفجرات والممنوعات. وتجري مراقبة الأمتعة اليدوية في أوربا باستخدام التصوير بالتفلور والإنفاذ بشكل رئيسي.

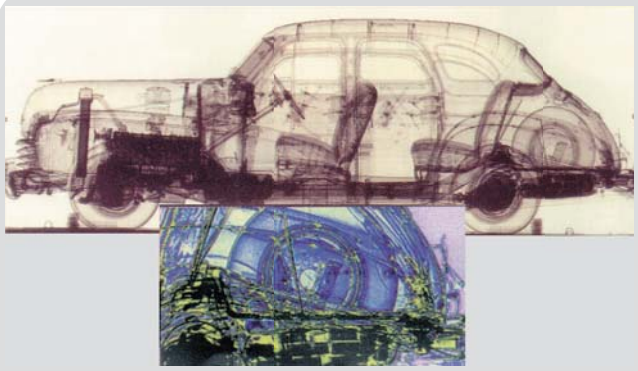
الشكل -10 سيف. أمتعة يدوية. رقابة في المطار. صورة بالإنفاذ.

الشكل -11 حيوانات محمية. أمتعة يدوية. رقابة في المطار. صورة بالإنفاذ.

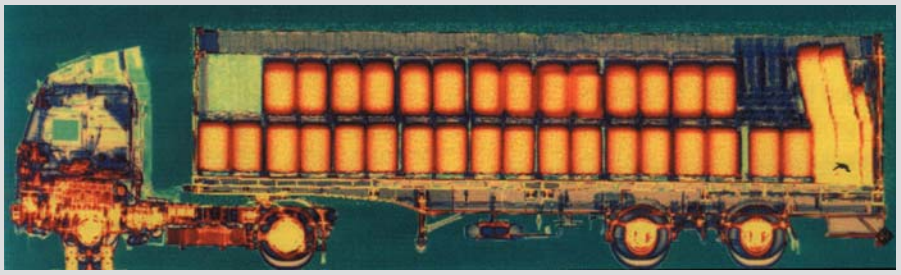


الشكل -12 المخدِّرات مخبأة في رزم مع أنابيب تلفاز. لوحة ألوان. (A) صورة بالتبعثر الراجع (B) صورة بالإنفاذ.

الشكل -13 رزم متعددة (متفجرات وغيرها) مخبأة في مواضع مختلفة. سماد في الصندوق.



الشكل -14 سيارة كلاسيكية أُعيد استيرادها من الأرجنتين (A). يوجد شيء ما في خزّان البنزين. يبيّن التكبير (B) رزم مخدِّرات. استخدمت مسرِّعات 10 MeV. صورة بالإنفاذ.



الشكل -15 براميل كحول في حاوية مخبّأة خلف بضائع أخرى. لم يُصرّح عن البراميل. جرت معرفة السائل من خلال حركاته السطحية أثناء الفحص. استخدمت مسرِّعات 10MeV. صورة بالإنفاذ.

الشكل -16 سجائر في العجل الاحتياطي. استخدمت مسرِّعات 10MeV. صور بالإنفاذ.

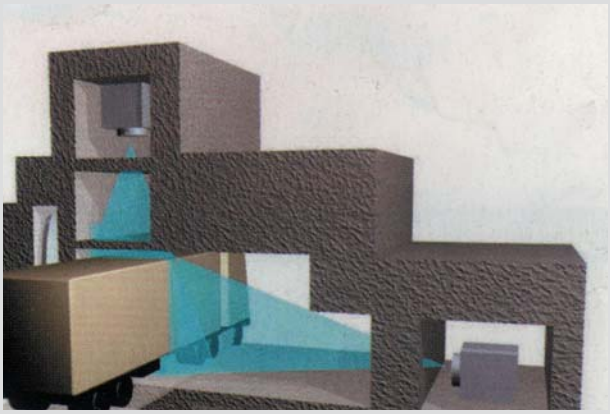
أما في الولايات المتحدة فقد اكتسب الـ CT أهمية في السنوات الأخيرة. فالأسلحة يتم تعرُّفها بشكل رئيسي من خلال الأجزاء المعدنية والشكل والحجم (الشكل 11)، في حين يُشتبه بالمخدرات (والمتفجِّرات) لدى اكتشاف رزم مشبوهة. ويتأكد وجودها حين يجري إخفاؤها في سائل ذي رائحة خاصة (يحول دون اكتشاف الكلاب لها). ونشير إلى أن المتفجرات غالباً ما تكون ذات فتيل يجب العثور عليه. وفي حدود معقولة، يتيح تصوير الطاقة المزدوج double energy imaging إمكانية التحديد. ففي تصوير الطاقة المزدوج تتراكب صورتان: تُصنع الأولى منهما باستخدام طاقة أشعة سينية تفوق ذروة امتصاص المادة المشبوهة في حين تصنع الثانية باستخدام طاقة أدنى من تلك الذروة. وهنا يكفي الطّرح بينهما subtraction لإظهار تلك المادة. إن للتصوير بالتفلور والإنفاذ حدوداً حينما يتراكب المعدن على الرزم. أما التصوير بالتبعثر الراجع فله حسناته، إذ تجعل هذه التقنية المواد مرئية حين تكون (z) أخفض (بمعنى عدد النوكليونات nucleons في النواة)، كما في حالة المتفجِّرات والمخدِّرات. ويعطي الجمع بين التصوير بالتبعثر الراجع والتصوير بالإنفاذ صوراً مؤثِّرة (الشكل A-12 وB). وفي حالة الشك يستطيع الـ CT إظهار مفردات مخبّأة أخرى خلاف ما تقدَّم.

ثالثاً: السيارات:

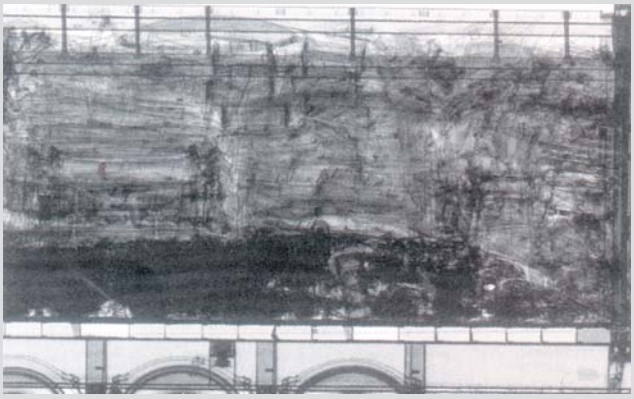
يمكن فحص المركبات باستخدام التصوير بالتبعثر الراجع والإنفاذ (الشكل 13)، كما يمكن فحص الحوّامات باستخدام التصوير بالتبعثر الراجع فقط –ويشار إلى أنه يصعب الحصول على مكشاف على الجانب، مقابل أنبوب الأشعة السينية. أما الأشياء الخاضعة للفحص هنا فهي المخدِّرات والمتفجِّرات والأسلحة، ولكن يمكن كذلك التفتيش عن محظورات أخرى مثل الكحول والسجائر. ويعطي شكل وحجم وموضع الإخفاء دالاّت clues للكشف. فالأسلحة تُعْرَف من خلال الأجزاء المعدنية، ويشتبه بالمخدِّرات حين العثور على رزم ذات حجم وشكل نمطي في خزان البنزين أو مجمع الزيت السفلي oil sump (الشكل A-14 وB)، مع الإشارة إلى أن الرائحة الموضعية تغطّي رائحة المخدِّر وتحول دون اكتشاف الكلاب للمخدِّر. أما المتفجِّرات وحتى القنابل فيجب أن يُفكّر فيها حينما يُستطاع تمييز فتيل مع رزمة. ويمكن الاشتباه بوجود كحول إذا وجدت زجاجات لم يصرَّح عنها أو كانت مخبّأة.

رابعاً: سيارات النقل والحاويات وسيارات الشحن:

تستخدم مسرِّعات لمراقبة سيارات النقل والحاويات (الشكل 17). ففي ألمانيا توجد في الخدمة وحدتان أولاهما في هامبورغ والثانية في بافاريا، حيث تمَّ تحوير المسرِّعات المبنية لأغراض المعالجة الإشعاعية بحيث تفيد كمصادر للإشعاع من أجل التصوير بالإنفاذ.

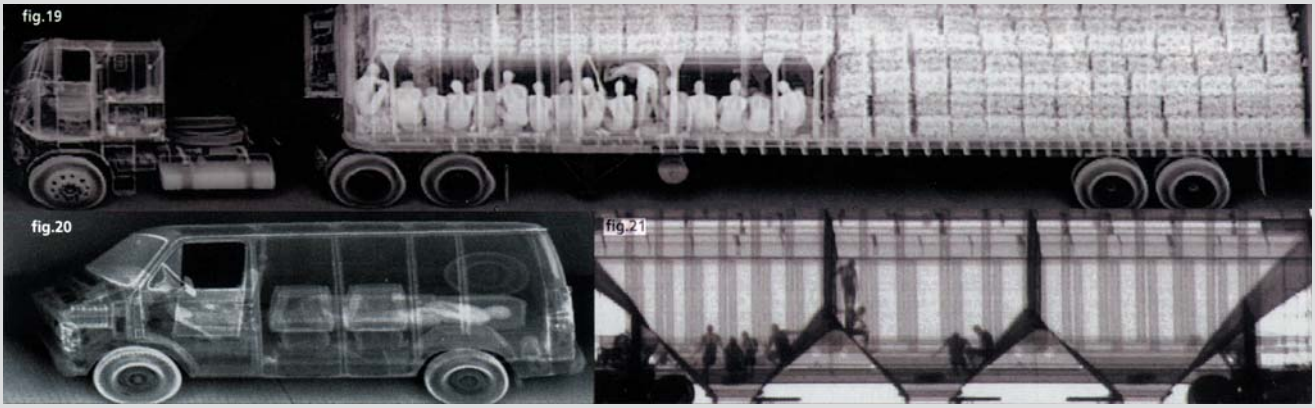


الشكل -17 مطيافية سيارة نقل وحاوية (تصوير بالإنفاذ) في هامبورغ. قام مسرِّعان بتوليد حزم شعاعية مروحية متعامدة فيما بينها يجري تصويبها نحو صف من المكاشيف. يتم جرّ سيارة النقل والحاوية بسرعة ثابتة عبر الحزم المروحية وتلتقط صور بالإنفاذ شبيهة بالصور الكشافة في التصوير المقطعي المحوسب.



الشكل -18 سيارات مسروقة مفككة إلى أجزاء ومخبأة تحت الخردة. استخدمت مسرعات 10 MeV. صورة بالإنفاذ.

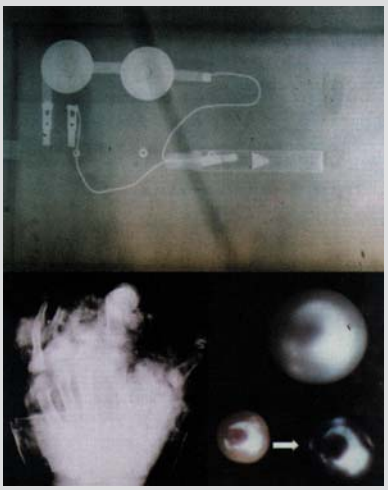
أما الكشف بالتفلور فيجري باستخدام 5 MeV و10 MeV، مما يعني تحرُّر نترونات بواسطة مفعول النواة الضوئي. وتقدِّم الصين عن طريق شركة سويدية وحدة تعمل بالكوبالت-60. ويجري فحص قاطرات سكّة الحديد في أمريكا الوسطى باستخدام الكوبالت-60. أما في الولايات المتحدة فيستخدم التصوير بالتبعثر الراجع، لوحده وبالاشتراك مع التصوير بالإنفاذ. وتبحث الجمارك عن المخدرات [بما في ذلك الكحول –(كما في الشكل 15) والسجائر (كما في الشكل 16)] وكذلك الأسلحة والمتفجِّرات. ويمكن أن تلاحظ خصائص إقليمية. فعلى سبيل المثال، يستدعي موضوع إعادة استيراد السيارات الكلاسيكية من الأرجنتين إلى ألمانيا التفتيش عن المخدرات من جانب الجمارك الألمانية. ويعدّ خزان البنزين ومجمع الزيت السفلي مكانين نمطيين للإخفاء. ويمكن الاشتباه بالكحول إذا جرى إدراك وجود سائل لم يجر الإفصاح عنه. وأما السجائر فيتم تهريبها في جدار الحاوية وفي العجلات الاحتياطية. ولعل الأصعب من ذلك اكتشاف السيارات المسروقة حينما يجري تفكيكها إلى قطع يمكن إخفاؤها على شكل خردة (الشكل 18). ونشير إلى أن المخدِّرات بكميات كبيرة يمكن تعبئتها في رزم تشبه أو تساوي الحمولة المحيطة بها من حيث الحجم والشكل. وهنا يمكن أن تقدِّم الفروق الزهيدة في الامتصاص absorption معلومات قاطعة. كما نشير إلى أن التراكب superim position يمكن أن يقيِّد مثل هذا التحليل، وقد يكون لا مفرَّ من التصوير في مستويين اثنين. هذا، وتتيح الأجهزة الصينية إمكانية التصوير في زوايا مختلفة، إذ يمكن رفع مصدر الكوبالت-60 إلى الأعلى. صحيح أن التصوير بالتبعثر الراجع له ميزة الكشف للعيان بدون تراكب، لكنّ الحقل المرئي يكون مقتصراً على المنطقة القريبة من مصدر الإشعاع.



الشكل -19 أجانب غير شرعيين داخل حاوية ضمن سيارة نقل محمَّلة بالموز. تصوير بالتبعثر الراجع.

الشكل -20 إنسان أو جثة في حقيبة أو تابوت. تصوير بالتبعثر الراجع.

الشكل -21 أجانب غير شرعيين في قاطرة سكة حديد (قاطرة فحم). صورة بالإنفاذ.



الشكل -22 متفجِّرة في رسالة بريدية. يمكن مشاهدة الفتيل والبطارية. صورة بالإنفاذ.

الشكل -23 يد ضحية متفجِّرة في رسالة بريدية. صورة شعاعية.

الشكل -24 لآلىء – يشاهد تغيُّر في اللون. جرعة تعرُّض مقدارها نحو 10 Gy قد غيَّرت اللون من وردي إلى أسود. الصف العلوي – لؤلؤة مزروعة.

خامساً: الرجال:

يعني التفتيش عن الرجال تفتيش سيارات النقل (الشكل 19) والسيارات السياحية (الشكل 20) والحاويات وقاطرات سكة الحديد (الشكل 2). وقد جرت ممارسة ذلك في ألمانيا والولايات المتحدة وأمريكا الوسطى. ونشير إلى أن السلطات في جمهورية ألمانيا الديمقراطية السابقة كانت تستخدم مصدر السيزيوم-137 للتصوير بالإنفاذ في البحث عن الأشخاص الذين يحاولون مغادرة البلد بصورة غير شرعية. وفي الولايات المتحدة تبحث السلطات عن الأجانب المخالفين غير المسجلين باستخدام وحدات متحركة للتبعثر الراجع يجري تركيبها على فانات vans أو باستخدام وحدات ثابتة تستعمل مزيجاً من التصوير بالإنفاذ والتصوير بالتبعثر الراجع. وقد أمكن الحصول على صور المختبئين في وسائط النقل عند الحدود بين دولتي هندوراس والمكسيك باستخدام مصدر الكوبالت-60 (المرجع Bragdon et al 2003).

إن جرعة التعرُّض في كلٍّ من هذه التقنيات تبدو منخفضة. فقد حُسبت جرعة المراقبة الذاتية auto control عند الحدود الألمانية الداخلية باستخدام السيزيوم-137 ووجد أنها تبلغ 50 nSv. وفيما يخص المسح السطحي surface scan تعتبر جرعة التعرُّض مماثلة. وتوازنها الشركة الأمريكية AS&E بالجرعة الحاصلة لدى أكل الموزة التي تحتوي على مشعٍّ طبيعي هو (البوتاسيوم-40).

وثمة تقدير آخر لخطورة الجرعة يقايس التعرُّض مع فعل الإشعاع الكوني أثناء الرحلات الجوية؛ إذ تقول شركة AS&E أن جرعة التعرُّض لمسح واحد سطحي يساوي جرعة تعرُّض 15 دقيقة طيران عبر الأطلسي الشمالي. ويتناول الجدل كيف يمكن أن يكون المنطقي قبول تعرُّض إشعاعي أثناء رحلات الطيران عبر الأطلسي وأن يجري رفض قبول التعرُّض الإضافي (الصغير) لأسباب أمنية. ومع العلم بأن القانون في ألمانيا والولايات المتحدة يقبل ما مقداره 1mSv بالسنة الواحدة كحد للتعرُّض الإشعاعي الإضافي بالنسبة للسكان. وبهذا المعنى لا تبدو الكمية 50nSv للفحص الأمني كمية عالية.

سادساً: الرسائل

تحتوي متفجرات الرسائل والطرود على سلك ومدَّخرة (بطارية) (الشكلان 22 و23)، ويجب اكتشافهما عبر التصوير بالإنفاذ. وقد تحتوي متفجرات الطرود على مفردات أخرى كذلك، الأمر الذي يمكن أن يعقِّد التحليل. أما رسائل الجمرة الخبيثة فإنها شأنٌ آخر. ويُستخدم الإشعاع المؤيّن لقتل هذه الجراثيم وأبواغها، حيث يجري تطبيق حوالي 50 kGy. ولا يعرف ما إذا كان الورق المشعَّع بهكذا جرعة سيتعرض للتلف، وهو أمر لا يتضح إلاّ بعد بضعة أسابيع من التشعيع. وقليل كذلك ما يشير إلى تأثير آخر لجرعة التعرُّض العالية فيما يخص تغيُّر لون الأحجار الكريمة واللآلىء (الشكل 24) بفعل انتقالات أيونات أو إلكترونات إلى الفضاءات الحرّة في شبيكة البلورة crystal lattice، فهذه الأيونات أو الإلكترونات تغيّر تبعثر الضوء. ونشير إلى أن هذه التغيرات تكون عكوسة reversible بالحرارة.

المناقشة والخلاصة

يُعدُّ استخدام تقانة أجهزة الأشعة السينية المستخدمة في الرقابة الأمنية أمراً ذا شأن ويجب علينا احترامه. ويدور النقاش على المستوى الوطني في أوربا حول التعرُّض الإشعاعي للناس بدون إرهاصات طبية. وتقوم EC الآن بإعداد أمر توجيهي يستحث سن قوانين وطنية بهذا الشأن. ويذكر أن تحضير قانون بذلك في ألمانيا قد قاد إلى مشروع بحث، إذ إن جرعة التعرُّض بالنسبة للأجهزة المختلفة يجب قياسها. وسيتم نشر هذه النتائج عما قريب. وإنه لمن المحتمل جداً قبول المراقبات الأمنية باستخدام الأشعة السينية بسهولة في حال قيام محاولات اغتيالات جديدة، إذ سيقارن بين خطورة التعرُّض إلى الأشعة السينية وخطورة الموت قتلاً أو الإصابة بالتشوّه. وسيقل القلق فيما يخص تغيّر الفاصل بين الخصوصية privacy التي يجب احترامها والأمن security الذي يجب فرضه.

وفي خلاصة الأمر، أثارت محاولات الاغتيال في نيويورك ومدريد ولندن نقاشاً حول الأمن. ويمكن أن تسهم تقانة التصوير بحلولٍ على شاكلة ما أظهرته التغيرات الواردة أعلاه. فالنقاش والتشريعات يجب أن يوازنا بين خطورة الإشعاع (التي تبدو قليلة) وبين الحدود الفاصلة بين الأمن الضروري والخصوصية الإلزامية.

المؤلف:

– هيرمان فوجل

– نشر هذا المقال في نشرة *BIR, Spring, 2006*، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المراجع REFRENCES

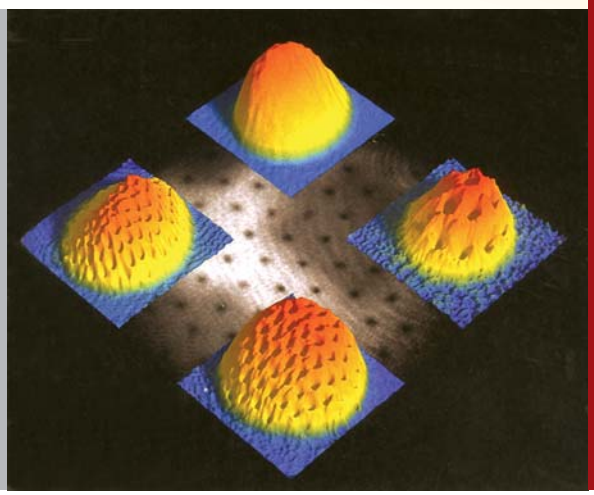
[1] Brogdon BG, Vogel H, McDowell JD. A Radiologic Atlas of Abuse, Torture, Terrorism, and Inflicted Trauma. Boca Raton CRC Press, 2003.

[2] EC (European Commission). Medico-legal exposures, exposures with ionising radiation without medical indication in Radiation Protection. Proceedings of the International Symposium Dublin 4-6 Sept 2002 Issue No 130.

[3] Traub SJ, Hoffmann RS, Lewis S. Nelson Body Packing – the Internal Concealment of Illicit Drugs. New Engl J Med. 349: 46 2003; 2519-26.

بكلمتين فقط

في العالم الكمومي، عالم الصغر اللامتناهي، يمكن للتآثر ما بين الجسيمات أن يقود إلى حسابات معقدة جدّاً، لدرجة أن الحواسيب الضخمة غير قادرة على فهمها. ولتجاوز هذه المعضلة، يحاول الفيزيائيون تحقيق حاسوب تماثلي بمساعدة ذرّات عالية البرودة تستطيع أن تحاكي بخصائصها جسيمات بحالة تآثر. تحققت الخطوة الأولى في ربيع 2005 بواسطة الفيزيائي الألماني وولفغانغ كيتّرل W. Ketterle ومجموعته.



البرهـــــان بواسطة الذرّات البـاردة

ملخص

ماذا يمكن أن يفيد غاز ذرّات مبردة إلى درجة حرارة منخفضة جداً، حيث يسلك الغاز سلوكاً غريباً وتصبح لزوجته معدومة؟ لقد بيّن الفيزيائيون، استناداً إلى أعمال بدأت منذ نحو عشر سنوات، أنه يمكن لهذا الغاز أن يفيد في صنع نوع جديد من الحواسيب.

الكلمات المفتاحية:

ميوعة فائقة، تكثيف بوز-أينشتاين، حساب تماثلي، أزواج كوبر، مواد فائقة الناقلية.

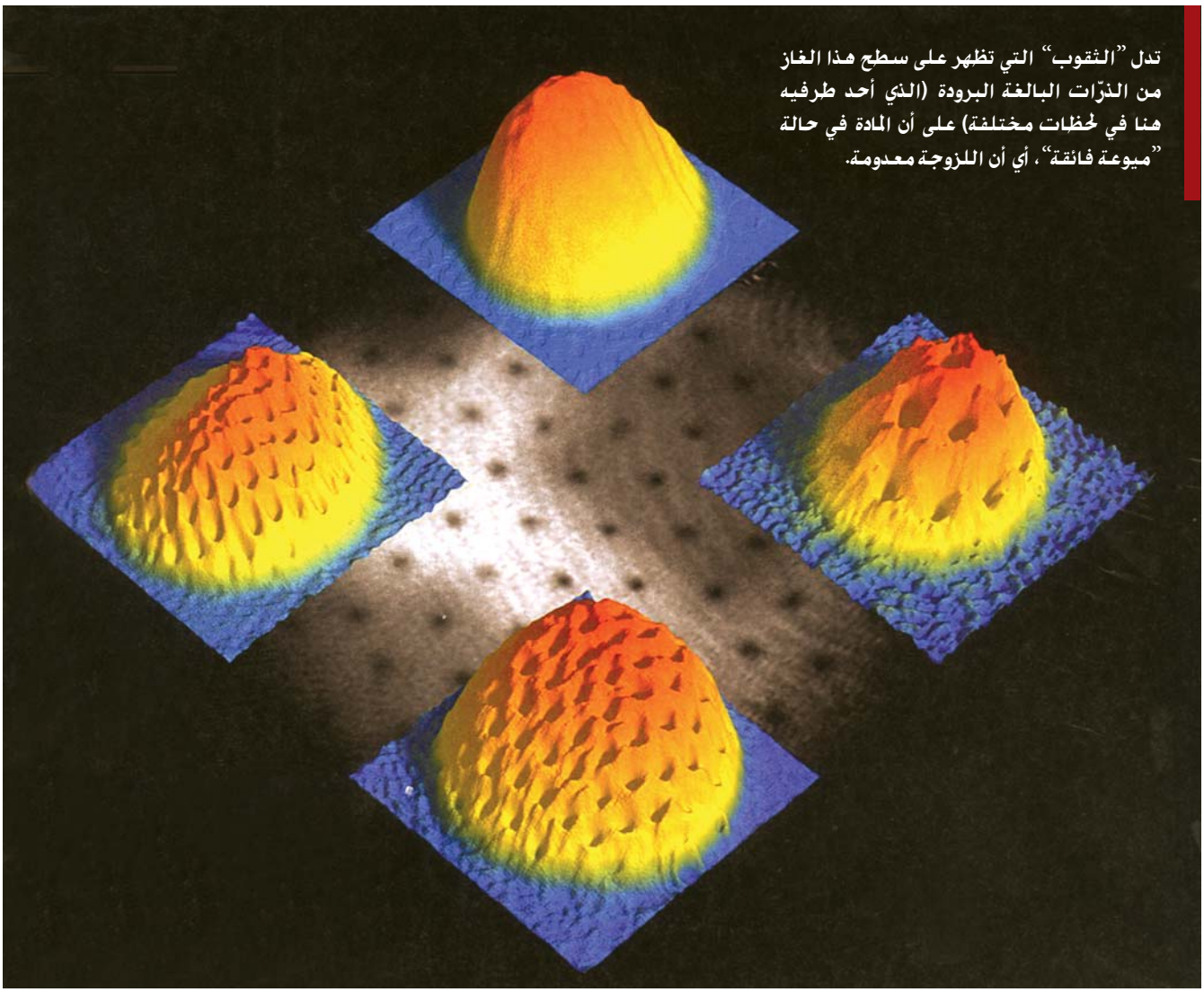
كيف يكون سلوك النوى الذرّية أو النجوم النترونية أو المواد الفائقة الناقلية التي تنقل الكهرباء من دون ضياع في الطاقة؟ للإجابة على هذا السؤال يصطدم الفيزيائيون بمعضلة: الحسابات المتعلقة بهذه الجُمَل المؤلفة من عدد كبير من الجسيمات المتآثرة فيما بينها هي حسابات في غاية التعقيد، لدرجة أن أكثر الحواسيب استطاعة غير قادرة على إجرائها خلال زمن معقول.

وللتغلب على العوائق التي تضعها هذه الجُمَل المؤلفة من "n جسيماً كمومياً" هناك طريقة مفادها محاكاة سلوك الجُمَل بواسطة منظومات فيزيائية نموذجية، وذلك بتنفيذ ما يسمى "حاسوباً تماثلياً كمومياً". فمنذ عدة سنوات ازداد عدد الفيزيائيين الذين فكروا في أن غازات الذرّات المبردة إلى عدة أجزاء من المليار من الدرجة فوق الصفر المطلق تشكل مرشّحاً ممتازاً لهذا الغرض. وتأكد هذا الحدس في شهر تموز/يوليو من العام 2005 بواسطة أعمال وولفغانغ كيتّرل W. Ketterle وفريقه في معهد MIT. فقد خطوا، بتعرّفهم على حالة جديدة للمادة تكون فيها اللزوجة صفراً، الخطوة الأولى نحو تحقيق محاكٍ كمومي فاتحين الباب أمام حل مسائل الفيزياء الأساسية الأخرى [1].

الحساب التماثلي

الحاسبات التماثلية مبنية على مبدأ يختلف جذرياً عن مبدأ الحواسيب التي نستخدمها اليوم. فهذه الأخيرة هي أجهزة قابلة للبرمجة، وهي تقوم، لحل مسألة معينة، بسلسلة من العمليات البدائية (مثل "و"، "أو"، "لا"، إلخ) يزداد عددها باطراد كلما رغبنا في أن تكون النتيجة أكثر دقة. ولذلك فإن زمن الحساب، لتحقيق هذه المتطلبات، يمكن أحياناً أن يفوق عمر الباحث نفسه! لكن هذه الصعوبة لا تبرز بالنسبة إلى الحواسيب التماثلية التي مبدؤها حل مسألة رياضية استناداً إلى منظومة فيزيائية تخضع للمعادلة نفسها، وتستخدم نتائج القياس للإجابة على السؤال الأولي. ويقابل زمن الحساب، بالنسبة إلى حاسوب تماثلي، إذن مدة التجربة. ولا يحدّ من الدقّة سوى دقة أدوات القياس.

لقد وُجد الحساب التماثلي، تاريخياً، قبل الحساب العددي. حتى أن أصوله قديمة جداً. ففي نحو العام 100 قبل الميلاد، على سبيل المثال، حاكت الآلة المسماة آلة أنتيسيتر Anticythere الحركة الظاهرية للشمس والقمر. وكانت مؤلفة من نحو عشرين دولاباً مسنناً ومن محاور وأسطوانات وعقارب متحركة، وكانت هذه الآلة السلف



تدل "الثقوب" التي تظهر على سطح هذا الغاز من الذرّات البالغة البرودة (الذي أحد طرفيه هنا في لحظات مختلفة) على أن المادة في حالة "ميوعة فائقة"، أي أن اللزوجة معدومة.

للميقاتيات الفلكية في العصور الوسطى وفي عصر النهضة، كتلك التي يبلغ ارتفاعها نحو 12 متراً والتي يمكن مشاهدتها في كاتدرائية ستراسبورغ.

تعدُّد الإمكانات العددي

كانت الحاسبات التماثلية تُستخدم خلال القرون الماضية لحل مسائل مختلفة. ففي الثلاثينيات من القرن العشرين، كان الجيش الأمريكي ما يزال يحسب مسارات القذائف البالستية بواسطة حواسيب تماثلية ميكانيكية. ولكن على الرغم من أداء هذه الآلات الجيد من حيث الزمن اللازم لإجراء الحساب فقد كان فيها عيب كبير هو حجمها ونقص مرونتها. فلم يكن استخدامها ممكناً إلا لحل نمط واحد من المسائل. وبعد الحرب العالمية الثانية تم بالتدريج التخلي عن هذه الطريقة لتحل محلها الحواسيب العددية القابلة للبرمجة والمتعددة الإمكانات والتي لاقت النجاح الذي نعرفه جميعاً.

واستمر بعض الفيزيائيين، مثل ريتشارد فاينمان، الحائز على جائزة نوبل، بالاعتقاد أن الحاسوب التماثلي لم يقل بعد كلمته الأخيرة: فهو يبقى ورقة رابحة أمام الصعوبات التي تفرضها دراسة الجُمَل المؤلفة من n جسماً كمومياً [2]، لكن القيود كانت قاسية جداً؛ فالجُمَلة ينبغي ألا تحتوي على أية شائبة لكي تقابل بأدق ما يمكن النماذج النظرية. وكل الوسطاء الفيزيائية، وعلى وجه الخصوص شدة التآثرات بين المكوّنات، يجب أن يكون بالمستطاع التحكم بها وذلك بغية محاكاة سلوك جُمَل فيزيائية أخرى. وقد بقيت فكرة فاينمان دون تنفيذ بسبب افتقاد جُمَل صالحة لهذا الغرض.

وقد توجب انتظار بزوغ غازات "الذرّات الباردة" لكي يُشَقَّ أخيراً طريق جدير بالثقة. فقد تعلم الفيزيائيون في الثمانينيات من القرن الماضي، بفضل الضوء الليزري، كيف يُبرّدون الغازات حتى درجات حرارة لم يسبق أن توصل الإنسان إليها من قبل. وقد مُنح رواد هذه التقنية ستيف تشو S. Chu من جامعة ستانفورد وكلود كوهن– تانودجي C. Cohen–Tannoudji من المدرسة النظامية العليا في باريس ووليام فيليبْس W. Phillips من المعهد القومي للمعايير والتقانة جائزة نوبل لعام 1997. وبدا أن الذرّات الباردة مرشّح

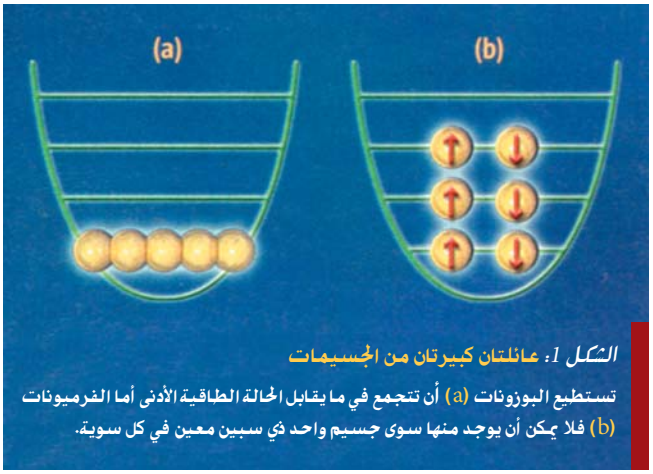
مناسب جداً لتحقيق محاك تماثلي كمومي بسبب أن درجة حرارتها المنخفضة جداً وكثافتها القليلة تتيحان التحكم بالخواص الفيزيائية للغاز تحكماً شبه كامل. وبما أن الذرّات في مثل هذه الظروف تتحرك ببطء، فيمكن إجراء قياسات ذات دقة عالية جداً كما برهنت على ذلك الأجيال الأخيرة من الميقاتيات العاملة على الذرّات الباردة: فهي توفر اليوم معايير التواتر، وإذن الزمن، الأكثر دقة في العالم.

نموذج أولي في متناول اليد

ومن الناحية العملية كان الوسيط الفيزيائي الذي يشكل تعديله في مجال واسع الصعوبة الأكبر هو التآثر بين الجسيمات. وقد أتاح رصد ظاهرة كمومية تدعى "تجاوب فيشباخ"* في عام 1999 تجاوز هذه الصعوبة: ذلك أن الفيزيائيين يستطيعون باستخدام حقول مغنطيسية التحكم بقوة التآثر بين الذرّات الباردة [3]. وقد أوحى هذا الاكتشاف لفريق النظريين الذي يقوده إيغناسيو سيراك I. Cirac وبيتر زولر P. Zoller من جامعة إينسبروك في النمسا بأن نموذجاً أولياً لحاسوب تماثلي أصبح في متناول اليد. وقد نجحوا في إقناع عدة مجموعات من النظريين والتجريبيين من اختصاصات البصريات الكمومية والفيزياء الذرّية وفيزياء الحالة الصلبة والفيزياء النووية بأن يضموا مهاراتهم معاً وأن ينطلقوا في خوض هذه المغامرة.

كان ينبغي أولاً اختبار صحة المقاربة التماثلية في أكثر الحالات بساطة، في جُمَلة تحتوي على نوع واحد من الذرّات مثلاً. ونحن نعلم أنه في درجات الحرارة المنخفضة يكون سلوك مجموعة من الجسيمات محكوماً بخاصة كمومية أساسية هي "السبين" الذي يصف، بشكل ما، سرعة دوران كل جسيم حول نفسه. لا يمكن أن يأخذ السبين أية قيم كانت: فهو يمكن أن يكون إما صحيحاً (0 أو 1 أو 2، إلخ). أو نصف صحيح (1/2 أو 3/2، إلخ). ففي الحالة الأولى يدعى الجسيم "بوزوناً" وفي الثانية "فرميوناً". والفرميونات، بعكس البوزونات (كالفوتونات على سبيل المثال) التي سلوكها مفهوم بصورة جيدة نسبياً، تطرح أسئلة عديدة تستعصي على الاختصاصيين. ولذلك فقد بدا مناسباً تطوير حاسوب تماثلي يستخدم ذرات فرميونية.

تتعلق إحدى المسائل المفتوحة بوجود الميوعة الفائقة في الجُمَل الفرميونية وبطبيعتها، وهي حالة تسيل فيها المادة من دون أي احتكاك لأن لزوجتها معدومة. وكانت هذه الخاصة تشاهد عادة في الجسيمات البوزونية، لأن هذه الجسيمات تميل لأن تكون كلها في الحالة الطاقية ذاتها. وكان أينشتاين قد بيّن في العام 1924 أنه توجد درجة حرارة تتجمع البوزونات دونها في الحالة الطاقية الأكثر انخفاضاً مشكّلة ما يدعى اليوم "بتكثيفة بوز–أينشتاين" Bose–Einstein condensate (CBE). ومنذ ثلاثينيات القرن العشرين أمكن البرهان على صفة الميوعة الفائقة لهذه التكثيفة في الهليوم السائل. وقد رُصدت فيما بعد، في العام 1995، أولى تكثيفات بوز–أينشتاين الغازية من قِبل مجموعة إريك كورنيل E. Cornell وكارل فاينمان C. Weinman من



الشكل 1: عائلتان كبيرتان من الجسيمات
تستطيع البوزونات (a) أن تتجمع في ما يقابل الحالة الطاقية الأدنى أما الفرميونات (b) فلا يمكن أن يوجد منها سوى جسيم واحد في سبين معين في كل سوية.

جامعة كولورادو، ومن قِبل مجموعة وولفغانغ كيترل W. Ketterle. وكان في أساس أحدث الاكتشافات في فيزياء الذرّات الباردة تجارب تتطلب الجرأة حاز على إثرها هؤلاء الفيزيائيون على جائزة نوبل لعام 2001. الفيرميونات، بخلاف البوزونات، جسيمات تتصف "بالفردية" فلا يمكن لاثنين منها أن يحتلا الحالة الكمومية ذاتها، فلكي نضع الفرميونات، كالإلكترونات مثلاً، في مصيدة ينبغي أن نملأ سويات الطاقة بها سوية فسوية مبتدئين بالسوية الأخفض (الشكل 1): و"طاقة فرمي" تكون عندئذ هي طاقة آخر سوية مملوءة. وبسبب سلوك الفرميونات الفردي يمكن أن يُظن أنه لا توجد حالة ميوعة فائقة في جُمَلة مؤلفة من هذا النوع من الجسيمات. وقد أثبت بطلان هذه الفرضية وجود معادن فائقة الناقلية وهي معروفة منذ بداية القرن العشرين، حيث إن اختفاء المقاومة الكهربائية مشابه لضياع اللزوجة. وبيّن الفيزيائيون الأمريكيون باردين J. Bardeen وكوبر L. Cooper وشريفر J. Schrieffer في خمسينيات القرن الماضي أن حالة الناقلية الفائقة في المعادن تحصل بسبب تزاوج الإلكترونات فيما بينها.

التآثرات التجاذبية

وهكذا، حين يترافق جسيمان لتشكيل زوج فإما أن يُجمع سبيناهما أو يُطرح أحدهما من الآخر، ولكن هذا يؤدي دوماً إلى سبين صحيح، فالزوج إذن بوزون. فحين تشكل الفرميونات الخاضعة لتآثر تجاذبي أزواجاً تصبح قادرة على أن تكون في حالة الميوعة الفائقة. وهذه هي النظرية المسماة "BCS" ونطاق صلاحيتها محدود بالتآثرات التجاذبية الضعيفة بين الفرميونات.

هل يمكن يا ترى، توسيع هذه النظرية لتشمل أي نوع من التآثرات؟ لقد افترض ذلك كل من نوزيير P. Nozières وليجيت A. Legett وشميت–رنك S. Schmitt-Rink في بداية الثمانينيات مستندين بصورة كيفية إلى حقيقة أن المسافة بين ذرّات زوج ما ينبغي أن تكون أصغر كلما كانت التآثرات بين الجسيمات أكثر تجاذباً [4]. فمن أجل التآثرات الشديدة يُنتظر إذن الحصول على أزواج ذات قدّ صغير جداً. ولذلك يمكن اعتبارها وكأنها جسيمات نقطية، وهذا يعيدنا إلى نظرية أينشتاين المطبقة على غاز جزئيات بوزونية.

* في ظاهرة تجاوب فيشباخ يُستخدم حقل مغنطيسي لإزاحة سويات طاقة الإلكترونات وللتحكم بكيفية تآثر بعض الذرّات مع بعضها الآخر.

الميقاتية الفلكية في كاتدرائية ستراسبورغ هي حاسب تماثلي يتيح التنبؤ بمواضع الكواكب والنجوم.

وحين ننقص من شدة التآثرات يزداد قدّ الأزواج. وعندما يصبح التآثر ضعيفاً جداً تصبح المسافة بين جسيمي الزوج الواحد أكبر من المسافة بين زوجين. وهكذا عاد إذن نوزيير وليجيت وشميت–رينك إلى أزواج كوبر كما سبق أن وصفها في الخمسينيات باردين وكوبر وشريفر. كانت الحجة السابقة متينة نسبياً في التآثرات الشديدة جداً أو الضعيفة جداً لأنه يمكن عندئذ تطبيق إما نظرية أينشتاين أو نظرية BCS عليها. لكن الوضع يصبح أكثر التباساً بكثير في مجال التآثرات المتوسطة الشدة. وبالفعل، تكون عندها التآثرات أشد من أن تمكن من معالجة الغاز على أنه مجموعة من الفرميونات دون تآثرات، وتكون أضعف من أن تمكن من معالجة الأزواج وكأنها جسيمات نقطية. ولذلك، فمن وجهة النظر النظرية، كما التجريبية، كان هذا المجال هو الأكثر جدارة بالدراسة لأنه يضم منظومات متنوعة جداً من النجوم النترونية، وهي إحدى المراحل النهائية في تطور النجوم، إلى المواد الفائقة الناقلية عند درجات الحرارة الحرجة العالية التي لا يزال تفسيرها النظري موضع جدل والتي تتمتع بأهمية اقتصادية ذات إمكانات كبيرة، إلى بلازما الكواركات والغلوونات، وهي الحالة التي يُعتقد أنها تشكلت بعد الانفجار العظيم بعدة أجزاء من المليون من الثانية!

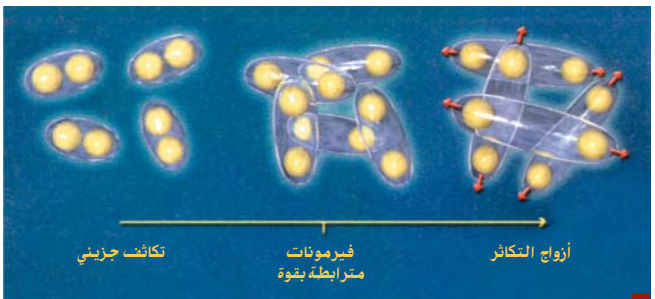
كان لابد من قول فصل بين فرضية نوزيير وليجيت وشميت–رينك من جهة والنماذج الأخرى التي تنبأت بانتقال غير مستمر وبسلوك غير مستقر في حالة التآثرات المتوسطة الشدة. ولم يكن هذا ممكناً إلا بحل المسألة حلاً دقيقاً: إما بتخصيص مصادر حاسوبية ذات استطاعات كبيرة جداً، أو باستخدام الحساب التماثلي واختباره على جُمَلة يكون من الممكن تغيير شدة التآثرات فيها.

بدأت المقاربة التماثلية تؤتي أُكُلَها في العام 2003: فقد رُصدت تكثيفات جزيئية مكونة من فرميونات في الوقت نفسه من قبل غريم R. Grimm في إينسبروك وجين D. Jin في بولدر [5]. كما أمكن بالاستفادة من المعلومات المكتسبة حول تجاوبات فيشباخ، استكشاف الانتقال CBE-BCS. لقد بقيت سحابة الذرّات محافظة على نفسها في كل مجالات شدة التآثرات دون أي عدم استقرار، كالذي تنبأت به النماذج الأخرى المنافسة لنموذج ليجيت ونوزيير وشميت–رينك هذا النموذج الذي جاءت النتائج متفقة معه.

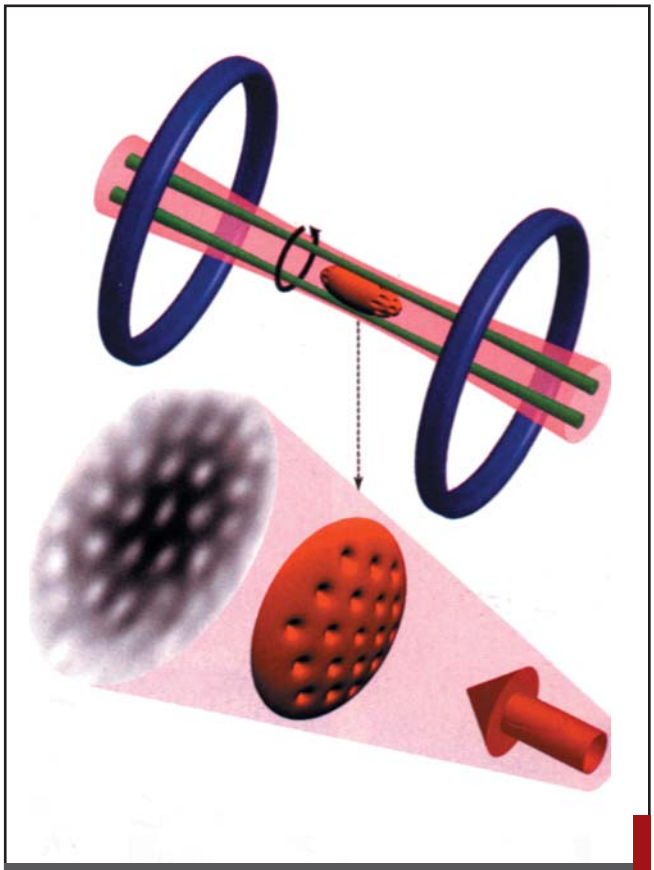
أتاحت فترة من النشاط التجريبي المكثف تلت هذه النتيجة الكيفية توصيف المجال الانتقالي بصورة أدق. فقد أمكن بيان وجود تزاوج بين الفرميونات، كما حُددت طاقة الغاز بين تكثيفة الجزيئات والحالة BCS. وتبين أن طاقة كل جسيم تتناسب مع طاقة فرمي للمنظومة. وأن ثابتة التناسب، التي يرمز لها بالحرف اليوناني (ξ) هي عدد "عام" شأنه في ذلك شأن العدد π على سبيل المثال. أي أنه لا يتعلق بالجُمَلة الفيزيائية التي يطبق عليها نموذج الفرميونات المتآثرة هذا، سواءً أكانت الجُمَلة عبارة عن غاز ذرّات باردة أم كانت نجماً نترونياً!

دوّامات كمومية

لقد عينت مجموعتنا في المدرسة النظامية العليا École Normale Supérieure في العام 2004 تجريبياً هذا الوسيط في المجال المتوسط وذلك بواسطة الفتح المفاجئ للمصيدة التي تحتجز الذرّات [6]. إن الغاز "ينفجر" ويتمدد بسرعة أكبر كلما كانت طاقته أكبر. وبهذا الشكل تمكنّا من تعيين قيمة (ξ) بواسطة قياس نصف قطر الغاز بعد ثانية واحدة. وكانت هذه القيمة غير متفقة إطلاقاً مع القيمة التي تنبأ بها نوزيير وليجيت وشميت–رينك. إلا أن حسابهم كان مشكوكاً فيه لأنه أجري خارج إطار صلاح النظرية BCS.



الشكل 2: أنواع التآثر
لدى تغيير قوة التآثر بين الفرميونات بواسطة حقل مغنطيسي، يمكن رصد انتقال مستمر بين حالة تشكل فيها الفرميونات جزيئات مترابطة بشدة وحالة أخرى تكون فيها أقل ارتباطاً وتتحرك بالسرعة نفسها وإنما باتجاهين متعاكسين (أزواج كوبر).



بُرهن على وجود الميوعة الفائقة في غاز من الفرميونات (الأحمر) بواسطة إضاءته بليزر (وردي) وجعله يدور. والدوامات (أو الثقوب) التي تظهر هي علامات مميزة لظاهرة الميوعة الفائقة.

وقد أنجز باندهاريباند V. Pandharipande من جامعة أوربانا–شامبين لدى دراسته عدداً صغيراً جداً من الفرميونات (نحو ثلاثين) محاكاة عددية حاسوبية يبدو أنها تؤيد قياساتنا [7]. وهناك برامج محاكاة أخرى تأخذ بالحسبان عشرات الألوف من الجسيمات قيد الإجراء. وسوف نحتاج إلى نحو سنة من الحساب باستخدام أكبر الحواسيب استطاعة موصولة في شبكة، وهذا يؤكد كم هي مناسبة المقاربة التماثلية.

ولكن على الرغم من المؤشرات التجريبية التي تم الحصول عليها لعام 2003، ما يزال ينقص برهان مباشر على وجود حالة ميوعة فائقة في الانتقال CBE-BCS. وقد أتى هذا البرهان في ربيع العام 2005 مع تجارب تدوير غاز الفرميونات في المجال المتوسط التي قامت بها مجموعة كيتلر. فحين يوضع مائع كلاسيكي، كالماء مثلاً، في سطل يدور يجر احتكاك الجدران مع المائع فيأخذ هذا بالدوران "ككل" مع السطل. أما بسبب انعدام اللزوجة في حالة الميوعة الفائقة فلا يمكن حدوث مثل هذا الوضع. وبدلاً من ذلك تتشكل دوّامات. وتكون لها أنصاف أقطار متساوية وتظهر بواسطة الثقب الذي تحفره في السحابة لأن القوة النابذة تدفع الذرّات عن المركز. وقد رُصدت مثل هذه الدوّامات في الهليوم الفائق الميوعة من قبل باكارد R. Packard من جامعة كاليفورنيا في عام 1974 وفي غازات من البوزونات من قِبَل مجموعتنا في العام 2001.

في تجربة كيترل تُحتجز ذرّات الليثيوم بواسطة حزمة ليزرية. فيأخذ الغاز شكل "سيجار" متطاول في اتجاه الحزمة (انظر الشكل). وتتيح حزمة ثانية جعل الغاز يدور. وحين تصبح سرعته كبيرة لدرجة كافية تظهر دوامات. وتنتظم هذه الدوامات وفق شبكة مثلثية تعرف باسم "شبكة أبريكوسُف" Abrikosov [8]. وفي حين أن وجود الدوامات ناتج عن قوانين ميكانيك الكم فإن شبكة أبريكوسُف هي نتيجة لمفاعيل هدروديناميكية وبنيتها ناتجة عن قوتين متنافستين: دافعة أرخميدس التي تسعى لدفع كل دوامة نحو مركز المصيدة وقوة ماغنوسMagnus التي تدفع الدوامات الدوارة في الاتجاه نفسه. وتبين مشاهدة الدوامات، التي هي صفة مميزة للموائع الفائقة، في غاز الفرميونات أن السحابة تبقى فائقة الميوعة خلال التحول CBE-BCS كله.

يشكل تفسير سلوك غاز فرميونات وحيدة الذرة خطوة مهمة نحو تحقيق محاكٍ كمومي قادر على دراسة منظومات مؤلفة من ذرات مختلفة وفي ظروف على درجة كبيرة من الاختلاف. وسيكون عزل المسائل القابلة للحل وكذلك المنظومة التجريبية الأكثر تعدداً في إمكاناتها رهاناً كبير الأهمية وسوف يفتح إمكان احتباس غاز ذرّات باردة داخل شبكات ضوئية يُحصل عليها بواسطة تداخل عدة ليزرات، وهذا قيد الدراسة حالياً، آفاقاً جديدة واعدة.

◄ مفعول ماغنوس يقابل القوة التي يؤثر بها مائع على جسم يدور. وهو المفعول الذي يستخدمه لاعبو كرة القدم لإعطاء الكرة مساراً منحنياً يجعلها تدور لدى ضربها بالقدم.

المؤلف:

– **فريدريك شيفي**: باحث في مخبر كاييرل بروسّل في المدرسة الطبيعية العليا في باريس.

– نشر هذا المقال في مجلة *La Recherche, Janvier, 2006*، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المراجع

REFRENCES

[1] M. Zwierlein et al., Nature, 435, 1047, 2005.

[2] R. Feynman, Int. J. Theor. Phys., 21, 467, 1982.

[3] A. Moerdijk et al., Phys. Rev. A, 51, 4852, 1995.

[4] A. Leggett, Modern Trends in The Theory of Condensed Matter, Springer Verlag, 1980; P. Nozières et S. Schmitt-Rink, J. Low. Temp. Phys, 59, 195, 1985.

[5] S. Jochim et al., Nature, 426, 537, 2003.

[6] T. Bourdel et al., Phys. Rev. Lett., 93, 050401, 2004.

[7] Carlson et al., Phys. Rev. Lett., 91, 050401, 2003.

[8] Alexandre Bouzdine, "L'héritage de Lev Landau", La Recherche, janvier 2004, p. 63.

البلّورات الفوتونية تَسْطع

إن مقدرة البلّورات الفوتونية على أداء دور عواكس تامة والعمل على إبطاء الضوء قد يفضي إلى مكونات ضوئية بالكامل وإلى منطق فوتونات مفردة. هذا ما يوضحه توماس كروس في هذا المقال.

الكلمات المفتاحية: بلّورات فوتونية، الضوء البطيء، دليل موجي، دارات ضوئية، تجاويف من بلّورات فوتونية، عواكس تامة، منطق الفوتون الواحد.

يُفْتَتَن الروّاد دوماً بالمنطقة المجهولة –وهي منطقة تمثلها "بقع بيضاء" على الخارطة. فهناك على خرائطنا الجغرافية لم يبقَ إلاّ أعداد قليلة من البقع البيضاء، أما العلم فهو مليء بالمناطق غير المكتشفة بعد. وفي الحقيقة، كلما عرفنا المزيد عن أسلوب عمل هذا العالم، زاد عدد البقع البيضاء التي نكتشفها! وكمثال جيد على هذا مقدرتنا في التحكم بالضوء الذي ينتقل بأسرع السرعات الممكنة وبذلك يميل إلى تجنب التأثر مع المواد التي يمر عبرها.

إن هذا الافتقار للتأثر يربض في قلب ثورة الإنترنت، ما دام يسمح لنا أن نرسل كمية كبيرة من المعطيات عبر ألياف ضوئية على هيئة نبضات ضوئية. ولكن ذلك يجعل من الصعب أيضاً أن نتحكم بالطريقة التي يتأثر بها الضوء مع ذاته هو أو مع مادة أخرى. على كل حال، دعنا نتصوّر الإمكانات التي ستنفتح فيما لو تمكنّا من التحكم بانتشار الضوء –إن ذلك يمكن أن يقودنا إلى كل شيء بدءاً من منابع ضوئية أكثر كفاءة وانتهاءً ببدّالات ضوئية optical switches تستهلك من القدرة ما هو أقل بكثير من القدرة التي تستهلكها نظيراتها ذات المكوِّنات الإلكترونية.

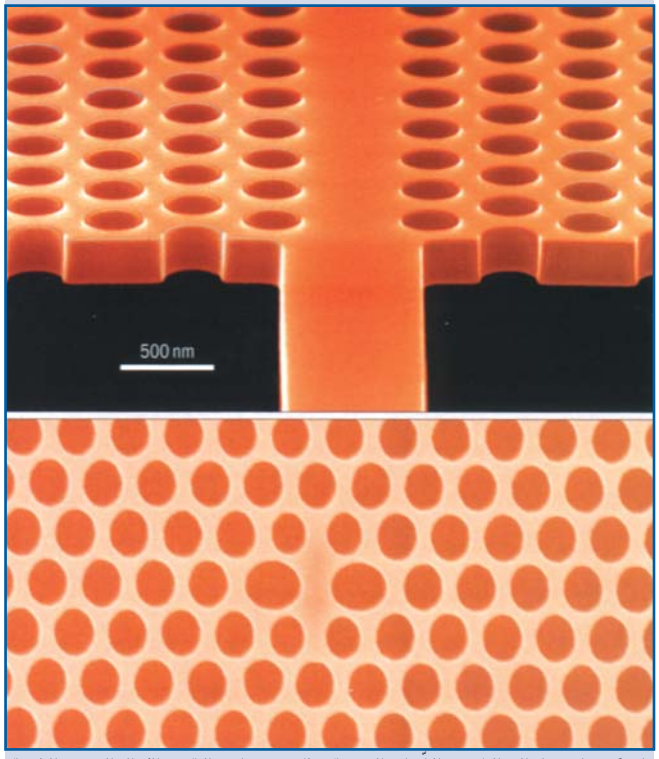
تمكّن الفيزيائيون اليوم من امتلاك ناصية التحكم بالضوء وذلك عبر توجيه الطريقة التي يتم فيها امتصاصه أو تضخيمه في المواد. ففي عام 2001، على سبيل المثال، تمكّن لين هاو L. Hau، من جامعة هارفرد، والعاملون معه أوصلوا الضوء إلى حالة من التوقف الكامل تقريباً وذلك في غاز ذرّي فائق البرودة (انظر Physics World عدد أيلول/سبتمبر 2001 صفحة 35-40). ولكن ما نحتاجه بالفعل هو طريقة للتحكم بالضوء بدون أن يتم امتصاصه، وأن نكون قادرين على فعل ذلك بالنسبة لجميع الأطوال الموجية للضوء.

وفي صميم هذه النظرة يوجد نمط خاص من المادة يُدعى البلّورة الفوتونية photonic crystal. وتسمح مثل هذه المواد بالتحكم بتدفق الفوتونات في مكونات ضوئية جديدة وببناء تجاويف عالية الجودة من أجل ليزرات منمنمة. لكن البلّورات الفوتونية تستطيع كذلك أن تمكننا من تحقيق هذا القصد في المناولة الضوئية light manipulation؛ أي التحكم بالفوتونات واحدة فواحدة. إن هذا سيفتح الباب على مصراعيه لمعالجة المعلومات معالجة كمومية، الأمر الذي سيمكننا من إرسال رسائل بأمان مكفول ومعالجة المعلومات بسرعة وكفاءة غير مسبوقتين.

فعل الضوء

تتألف البلّورات الفوتونية من طبقات متعاقبة من مواد ذات قرائن انكسار عالية ومنخفضة، وغالباً ما يتم صنعها عبر حفر صفيف دوري من الثقوب داخل سطح مناسب. ويستطيع كل سطح بيني interface أن يعكس الضوء، ومن خلال إجراء ترتيب دوريّ للطبقات بحيث تقابل مضاعفات من نصف الطول الموجي، فإن كل الانعكاسات تتراكم في الطور phase. وفي النتيجة، يمكن أن ينعكس الضوء بشكل كلّي من على البنية. وعلى النقيض من ذلك، فإن أفضل المرايا المعدنية لا تعكس سوى 97% تقريباً من الضوء الوارد عليها.

1. الأدلّة الموجية والتجاويف من البلّورات الفوتونية

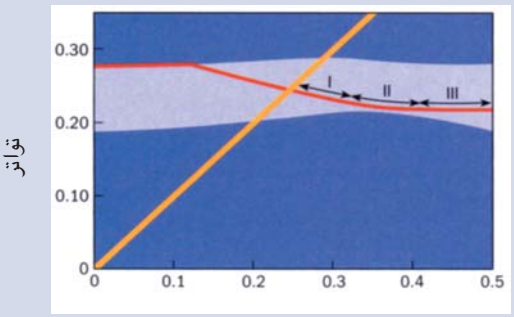


إن آخر ما توصل إليه العلم في البلّورات الفوتونية يتطلب مستويات عالية من الكمال التقني، والطريقة المفضلة في ذلك هي أن ننمّش صفيفات مثلثية الشكل من الثقوب في نصف ناقل مضيف. والمطيَّة المستخدمة لدى جمهور البلّورات الفوتونية هي ما يُدعى الدليل الموجي W1 (في الأعلى)، الذي يحتوي على خط وحيد من الثقوب المفقودة في شبيكة تامة فيما عدا ذلك. والبنى الهامة الأخرى للبلورات الفوتونية هي التجاويف، التي يمكن تشكيلها بعيب نقطي معدَّل (في الأسفل). أزيل توليف الثقوب المركزية هنا عن عمد كي نكوِّن تجاوباً وحيد الطراز single mode resonance.

وباستخدام ترتيبات خاصة لمواد ذات قرائن عالية ومنخفضة، وباختيار مواد ذوات قرائن انكسار مختلفة جداً فإنه يمكن تشكيل هذا المفعول في بعدين أو ثلاثة أبعاد. وبذلك نكون قادرين على بناء عوازل ضوئية، حتى ولو كانت المواد التي تصنع منها البلّورات الفوتونية شفافة كلياً. إن هذه الخاصية المناقضة للحدس هي نتيجة مباشرة لما يُسمى فرجة العُصابة الفوتونية photonic band gap التي تمنع الضوء ذا الأطوال الموجية الخاصة من الانتشار. إنها تمثل المكافئ الضوئي لفرجة العُصابة الإلكترونية في أنصاف النواقل، التي تمنع مرور حاملات شحنات ذات طاقات معيّنة.

ومن جهة أخرى، تستطيع حزمة من الضوء أن تنتشر عبر بلّورة فوتونية لا يتوافق الدور فيها مع طول موجة الضوء. ولكن من هذه العملية تتّخذ الحزمة شكلاً خاصاً يُدعى طراز بلوخ بسبب التداخل بين الموجة الواردة والأمواج التي يعكسها ويبعثرها كل عنصر من البلّورة. يمكن لطُرُز بلوخ Bloch modes هذه أن تكون ذوات خواص مختلفة اختلافاً كلياً عن الموجة الواردة –فسرعة الانتشار،على سبيل المثال، يمكن أن تتغير بقوة مع الطول الموجي.

2. البنية العُصابية للدليل الموجي



تعرَّف خواص البلّورة الفوتونية –في حالة الدليل الموجي W1– بدلالة البنية العُصابية. والبنية العُصابية هي رسم بياني للتواتر (محسوباً بمضاعفات من c/a، حيث c هي سرعة الموجة وa هي ثابتة الشبيكة) بدلالة المتجهة الموجية للضوء k، محسوباً بمضاعفات من 2π/a. يقابل اللون الأزرق الغامق مناطق يستطيع الضوء فيها أن ينتشر خلال الشبيكة (أي إلى "الطُرُز الشبيكية lattice modes" وليس محتَجَزاً بالدليل الموجي W1). وتقابل المنطقة ذات اللون الأزرق الفاتح فرجة العُصابة الفوتونية photonic band gap، حيث يُحظر وجود طرز فيها باستثناء تلك التي تشكلت بالعيب الخطي الوحيد (الخط الأحمر). الخط القطري البرتقالي يفصل الطرز الموجَّهة حقاً بالبنية (إلى يمين الخط) وتلك التي تستطيع الهروب (في اليسار). وبذلك تقع نقطة التشغيل المفضلة إلى يسار هذا الخط. هنا نستطيع أن نميز ثلاثة أنظمة. ففي "النظام الموجَّه بقرينة الانكسار" (I) تكون العُصابة منحدرة نسبياً، مشيرة إلى سرعة مجموعة عالية. وفي "النظام المبدَّد" (II) تنعطف العُصابة فتصبح منحنية، جاعلة الضوء ذا التواترات المختلفة يعاني من سرعات مجموعات مختلفة وبذلك فهي تضغط النبضة أو توسعها. أما في "نظام الضوء البطيء" (III) فالعُصابة شديدة الاستواء، وهذا يعني أن سرعة المجموعة صغيرة جداً.

كان العديد من هذه المفاعيل الضوئية معروفاً لدى فيزيائيين أمثال أشيللي فلوكيه A. Floquet وويليام ولورنس براغ W and L. Bragg، وفيليكس بلوخ F. Bloch منذ قرن مضى. ولكن لم يحدث إلا بعد عام 1987 (حين أدرك إلي يابلنوفيتش E. Yablonovitch، الذي كان وقتئذ في بحوث اتصالات بِلْ في نيوجرسي) أن عُرف أنّ مصطلح فيزياء الحالة الصلبة يمكن تطبيقهُ على هذه الظواهر. وبدأ الفيزيائيون في استكشاف البلّورات الفوتونية متسلحين بهذا الصندوق الجديد من المعدات.

من الدُّمى الفكرية إلى النبائط العالية الأداء

تقدَّم البحث في البلّورات الفوتونية في ثلاثة أطوار متميزة. فإدراكاً من الفيزيائيين لإمكانات هذه البنى في أوائل التسعينيات من القرن الماضي عمدوا إلى تطوير موديلات نظرية وتقنيات تجريبية لدراستها. وفي الطور التالي، الذي بدأ عام 1996، تحقق العديد من هذه الخواص المتوقعة على نحو تجريبي. فمجموعتنا، على سبيل المثال، التي كانت في جامعة غلاسكو آنئذ، عرضت فرجات عصائب طاقة فوتونية ثنائية البعد 2D في أدلةٍ موجية waveguides من أنصاف النواقل، بالإضافة إلى تجاويف من بلّورات فوتونية. وبحلول عام 2001 كان ماسايا نوتومي M. Notomi والعاملون معه في مصنع ياباني للاتصالات عن بعد NTT قادرين على إرسال ضوءٍ بضياعات قليلة عبر أدلَّة موجية من بلّورات فوتونية. وفي أثناء ذلك، ومع تحسن الفهم النظري لهذه المواد، بدأ الفيزيائيون يطورون مفاهيم وأفكاراً لنبائط متقدمة مثل المواد ذوات قرائن الانكسار السالبة.

والآن نحن ندخل الطور الثالث من أبحاث البلّورات الفوتونية، الذي يبزغ فيه العديد من نبائط البلّورات الفوتونية. إن دعائم هذه التطويرات تتواصل في تحسينات في التقانة. فعلى سبيل المثال، كي نتعامل بنجاح مع النسب العالية جداً لقرائن الانكسار اللازمة لصنع بلّورات فوتونية معينة، نحتاج إلى دفع كفاءات التصنيع إلى الحدّ الأقصى. وإنَّ أي انحراف عن الشبيكة lattice البلّورية النظامية سيخلق مراكز تبعثر تؤدي إلى ضياعات، كما أن أيَّ خشونة على سطوح الطبقات ستحط من قدر أداء النبيطة. ومن هذه الناحية، فإن البلّورات الفوتونية دخلت بالفعل عالم التقانة النانوية.

في العام 2005، على سبيل المثال، نجح نوتومي والعاملون معه لدى NTT وكذلك يوريي فلاسوف Y. Vlasov والعاملون معه لدى IBM بالولايات المتحدة، في تحقيق ضياعات تقارب 5dB لكل سنتمتر في دليل موجي من بلّورة فوتونية مستخدمين أحدث ما توصلت إليه تقانة الإلكترونيات المكروية لثقب صفيف من الثقوب ذات مقاسات نانوية في شريحة من السليكون. وقد عنى ذلك أن حوالي نصف الضوء فقط كان يضيع بعد اجتيازه 20000 ثقب، وهذا إنجاز متميز. (تخيل أنك تجري بالسيارة فوق 20000 مطب سرعة من غير أن تصاب بالدّوار!).

تمَّ الحصول على هذه النتائج المثيرة للإعجاب في بلّورة فوتونية لها دليل موجي شكله الهندسي هو "W1"، يتألف من خط وحيد من الثقوب المفقودة لدى شبيكة بلّورية تامة غيرها (الشكل 1). إن حفْر كل هذه الثقوب من أجل هدف وحيد لا يتعدّى نقل الضوء من مكان إلى آخر قد يبدو أمراً مبالغاً فيه، لكن البنية W1 لها أيضاً وظائف أخرى عديدة. ولكي نفهم هذه الوظائف نحتاج النظر في خواص البلّورة الفوتونية بتفصيل أكثر، وبخاصة في بنيتها العُصابية band structure.

التبدّد والضوء البطيء

البنية العُصابية للدليل الموجي W1 لها ثلاث مناطق مثيرة للاهتمام هي: النظام الموجَّه بقرينة الانكسار index-guided regime، وفيه

لمحة خاطفة: البلّورات الفوتونية

- البلّورات الفوتونية بُنى دورية تحتوي على سمات مماثلة في الحجم للطول الموجي للضوء.
- يمكن للبنى أن تمتلك "فرجة عُصابة" فوتونية يحظَّر على الضوء الوجود فيها، تماماً مثلما تصدّ الفرجات العُصابية في أنصاف النواقل تدفق الإلكترونات.
- إن شكل حزمة الضوء وسرعتها خارج فرجة العُصابة يمكن أن تكون مختلفة جداً عن الحزمة الأصلية. وهذا يمكّن من التحكم الشديد بالضوء، كتوجيهه بصورة كافية، وإعطاء النبضة الضوئية شكلاً محدداً وحتى تبطيئه.
- تستخدم البلّورات الفوتونية اليوم لصنع مبدّلات ضوئية وتجاويف عالية الجودة، وقد يأتي اليوم الذي نرى فيه دارات ضوئية بالكامل باستخدام فوتونات مفردة.

يُوجَّه الضوء بضياعات قليلة، والنظام المبَدِّد dispersive، وفيه يسري الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة بسرعات مختلفة، والنظام ذو الضوء البطيء slow-light، وفيه يسري الضوء بسرعة أبطأ بكثير من سرعة انتقاله في الخلاء (الشكل 2). إن كل ما ينبغي عمله لتحقيق هذه الأنظمة المختلفة، هو تغيير الطول الموجي للضوء، أو صنع بلّورات فوتونية بأدوار periods مختلفة، بالنسبة لضوء ذي طول موجي ثابت.

في النظام الموجَّه بقرينة الانكسار، حيث تعمل الأدلة الموجية ذات الضياعات القليلة والمصنوعة من بلّورات فوتونية طورتها مجموعات بحوث من NTT و IBM، تسلك البلّورة سلوكاً مماثلاً لسلوك دليل موجي تقليدي. وبعبارة أخرى نقول: يوجَّه الضوء عبر منطقة من المادة تكون فيها قرينة الانكسار أكبر، على شاكلة الحال في ليف ضوئي.

في النظام المبدِّد، تتغير خواص دليل البلّورة الفوتونية الموجي تغيراً سريعاً حسب الطول الموجي، الأمر الذي يمكن أن يستخدم للتحكم بشكل النبضة الضوئية. ولما كان لهذه النبضة مركبات ذوات تواترات مختلفة عديدة، لذا يمكن ضغطها أو توسيعها بإمرارها عبر دليل موجي مبدِّد. ففي العام 2004، على سبيل المثال، استخدمت مجموعتنا التي كانت في جامعة أندروز دليلاً موجياً قنوّياً معدَّلاً تعديلاً طفيفاً لغرض ضغط عرض النبضة من 2 بيكوثانية إلى 1 بيكو ثانية (الشكل 3). إن هذا النمط من التحكم ضروري لصالح "دارات ضوئية" مستقبلية تعالج الضوء بدلاً من الإلكترونات، لأن معدلات المعطيات العالية تتطلّب نبضات أقصر كي تنقل هذه المعطيات. ورغم أن التحكم بالنبضات يصبح أكثر صعوبة عندما تصبح أقصر طولاً، فإن البلّورات الفوتونية تسمح لنا بالإبقاء على شكل النبضات أو بتصحيح التشوهات التي يمكن أن تكون قد حدثت في أجزاء أخرى من الدارة.

أما النظام الثالث (نظام الضوء البطيء) فهو نظام مثير جداً بالنسبة لنبائط البلّورات الفوتونية. وهنا، يتداخل الضوء الذي ينتشر في الاتجاه الأمامي مع الضوء المنعكس إلى الخلف، فيجعله ينتقل ببطء شديد. إن ما يجري هو كما لو أن الضوء ينجز ثلاث خطوات إلى الأمام وخطوتين إلى الوراء. وعلى عكس النظام المبدِّد، الذي يستهدف جعل أجزاء مختلفة من نبضة ضوئية تسري بسرعات مختلفة، فإنه يمكن جعل كل أجزاء النبضة الآن تسري ببطء على قدم المساواة. وهذا يمكن أن يتيح لنا استخدام البلّورات الفوتونية كذاكرات ضوئية optical memories تستطيع خزن الضوء لمدة محددة من الزمن قبل إطلاقها إلى ليف ضوئي، على سبيل المثال. وعلى هذا فإنه يمكن لمصدٍّ كهذا أن يستخدم لصنع "صناديق وصلات junction boxes" ضوئية بالكامل لصالح الإنترنت، فنتجنب بذلك الحاجة إلى التحويل المكثّف في الزمن والقدرة بين الإشارات الضوئية والكهربائية.

لقد شوهد الضوء البطيء الآن في أنواع مختلفة من البلّورات الفوتونية. وفي العام الماضي، تمّ تعاون بين كوبُس كويبرز K. Kuipers والعاملين معه في جامعة توينت بالإضافة إلى Stichting FOM في هولندا وبين مجموعتي في سانت أندروز، إذ استعملنا مسباراً ضوئياً ماسحاً لتصوير ما يجري داخل دليل موجي من بلّورة فوتونية في نظام الضوء البطيء. يتألف المسبار من ليف صغير جداً تمّ مسحه عن قرب عبر الدليل الموجي وبذلك يسمح لنا بملاحظة الضوء وهو ينتشر في الداخل بتفصيل شديد (الشكل 4).

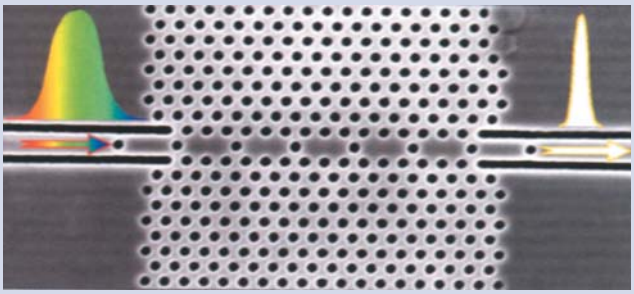
في أواخر العام الماضي، قدَّم فلاسوف والعاملون معه في IBM مثالاً جميلاً آخر عن فوائد الضوء البطيء باستخدام أدلة موجية من بلورات فوتونية بنيت في شيبة من السليكون. ولما كان الضوء البطيء يستغرق وقتاً أكبر ليتآثر مع الوسط الذي ينتقل فيه، فهو يستجيب أيضاً بحساسية أكبر للتغيرات الصغيرة في قرينة انكسار الوسط، على سبيل المثال. ولقد عرض فلاسوف وزملاؤه هذا في معدّل ضوئي optical modulator تطلّب، حين اشتغل في نظام الضوء البطيء، قدرة أقل بكثير من القدرة التي لزمت عندما اشتغل في النظام الموجَّه بقرينة الانكسار. وفوق ذلك، وعلى النقيض من معظم الطرق الأخرى لإبطاء الضوء، فإن استخدام البلّورات الفوتونية يمكن أن يحقق عوامل إبطاء كبيرة عند أطوال موجية مختلفة عديدة. ويُعدُّ هذا أمراً أساسياً إذا أريد لمثل هذه النبائط أن تتعامل مع كميات كبيرة من المعلومات في مرورية الإنترنت Internet traffic.

تجاويف عالية الجودة

للضوء البطيء مضامين كبرى بالنسبة للتجاويف الضوئية، التي تأسر الضوء في حيّز صغير لفترات مديدة من الزمن والتي تستخدم عادة في تضخيم الضوء في الليزر. إن السبب في ذلك واضح حيث إن الضوء يسير ببطء أكبر، وبذلك يكون لدى الفوتونات وقت أطول للتآثر مع المادة. وبعد أن يدخل الضوء بنية ضوء بطيء، يستمر بسرعة أكثر بطئاً، فيتسبّب في زيادة القدرة الضوئية في الوسط.

وبضم نظام الضوء البطيء إلى المقدرة على صنع عواكس قريبة

3. النظام المبدِّد



يمكن استخدام النظام المبدِّد الذي يمارسه دليل موجي من بلّورة فوتونية من أجل ضغط نبضة ضوئية. هنا تدخل نبضة "مُزَقزَقة chirped" –تكون مركبات التواترات المختلفة فيها قد فُرِّقت(فُصلت) مسبقاً– إلى البنية من الطرف الأيسر. إن تبديد الدليل الموجي يعوض هذا الفصل الطيفي ويعيد ضغط النبضة، وهو مفعول تعزّزه إضافة ثقوب متباعدة بانتظام في مركز البلّورة.

4. الضوء البطيء

في العام 2005 استخدم باحثون مسباراً ضوئياً لمشاهدة الضوء البطيء مباشرة وهو ينتشر عبر دليل موجي من بلورة فوتونية (أشير إلى حدود البلورة الفوتونية بالخطين الأبيضين الشاقوليين). تدخل نبضة ضوئية ضيقة، من اليسار، فتثير طرازين: طرازاً سريعاً وآخر بطيئاً. يخرج الطراز السريع من الدليل الموجي من اليمين، في حين يكاد يكون الطراز البطيء قد تحرك بصعوبة من نقطة الدخول. تكون سرعة الطراز البطيء أدنى بما يقارب 1000 مرة من سرعة الضوء في الخلاء، وهي خاصية يمكن استغلالها لبناء نبائط مثل خطوط تأخير ضوئي وذاكرات.

من الكمال، تمكننا البلّورات الفوتونية من بناء تجاويف بمواصفات جودة غير مسبوقة. ولكي نبني مثل هذه التجاويف نحتاج أولاً أن نكون قادرين على حصر الضوء في الأبعاد الثلاثة جميعاً. إن البلّورات الفوتونية التي دُرست حتى الآن كانت بلّورات ثنائية البعد فقط، وهذا يعني أن الضوء يستطيع أن يسري إلى حيث يشاء في البعد الثالث.

يوجد قيد أساسي يحدّ من حرية الانتشار هذه وهو الانعكاس الداخلي الكلي. فعندما يسري الضوء من مادة ذات قرينة انكسار عالية إلى أخرى ذات قرينة منخفضة، توجد زاوية حرجة، ينعكس فيما وراءها الضوء بشكل كامل: $\sin(\alpha_{cr}) = \frac{n_1}{n_2}$، حيث n_1 و n_2 هما قرينتا انكسار الوسطين، الوسط ذو القرينة المنخفضة والوسط ذو القرينة العالية على التوالي. فمن أجل حالة غشاء من السليكون محاط بالهواء، تكون هذه الزاوية مساوية 17°. والضوء الذي ينتشر ضمن هذه الزاوية بالنسبة للسطح هو وحده الذي يستطيع الهروب، في حين سيتم أسر الضوء داخل المادة إذا ورد عليها بزوايا أكثر ارتجالاً.

في العام 2003، استخدم سوسومو نودا S. Noda وزملاؤه الذين يعملون في جامعة كيوتو هذه الخاصية لحصر confine الضوء في الأبعاد الثلاثة. صمَّم هؤلاء الباحثون جوفاً من السليكون منع الضوء من الانتشار ضمن "مخروط الهروب escape cone" ذي الزاوية 17°. وقد عرضوا وأثبتوا هذا لأول مرة باستخدام عيب خطي طوله ثلاثة ثقوب، ثم بضمّ دليلين موجيين معاً مصنوعين من بلّورتين فوتونيتين مختلفتين قليلاً. فكان "عاملا Q factor "Q لهذين التجويفين، في دورة واحدة، يساويا 45000 و60000 على التوالي. مع العلم بأن عامل Q يُعرَّف بكونه نسبة الطاقة الكلية المختزنة إلى الطاقة الضائعة في كل دورة. وهذا يعني أن أحسن التجاويف تستطيع اختزان الضوء لحوالي مليون دورة ضوئية بغض النظر عن كون التجويف هو بحجم الطول الموجي الضوئي.

استثمر نوتومي وزملاؤه من NTT كثافة الطاقة الهائلة التي يمكن تعبئتها في مثل هذه التجاويف البلّورية الفوتونية وذلك لصالح بناء مفتاح switch ضوئي بالكامل. وحالما ينشأ الضوء داخل التجويف يقوم بتوليد إلكترونات من خلال عملية لاخطية تُدعى امتصاص فوتونين two-photon absorption. هذه العملية "تنزع توليفة detunes" التجويف، وبذلك تمنع الضوء من اختراقه والنفوذ منه. ولذلك فإن التجويف الذي ينقل الضوء عند قدرة منخفضة قد يصده عند قدرة عالية، والعكس بالعكس، الأمر الذي يجعله مكوناً مهماً يمكننا بواسطته أداء المنطق الضوئي الكامل. إن عملية التبديل switching هذه معروفة جيداً، ولكنها كانت في السابق تتطلّب ليزرات قوية وضخمة كي تكون جديرة بالملاحظة. وبفضل التجاويف البلّورية الفوتونية، يمكن الآن تحقيق المفعول ذاته باستخدام سويات من القدرة تتأتى من مشيرات ليزرية laser pointers متاحة على الشوارع الرئيسية للمدن.

إنني أتذكر ما قاله لي في أواخر تسعينيات القرن الماضي كلود وايزبوش C. Weisbuch من مدرسة البوليتكنيك في باليزو بفرنسا، وهو يلفت الانتباه إلى الإمكانات الهائلة للتجاويف البلّورية الفوتونية. كنا في ذلك الوقت قد عرضنا للتو تجاويفاً ذات عوامل Q تقارب 1000، ولم أكن وقتها أدرك تماماً ما هو الشيء الذي استثاره. وأنا أفعل الآن ما يفعله العديد من الناس!

إن ما يجري في الطراز البطيء هو كما لو أن الضوء ينجز ثلاث خطوات إلى الأمام وخطوتين إلى الوراء.

التحكم الكمومي

تبدأ الأشياء تأخذ أهمية حقيقية حين نقوم بإدخال منبع ضوئي زهيد داخل تجويف بلّوري فوتوني. يمكن لهذا المنبع أن يكون نقطة كمومية، بمعنى أن يكون شذرة دقيقة من نصف ناقل مطمورة في شبيكة مادة أخرى مما يجعلها تسلك كمصدر ذرّي atomic emitter. وتكون النتيجة أننا حصلنا على أصغر الليزرات الممكنة. وبالإضافة إلى ذلك، إذا كانت النقطة تصدر ضوءاً عند طول موجي هو الطول الموجي التجاوبي نفسه للتجويف، فيمكن للاثنين أن يتآثرا ويتبادلا الطاقة. وكان قد شَرَح هذا المفعول، الذي يُدعى الاقتران القوي، الباحث أكسل شيرير A. Scherer والعاملون معه في معهد كاليفورنيا للتقانة في العام 2004، وذلك في حديثه عن التجويف المكروي من البلّورات الفوتونية.

يستطيع الاقتران القوي أن "يعقّد entangle" الحالات الكمومية للنقطة والتجويف، وهو أمر مفيد لمعالجة المعلومات الكمومية. ويمكن للمرء أن يفكر بهذه العملية على أنها من منطق الفوتون الواحد single-photon logic، بمعنى أن التجويف حين يكون منشغلاً بتبادل

الطاقة مع النقطة الكمومية، فإنه لن يقبل فوتوناً آخر. وبناءً على ذلك تكون استجابته مختلفة بصورة رئيسية اعتماداً على ما إذا كان يوجد فوتون واحد أم لا. ويمكن فهم ذلك بتمثيل الحالة المنطقية "1" حينما يكون التجويف مشغولاً مع فوتون واحد قادر على تغيير حالة المنظومة، أو الحالة "0" عندما لا يكون منشغلاً مع مثل هذا الفوتون.

إن الوصول إلى اقتران قوي يعتمد على ما إذا كان الطولان الموجيان للنقطة الكمومية والتجويف يتجاوبان معاً. إن معظم الباحثين يصنعون بسهولة تجاويف كثيرة كي يحصلوا على واحد منها يلائم الطلب، ويشكل هذا هدراً للوقت وبعداً عن المعالجة المثلى. وعلى كل حال، طرح أنتونيو بادولاتو A. Badolato وزملاؤه من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا، في العام 2005، عدة طرق تسمح بتحكم أفضل في البارامترات ذات الصلة.

عندما لفت بعضهم انتباهي إلى إمكانات تجاويف البلّورات الفوتونية في أواخر تسعينيات القرن الماضي، لم أكن أدرك وقتها ما الذي كان يجعلهم مثارين –اليوم أدرك ذلك.

فعلى سبيل المثال، استطاع الباحثون عبر تقنية تنميش etching، سمحت لهم بتصغير حجم تجويف البلّورات الفوتونية بخطوات قابلة للتحكم، أن يولّفوا التجويف بدقة تنسجم مع النقطة الكمومية وأن يتأكدوا بأن الاثنين يعملان عند الطول الموجي ذاته. وبالإضافة إلى ذلك، طوّروا تقانة ليتحكموا بدقة بموضع النقطة الكمومية ضمن التجويف، وبذلك يضمنون تراكباً أعظمياً مع طراز التجويف. إن هذا المستوى من التحكم أساسي إذا كان علينا أن ننقل هذه الظواهر الكمومية الساحرة من المختبر إلى عالم الواقع.

إلى أي مدى يمكن أن نذهب

أدّى فهم خواص البلّورات الفوتونية وتطبيقها على النبائط الحقيقية إلى تقدم علمي ملحوظ. وعند حوالي نهاية القرن الماضي تعلمنا كيف نعبئ الضوء في ألياف ثم نوجهه هنا وهناك في دارات أمواج ضوئية. والآن بدأنا نفهم كيف نبطئ الضوء وكيف نجعله يتأثر. إن هذا يفتح ثروة من الفرص الجديدة مثل معالجة المعطيات معالجة ضوئية بالكامل عند قدرة منخفضة جداً.

يمكن للبلّورات الفوتونية أيضاً أن تكون مفتاح بناء بدّالات ذات قدرة منخفضة low power switches لاستخدامها في دارات فوتونية. ولقد غدا تحويل القدرة الآن معضلة حقيقية تواجه مصمّمي الشيبات الإلكترونية electronic chip، نظراً لأنها تسبِّب فرط تسخين وتحدّ من سرعة المكونات. وهذا يرجع إلى كون الإلكترونات مشحونة وبذلك يتأثر الواحد منها مع الآخر؛ بمعنى أنك إذا حرّكت إلكتروناً، فكل الإلكترونات المجاورة له تتحرك معه. وهكذا فحتى لو كنت تستطيع أن تشغِّل مبدِّلة بإلكترون واحد، وهي عملية ذات طاقة منخفضة جداً من حيث المبدأ، فإنك ستبدِّد قدراً كبيراً من الجهد باتجاه جوار الإلكترون. أما الفوتونات، فهي ،على نقيض ذلك، لا تتأثر كثيراً، وعليه فإن إنجاز عملية تحويل بفوتون واحد لا يتطلّب سوى الطاقة اللازمة بالضبط للقيام بذلك، ليس إلاّ.

وقبل أن يتحوّل هذا الحلم إلى حقيقة، فإننا، على كل حال، نحتاج إلى تعلّم كيف نتدبَّر جريان الفوتونات بفعالية أكبر، بالإضافة إلى الحصول عليها بكفاية داخل وخارج هذه البنى ذات الحصر الشديد، كي لا تضل الطريق. نحن بحاجة إلى أن ندمج "مواد كسب gain materials" كي نعوِّض الفقد ونؤمن التضخيم، ونحن بحاجة إلى تطوير تصاميم تتمتع بمزيد من المرونة والتسامح فيما لو تمكنا في المستقبل من تصنيع مكونات من البلّورات الفوتونية على نطاق واسع.

إن الوعد الذي قطعته البلّورات الفوتونية قد وفت به بكل وضوح، بيد أنه يبقى الكثير مما ينبغي عمله إلى حين استيفاء ما يلزم من معرفة حول هذه البقعة البيضاء في العلم.

يعمل توماس كروس في مدرسة الفيزياء والفلك، جامعة سنت أندريوس، المملكة المتحدة، وعمل في مجال البلّورات الفوتونية خلال الاثنتي عشرة سنة الأخيرة.

* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, February 2006

ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية .

الضوء البطيء

يجعل الاتصالات أسرع

ملخص

قام فريقان من الباحثين بإعداد ترتيبات لتخفيض سرعة الضوء تخفيضاً ذا شأن في ليف ضوئي، الأمر الذي قد يفتح الباب أمام جميع المسيِّرات الضوئية من أجل الاتصالات عن بعد.

الكلمات المفتاحية : مسيِّرات ضوئية، مفعول الضوء البطيء، تبعثر بريلوان المحثوث، تضيق كهربائي.

في السنوات العشر الأخيرة، شهدت التقانة، التي باستطاعتها أن ترمِّز المعلومات التي تحملها نبضات الضوء ثم ترسلها حول الكرة الأرضية من خلال ألياف زجاجية متناهية الدقة، ثورة وتغيراً أساسياً في الطريقة التي تجري فيها اتصالاتنا. فباستخدام نبضات تنتقل بسرعات تصل إلى $200000\ kms^{-1}$، ولا تعاني إلا توهيناً قليلاً جداً، يستطيع من هو في نيويورك أن يجري مكالمة هاتفية مع شخص آخر في بانغالور في الوقت الحقيقي تقريباً، على الرغم من كونهما على بعد 13300 km من بعضهما. إن هذا مثال رائع على تقانة تُقرّب الناس بعضهم من البعض الآخر أكثر فأكثر وتؤدي إلى اقتصاد عالمي حقاً.

تعاني شبكات وتجهيزات الاتصالات عن بعد الراهنة من مشاكل قليلة في بث آلاف المكالمات الهاتفية بصورة متزامنة مع تأخيرات زمنية صغيرة جداً لأن المحادثات الهاتفية تحتوي في الواقع على معلومات قليلة نسبياً. وعلى كل حال، إذا حاولتَ أن ترفع كمية المعلومات التي تريد أن ترسلها، مثل إرسال إشارات فيديو (إشارات تلفزيونية) عالية الدقة والوضوح، فإن المنظومة تبطئ في الحال.

يعمل المهندسون الضوئيون في كل أنحاء المعمورة بجدّ ونشاط ليلبوا الطلب المتنامي دائماً للوصول إلى شبكات معلومات ذات سرعة أعلى، كما أن أحدث المنظومات مما هو قيد التطوير تعمل عند سرعات قريبة من 160 GB في الثانية –التي هي أسرع بأكثر من 100 مرة من الخدمات العريضة العصابة الأكثر سرعة المتوفرة حالياً، وهي بعيدة كل البعد عن الاتصالات ذات السرعة 56 kB في الثانية عن طريق الهاتف التي كانت تستخدم في السنوات الأولى للإنترنت. ومن الأمور المحيِّرة، أن يتراءى لنا أن أفضل طريقة لتحقيق تحديات السرعة العالية هي جعل الضوء ينتقل أبطأ لا أسرع.

مسيِّرات ضوئية

إن العمود الفقري لمنظومة الاتصالات العالمية هو الشبكة العنكبوتية للألياف الضوئية التي تغطي كل أرجاء الكوكب. وعلى كل حال، فعلى القدر نفسه من الأهمية نبائط تدعى مسيِّرات routers، تحوّل نبضات الضوء من ليف لآخر بحيث تنتهي كلها عند المآل الصحيح. وفي الوقت الراهن، يجب على المسيّرات أن تقلب النبضات

الشكل 1:
تستطيع الألياف الضوئية أن تحسِّن شبكات الاتصالات بتخفيض سرعة نبضات الليزر.

الضوئية إلى نبضات كهربائية، وتنجز عمليات التحويل، ثم تقلب بعد ذلك الإشارة الكهربائية إلى نبضة ضوئية. بَيْدَ أن هذه العملية يمكن أن تشكل اختناقات، ويُعتقد أن المسيّرات الضوئية كلياً هي الطريقة الأفضل لتحقيق أعلى معدلات لنقل البيانات.

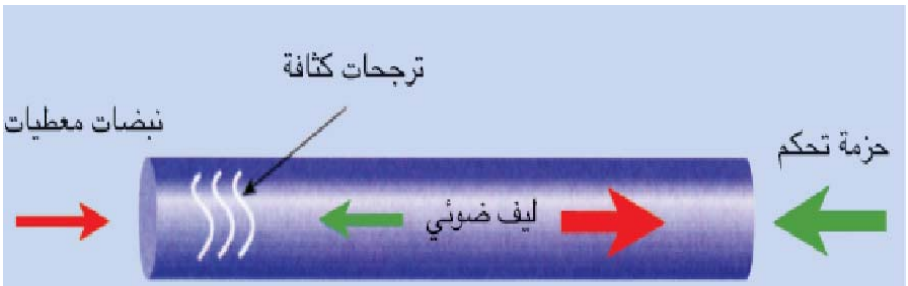
إن إحدى الصعوبات الرئيسية في تصميم مسيِّر ضوئي كلياً هي إيجاد طريقة لتخزين store أو "صدّ buffer " رزم المعلومات بصورة مؤقتة –وهو عمل يتم إنجازه حالياً بصورة كهربائية باستخدام جذاذات ذاكرة memory chips عالية السرعة. والرزم هي الوحدات الأساسية للمعطيات بالنسبة للاتصالات التي تعتمد على بروتوكول الإنترنيت (IP)، وتحوي كل رزمة ما بين 10 و 10000 نبضة ضوء مستقلة. وعلى كل حال، تستطيع المسيِّرات أن تعالج رزمة واحدة فقط في آن واحد، ولذلك تحتاج المعلومات إلى أن تُصَدَّ أحياناً لمنع الرزم الآتية من المحادثات المختلفة من الاختلاط بعضها بالبعض الآخر. وسيكون باستطاعة الصاد المثالي ضبط توقيت الرزم المستقلة للوصول إلى تدفق أمثل للمعلومات عبر المسيّر.

من الطرق الممكنة لصدّ إشارة ضوئية بصورة مباشرة أن نخفف من سرعة الضوء ذاته. ففي عام 1992 بيَّن ستيف هاريس S. Harris والعاملون معه في جامعة ستانفورد أنه يمكن الحصول على "ضوء بطيء slow light" برجم غاز من ذرات باردة بالليزر. إن ليزر "الضخ" هذا يغير البنية الإلكترونية للذرات ويجعل قرينة انكسار الغاز، بالنسبة إلى ليزر "سبر" أضعف، تتغير بسرعة بدلالة تواتر الضوء. وهذا بدوره يخفض سرعة المجموعة لليزر السبر –أي السرعة التي تتحرك بها ذروة نبضة الليزر. وفي الحقيقة، يمكن استخدام طريقة مماثلة لجعل سرعة المجموعة أسرع من سرعة الضوء في الخلاء، والتي هي أيضاً مفيدة عند صنع صادّ ضوئي، بل بإمكانها أن تجلب الضوء إلى حالة الجمود والتوقف التام. (انظر "عالم الذرّة" العدد 97 صفحة 28–32). وقد تقدمت التقنيات لصنع الضوء البطيء تقدماً سريعاً في التسعينيات، وتمكن لين هاو والعاملون معه في جامعة هارفارد وفي ستانفورد بحلول عام 1998 من إنقاص سرعة المجموعة لنبضة ضوء إلى نحو 17 م/ثا وهي سرعة تقارب سرعة سباق الدراجات. ولسوء الحظ فإن المفعول لا يعمل إلا عندما يكون الفرق بين تواتر "الموجة الحاملة carrier" لليزر الضخ وليزر السبر يلائم بالضبط تجاوباً ذرياً ومن أجل نبضات ذات دور يصل إلى عدة مكروثانية، ويقتصر استخدامها على معدلات للمعطيات منخفضة جداً.

من المفارقات أنه يبدو أن أفضل طريقة لتحقيق تحديات السرعة العالية هي جعل الضوء يسير أبطأ لا أسرع.

تبطيء الضوء باستخدام أجهزة متداولة

لقد أثبتت مجموعتان الآن بصورة منفصلة أنه يمكن تبطيء الضوء بأسلوب يمكن التحكم فيه عن طريق استغلال عملية تدعى تبعثر بريلوان المحثوث stimulated Brillouin scattering في ألياف ضوئية معيارية. وقد قام ميغيل غونزاليز–هيرائيز M.Gonza'lez-Herra'ez، الذي يعمل حالياً في مجموعة لَك ثيفيناز The'venaz Luc لدى مدرسة البوليتكنيك الفدرالية في لوزان بسويسرا، والعاملون معه بإجراء كي يبطّئوا سرعة المجموعة للضوء إلى الثلث مستخدمين تجهيزات متاحة في شروط طبيعية (انظر Appl. Phys. Lett. 87 081113). وفي غضون ذلك، استعمل يوشيتومو أوكاواشي Y. Okawachi و ألكسندر غاتا A. Gaeta وزملاؤه في جامعة كورنيل، مع العاملين معه في جامعة روشستَر وجامعة ديوك، بمن فيهم كاتب هذا المقال، التقنية ذاتها ليؤخروا نبضات يصل عرضها إلى 15 ns (انظر Phys. Rev. Lett. 94 153902).



الشكل 2:

في تبعثر بريلوان المحثوث تدخل نبضات المعطيات الليف الضوئي من اليسار (أحمر) وتدخل حزمة تحكم أو "ضخ" من اليمين (أخضر). تخلق الحزمتان ترجحات في الكثافة أو أمواجاً صوتية في الليف بواسطة عملية تدعى التضيق الكهربائي، الذي يجعل بعض الضوء من حزمة التحكم يتبعثر في اتجاه نبضات المعطيات. يعمل التداخل البنّاء بين الضوء المتبعثر والضوء الوارد على تضخيم النبضات، التي تؤدي بدورها إلى تغير سريع في قرينة انكسار الليف ومن ثم إلى سرعة مجموعة أبطأ.

تدخل نبضات المعطيات في تبعثر بريلوان المحثوث (SBS) الليف الضوئي من أحد الطرفين بينما تدخل حزمة تحكّم من الطرف المقابل (انظر الشكل أعلاه). إذا كان تواتر الحامل لنبضات المعطيات أقل قليلاً من تواتر حزمة التحكم، فإن قرينة انكسار الليف تتغير بسرعة ويمكن تضخيمُ النبضات أو تأخيرُها أو الاثنان معاً، وذلك تبعاً للشروط التجريبية.

تتغير قرينة الانكسار بسبب عملية تدعى التضيّق الكهربائي electrostriction (وهو ميل المواد إلى الانضغاط بوجود حقل كهربائي) التي تولد ترجحات في الكثافة أو أمواجاً صوتية في الليف. وعندما يصبح فرق التواتر بين نبضات المعطيات وحزمة التحكم مساوياً لقيمة معينة تدعى انزياح تواتر بريلوان الذي يبلغ حوالي 11 GHz. في الألياف الضوئية العادية، تتداخل الحزمتان لتشكلا موجات صوتية بهذا التواتر. وعندما تتبعثر حزمة التحكم على هذه الأمواج الصوتية، ينخفض تواترها تبعاً لذلك ويصبح مساوياً لتواتر حامل نبضات المعطيات. وفي النتيجة، يُضاف الضوء المبعثَر بصورة بناءة إلى نبضات المعطيات ويضخمها.

إن عملية التبعثر هذه لاتحدث إلا في مجال ضيق من التواترات، وهذا يعني أن حزمة التحكم تخلق منطقة تجاوبية تكون فيها استجابة الليف للضوء أعظمية. يبلغ عرض هذا التجاوب نحو 30 MHz. تقريباً في ليف ضوئي عادي يستخدم للاتصالات. وعلى كل حال، فإن الفائدة الكبيرة لهذه الطريقة هي أن التواتر المركزي للتجاوب المسؤول عن مفعول الضوء البطيء يمكن تغييره ببساطة بتغيير تواتر حزمة التحكم. ولتحقيق مثل هذه المرونة في غاز ذري ينبغي البحث لإيجاد ذرة أو جزيء له تجاوب عند الطول الموجي المطلوب تماماً، الأمر الذي يعد مستحيلاً من الناحية العملية.

لقد بيَّن كل من الفريقين أن مفعول تبطيء الضوء يسري على كل التواترات المستخدمة حالياً في الاتصالات من أجل نبضات يبلغ عرضها نحو 20 ns، على الرغم من أن أياً من الفريقين لم يرصد بعد سرعات المجموعة البطيئة جداً التي رُصدت في الغازات الذرية. لكن الذي يهمنا، لحسن الحظ، ليس هو مقدار سرعة المجموعة: الأهم من ذلك هو أن نكون قادرين على التحكم بطول المدة الزمنية التي تُؤخر فيها النبضة بالنسبة إلى عرض النبضة.

ولقد لاحظ كل من الفريقين، في هذا السياق، تأخيرات أعظمية تبلغ نحو عرض نبضة واحدة (أي نحو 25 ns). إن مثل هذه التأخيرات النسبية الصغيرة لم تصبح بعد ذات فائدة من أجل صدّ رزمات ضخمة من المعطيات الضوئية، لكن قد توجد تطبيقات أخرى للاتصالات يمكن أن تستفيد مباشرة من هذه التطورات.

قد يكون من الممكن، على سبيل المثال، أن نستخدم ضوءاً بطيئاً في مسترجع معطيات ضوئي optical data regenerator –وهو نبيطة تستطيع أن تعيد تكوين سيل من نبضات معطيات ضوئية كانت قد شُوِّهت بعد انتشارها مسافة طويلة جداً في ليف ضوئي. من المهم أن نتأكد من أن سيل المعطيات منزاح مع الزمن بحيث يكون متزامناً

مع الساعة الرئيسية لمنظومة الاتصالات. ويتطلب إعادة التوقيت هذا عرض نبضة واحدة فقط من تأخير قابل للتحكم به، وهذا ما كان قد تم تحقيقه في هذه التجارب الأولية. يعمل كلا الفريقين الآن بجد لزيادة هذا التأخير حتى يمكن استخدامه في صاوّات ضوئية optical buffers، ستتطلب تأخيرات تبلغ نحو 1000 عرض نبضة كي تخزن رزمات المعطيات التي تعالجها المسيِّرات الحديثة.

عالم صغير

إن إحدى نقاط ضعف هذه الإنجازات التجريبية هي أن مفعول الضوء البطيء بتبعثر بريلوان المحثوث (SBS) لايسري مفعوله إلا من أجل نبضات عرضها 10 ns تقريباً ومن ثم لا يمكن تطبيقه إلا من أجل سرعات معطيات من رتبة 50 MB في الثانية. إلا أن مجموعة غاتا لدى كورنل عرضت مؤخراً تأخيراً بتبطيء الضوء slow-light delay من خلال عملية مماثلة تدعى تبعثر رامان المحثوث stimulated Raman scattering في ليف ضوئي (انظر Opt. Express 13 6092).

يتضمن تبعثر رامان المحثوث (SRS) تبعثر الضوء على موجة صوتية في مادة ذات تواتر أعلى كثيراً، ومن ثم ذات زمن تضاؤل أقصر كثيراً، من الأمواج الصوتية المسؤولة عن تبعثر بريلوان المحثوث (SBS). ويؤدي هذا إلى تجاوب ذي عرض كبير، ويمكِّن مفعول تبطيء الضوء من العمل في مجالات عرض عصابي أكثر اتساعاً. لقد بيّن غاتا والعاملون معه عرض نبضة تقريباً ذات تأخير قابل للتوليف بالنسبة لنبضات دون البيكو ثانية (10^{-12} s)، ممهداً السبيل لشبكات بسرعات معطيات فوق عالية تعمل في مجال الترّابت في الثانية (أي 10^{12} bit /s).

إن دور شبكات الاتصالات عن بُعد الضوئية سيتحسن بسرعة إذا تمكن الضوء البطيء من حل مشكلة الصدّ الضوئي. وبعدئذ يمكننا أن نبدأ نحلم بإمكانية تحقيق تبادل تلفزيوني (فيديو) عالي الوضوح في الوقت الحقيقي عبر الكرة الأرضية، بل ونستكمل حتى بيئات الواقع الافتراضي. يبدو أن العالم سيستمر فعلاً يشعر كما لو أنه يصبح أصغر فأصغر مع مرور الوقت.

المؤلف: دانيال غاذيار في قسم الفيزياء، جامعة دايوكدورهام، نورث كارولينا، الولايات المتحدة.

المسح المَرضي بحاجة إلى ثورة

مع انتشار إنفلونزا الطيور حول العالم بسرعة مخيفة، أخذ العلماء يرحبون باقتراح دولي لقيام مختبرات متطوِّرة لرصد الأمراض الطارئة في البلدان النامية. ولكنهم يضيفون بأن أزمة إنفلزنزا الطيور أظهرت قصوراً صارخاً يتطلب إعادة تفكير جذرية بالطب البيطري وبمنظومات رصد الأمراض في العالم.

تعتبر إنفلونزا الطيور مرضاً متوطناً endemic في الوقت الحالي عبر أجزاء كبيرة من آسيا، وتفجَّر في الأسابيع القليلة الماضية عبر أوربا وفي إفريقيا. ويقول بيل دافنهال B. Davenhall الذي يرسم خطط التخطيط الصحي لبلدان عديدة ويرأس شركة منظومات المعلومات الجغرافية (ESRI) في ريدلاندس بكاليفورنيا: "لقد سلّط الفيروس H5N1 الضوء العالمي على رصد المرض، وأخذ يكشف جميع بثور هذا الرصد وثآليله".

تفتقر البلدان النامية بشكل خاص إلى رصد لائق للأمراض البشرية، وغالباً ما يكون رصد الأمراض الحيوانية معدوماً من الناحية الفعلية، مع شحٍّ في الموارد المخبرية والوبائية المتاحة. ويقول بيتر رويدر Roeder الذي يعمل مستشاراً ميدانياً لدى منظمة الزراعة والغذاء التابعة للأمم المتحدة (FAO): "لا يوجد على الأرض الأندونيسية برنامجاً منهجياً على الإطلاق، والموجود هو فوضى مضرّجة بالدماء".

> "لقد سلّط الفيروس H5N1 الضوء على المسح المرضي وأخذ يكشف جميع بثور هذا المسح وثآليله".

سجل تتبُّع ضعيف: توحي جهود فِرق رصد إنفلونزا الطيور بأن العالم يجب أن يوظف أموالاً في الوبائيّات.

خطر عالمي

إنها مشكلة لا يستطيع العالم النامي تجاهلها، لأنها تتعلق بمرض ينشأ في بانكوك أو جاكارتا ويمكن أن يسبِّب في نهاية المطاف كارثة عالمية. ولذلك اقترح الباحثون في وزارة الدفاع بالولايات المتحدة إقامة شبكة مختبرات عالية التقنية في البلدان النامية من أجل رصد حالات الأمراض المعدية. ويمكن أن تحتذي هذه المختبرات حذو شبكة مختبرات للأمراض المعدية في الولايات المتحدة مثل وحدة البحوث البحرية الأمريكية NAMRU-2 في جاكارتا، على أن يتم تمويلها من المجتمع الدولي تفادياً للارتياب من تدخل العسكرية الأمريكية في مسيرة هذه المختبرات.

يمكن لمثل هذه الشبكة أن تسرِّع وتحسِّن تشخيص فيروسات مثل (H5N1) حين تفشِّيها حسبما يقول رويدر. فهذا الأخير يشير إلى أن تشخيص الفيروس H5N1 الخاطئ الذي حدث لدى تفشّيه في نيجريا والهند على أنه مرض نيوكاسل قد أدّى إلى تأخُّر طويل في إجراءات المكافحة.

وكذلك يرحب مارك سافي M. Savey، وهو مختص بالوبائيات يرأس الصحة الحيوانية في وكالة السلامة الغذائية في فرنسا، بهذا الاقتراح، ولكنه يحذِّر من "سراب التقانة" mirage of technology في عملية الرصد ويقول: "لستم بحاجة إلى سواتل و PCR ومنظومات معلومات جغرافية لمحاربة التفشِّيات. فالأولوية المختبراتية العليا حسب جَدَله يجب أن تعطى إلى إنشاء فرق كبيرة من موظفين ذوي دراية بالمنطقة وممارساتها. ويتابع قائلاً: "فإذا لم توفروا ذلك، سيبقى الرصد عندئذٍ كما في العصور الوسطى".

يستذكر سافي رحلته إلى روسيا في الصيف الماضي كجزء من تحري فريق أوربي تفشِّي إنفلونزا الطيور، فيقول: "لديكم ورقة علمية يرسمها ميشلين Michelin، ولديكم أناس يجيدون اللغة؛ تضعون دوائر حمراء على التفشِّيات؛ وتستخدمون قلماً وورقة لمقارنتها بأمور مثل تواريخ افتتاح الأسواق وكيفية تواكب هذه التفشِّيات مع سفريات القطارات". إن مثل هذه المعرفة المحلية تعدُّ حاسمة لتأويل المعطيات حسبما يورد سافي قائلاً: "إذا كنت لا تعرف سكة حديد الإكسبرس

العابر لسيبريا وما يركبه من أناس مع ما يحملونه من دجاج وبيض يقايضونه عند كل توقف للقطار، فإنك لن تخمِّن أبداً أن هذا القطار العابر لسيبريا كان الناشر الرئيس لإنفلونزا الطيور عبر روسيا.

ويوافق رويدر على أن التركيز يجب أن يكون محلياً. فهو يقول: "لن تفيدك كمية ما يوضع من إرشادات دولية وما ينشر من خطط عمل عالمية عندما تكون لديك منظمة داخل البلد لا تعرف ما عليها أن تفعله".

عودة إلى الأساسيات

ولكن يشعر العديد بأنه إلى جانب إقامة المراكز المحلية تحتاج الوبائيات epidemiology إصلاحاً جذرياً. وحتى في البلدان المتقدمة فإن هذا الميدان افتقر إلى التمويل بشكل مزمن حسبما يقول أنطوان فلاهولت A. Flahault (مدير الشبكة الوطنية الفرنسية لرصد الأمراض). ويضيف هذا الأخير بأنه يغار من السواتل ذات الملايين من الدولارات التي يتمتع بها علماء المناخ وكذلك المسرِّعات القوية التي تبنى للفيزيائيين، إذ إن الوبائيين في موازاة ذلك "ما يزالون في أجواء القرن التاسع عشر" حسبما يقول.

ويشير فلاهولت إلى أن منظومته الوطنية الخاصة الراصدة للإنفلونزا تعتمد على بضع مئات من أطباء متطوعين يدخلون بيانات المرضى في قاعدة بيانات على شبكة الحاسوب. ومن هذه البيانات يحاول فريق فلاهولت أن يبني صورة للمرض عبر البلد محدِّداً تفشّيه ومتنبِّئاً بالفصل السنوي الذي سيحل فيه المرض.

إن برنامج الاثنتين والعشرين مدينة الذي تقوم به مراكز الولايات المتحدة لمراقبة المرض ومنعه يُعَدُّ البرنامج الوحيد في العالم الذي تسجل فيه تقارير المرض في وقتها الصحيح حسبما يشير فلاهولت. ومثل هذا النقص في البيانات يمنع ميدان الوبائيات من وضع نماذج معقدة للأمراض السارية. ويقول فلاهولت: "إن الأمر يبدو وكأننا نحاول دراسة الطقس في وقت لا نجمع فيه البيانات إلاّ حين توجد موجة حر أو عاصفة".

وكذلك يشكو وارد هاجمئير W. Hagemeijer مدير برنامج إنفلونزا الطيور في وتلاندس إنترناشونال في واجينجن Wageningen بهولندا من النقص العام في الموارد. وقد شارك، ولا يزال، في عدة بعثات حالية لكشف الفيروس (H5N1) في البلدان المصابة، ولكنه يقول إنه لم يستطيع الحصول على عيناته الإفريقية بشكل متسلسل sequenced لأن المختبرات المجازة انشغلت جداً بتحليل عينات من تفشّيات أوربية للمرض.

ضوء جوهري

ثمة مشكلة أخرى أساسية تتمثل في الافتقار إلى قيادة دولية قوية: فلا يوجد هيئة عالمية قادرة على تولّي مسؤولية إجمالية عن الأمراض الطارئة، وبخاصة تلك التي تنتقل من الحيوانات إلى البشر. ويمكن أن تكون منظمة الصحة العالمية خياراً بديهياً لذلك، ولكن بالرغم من كونها ذات اختصاص بالصحة العامة فإنها ليست مسؤولة عن رصد التفشّيات المرضية لدى الحيوانات، باعتبار أن ذلك منوط بمنظمة الفاو وبالمنظمة العالمية المسؤولة عن صحة الحيوان (OIE) ومقرها باريس...

لا ترصد أيٌّ واحدة من هاتين المنظمتين تقليدياً التفشّيات المرضية من وجهة نظر الصحة العامة. فالفاو تهتم بسلامة الغذاء بينما تختصّ (OIE) بقضايا حرَفيَّة. ويقول رويدر: "إن الخدمات البيطرية عبر العالم، وبخاصة في البلدان النامية، في غاية الضعف في هذا الصدد. فهي لم تنشأ للإحاطة بالحوادث المرضية الطارئة".

وإضافة إلى النقص في الخبرة، فإن منظَّمتي FAO وOIE لا تملكان أموالاً لرصد الأمراض، ويعترف رويدر قائلاً: "إننا بحاجة للتفاعل يومياً مع السلطات المحلية على الأرض ولكننا لا نملك الموارد لذلك".

> "لطالما افتقرت الوبائيات إلى التمويل الكافي بشكل مزمن... إننا ما نزال في أجواء القرن التاسع عشر في هذا الصدد".

ومع ذلك، فإن الموقف آخذٌ بالتحسُّن. فقد طالبت FAO وOIE بمبلغ 102.5 مليون دولار أمريكي لمحاربة الإنفلونزا في آسيا، ومع نهاية 2005 لم تمنح الدول سوى 25 مليوناً منها. ولكن المانحين تعهدوا في مؤتمر بكين الذي انعقد في يناير/كانون الثاني من العام الحالي بتقديم منح قيمتها مليار دولار إضافة إلى 900 مليون دولار على شكل قروض وذلك لدعم استراتيجية OIE/FAO الشاملة للمكافحة المتواصلة للإنفلونزا ذات الإمراضية العالية.

هذا ويأمل العديد بأن تفيد الموارد التي يجري ضخُّها لصالح إنفلونزا الطيور في رصد الأمراض الطارئة وذلك من خلال تقوية البنية التحتية عموماً. لكن الأموال المتاحة حتى الآن لا تزيد عن كونها بداية، في وقت يزداد فيه معدّل ظهور أمراض جديدة (مرض واحد في عام حالياً). وقد حلَّل مارك وولهاوس M. Woolhouse، وهو مختص بالوبائيات في جامعة أدنبرة في المملكة المتحدة، جميع العوامل المرضة pathogens البشرية المعروفة، ويرى أن الزيادة تعود بشكل رئيسي إلى تبدلات في استخدام الأرض وأسلوب حياة الناس، إذ إن أكثر من نصف الأمراض الطارئة البشرية التي درسها (وعددها 117 مرضاً) قد انتقل من الحيوانات إلى البشر.

وفي الختام، يقول رويدر: "يجب على العالم أن يفهم حقيقة أن ما يحدث الآن سيتكرر حدوثه مستقبلاً، وأننا لابد أن نطوِّر بنية عالمية تتصدى للأمراض الطارئة".

نُشر هذا الخبر في مجلة: *Nature*, 2 March 2006.

مرض الزايمر

تتكدس كتل بروتينية شاذّة في أدمغة المصابين بداء الزايمر. ولكن أي أنماط هذه الكتل هو الذي يُسبِّب بالفعل عيوب الذاكرة؟ قد يساعدنا سلوك فئران أنموذج model mice في اكتشاف ذلك النمط.

ثمة مصفوفة من الأمراض التنكُّسية العصبية يبدو أنها تنجم عن التكدُّسات الشاذة لبروتينات معينة. والعديد من هذه الأمراض هو في تعاظم ولا يستطاع معالجته بشكل فعّال، بما في ذلك ما هو أكثر الأمراض انتشاراً وهو مرض الزايمر [1]. وكي نفهم ونعالج هذه الحالات على نحو أفضل، نحتاج إلى تعلُّم المزيد عن بُنى وفعاليات التجمُّعات البروتينية المسببة لتلك الأمراض. وتشير كارين آشه K. Ashe وزملاؤها [2] إلى النجاح في عزل تجمُّع بروتينيٍّ نوعيٍّ من أدمغة فأرية قد يساعد في تفسير بعض من فقدان الذاكرة الملحوظ في داء الزايمر. فعلى نحو ملفت للنظر، طبَّق هؤلاء استقصاءً سلوكياً لانتقاء أكثر التجمُّعات صلة بهذا الداء من الناحية الوظيفية.

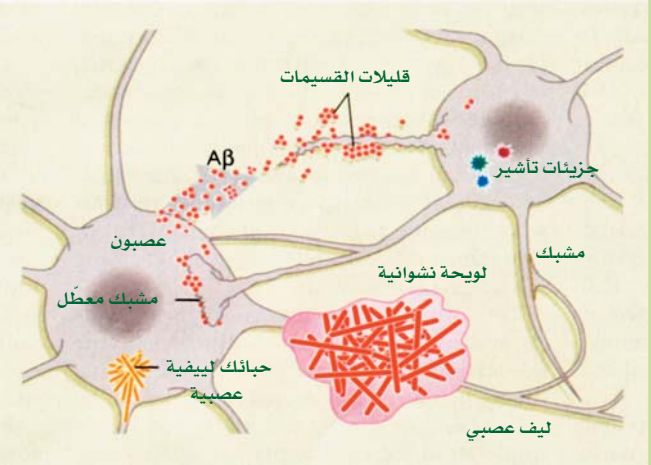
إن المكوِّن الرئيسي لهذا التجمُّع البروتيني يتمثَّل في الببتيد النشواني–بيتا amyloid-β peptide الذي يعتقد بأنه ذو دور مُسبِّب لداء الزايمر. ويأتي دعمُ قسريٌّ لفرضية الببتيد النشواني–بيتا هذه من دراسات تشير إلى أن معظم المسبِّبات الجينية genetic وعوامل الخطورة المتعلقة بداء الزايمر، وإن لم يكن كلّها، تزيد تراكم الببتيد النشواني–بيتا [3] (أو Aβ اختصاراً) في المخ، كما يأتي هذا الدعم أيضاً من تشكيلة منوعة من نماذج تجريبية يعطّل فيها Aβ الوظائف العصبية. [5,4] ولكنه ما يزال من غير المؤكّد كيف يمكن أن يفضي تراكم Aβ إلى التراجع الذهني (المعرفي) القاسي الذي يتميَّز به هذا المرض [6,4].

ثمة مصدر رئيس للالتباس يتمثَّل في ميل Aβ للوجود في تشكيلة منوّعة من المعقّدات التي يبدو أنها لا تتباين في عدد اللبنات البنائية الببتيدية وكذلك في بنيانها الإجمالي وفعاليتها البيولوجية (الشكل 1). ومع تزايد التعقيد تأخذ Aβ شكل قُسَيمات موجودة monomers (بمعنى وحدات يتألف كل منها من ببتيد واحد) أو قسيمات مثنوية dimers (بمعنى وحدات يتألف كل منها من ببتيدين اثنين متشابهين)، أو قسيمات مثلوثة (ذات وحدات تتألف من ثلاثة ببتيدات)، أو قسيمات قليلة الوحدات oligomers أو بُنى عابرة بالغة الصغر تعرف باسم لُيَيْفات بدئية protofibrils ثم لييفات مستقرة أكبر حجماً ثم خلائط من لييفات عالية التماسك ثم تكدُّسات صغيرة تدعى لويحات نشوانية amyloid plaques. ويزداد الأمر سوءاً حينما ترتبط هذه التجمعات المختلفة بتشكيلة منوّعة من بُنى أخرى داخل الوسط الدماغي الخلوي والجزيئي. ولذلك، فإننا لا نستغرب أن يكون قد مضى زمن لتحديد التجمع الأكثر صلة بالتراجع الذهني المعرفي بشكل وثيق.

وتأسيساً على دراستهم الخاصة وعلى أعمال رائدة لمجموعات بحثية أخرى واصل لِزنه Lesne [6,4] وفريقه السعي بالتفتيش عن تجميعة Aβ هذه في أنموذج فأري لمرض الزايمر. ومع أنه يستحيل بالطبع استعادة جميع جوانب هذا المرض البشري المعقد لدى فأر ما، فإن الفئران التي تمّ هندستها وراثياً genetically engineered لتفصيح express البروتين البشري الطليعي النشواني APP والببتيدات النشوانية Aβ المشتقة منه في عصبونات تلك الفئران تعطي عرضاً ذا معلومات رائعة لتبدلات شبيهة بداء الزايمر، بما في ذلك اللويحات النشوانية المخّية، وتشوُّهات الغصون العصبونية وأعطال في المشابك (التي تؤلف الملتقيات بين العصبونات)، وعيوب في التعلم والذاكرة [5].

وبدلاً من السير رجوعاً من أعراض المرحلة النهائية إلى الفيزيولوجيا التبديلية altered physiology، استخدم المؤلفان (موريس وموكه) ابتداء عيوب الذاكرة لدى الفئران APP الآنفة الذكر كدليل إرشادي في اكتشافهم تجمعات الـ Aβ التي هي الأكثر احتمالاً في إيذاء الوظيفة العصبونية. إذ إن أعطال الذاكرة المكانية (الحيِّزية spatial) لدى هذه الحيوانات قد حدثت في مراحل منفصلة. فالفئران APP كانت تتذكر تماماً مثل الفئران الشاهدة control animals حينما كانت صغيرة. ولكن عند الشهر السادس من عمرها حدث تراجع جزئي في الذاكرة إلى نقطة استقرت عندها لمدة 7-8 أشهر. ثم أعقب ذلك تراجع للذاكرة في حوالي الشهر الخامس عشر. وقد استخدم لزنه وزملاؤه هذا النسق المتدرج للنسيان مساراً لهم في الاهتداء إلى الجاني.

لقد دمجوا دراساتهم السلوكية مع تحليل كيميائي حيوي مفصّل للتجمعات Aβ الموجودة في أدمغة الحيوانات. فالدارسات السابقة بيَّنت أن الحمولة اللويحية plaque load والمحتوى النشواني Aβ الإجمالي هما متنبِّئان ضعيفان عن الإخفاق الذهني (المعرفي) [4, 5, 7]، إذ أفضت سلسلة من



الشكل 1: دور النشواني-بيتا (Aβ) في مرض الزايمر: تتجمّع الببتيدات النشوانية-بيتا وتُشكّل كتلاً أكبر حجماً تتكدّس في الدماغ. وتحلُّ أكبر هذه الكتل (تحت اسم اللويحات النشوانية)، والتي تُعتبر السمة المميزة لمرض الزايمر، محل الغصون العصبونية وتشوّهها. أما كتل Aβ الأصغر حجماً (تحت اسم قليلة القسيمات oligomers) فيصعب اكتشافها في النسج الدماغية ولكنها يمكن أن تكون أكثر وخامة من اللويحات النشوانية. ويُبيّن لزنه وفريقه Lesne et al أن [2](Aβ*56) يُعدُّ واحداً من هذه الأصناف المختلسة ويبدو أنه يلعب دوراً رئيساً في تراجع الذاكرة. وبشكل مستقل عن الحبائك الليَيْفية العصبية neurofibrillary tangles، التي تُعدُّ سمة مميّزة أخرى للحالة البشرية، يمكن أن تتسبّب قليلات القسيمات Aβ في تعطيل الموصلات التي تتخاطب الخلايا الدماغية عبرها (تحت اسم المشابك) أو في تغيير النقل العصبي بآليات أخرى. ويؤدي ذلك إلى استنفاد جزيئات التأشير المعتمدة على الفعالية المشبكية والمطلوبة للذاكرة ولوظائف دماغية أخرى.

التجزئة النسيجية tissue fractionation وخطوات التنقية البروتينية بالباحثين إلى لاشيء حول تجمُّع نوعيٍّ للنشواني-بيتا ذي صلة من الناحية الوظيفية دعوه باسم (Aβ*56). وقد جاء هذا الاسم لكون ذلك التجمّع تفاعل مع الأضداد المضادة لـ Aβ (anti-Aβ antibodies)، إذ أظهرت المطيافية الكتلوية الترادفية tandem mass spectrometry أنه احتوى على تتالية Aβ sequence وأنه امتلك كتلة جزيئية نسبية ظاهرة مقدارها 56000 في الرحلان الكهربائي electrophoresis. ويقدّم المؤلفان أدلة على أن Aβ*56 يتشكل خارج الخلايا وأنه يمكن أن يكون كداسة من 12 ببتيداً نشوانياً بيتاوياً، بالرغم من أن المنشأ الدقيق والبنية الذرّية لهذا التجمع تبقيان بانتظار الحل، ولا يستبعد أن تضم هذه الكداسة مكوِّنات إضافية أخرى غير الببتيد النشواني-بيتا (Aβ).

لقد كانت نقائص الذاكرة المبكرة لدى الفئران APP والتي بدأت في الشهر السادس من العمر سلبية الارتباط بمستوى Aβ*56 الموجود في أدمغتها. وفي دعم أكثر صراحة لوجود علاقة سببيَّة، أثار مُسْتَفْرَدُ isolate حاوٍ على Aβ*56 مأخوذ من دماغ فأر APP نقائص ذاكرية جديدة حينما حقن داخل أدمغة جرذان (وليس فئران). وكانت هذه الجرذان قد سبق لها أن تعلمت إحدى المهمات الحيِّزية (وهي متاهة مائية) ولكن كان عليها بعد ذلك أن تتعلم مهمة أخرى بعد حقن دماغها الجبهي forebrain بالتجمّع النوعي Aβ*56. لقد جرى التعلُّم بسرعة على ما يبدو، ولكن لدى اختبار هذه الحيوانات المعالجة بـ Aβ*56 بعد يوم من ذلك، أخفقت في إظهار ذاكرة حيزية فعالة. مع العلم بأن الحيوانات التي حقنت بمحلول شاهد control solution لم تجد مشقّة في تذكر المهمة الثانية. ولكن Aβ*56 لم تسبب مشكلات معرفية مستديمة طالما أن كلتا المجموعتين من الفئران تساوتا في تعلُّم مهمة ثالثة حين جرى تدريبهما بعد عشرة أيام (لم يحدث خلالها أي حقن لـ Aβ*56). وتعني هذه المعطيات ضمناً أن Aβ*56 يُسبِّب تعطيلاً عابراً للآليات الفيزيولوجية المسؤولة عن الذاكرة وليس تلفاً عصبونياً مستديماً.

أثناء التراجع الثاني في الذاكرة (بدءاً من حوالي الشهر الخامس عشر) لم يزدد الـ (Aβ*56) في الأدمغة الفأرية APP. ويمكن أن ينظر إلى ذلك على أنه لا يتماشى مع دور سببيٍّ للتجمع Aβ هذا في تراجع الذاكرة. ولكن هذه المفارقة يمكن تفسيرها بآليات تعويضية compensatory mechanisms استطاعت مناهضة التأثيرات المرضة للـ (Aβ*56) فترة من الزمن ثم أخفقت بسبب تقدّم العمر. وبشكل بدائلي، يمكن أن تتضمن المراحل المختلفة من المرض العصبي المحرَّض بالببتيد النشواني-بيتا آليات ممرضة أخرى.

وكما هي الحال مع عدة اكتشافات أخرى فإن نتائج لزنه وفريقه تثير تساؤلات. هل يمكن اكتشاف (Aβ*56) في نماذج (موديلات) APP أخرى ذات نقائص في الذاكرة؟ وما هي العلاقة بين Aβ*56 وقليلة القسيمات Aβ (Aβ oligomers) في السائل الدماغي النخاعي لمرضى الزايمر [8]؟ وهل تُعدُّ تجمُّعات Aβ هذه واسماً بيولوجياً biomarker موثوقاً للتشخيص المبكّر ولرصد تقدُّم المرض وتقييم المعالجات الجديدة؟ وهل يمكن أن تؤلِّف تجمُّعات Aβ هذه بنفسها أهدافاً لمزيد من المداخلات العلاجية الفعَّالة [6,4]؟ وأخيراً، وليس آخراً، كيف تفسد هذه التجمعات الوظيفة العصبونية بشكلٍ فعلي؟

وفيما يخص هذا السؤال الأخير يجب القول بأن شذوذات في التأشير signalling عبر المستقبلات العصبونية الغلوتامية قد تمَّ توصيفها كآلية محتملة لأشكال القصور العصبوني والسلوكي التي يُحرِّضها Aβ [9,7]. وهذه إمكانية مربكة لأن المستقبلات الغلوتامية الحُصَيْنية hippocampal ذات دور رئيس في التعلُّم والذاكرة. وسيكون من المهم تحديد ما إذا كان لـ (Aβ*56) تأثير على هذه المستقبلات أو على مسارات التأشير الخارج خلوية ذات الصلة [10]. صحيح أن (Aβ*56) هو بالتأكيد المشتبه به الرئيسي، ولكن هناك الكثير من العمل الحقيقي الذي يجب فعله قبل أن يحكم عليه بأنه المجرم الحقيقي.

نُشر هذا الخبر في مجلة: *Nature*, 16 March 2006.

References

[1] Hebert, L., Scherr, P., Bienias, I., Bennett, D. & Evans, D. Arch. Neurol. 60, 1119-1122 (2003).

[2] Lesne, S. et al. Nature 440, 352-357 (2006).

[3] Tanzi, R. & Bertram, L. Cell 120, 545-555 (2005).

[4] Walsh, D. M. & Selkoe, D. J. Neuron 44, 181-193 (2004).

[5] Kobayashi, D. T. & Chen, K. S. Genes Brian Behav. 4, 173-196 (2005).

[6] Klein, W. L., Krafft, G. A. & Finch, C. E. Trends Neurosci. 24, 219-224 (2001).

[7] Palop, J. J. et al. J. Neurosci. 25,9686-9703 (2005).

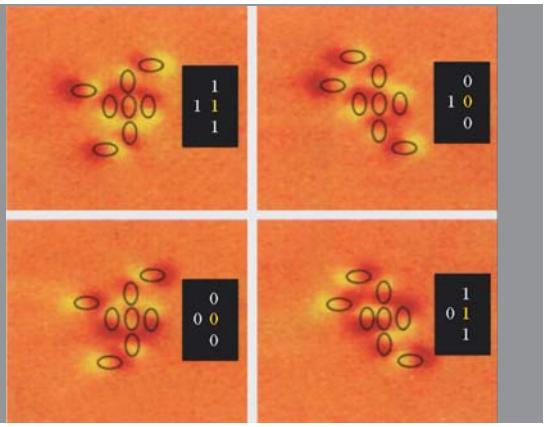
[8] Georganopoulou, D. G. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 102, 2273-2276 (2005).

[9] Snyder, E. M. et al. Nature Neurosci. 8, 1051-1058 (2005).

[10] Morris, R. G. M., Anderson, E. Lynch, G. S. & Baudry, M. S. Nature 319, 774-776 (1986).

نحو إلكترونيات بلا ترانزستور

قام فريق ألماني-أمريكي ببناء "روبـوت automate خلـوي" مغنطيسي قادر على القيام بكل الوظائف المنطقية الضرورية للحسابات العددية.



يقابل كل شكل بيضوي صغير جسيماً نانوياً ممغنطاً. وتُشكّل الجسيمات الخمسة المتوضعة بصورة معيّنة "بوابة منطقية". إذ بإمكانها أن تتمغنط نحو الأعلى أو نحو الأسفل مولّدة بذلك بتة معلومات مساوية 0 أو 1.

كان اختراع الترانزستور أساس كل الإلكترونيات الصّغريّة الحديثة: فهو يوقف الإلكترونات أو يدعها تمر تبعاً للإشارات الآتية من ترانزستورات أخرى، فتتيح لها بذلك إجراء الحسابات الثنائية. لدرجة أنه لا يمكن اليوم تخيّل حاسوب أو حتى بطاقة إلكترونية من دون ترانزستور. ومع ذلك يمكن إجراء حسابات عددية من دون هذا العنصر وإنما بواسطة جسيمات نانوية مغنطيسية، كما يبرهن باحثون أمريكيون وألمان [1]. وتُشكّل هذه الأعمال جزءاً مما يسمى "السبينترونيات spin-tronque" التي تسعى لاستخدام سبينات الإلكترونات، المسؤولة عن المغنطيسية، بدلاً من شحناتها، حاملة التيار الكهربائي. تتآثر هذه الجسيمات المغنطيسية فيما بينها بواسطة القوى نفسها، كما في حالة المغانط الصغيرة في حياتنا العادية. فمثلاً، إن مغنطة جسمين متطاولين تقود إلى اصطفاف متعاكس الرأسين بسبب التآثر "المغنطيسي الحديدي المعاكس". تُثبَّت مغنطة البعض منها (لتقوم بدور "المَدخل") بواسطة حقول مغنطيسية خارجية. إن الحصول على مثل هذه الجسيمات النانوية،

كما في الشكل أعلاه، يسمح بتشكيل "بوابة منطقية". فالجسيم الموجود إلى اليمين، الذي يقوم بدور "المَخرج"، يمتلك تآثراً مغنطيسياً حديدياً معاكساً شديداً مع مغنطيسية الوسط. تعتمد مغنطة الوسط على الطريقة التي تثبَّت بها مغنطة جسيمات المدخل 1 و2 و3. وبحسب كلود شابير C. Chappert، من معهد الإلكترونيات الأساسية في أورسي: "يمكن بهذه الطريقة خلق أية وظيفة منطقية، وبالتالي تنفيذ أي حساب". وهذه ليست المرة الأولى التي يبرهن فيها على إمكان إجراء الحساب بواسطة هذه "الروبوتات الخلوية". وبالمقابل، يقول روسل كاوبرن R. Cowburn من جامعة إمبريال في لندن وهو أحد الرواد في هذ المجال: "هي المرة الأولى التي يكون فيها تشكيل من الجسيمات النانوية قادراً على القيام بكل الوظائف المنطقية". لكن البنية الهندسية النانوية ليست كل شيء. إذ تجب معرفة كيفية التحكم بصورة انتقائية "بالمداخل" وهو ما تمكّن مؤلفو هذه المقالة من عمله. ويمكن بتطبيق حقل مغنطيسي معين إجبار المداخل الثلاثة على التوجه في المنحى نفسه. وقد وضعت ألكساندرا إيمر A. Imre وزملاؤها بالقرب من هذه المداخل مغانط صغيرة تشوش الحقل المغنطيسي وتتيح فرض منحى تمغنط.

هل ستخلع الروبوتات الخلوية يوماً ما المعالجات المكروية المصنوعة من السليسيوم عن عرشها؟ ربما لن يحدث هذا لأن تطبيقات هذه وتلك ليست هي نفسها. فالعمليات التي تقوم بها هذه الروبوتات أبطأ من تلك التي تقوم بها المعالجات الحالية، لكن يمكن لاستطاعة المعالجات المغنطيسية أن تبلغ 400 ميغاهرتز وهذا يكفي للعديد من التطبيقات. أما الميّزات فهي التكلفة المنخفضة وعدم التطاير volatilité (تبقى المعلومات حتى إن انقطع التيار). ويتوقع كاوبرن "أن الحساب المغنطيسي يمكن أن يصبح مكمّلاً للإلكترونيات المكروية الحالية وخاصة في البطاقات المصرفية أو الهواتف الخلوية".

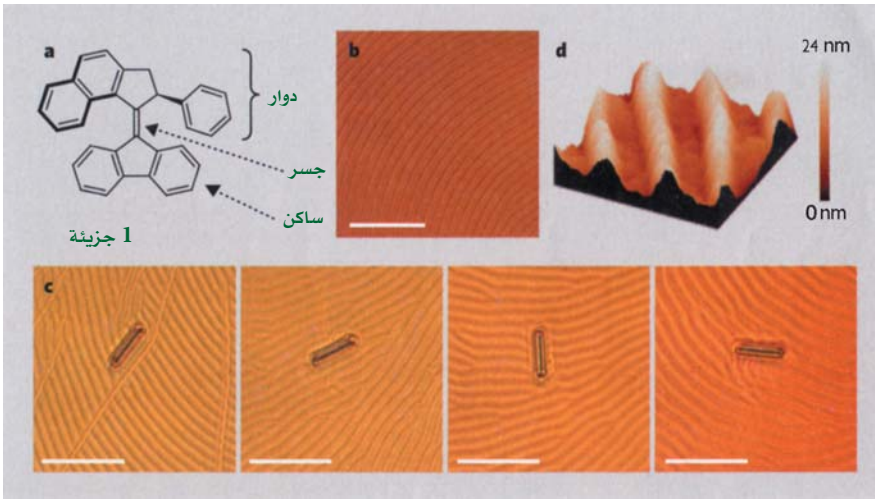
نُشر هذا الخبر في مجلة *La Recherche, Mars, N: 395, 2006*.

محرك نانوي يدوّر أجساماً ذات مقاس مكروي

محرك جزيئي في فلم بلّورة سائلة يعمد إلى استخدام الضوء لتدوير أجسام أكبر منه ذاته بآلاف المرّات.

ستتطلّب الماكنات النانوية المستقبلية، محركات جزيئية المقاس تستطيع أداء عملها وأن تحقّق بشكل جماعي حركة هادفة لدى أجسام أكبر منها بكثير. لقد صمّمنا محركاً جزيئياً صناعياً، يُسيَّر بالضوء، ويكون منطمراً داخل فلم بلّورة سائلة، ويستطيع تدوير أجسام موضوعة على الفلم ذات حجم يفوق حجم المحرك الجزيئي عشرة آلاف ضعف. وتُسبّب التغييرات في شكل هذا المحرك أثناء الخطوات الدوّارة، إعادة ترتيب تدويري مرموق لفلم البلورة السائلة ولتضاريس سطحه، مما يُسبب في النهاية دوران الجسيمات ذات الحجم تحت المليمتري الموجودة على سطح الفلم.

لقد استخدمنا محركاً مصمّماً خصوصاً لإبراز ملامح بنية حلزونية ميامنة right-handed ومركز تجسيمي stereogen-ic واحد في (أعلى) الجزء الدوار يُملي اتجاه الدوران، وكذلك لإبراز ملامح رابطة مركزية مزدوجة بين كربونين تعمل كجسر، وملامح جزء ساكن stator من المحرك (في



الشكل 1: سمات المحرك الجزيئي المُسيَّر بالضوء. a، تركيب المحرك (الجزيئة المحركة1). الروابط بالطرف الغامق في خارج الصفحة. b، البنية المضلعة في فلم البلّورة السائلة المطعَّمة بالجزيئة المحركة 1 (1% بالوزن). c، دوران القضيب الزجاجي على البلورة السائلة أثناء التشعيع بالأشعة فوق البنفسجية. المؤطرات من 1-4 (من اليسار) والتي أُخذت على فترات تبلغ 15 ثانية والتي تبيّن دورانات القضيب مع اتجاه عقارب الساعة وبدرجة 28 (المؤطر رقم 2)، وبدرجة 141 (المؤطر رقم 3)، وبدرجة 226 (المؤطر رقم 4)، هذه دورانات القضيب نسبة إلى الوضع في المؤطر1. الخطوط، 50 mμ. d، بنية سطح فلم البلورة السائلة (صورة بعدسة مجهر ذرّي؛ 15 $mμ^2$).

الأسفل) يشبه البلورة السائلة المُضيفة. وفور تشعيع الجزيئة المحرِّكة 1 بشعاع فوق بنفسجي ذي طول موجي يبلغ 365 نانومتراً، يحدث تصاوغ isomerization كيميائي–ضوئي حول الرابطة المزدوجة المركزية، مما يسبِّب قلب اللولبية (من الميامنة إلى المياسرة). وسرعان ما تحدث خطوة حرارية لاحقة ترافق ذلك الانقلاب في اللولبية مجدّداً (من المياسرة إلى الميامنة) وذلك عند درجة حرارة تبلغ 20° مئوية (مع مدة تفاعل عمر النصف فيها تساوي 9.9 دقيقة في التولوين). ومن ثَم تأتي خطوتان كيميائيتان ضوئيتان تتبع كل واحدة منهما خطوة حرارية تساوي دورة تدويرية كاملة بمقدار 360°.

يُعدّ هذا المحرك فعّالاً في خلق ترتيب حلزوني في فلم البلورة السائلة. فعندما يتعرَّض للهواء سطح فلم البلورة السائلة ذات الاصطفاف التراصفي التام للجزيئات بشكل وحيد الاتجاه والمحتوى على 1% وزناً من الجزيئة المحرّكة 1 كمادة مطعِّمة dopant فإن سطح الفلم هذا يبدي بنية texture مضلَّعة أصبعية البصمة تُميِّز بشكل نمطي البلورات السائلة ذات التراصف التام للجزيئات والتي تكون محاورها الحلزونية موازية للسطح (الشكل 1b). عندما تُشعّع هذه العيّنة بشعاع ضوئي ذي طول موجي يبلغ 365 نانومتراً وتحت عدسة مجهر ضوئي، تُعيد هذه البنية المضلّعة ترتيبها بطراز دوراني (مع اتجاه عقارب الساعة). ويبدأ معدل سرعة الدوران بالتناقص التدريجي إلى أن تتوقف عملية الدوران بعد حوالي عشر دقائق.

إن إزالة المصدر الضوئي يسبب استئناف الدوران من جديد، ولكن هذه المرة بالاتجاه المعاكس. فالبُنى تدور دوماً باتجاه عقارب الساعة أثناء التشعيع وبعكس اتجاه عقارب الساعة أثناء التصاوغ الحراري. إنَّ مقايضة الجزيئة المحرِّكة 1 بمصاوغها المرآتي enantiomer يُحرض الدوران في الاتجاه المعاكس، مما يثبت أن اتجاه دوران البنية البلورية السائلة يُحدِّده التغيُّر في لولبية المحرك.

إن دوران البنية الذي يُسبِّبه المحرِّك يمكن تسخيره لتحريك جسيمات ذات حجوم تحت ملّيمترية موضوعة على سطح الفلم. ويعرض الشكل 1c المراحل الأولى (طيلة 45 ثانية) من حركة دَوّار نمطي لقضيب زجاجي مجهري. يدور القضيب الزجاجي والذي تبلغ أبعاده (5×28 µmk) بنفس الاتجاه مثلما تفعل البنية ذات التراصف التام أثناء الخطوات الكيميائية الضوئية والحرارية للمحرك وبمعدل سرعة حوالي 0.67 و 0.22 r.p.m، على التوالي.

باستعمالنا لمجهر ذري غير تماسِّي non-contact، وجدنا أن فلم البلورة السائلة المطعَّم بالجزيئة المحرّكة 1 له تجسيم سطحي يبلغ 20 نانومتراً ارتفاعاً (الشكل 1d). يشير القياس البروفيلي الضوئي إلى أن توجيه هذا التجسيم السطحي يتغيَّر استجابةً للتغيُّرات الكيميائية الضوئية أو الحرارية التي تسبِّبها التغيرات الطبوغرافية في المحرك الجزيئي المطعَّم. تولِّد إعادة التنظيم هذه عزم ليّ على الجسم المجهري الذي يؤدي إلى الحركة الدوارة.

لقد وصفنا مجموعة التغيرات في لولبية المحرك ذي الحجم النانوي والذي يمكن استخدامه لتدوير جسيمات ذات مقاس مجهري عن طريق تجميع الطاقة الضوئية، وقد أثبتنا أن المحرك الجزيئي الدوّار يستطيع أداء العمل.

نُشر هذا الخبر في مجلة: *Nature, 9 March 2006*.

ما مدى النظافة في عبارة نظيف جداً؟

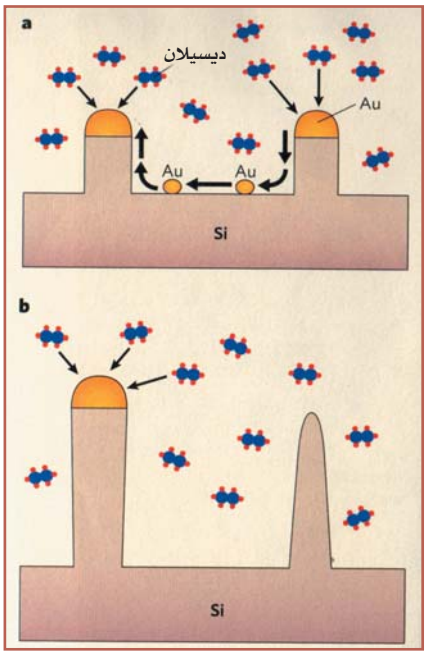
يمكن أن تشكّل الأسلاك النانوية السليكونية اللبنات الأساسية للنبائط الإلكترونية في المستقبل، ولكن يصعب تنظيم نموها في شروط فائقة النظافة. فهل تكمن المشكلة في الوسط ذي الرقابة الصارمة؟

في صميم النجاح الذي حققته الأدوات المصنَّعة بالإلكترونيات النانوية، بدءاً من الحواسيب الدفترية laptop computers وصولاً إلى الهواتف النقّالة mobile phones وإلى الـ iPods، تكمن الحقيقة بأن النبائط الإلكترونية المبنيّة على السليكون تواصل صغرها أكثر فأكثر. وفي أفضل هذه النبائط تقدُّماً، التي يجري إنتاجها في الوقت الراهن، يبلغ قدّ أصغر القسمات التي تنظم جريان التيار أقل من 100 نانومتر. وإذا استمر منحى نمنمة هذه القسمات –ولنقل إلى مقياس أدنى من 10 نانومتر– فإنه يلزمنا وحدة أساسية جديدة للإلكترونيات، غير رقاقة السليكون التقليدية. هناك عدة مواد مرشحة لهذا الدور نذكر منها على سبيل المثال: أنابيب الكربون النانوية، والمبدِّلات switches الجزيئية وأسلاك السليكون ذات المقياس النانوي. ويذكر حنّون وآخرون Hannon et al. في ورقتهم العلمية [1] مشاهدات على الطبيعة in situ تحت مجهر إلكتروني لتطوير أسلاك نانوية من السليكون في شروط فائقة النظافة ultra- clean. ويمكن لمشاهداتهم أن تلقي الشك حول صلاح مثل هذه الأسلاك النانوية للإنتاج بالجملة. ومن ناحية أخرى، يمكن لهذه المشاهدات أن تعرِّفنا ببساطة أن الشروط التجريبية الخاصة التي صنعت تحتها هذه الأسلاك النانوية كانت نظيفة جداً too clean فقط.

لنبدأ أولاً ببعض الخلفيات؛ إن فكرة استخدام أسلاك نانوية من أنصاف نواقل تقليدية كالسليكون وزرنيخيد الغاليوم كلبنات بناء building-blacks لنبائط إلكترونية نانوية أو فوتونية نانوية قد جرى إدخالها في سياق البحوث الرئيسية مع نهاية عقد التسعينيات من القرن الماضي [2]. ويتم إنشاء أسلاك السليكون النانوية هذه في الغالب بطريقة بخار–سائل–صلب vapour-liquid-solid (VLS). وفي هذه الطريقة تقوم قطيرة سائل دقيقة من معدن (كالذهب مثلاً) بامتصاص السليكون من مادة غازية سليفة، مثل السيلان (SiH_4) أو ثنائي السيلان (Si_2H_6)، بكفاءة تجعل قطيرة سبيكة الذهب والسليكون تصبح فوق مشبعة بالسليكون. هذا الإشباع الفائق يؤدي إلى جعل بلّورة السليكون الأحادية الأسطوانية (وهي السلك النانوي) تأخذ شكل نواة، ويتعيَّن قطر السلك النانوي فيها بحجم قطيرة الذهب الابتدائية.

تبقى القطيرة عند الرأس المذنب للسلك النانوي، الذي ينمو منه نحو الخارج باطِّراد. فإذا ما تمدَّد السلك النانوي على سطح رقاقة السليكون أحادية البلّورة، فإن النمو يحدث "تناضديّاً epitaxially"، بمعنى أن يكون ذا توجيه بلّوري يماثل توجه السليكون الذي تحته. إن أساسيات هذه التقنية لإنماء السليكون وأنصاف النواقل الأخرى معروفة منذ أكثر من 40 عاماً [3, 4] لغرض تشكيل أجسام ذات أقطار أكبر من 100 نانومتر. أما أول نبيطة إلكترونية على المقياس النانوي، مبنيّة على أسلاك نانوية من نصف ناقل هو زرنيخيد الغاليوم، فإنها لم تتحقَّق إلا في العام 1992 [5].

إن القطيرات عند الرؤوس المستدقة لأسلاك نانوية نصف ناقلة تنمو بصورة متوازية تعتبر مستقلة على العموم. لكن حنّون وآخرين [1] يبيِّنون أنه في الشروط الفائقة النظافة والخلاء العالي لمجهرهم



الشكل 1: هجرة الذهب: مقطع عرضي تخطيطي لسلكين نانويين من السليكون ينموان على ركازة من السليكون في بخار يحتوي على السليكون (من السيلان SiH_4، وثنائي السيلان Si_2H_6) بطريقة بخار–سائل–صلب (VLS)، كما استخدمها حنّون وآخرون [1]. قطيرتان من الذهب السائل، يوجد بين حجميهما اختلاف ضئيل في البدء، يسبِّبان تدفقاً انتثارياً لذرّات الذهب من قطيرة الذهب الصغيرة إلى الكبيرة من خلال آلية إنضاج أوستولد على امتداد سطح السليكون. فيما بعد، انكمشت قطيرة الذهب الصغيرة بصورة كاملة، وتوقف سلكها النانوي السليكوني عن النمو. إن تضمينات هذا المفعول بهدف إنتاج بالجملة لأسلاك السليكون النانوية هي تضمينات ضخمة من حيث الإمكانية. (الأبعاد ليست بالمقياس الصحيح؛ تغيُّرات نصف القطر مبالغ فيها.)

الإلكتروني الخاص، تنمو القطيرات الأكبر على حساب القطيرات الأصغر منها. وبعدئذٍ تنكمش هذه القطيرات الأصغر فتمنع أيَّ نمو جديد في السلك النانوي على حسابها. يُعرف هذا المفعول باسم إنضاج أوستولد Ostwald tipening (ويُطلق عليه أحياناً، وعلى سبيل المزاح، اسم المبدأ الرأسمالي) وذلك تكريماً للكيميائي ويلهلم أوستولد، الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء للعام 1909، وهو الذي فسَّر المفعول على أنه ناتج عن تناقص في طاقة السطح الكلّي الذي يحدث عندما تُحال الذرّات بعمليات انتثار من بلّورات أصغر إلى بلّورات أكبر [6]. (من أجل الاطلاع على المعالجة الرياضية للمفعول انظر المرجعين [7, 8]).

إن مثل تقليل التحوّل بالانتثار هذا يتطلَّب النقل الفعّال للذرّات بين قطيرات الذهب المجاورة. وهذا لا يمكن أن يحدث من خلال انتثار غازي فوق رقاقة السليكون، وذلك بسبب ضغط بخار الذهب المنخفض جداً وبالمثل، فإن انتقال ذرّات الذهب خلال كتلة السليكون مهمل أيضاً. ويناقش حنّون وآخرون [1] بصورة مقنعة بأن طراز النقل هو انتثار سطحي surface diffusion، الأمر الذي لا يتطلّب انتثارية عالية للذهب على سطح السليكون فحسب، بل وكذلك انحلالية عالية للذهب على السطح في الطبقة السطحية الرقيقة (الشكل 1). وهذا يتوافق مع ما نعرفه عن نمو أسلاك السليكون النانوية بواسطة التناضد الحزمي الجزيئي molecular abeam epitaxy. صحيح أن هذه التقنية مبنيّة على طريقة VLS (بخار–سائل–صلب)، ولكن لا يُقدَّم السليكون إليها كغاز بل كحزمة موجهة من الإلكترونات. إن التناضد الحزمي الجزيئي يتطلَّب في العادة وسطاً فائق النظافة ultra–clean، وهنا يحدث نقل السليكون وكذلك الذهب بواسطة الانتثار على سطح السليكون، وليس من خلال الغاز [9].

سيجعل إنضاج أوستولد نمو الصفيفات المرتَّبة لملايين أسلاك السليكون النانوية المتماثلة بصورة جوهرية (وهو شرط أساسي للتطبيقات في الإلكترونيات النانوية) أمراً صعباً إلى أبعد الحدود. لا بل حتى التغيُّرات الصغيرة في حجم تشكيل نوى قطيرات الذهب ستؤدي إلى تغيُّرات غير مقبولة في أطوال أسلاك السليكون النانوية وأقطارها. على كل حال، هناك إمكانية للتخلُّص أشار إليها المؤلفون تتوافق أيضاً مع نتائجنا التجريبية الأولية. إن الكمية القليلة من الأكسجين (كتلك الموجودة في معظم شروط النمو التقانية، وغير الموجودة في الوسط الفائق النظافة والخلاء الشديد المستخدمة في تجارب المؤلفين) يمكن أن تعيق بقدر كاف مسار انتثار الذهب على سطح السليكون. وهذا سيجعل قطيرات الذهب مستقلة بعضها عن بعض، حسبما كان يُزعَم في الأربعين سنة التي خلت.

وفي هذا المنحى، فإن نتائج حنّون وزملائه يمكن أن تشبه قصة الأكسجين في السليكون لعقد السبعينيات من القرن الماضي. في ذلك الوقت، كان صانعو الدارات المتكاملة متخوفين من أن تكون بلّورات السليكون قد احتوت على بعض ذرّات الأكسجين من عملية نمو البلّورة، فضغطوا على مصنِّعي رقاقات السليكون للتخلُّص من هذه البقايا. وقد لوحظ بعد ذلك أن الرقاقات التي كانت محتويات الأكسجين فيها تافهة أنتجت نبائط إلكترونية أقل صدقية. وقد ثبت أخيراً أن الأكسجين يترسَّب في الحقيقة على أجزاء صغيرة من الرقاقات، فيشكِّل مصائد لشوائب معدنية ضارّة في عملية تُعرف باسم الاستئصال gettering [10].

واليوم، يتم توصيف محتويات رقاقات السليكون من الأكسجين بشكل دقيق وصولاً إلى أفضل استئصال ممكن. وبشكلٍ مضاه، فإن الاستنتاج غير المباشر من الحقيقة الواضحة حول ملاحظة أن حنّون وزملائه [1] يشهدون تحت شروط خلاء منخفض وتحت سيطرة شديدة، مفعولاً لا يُلاحظ تحت شروط تحكُّم أقل صرامة، يمكن أن يُصاغ على النحو التالي: إن إضافة قليلة من شائبة الأكسجين (بالرغم من أنها ليست كثيرة) تُعدُّ مفيدة لإنماء أسلاك نانوية من السليكون. تلك ستكون رسالة مفيدة وغير متوقعة مفادها أنه في بعض الأحيان لا تتعدّى عبارة شديد النظافة عبارة كبير النظافة.

References

[1] Hannon, J. B., Kodambaka, S., Ross, F. M. &Tromp, R. M. Nature 440, 69-71 (2006).

[2] Morales, A. M. & Lieber, C. M. Science 279, 108-211 (1998).

[3] Wagner, R. S. & Ellis, W. C. Appl. Phys. Lett. 4, 89-90 (1964).

[4] Givargizov, E. L. Highly Anisotropic Crstals (Reidel, Dordrecht, 1987).

[5] Haraguchi, K. et al. Appl. Phys. Lett. 60, 745-747 (1992).

[6] ostwald, W. Z Phys. Chem. 34, 495-503 (1900).

[7] Wagner, C. Z. Elektrochem. 65, 581-591 (1961).

[8] Lifschitz, L. M. & Slyozov, V. V. J. Phys. Chem. Solids 19, 35-50 (1961).

[9] Schubert, L. et al. Appl. Phys. Lett. 84, 4968-4970 (2004).

[10] Tan, T. Y. & Tice, W. Phil. Mag. 34, 615-631 (1976).

نُشر هذا الخبر في مجلة: ***Nature***, *2 March 2006*.

الكوكب القاحل

لقد حوّلنا طلبنا للماء إلى مصاصي دماء، نقوم بتفريغ العالم من قوام حياته. فما الذي يمكننا فعله لإيقاف الجفاف العالمي الشامل والمجاعة، سؤال يطرحه فريد بيرس F. Pearce.

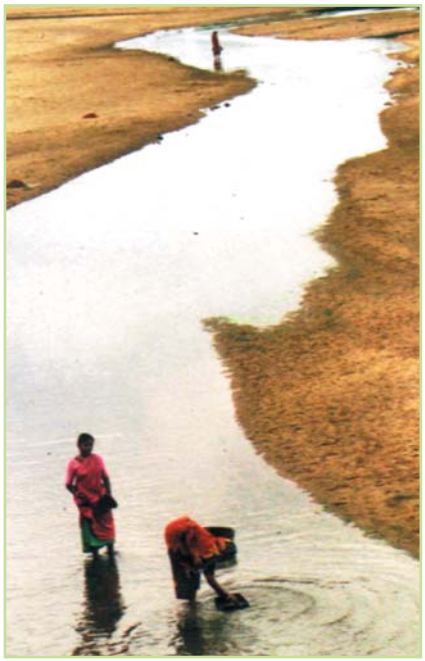
حسب المقاييس التقليدية، يعد جيتبهاي شودهوري J. Chowdhury مزارعاً أنموذجياً. فهو يستخدم السماد العضوي ومبيدات الهوام الطبيعية. كما أنه ينمّي أشجار الفاكهة حول حواف حقول البرسيم ويرعى أبقاره الحلوبة بكل عناية. وفي كل يوم، ينتج 25 لتراً من الحليب يرسلها إلى نقطة للتجميع في قرية مجاورة تدعى كشكال Kushkal في ولاية كوجارات Gujarat بالهند، من أجل إيصالها إلى مصنع الألبان التابع للولاية أو الدولة. وبفضل أناس مثل هذا الرجل، فإن الهند لا تجوع.

ولكن بالرغم من فضائل شودهوري، يظهر أن مزرعته –ذات الهكتارين– تزرع بذور مشكلة عالمية. فمن أجل إنماء العلف الذي يحتاجه من أجل إطعام أبقاره، فإنه يعتمد اعتماداً كلياً على مياه الري المسحوبة ضخاً من أعماق الأرض. وطوال سنة من الزمن تستجرّ مضخته الكهربائية الصغيرة –من عمق أراضيه– مقداراً من الماء يساوي ضعفي ما يسقط من الأمطار على الأرض. فلا عجب إذاً أن يكون المنسوب المائي في القرية منخفضاً بحدود 150 متراً وأنه يهبط بمقدار 6 أمتار سنوياً.

ويُمثّل شودهوري واحداً من ملايين المزارعين الذين يفعلون ذلك في أنحاء العالم. فمن الصين إلى الأرجنتين، ومن أستراليا إلى الولايات المتحدة، يزداد اعتماد الناس على "الماء الأحفوري fossil water" الذي يُستخلص من باطن الأرض وبشكل غير قابل للاستدامة. وبالإجمال، فإن أفعالنا تهدد الآن باستفاقة شبح لم يسبق لأحد أن جزع منه خلال معظم الأربعين عاماً الماضية. ألا وهو مجاعةٌ عالمية شاملة.

وإذا ما عدنا إلى الوراء في ستينيات العام المنصرم، نستذكر أن العالم تملّكه كابوس مالثيوسي. ذلك أن سكان كوكب الأرض تضاعف في جيل واحد، وما من أحد يعرف كيف سيتم إطعام الجميع. لقد كثرت الأقاصيص المفزعة. وفي عام 1968، على سبيل المثال، كتب عالم الأحياء بول إيرليخ P. Ehrlich (وهو من جامعة ستانفورد Stanford) في كتابه الذي أحرز عدداً أعلى من المبيعات بعنوان "القنبلة السكانية The Population Bomb أن "معركة إطعام جميع البشرية قد انتهت بالفعل، فمئات الملايين من الناس سيموتون جوعاً".

لم تتحقق تلك الرؤيا وذلك إلى حد كبير بفضل وجود جيل جديد من الضروب العالية الإنتاجية من المحاصيل كالأرز والقمح والذرة الصفراء. وإن ما نعرفه بدرجة أقل هو أن نجاح هذه "الثورة الخضراء" قد بُني على الاستثمار الضخم في منظومات الري. فالعالم اليوم ينمّي ضعف كمية الطعام الذي كان ينمّيه منذ جيل مضى، ولكنه يستخدم من الماء في إنمائه ما مقداره ثلاثة أضعاف ما كان يستخدمه. إذ إن ثلثي الماء المستخلص من البيئة يذهب لري المحاصيل. إن هذا الاستخدام للماء هو استخدام غير مستدام



بشكل هائل، وأدى بالعديد من الناس إلى الاستنتاج بأن تلك الرؤيا لم تُستبعد، بل جرى تأجيلها فقط.

إن ري المحاصيل في أغلب الأماكن يعني بناء سدود وتفريغ أنهار في قنوات للري. ولا يعد هذا أمراً جيداً بالنسبة للأنهار ومنظوماتها البيئية، بالرغم من أن الأنهار تعاود الامتلاء على الأقل حينما تهطل الأمطار. ولكن، في بعض الأماكن لا تمتلك الأنهار ما يكفي لاستيفاء الاحتياجات المطلوبة منها. لذا، فقد تولى المزارعون التصدي لذلك بأنفسهم.

وتعد الهند أوضح مثال على ذلك. فخلال العقد الماضي، شهد هذا البلد ثورة مائية

إن الأنهار في جميع بقاع العالم في طريقها إلى الجفاف بالفعل، وليس فقط في قرية بإنكورا في الهند.

استثنائية سافرة. فقد استأجر المزارعون منصات للحفر واشتروا مضخات كهربائية للتنقيب عن المياه التي كانت تقبع قريرة تحت حقولهم آلاف السنين. أما اليوم، فإن أكثر من 21 مليون مزارع هنديٍّ ينضحون احتياطيات المياه الجوفية من أجل سقاية حقولهم، كما أن ثلثي المحاصيل في الهند يتم سقايتها بمياهٍ جوفية. وهذه المياه آخذة بالنضوب. وخلافاً للأنهار فإن هذه المياه لن يتم تعويضها بسرعة. ومثلما تقود الهند المسيرة، تتطلّع بقية بلدان العالم جاهزةً لأن تحذو حذوها.

ولا توجد أية إحصائياتٍ موثوقة حول كمية المياه التي يضخها المزارعون في الهند من أعماق الأرض. ومؤخراً، قدَّر المعهد الدولي لإدارة المياه (IWMI)، وهو جزء من شبكة عالمية واسعة لمراكز بحوث زراعية يُموّلها البنك الدولي، بأنه يتم استخلاص حوالي 250 كيلومتراً مكعباً من الماء بغرض الري في كل عام. وهذا يفوق ما تعوضه الأمطار بحوالي 100 كيلومتر مكعب على الأقل. ويكفي هذا الأخير لإطعام الهند. ولكن كلما مرت سنة من السنين يزداد نضوب الأحواض المائية.

يقول توشار شاه T. Shah من (IWMI): "إنها فوضوية عارمة، فهي رحلة وحيدة الاتجاه إلى الكارثة". لقد أمضى شاه أكثر من عقد من الزمن متابعاً ثورة المياه الجوفية في الهند من محطّته البحثيّة في منطقة آناند Anand بولاية كوجارات Gujarat الهندية القاحلة. وهو يقول بأن المزارعين الهنود يستنزفون احتياطيات الماء باسترسال أهوج ويزرعون محاصيل متعطشة للماء كالأرز وقصب السكر والبرسيم والقطن. والمؤكد أن هؤلاء المزارعين يدمرون مستقبل أطفالهم، إن لم يكن مستقبلهم هم.

لا تملك الحكومة أية فكرة عما يجب أن تفعل. ويقول شاه: "فالقانون عملياً أمر مستحيل إذ "لا يعلم أحد أين المضخات أو من هو مالكها. ولا يستطيع أحد على الإطلاق أن يراقب ما يحدث لها".

ويقول شاه: "لقد تفجرت كل هذه الأمور في العقد الماضي فقط، منذ أن وصلت المضخات الرخيصة إلى الهند. إنها كقوة ماحقة مازالت تتسارع. وهناك مليون من المضخات تزداد عدداً في كل عام. ونحن للتو فقط بدأنا نرى تبعاتها". ويقدر شاه بأن حوالي ربع المزارعين الهنود على الأقل يستخرجون مياهاً جوفيّةً لن تعوضها الطبيعة، وأن ما يقارب 200 مليون من البشر يواجهون مستقبلاً بلا ماء وبلا غذاء.

ويبدو أن ازدهار المياه الجوفية يؤول إلى الإفلاس، وبالنسبة للبعض، فالثورة الخضراء قد انتهت. فمنذ خمسين عاماً مضت في ولاية كوجارات الشمالية، كانت الثيران التي تقود دلاءً من الجلد ترفع المياه من آبار مكشوفة جرى حفرها بعمق حوالي 10 أمتار. أما الآن، فقد غاصت الآبار الأنبوبية إلى عمق 400 متر وما تزال تجفّ. لقد جف حوالي نصف الآبار التقليدية المحفورة يدوياً وكذلك ملايين الآبار الأنبوبية في أنحاء الهند الغربية. وفي ولاية تاميل نادو الجنوبية، نضب بالفعل ثلثا الآبار المحفورة يدوياً، ولا يروى الآن إلاّ نصف ما كان يروى من أراضٍ قبل عقد مضى. وكذلك، فإن مقاطعات بأكملها في تاميل نادو وكوجارات آخذةٌ بالخلوّ من سكانها. وتفشى الانتحار بين المزارعين. وأخذ الكثيرون ينضمون إلى ملايين المهاجرين إلى التجمعات الفقيرة في المدن، أو ينخرطون في مجموعات عمال الإنشاءات والعمّال الذين يجوبون الطرقات العامة في الهند.

التكلفة الحقيقية للحليب

في الوقت الذي يهبط فيه منسوب المياه، ترى بعض الولايات أن معظم القدرة الكهربائية المدعومة مالياً لديهم يتم استخدامها من قبل المزارعين في ضخ المياه إلى السطح. ولا يجد المشرعون سبيلاً لإيقاف هذه الممارسة. ويقول شاه: "إذا جرى تحصيل قيمة الكهرباء المباعة للفلاحين لأغراض الضخ بسعر السوق تماماً، فلن يُزرع أي شيء فيما عدا ذلك الذي سترويه الأمطار". وأحياناً لا تستطيع الشبكات أن تتحمل التوتر الكهربائي فتحصل انقطاعات في التيار واسعة النطاق –وهذا هو القيد الوحيد الفعال لموضوع الضخ. إنها ليست حالة أناس سيئين يقومون بأعمال سيئة. بل تتعدّاها إلى أناس جيِّدين حسبما اكتشفتُ أنا حينما كنتُ أزور شودهوري في مزرعة الألبان الخاصة به.

يعترف باحثو شاه بأنه المزارع الأكثر كفاءةً و وعياً بيئياً في المنطقة. ولكن، بقليل من التعمُّق تجد أن كفاءة شودهوري نفسها توضح جنون اقتصاد الماء في ممارسته هنا. إذ إن مضخته الكهربائية تضخ ما يعادل 12 متراً مكعباً من الماء في الساعة الواحدة. وعندما يحتاج إلى ري حقوله (وهو ما يفعله 24 مرةً في السنة الواحدة) فإنها تستغرق 64 ساعةً لاستجرار كل ما يحتاجه من الماء. وهذا يساوي 18000 متر مكعب من الماء

يعد الماء الأحفوري المستخرج من أعماق الأرض حلاً مؤقتاً فقط لملايين من الناس الذين يعتمدون عليه.

سنوياً لزراعة العلف اللازم لإنتاج حوالي 9000 لتر من الحليب. أي ما مقداره 2000 لتر من الماء لكل لتر من الحليب. وبالنسبة لشاه فإن ذلك أفضل من المعدل المحلي.

لقد أطلق البعض على صناعة الألبان هنا اسم "الثورة البيضاء". ولكن، وعلى حد قول شاه، فإنها تشكل أحد الأسباب الرئيسية لأزمة المياه في جوكارات. وهو يعتقد بأن منطقتين فقط دون غيرهما، تصدِّران من الولاية 1.5 كيلومتر مكعب من الماء سنوياً على شكل حليب.

ويعي شودهوري تمام الوعي الوثاق الذي يقيّده وزملاءه ممن ينهبون المياه. وهو يخبرني قائلاً: "نعم، يقلقني كون المياه ستنضب، ولكن ماذا يمكنني أن أفعل؟ أريد أن أعيش، وإذا لم استجرّ الماء، فإن جيراني سيفعلون ذلك". إن الجميع يستطيعون بلوغ الماء بدون قيود، لذا فقد أصبح الإفراط في الاستغلال أمراً محتوماً تقريباً؛ إنها حالةٌ كلاسيكية تراجيدية العموم. وبينما كنا نقلّه بالسيارة إلى القرية ليقوم بإيصال حليبه، أضاف قائلاً: "لا أريد لابني أن يعمل بالفلاحة، بل أريده أن يحصل على عمل في المدينة". وبالقدر الذي يهبط فيه منسوب الماء فإن شودهوري قد لا يملك أي خيار.

وتتكرر فوضوية المياه الجوفية الهندية فعلياً في أماكن أخرى. فمن الصين إلى إيران ومن إندونيسيا إلى الباكستان، نرى الأنهار آخذة بالجفاف تحت وطأة عمليات الاختلاس المتزايدة، وفي بعض المناطق نرى التغير المناخي. فلقد اشترى الملايين من صغار المزارعين في هذه البلدان المضخات وأخذوا ينضحون المياه من أعماق حقولهم. ويقدر شاه بأن الهند والصين والباكستان سوياً ربما يستجرّون ما يوازي حوالي 400 كيلومتر مكعب من المياه الجوفية سنوياً، وهذا يساوي حوالي ضعفي ما يتم تعويضه بواسطة الأمطار. وتشكّل هذه البلدان الثلاثة ما يزيد نصف الاستخدام العالمي الإجمالي للمياه الجوفية لأغراض الزراعة.

وفي الوقت نفسه، قام المزارعون الفيتناميون خلال العقد المنصرم بزيادة الآبار الأنبوبية إلى أكثر من أربعة أضعاف عددها وصولاً إلى مليون بئر. ولا تُستثنى سري لانكا وإندونيسيا وإيران وبنغلادش من ذلك. أما خارج آسيا فإن ثورات مماثلة تشق طريقها في الدول ذات الكثافة السكانية مثل المكسيك والأرجنتين والبرازيل والمغرب وحتى الولايات المتحدة، فإنها منهمكة في تفريغ الاحتياطات المائية الجوفية النفيسة من أجل إنماء الحبوب وتربية الأبقار بهدف التصدير.

تعد هذه البلدان في صميم ما يطلق عليه المهندس الزراعي وعالم البيئة ليستر براون L. Brown (رئيس معهد "سياسة كوكب الأرض" في واشنطن) اسم "الفقاعة الغذائية". وهو يقول بأن سجل مخرجات الفلاحة في السنوات الأخيرة تشير فقط إلى سطو لا يُعَوَّض على هذا المصدر السريع التناقص. ولابدَّ للفقاعة أن تنفجر. ويتابع قائلاً: "ليس الموضوع ما إذا كان ذلك لن يحدث، بل متى سيحدث". إن عواقب نضوب المياه الجوفية الحتمي والخطير يمكن أن تكون مأساوية. إنها كارثة جفاف تفور ببطء بحيث ستؤثر في يوم ما على مئات الملايين من البشر. ولكنها لَحد الآن لم تظهر على شاشات رادار الحكومات أو وكالات الغوث.

وبالطبع لن يحصل ذلك في كل مكان في الوقت نفسه. فكل حوض مائي عدّه التنازلي نحو الدمار. فحين تنفجر كل فقاعة، تبخس قدرة العالم على إطعام ذاته. كما وأن ذلك ليس مجرّد أزمة بالنسبة للعالم النامي. فحسب بعض الحسابات، يجري إنماء ما يعادل العشر من غذاء العالم باستخدام المياه الجوفية التي لا يتم تعويضها بواسطة الأمطار. ومما لا نعرفه أن أغلب دول العالم الغني تستورد المحاصيل المزروعة باستخدام الضخ المفرط لاحتياطيات المياه الجوفية، مثال القطن من الباكستان، والأرز من تايلاند، والقهوة من إثيوبيا، وحتى البرتقال الإسباني والسكر الأسترالي.

هذا وإن الكثير منا، ولاسيما في البلدان التي لا تعتمد الفلاحة فيها على الري الصنعي–لا يملك إلاّ فكرة قليلة عن كمية الماء اللازمة لإنماء غذائنا. فبعض الإحصائيات مذهلة. إذ يلزم على سبيل المثال ما بين 2000–5000 لتر من الماء لإنماء 1 كيلوغرام من الأرز. وهذا الكمُّ من الماء يفوق العديد من الاستخدامات المنزلية في أسبوع. فمقابل كيس فقط من الأرز يلزم 1000 لتر لإنماء كيلو واحد من القمح، و11000 لتر لإنماء العلف لما يكفي

يتطلب الأمر كميات مذهلة من الماء لإنماء بعض المحاصيل العادية، وهي كميات من الماء قد لا تتحمل الكثير من البلدان خسارتها.

بقرة لصنع ربع باوند من الهمبرغر، وما بين 2000–4000 لتر لتلك البقرة حتى يمتلئ ضرعها بلتر واحد من الحليب.

وحين تعتقد أن سلّة حاجياتك آخذة بالتضخم قليلاً عند هذه المرحلة، فربما يكون عليك أن تتخلّى عن كيس يحوي كيلوغرام من السكر على رف المتجر، إذ لزم ثلاثة آلاف لتر من الماء لإنتاجه. أما وعاء الكيلوغرام من البن، فإنه يوازن عشرين ألف لتر (20 طناً) من الماء. وإذا ما نظرنا إلى هذه الأرقام بطريقة أخرى، فكل ملعقة صغيرة من السكر في فنجان قهوتك تتطلب 50 كوباً من الماء لإنمائها، فإنماء القهوة بالذّات تتطلب 140 لتراً أو 1120 كوباً من الماء. في حالات كهذه، فإن المواطن النمطي في الغرب، الذي يتناول اللحوم ويستهلك الحليب، يستهلك من الماء ما يعادل 100 ضعف وزنه ماءً في اليوم. وحتى الملابس فإنها تضيف المزيد من المعاناة إلى أزمة المياه. إذ يمكنك أن تملأ 25 حوض استحمام بالماء الذي يتم به سقاية 250 غراماً من القطن الذي يلزم لصنع قميص قطني واحد.

يطلق علماء الاقتصاد على الماء المرتبط بإنماء أو تصنيع المنتجات المتداولة تجارياً في العالم اسم "الماء الافتراضي". ويقدر الاستهلاك المائي التجاري بما يعادل حوالي ألف كيلومتر مكعب سنوياً، أو 20 نهراً كنهر النيل. ويدخل ما يناهز العُشْر من جميع المياه المستخدمة في زراعة المحاصيل ضمن تجارة الماء الافتراضي العالمية. يقول طوني آلان من كلية الأبحاث الإفريقية والشرقية في لندن، والذي صاغ مصطلح الماء الافتراضي: "إنها –أي تجارة الماء الافتراضي– تنقل المياه بكميات كبيرة وعبر مسافاتٍ أبعد ما تكون عن التخيلات الجامحة لمهندسي الري"، إنها بذلك تفرغ العالم من احتياطياته المائية الجوفية.

ما الذي يجب فعله؟ لقد تحدثت الحكومة الهندية، كغيرها، وبشكل كثيف، عن تزويد المزيد من المياه للمزارعين عبر وَصْل الأنهار الراهنة من أجل إنشاء نوع من شبكة وطنية للمياه ولكن، تبدو الجدوى العملية غير أكيدة حيث إن أغلب أنهار الهند آخذة بالجفاف الآن. كما أن تكلفة مثل هذا المشروع (المقدَّرة بما يصل إلى 200 بليون دولار) تبدو مخيفة. وثمة مقاربة أخرى. فإحدى خصوصيات المياه في الهند تتمثل في كون قدر كبير منها لا يصل إلى الأنهار، ولا يتجمع تحت الأرض. فأمطار الرياح الموسمية غالباً ما تتبخر تحت الشمس أو تفلت بشكلٍ فيضانات هائجة. لذلك، فإن أحد الحلول التي نوقشت بشكلٍ واسع يتمثل في حبس الأمطار.

لقد التقيت هارادِيفسن هاديجا H. Hadeja في الأراضي السوادية لولاية

إن الماء المستخدم في ري المحاصيل والذي لا يمكن أن يتم تعويضه بواسطة الأمطار يساهم في "فقاعة غذائية" عالمية الاتساع.

عندما تجف مياه نهر ما، فهل هناك أي خيار غير القيام بشراء مضخة كهربائية لضخ المياه الجوفية؟

كوجارات، وهو موظف شرطة هندي متقاعد حوَّل قريته الأم (راجسامادهيا) عبر القيام بذلك فقط. لقد حول المنظر الطبيعي الصحراوي للحقول الجافة والآبار الناضبة إلى مشهد مخضوضر من الأشجار والبرك والآبار الغزيرة الامتلاء والمحاصيل الوافرة. وتعتمد أغلب القرى الأخرى في تلك المنطقة على صهاريج حكومية لنقل الماء بغية تقديم مياه الشرب في أغلب أيام السنة. ولا يملكون إلاّ القليل من أجل ري محاصيلهم. أما في راجزامادهيا، فليس الحال هكذا. ويقول هاديجا: "لم يحدث عندنا أن أتى صهريج لنقل المياه إلى القرية لمدة تتجاوز 10 سنوات. فنحن لسنا بحاجة لذلك".

حصاد المطر

لقد أعاد هاديجا تصميم منظومة شبكة الصرف في القرية وذلك بهدف إبطاء مرور الأمطار الموسمية بطول يكفي لتجمعها في برك تم حفرها خصوصاً لهذه الغاية. ويمر الماء من بركة إلى الأخرى المجاورة بشلالٍ بطيء. ولا يستخدم المزارعون الماء مباشرةً من البرك، ولكنهم يتيحون له أن يرشح داخل التربة ليعيد ملء الاحتياطي المائي الجوفي ويعوِّض الآبار. يقول هاديجا: "لا يوجد كمية أمطار أكثر من السابق، لكننا نحسن استخدامه فقط. إننا لا ندعه يهرق ويذهب سدى". وكنتيجة لذلك، صار لدى القرية من المياه ضعف ما كان لديها في السابق، وأخذنا نعثر على الماء في الآبار بعمق 7 أمتار فقط، في حين كانت المياه في السابق تُنْضح من عمق يفوق 30 متراً.

لقد انتشرت أخبار هذه القرية الرائعة في أنحاء الهند وما وراءَها. فقد وصل عالم أجنبي إلى راجزامادهيا ومعه صور من القمر الصناعي للقرية، كشفت عن وجود صدوع غير مرئية في جيولوجية الأرض كانت المياه تجري عبرها. لقد عمد هاديجا إلى إبطاء التدفق عن طريق سد الصدوع باستخدام الإسمنت. وخلف الإسمنت وصور الأقمار الصناعية، طرق هاديجا دون علمه باب تقليد قديم. فحتى حلول أوائل القرن التاسع عشر، كان يتم ري أغلب الأراضي الهندية من مكامن ضحلة طينية الجدران موجودة في قيعان الأودية كانت تختزن الأمطار الموسمية في كل صيف. وقد أطلق الهنود عليها اسم "تانكا tanka" وهي كلمة تم تبنيها في اللغة الإنكليزية بكلمة tanks.

ولا يزال بإمكانك رؤية برك أو بحيرات قديمة متناثرة في أنحاء الريف والأراضي القاحلة في المدن، وقد تم هجر أغلبها. أما الآن ومع أن الأنهار في الوقت الحاضر تنضب بالإضافة إلى جفاف مكامن المياه الجوفية، فإن الجهود قائمة لإحيائها. وها هي عملية "حصاد مياه الأمطار" تميل لأن تصبح تحرُّكاً اجتماعياً يوحِّد الكثير من شرائح المجتمع الهندي. لقد التقيت بمصلحين اجتماعيين من Gandhian وبمعلمين للدين الهندوسي وكذلك بمدرسين ومهندسين، وجميعهم يعملون على وضع هذه النظرية قيد الممارسة. وتقول سونيتا ناراين S. Narain وهي مديرة مركز نيودلهي للعلوم والبيئة، ومحامية محنكة: "وحتى المدن يمكنها أن تفعل الشيء نفسه". ففي بنغالور (وادي السيليكون الهندي) الرملي، تحاول سلطات المدينة تعزيز الحوض المائي عن طريق استصلاح البحيرات القديمة في المدينة وعددها 60 بحيرة. وتقول ناراين: "في أجزاء من دلهي حيث تمّ تنظيف الخزانات والبرك القديمة من القمامة وأعيد ملؤها بالمياه، نجد أن منسوب المياه آخذ بالارتفاع. وإذا ما تم تنظيمها، فقد تستطيع العاصمة أن تحصل على ثلث مياهها عن طريق تجميع مياه الأمطار.

لقد تحققت زيادة حصاد مياه الأمطار في الهند، ولكن يمكن تقديم حلول أكثر اتساعاً، ففي بلدان بعيدة جداً كالمكسيك، والبيرو والصين وتنزانيا تقوم الحكومات والمجتمعات بإجراء التجارب مع خطط شبيهة تتجنب الحاجة إلى بنية تحتية كبيرة. وتحقّق تحكّم القرى بالمياه، واسترجاع بعضاً من التوازن البيئي، وذلك لأنه يصبح بإمكانهم استجرار المياه الهاطلة مع الأمطار فعلياً فقط.

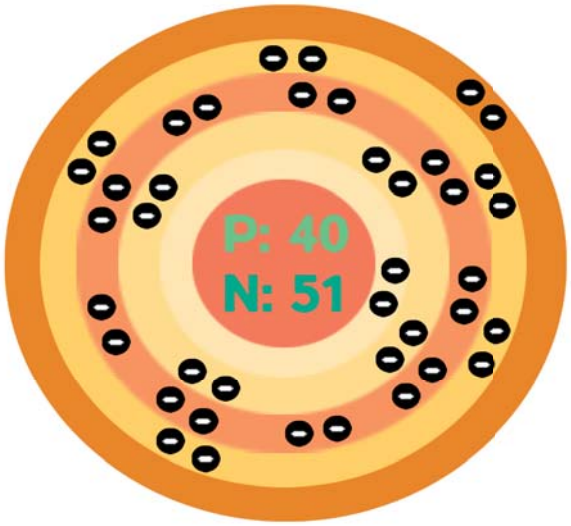
يقول شاه إنه يوجد في الهند، على الأقل، عاملٌ رئيسٌ هو الرقابة الشعبية. فالقلائل من المزارعين الفرادى يستطيعون بنجاح تجميع مياه أمطارهم وتخزينها تحت الأرض. إذ إنها سرعان ما تتبدّد في حوض مائي أوسع. ولكن إذا ما قامت بذلك قرية بأكملها، فإن المفاعيل غالباً ما تكون بهيجة، إذ ترتفع مناسيب المياه، وتتدفق الجداول المتجفّفة من جديد، وبكميات أكبر من المياه للري، وتتغيّر إنتاجية الحقول نحو الأفضل.

يقول شاه: "إن حركة حصاد مياه الأمطار هي تعبئة للطاقة الاجتماعية بمقياس وشدة قد يجعلانها أحد أهم الاستجابات الفعالة إزاء كل تحدٍّ بيئيٍّ في أي مكان في العالم".

ولقد كانت نشأتها مستقلةً تماماً عن الحكومة–مثلما هي ثورة المياه الجوفية إلى حدٍّ ما، في حقيقة الأمر. وحسب بعض التقديرات، فهنالك حالياً 20.000 قرية في الهند تجني مياه أمطارها. صحيح أنه لا تتوفر بالطبع مياه أكثر من ذي قبل، لكن الحصاد المحلي يبدو بالفعل مفتاحاً لاستخدامها بشكلٍ أكثر فعالية واستدامة sustainably. وربما تستطيع إنقاذ العالم من الفوضوية الهيدرولوجية.

نُشر هذا الخبر في مجلة *Newscientist, 25 February, 2006*.

الزركونيوم



الرمز:	Zr
العدد الذرّي: (عدد البروتونات في النواة)	40
الوزن الذرّي: (موجود طبيعياً)	91

ماهيته

الزركونيوم معدن براق ذو لون أبيض مائل للرمادي ومقاوم للتآكل. وعندما يكون الزركونيوم بشكله المقسم الناعم، فإنه يستطيع أن يشتعل تلقائياً في الهواء، وبخاصة في درجات الحرارة العالية، أما بالنسبة للمعدن المكتنز فإن إشعاله يكون أمراً أكثر صعوبة. ويوجد الزركونيوم في الطبيعة على هيئة خمسة نظائر مستقرة (النظائر هي الأشكال المختلفة للعنصر التي تمتلك نفس عدد البروتونات في النواة ولكن لها عدداً مختلفاً من النترونات). وأكثر أشكاله السائدة هو الزركونيوم-90، إذ إنه يشكل ما نسبته أكثر بقليل من نصف الزركونيوم الطبيعي. أما بقية النظائر الثابتة الأربعة وغزاراتها النسبية فهي كما يلي: الزركونيوم-91 (11%)، الزركونيوم-92 (17%)، الزركونيوم-94 (17%)، الزركونيوم-96 (2.8%). يوجد الزركونيوم بشكلٍ واسع في القشرة الأرضية، ولكن لا يكون بشكل توضّعات طبيعية مركّزة.

ومن بين النظائر الستة المشعّة الأساسية للزركونيوم، يوجد نظير واحد فقط، وهو الزركونيوم-93، يتميز بعمرِ نصفٍ طويلٍ بما يكفي لتبرير قلق محتمل بشأنه لدى مواقع الإدارة البيئية لوزارة الطاقة (DOE) مثال: موقع هانفورد. أما أعمار النصف الخاصة ببقية النظائر فهي أقل من ثلاثة أشهر. ويضمحل الزركونيوم-93 –عبر إطلاقه جسيم بيتا بعمر نصف يساوي 1.5 مليون سنة– ليعطي نيوبيوم-m93 (يعني الرمز m تبدل الاستقرار metastable) الذي يضمحل بدوره عن طريق التحوُّل التصاوغي isomeric transition متميزاً بعمر نصفٍ يساوي 14 سنة. يوجد الزركونيوم-93 في الوقود النووي المستنفد والنفايات الناتجة عن إعادة معالجة هذا الوقود. ويحد النشاطُ النوعيُّ المتدني والطاقة المنخفضة لإشعاعاته من المخاطر الإشعاعية لهذا النظير.

مصادره

يوجد الزركونيوم بشكل طبيعي في عدد من المعادن، ولكنه لا يظهر بشكلٍ عام في توضّعات مركزة. إن المعدن المعروف بالزركون (أورثوسيليكات الزركونيوم zirconium orthosilicate)، والذي يوجد في توضّعات الطمي في قيعان الجداول أو شواطئ المحيطات أو قيعان البحيرات القديمة، هو المصدر التجاري الوحيد للزركونيوم. مع العلم أن الزركونيوم التجاري التصنيف

الخواص الإشعاعية لنظير الزركونيوم الأساسي والنكليد المرتبط به

النظير	عمر النصف (yr)	النشاط النوعي (Ci/g)	طراز التحلل	طاقة الإشعاع (MeV)		
				ألفا α	بيتا β	غاما γ
Zr-93	1.5 مليون	0.0025	β	-	0.020	-
Nb-93m	14	290	IT	-	0.028	0.0019

IT= التحول التصاوغي، Ci= كوري، g= غرام، وMeV= مليون فولط إلكتروني؛ أما الشَّرطة فإنها تعني أن المدخل غير تطبيقي. وقد أدرجت هنا خواص معينة للنيوبيوم لكون هذا النكليد المشع قد يرافق اضمحلالات الزركونيوم-93. تمَّ تقريب القيم إلى عددين معنويين.

يحتوي على نسبة تتراوح ما بين 1 إلى 3% من الهافنيوم. أما الدول المنتجة الرئيسة للزركونيوم فهي أستراليا وجنوب أفريقيا. كما تعد أوكرانيا والولايات المتحدة والهند والبرازيل والصين من ضمن الدول المنتجة. ويقدر الإنتاج العالمي السنوي للزركونيوم حاليّاً بما يناهز 900.000 طن متري (MT) يجري إنتاج حوالي 60 طن متري منها بشكل محلّي.

يتم إنتاج الزركونيوم-93 بواسطة التنشيط النتروني لمكونات في المفاعلات النووية وبالانشطار النووي. فعندما ينشطر نكليد انشطاري ما، مثل ذرّة من اليورانيوم-235، فإنه على العموم ينشطر لاتناظرياً إلى شدفتين كبيرتين –هما ناتجان انشطاريان يحملان عَدَدَيْ كتلة في حدود 90 و140 –وإلى نترونين أو ثلاثة. (العدد الكتلي هو مجموع عدد البروتونات والنترونات في نواة الذرة). يمكن أن تسبب هذه النترونات انشطارات إضافية (منتجةً تفاعلاً متسلسلاً)، أو تفلت من المفاعل، أو تشعِّع مواد قريبة. ويستخدم الزركونيوم في إكساء عناصر الوقود النووي، أما الإشعاع النتروني للإكساء فيمكن أن ينتج الزركونيوم-93. كما أن الزركونيوم-93 يعد أيضاً ناتجاً انشطارياً ذا مردود مرتفع نسبياً بحيث يقارب 6%. أي أنه يتم إنتاج حوالي ست ذرّات من الزركونيوم-93 لكل 100 عملية انشطار. يوجد الزركونيوم-93 في الوقود النووي المستنفد، وفي نفايات الإشعاع النووي ذات المستوى المرتفع والناشئة عن معالجة الوقود النووي المستنفد، وفي النفايات المشعة المرتبطة بالمفاعلات النووية ومنشآت معالجة الوقود.

استخداماته

الزركونيوم مقاوم جداً للحت الذي يحدث بوجود العديد من الأحماض والقلويات الشائعة وكذلك ماء البحر. ولهذا السبب فهو يستخدم بشكل مكثف في الصناعة الكيميائية حيث تُستخدم العوامل الحاتة corrosive. ويستخدم الزركونيوم كذلك في أنابيب التخلية (وذلك كعامل ملغمة (إشابة)) في الفولاذ وأجهزة العلميات الجراحية ومصابيح التصوير الوامضة وكبسولات التفجير وشعيرات المصابيح. وهو يستخدم كذلك في مستحضرات اللبلاب السام على شكل الكربونات. ونشير إلى أن الزركون المعدني يتّصف بقرينة انكسار مرتفعة ويستخدم كمادة حجر كريم. أما أكسيد الزركونيوم غير النقي فإنه يستخدم في بوتقات المخابر التي تستطيع مقاومة الصدمة الحرارية، وكذلك في تبطين أفران التعدين، كما يستخدم في صناعة الزجاج والسيراميك كمادة مقاومة. ويستخدم الزركالوي Zircaloy (وهي سبيكة من الزركونيوم تحتوي على كميات صغيرة من القصدير والحديد والكروم والنيكل) كمادة كاسية لعناصر الوقود النووي. هذا ويمتلك الزركونيوم مقطعاً عرضياً خفيض الامتصاص للنترونات، مما يجعله مادةً مثاليةً للاستخدام في تطبيقات المفاعلات النووية. ويقدر استخدامه في توليد القدرة الكهربائية النووية تجاريّاً بحوالي 90% من كمية معدن الزركونيوم المنتج.

وجوده في البيئة

يوجد الزركونيوم في القشرة الأرضية بتركيز يبلغ حوالي 130 ملّي غراماً لكل كيلوغرام (mg/kg)، أما تركيزه في مياه البحر فهو يبلغ حوالي 0.026 مكروغرام (µg)/لتر. ويوجد أثر زهيد من الزركونيوم-93 في التربة الموجودة حول الكرة الأرضية بفعل السقط المشعّ. كما يمكن وجود الزركونيوم أيضاً في بعض المنشآت النووية، مثل المفاعلات والمنشآت التي تعالج الوقود النووي المستنفد. أما أعلى التراكيز في هانفورد فهي في المناطق التي تحتوي على نفايات ناتجة من معالجة الوقود المشعّ irradiated fuel، بما في ذلك الأجهزة المرتبطة بالوقود المستنفد. ويعتبر الزركونيوم عموماً أحد أقل المعادن المشعّة تحرُّكاً في التربة، على الرغم من أن صيغاً معينة منه تستطيع أن تنتقل بعض المسافة نزولاً باتجاه طبقات باطنية ذات مياه مرتشحة. ويلتصق الزركونيوم بشكل حميم ووثيق بالتربة، ويفوق التركيز المرتبط بجسيمات التربة الرملية نمطياً حوالي 600 مرة تركيزهُ في المياه الخلالية (بمعنى المياه الموجودة في الفراغ المسامي بين جسيمات التربة)، ليصل نسب تركيز تكون أكثر من 2000 في الترب الغضارية والطفالية. وهكذا فإن الزركونيوم لا يعدُّ على العموم ملوّثاً خطيراً في المياه الجوفية في مواقع وزارة الطاقة في الولايات المتحدة.

مصيره في الجسم

يمكن للزركونيوم أن يدخل الجسم عن طريق تناول الطعام أوشرب المياه أو استنشاق الهواء. ويعد الامتصاص المعوي من الطعام والمياه المصدر الأساسي للزركونيوم المتوضّع داخلياً لدى عامة الناس. ولا يتم امتصاص الزركونيوم بشكل تام إلى داخل الجسم (فلا يصل إلى مجرى الدم وارداً من الأمعاء سوى 0.2% من الكمية المبتلعة إلى داخل الجسم). ويتوضّع حوالي نصف الزركونيوم–الذي يصل إلى الدم– في الهيكل العظمي حيث يتميز بعمر نصف بيولوجي يساوي 8000 يوم، أما النصف الآخر فيتوضّع في جميع الأعضاء المتبقية وكذلك في أنسجة الجسم حيث يتم الاحتفاظ به متّصفاً بعمر نصف يبلغ 7 أيام (وذلك بالنسبة للنماذج المبسطة التي لا تعكس إعادة توزيع intermediate redistribution). وبما أن الزركونيوم لا يؤلف مكوِّناً أساسياً من المكوِّنات المعدنية للعظام، فإن الكمية المتوضّعة منه في الهيكل العظمي يُفترض أن تبقى على السطوح العظمية دون أن يتم امتصاصها إلى داخل كتلة العظم.

معاملات الخطورة الإشعاعية

يوضح هذا الجدول نخبة من معاملات الخطورة الخاصة بالاستنشاق والابتلاع. تمَّ استخدام أنماط الامتصاص المفترضة والموصى بها فيما يخصّ الاستنشاق، وقد تمَّ استخدام قيم غذائية بالنسبة للابتلاع. تتضمن هذه القيم إسهام النيوبيوم-**m93**. أما درجات الخطورة فإنها تخصّ الوفاة بالسرطان من كافة الأعمار لكل وحدة إدخال (بيكوكوري، **pCi**)، محسوبة بالمتوسط على كل الأعمار ولكلا الجنسين. مع الإشارة إلى أن 10^{-12} تساوي جزءاً من مليون. وقد أُدرجت أيضاً قيم أخرى بما فيها المرضية.

النظير	مقدار الخطورة العمرية للإصابة بالسرطان	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الابتلاع (pCi^{-1})
زركونيوم-93	8.4×10^{-12}	1.7×10^{-12}

تأثيراته الصحية الأساسية

لا يشكل الزركونيوم خطراً على الصحة إلاّ في حال دخوله إلى داخل الجسم. ولا يعد التعرض الخارجي لأشعة غاما أمراً مقلقاً وذلك لأن الزركونيوم يضمحل بإطلاق جزيء بيتا بدون أشعة غاما، ويضمحل النيوبيوم-93 بواسطة التحول التصاوغي، حيث يتم فقط إطلاق إشعاع غاما خفيض الطاقة. وأثناء وجود الزركونيوم داخل الجسم فإنه يشكِّل خطراً صحياً بسبب جسيمات بيتا وأشعة غاما، كما أن المخافة الرئيسية تتعلق بتزايد احتمال تسببه للسرطان.

خطورته

لقد تمَّ حساب معاملات الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان فيما يخص جميع النكليدات تقريباً، بما في ذلك الزركونيوم (انظر الجدول على اليسار). وفيما تُعدُّ تلك الخاصة بالابتلاع أقل نوعاً ما من الخاصة بالاستنشاق، فإن الابتلاع يشكل على العموم الوسيلة الأكثر شيوعاً للدخول إلى داخل الجسم. وتتضمن المخاطر المعروضة هنا الإسهام المتعلق بالنيوبيوم-m93، بالرغم من أن هذا الأخير قد لا يكون في حالة توازن إشعاعي مع الزركونيوم-93 (نحتاج إلى حوالي عشرة أمثال عمر النصف للنيوبيوم أو 140 عاماً لإنشاء هذا التوازن). وعلى غرار نكليدات أخرى، فإن معاملات الخطورة بالنسبة لمياه الصنبور تبلغ حوالي 75% من مثيلاتها بالنسبة للابتلاع الغذائي.

نُشر هذا الخبر في مجلة *ANL. October 2001*.

تأثير درجة حرارة المحيط في الهلام المتلوّن بالإشعاع FXG المستعمل في قياس الجرعة الثلاثيّ البعد

ملخص

دُرست التأثيرات البيئية في الخواص الضوئية لمقياس الجرعة الهلامي الحسَّاس المتلوِّن بالإشعاع؛ لاسيما تأثيرات شروط التخزين ودرجة الحرارة أثناء التشعيع والقياس. تساعد معرفة تأثيرات الضوء ودرجة الحرارة والعوامل البيئية الأخرى في أمثلة ظروف العمل وتقليل الأخطاء. حُضِّر مقياس الجرعة من كبريتات الحديد (Fe^{2+}) بالمؤشر الأيوني الزينول البرتقالي orange xylenol المُدَمّج في بنية هلام الجلاتين gelatin gel (FXG) في شروط عمل طبيعية، وحُفظت العيّنات بعدئذ في منطقة تخزين مُغلقة وفي درجات حرارة مختلفة تتراوح بين 5°C وحتى درجة انصهار الهلام حوالي 35°C. قيس الامتصاص الضوئي كمياً لهذه العيّنات بمطيافيّة ضوئيّة ثنائيّة الحزمة. لوحظ وجود زيادة بسيطة مطّردة في الامتصاص الضوئي تقدر بـ 0.3×10^{3}/°C مع ارتفاع درجة الحرارة حتى حوالي 30°C حيث شوهدت قفزة كبيرة في امتصاصية الهلام. وأخيراً، لوحظ سلوك مهم إضافي لمادّة FXG، تمثَّل بأن هذه التغيّرات المرتبطة بارتفاع درجة الحرارة عكوسة وهي تختلف عن التغيّرات الدائمة التي يسبِّبها الإشعاع.

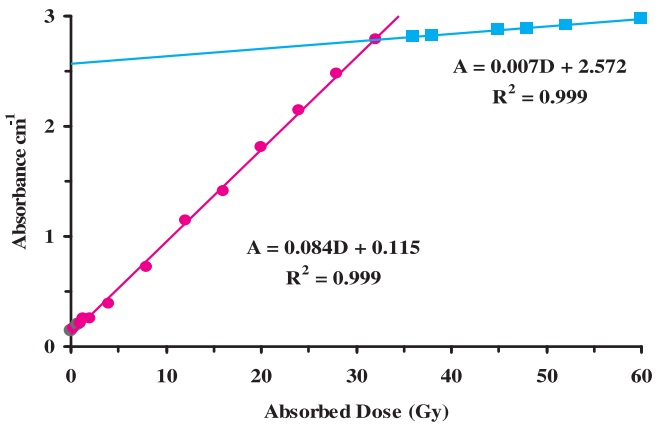
الكلمات المفتاحية:

مقياس جرعة هلامي متلوّن بالإشعاع، قياس الجرعة ثلاثيّ الأبعاد، كبريتات-الحديدي، الزينول البرتقالي، الجلاتين (FXG).

مقدمة

تُستعمل المطيافيّة الضوئيّة عادة في قراءة نتائج مقياس الجرعة المائي السائل التقليدي المعروف باسم فريكي Fricke، وذلك بدراسة عُصابات الامتصاص المميزة لأيون الحديد، والتي تتمركز في المجال فوق البنفسجي عند 224 nm و304 nm. يعيق الامتصاص القوي، في المجال فوق البنفسجي UV لمادة مقياس الجرعة فريكي في شكله الهلامي، استعمال هذه الأطوال الموجيّة مع العيّنات الثخينة. وقد أُضيف حمض البنزويك ومؤشر الأيونات المعدنية من الزينول البرتقالي لزيادة حساسيّة مقياس الجرعة فريكي السائل [1]. وقد أدّى هذا التعديل إلى توضّع عُصابة الامتصاص في المجال المرئي من الطيف. وعندما مُزج الزينول البرتقالي (XO) مع هلام الآغاروز agarose للكشف الثنائي الأبعاد 2-D مكّنت قمّة

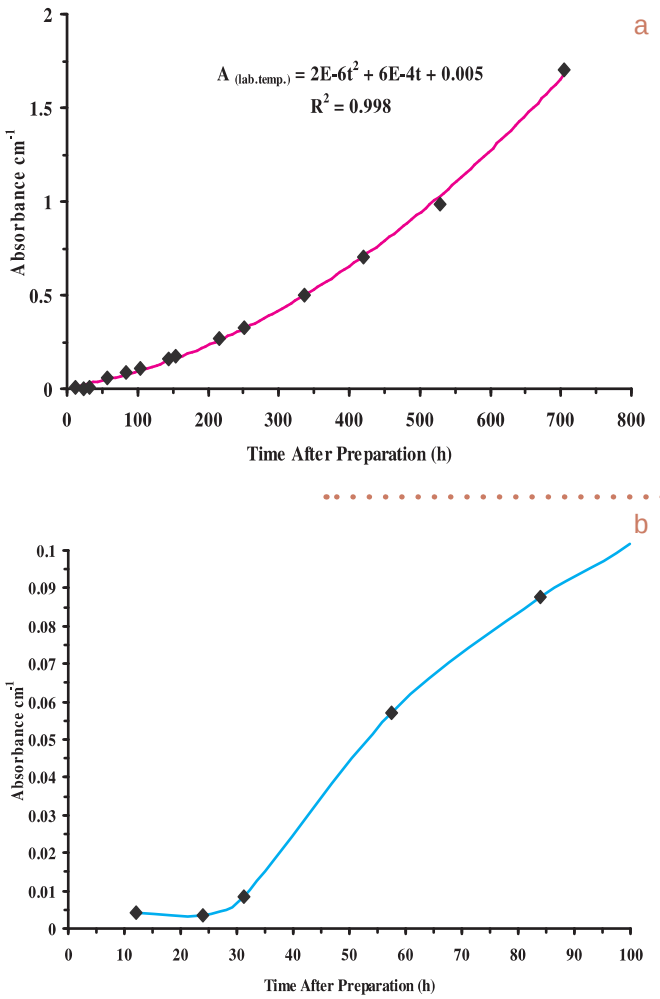
الامتصاص عند 550 nm من استعماله مع العيّنات الأكبر [2]. وقد شكّل هذا الهلام المتلوّن بالإشعاع فيما بعد نقطة انطلاق للتعديلات التالية [3]. يمكن وصف نظام قياس الجرعة FXG dosimetry system بأنه نموذج معدّل من المنظومة الكيميائيّة من كبريتات الحديدي الكيميائي المشهورة "بمقياس فريكي" ولهذا فهي تمتلك ميزات عامّة مماثلة. فبالإضافة إلى كونه مكافئاً جيداً للنسج الحية، فإن لـ FXG حساسيّة كافية، وقابلية إعادة توليد reproducibility واستقرارية مناسبتين في مرحلتي ما قبل التشعيع وما بعده [4]. لذلك، فهو يحقّق جلّ المتطلبات التي يجب أن تتوفر في مقياس الجرعة كي يكون مرشّحاً مناسباً لقياس الجرع الثلاثيّ البعد. يُعدُّ الفهم الجيد لسلوك منظومة قياس الجرعة FXG في شروط بيئية مختلفة، فضلاً عن معرفة ميزاته الأخرى كمقياس جرعة، أمراً مهماً وأساسياً.



الشكل 1: مخططات استجابة المقياس FXG للجرع تظهر علاقة خطية في المجال 0-30 Gy.

هلام FXG المتلوّن بالإشعاع

بعد التعامل مع هلام كلٍّ من الآغاروز والجلاتين تبيّن أنّ للأخير فوائد عملية عديدة. وتبيّن أيضاً أنّ حمض البنزويك لا يلعب دوراً مفيداً بسبب وجود تركيز كبير من مادة الجلاتين العضوية التي تسهم أيضاً في تحسين مردود أيونات الحديد. ساعدنا هذا في أمثلة طريقة تحضير المواد المكوّنة لمقياس الجرعة الهلامي المتلوّن والتي استُخدمت سابقاً [5، 6]. دُرست بعض الخصائص مثل الحساسيّة والمجال الخطيّ والاستقراريّة قبل التشعيع وبعده، بدلالة كلٍّ من تراكيز المكونات الأساسيّة الثلاثة: كبريتات الحديدي وحمض الكبريت والزينول البرتقالي؛ في مجال جرعات خطيٍّ يصل إلى حوالي 30 Gy، وكانت التراكيز المثلى على النحو التالي: 0.5 mM و25 mM و0.1 mM على الترتيب. يكوّن الماء والجلاتين أكبر قسم من مقياس الجرعة FXG بنسبة 94% و5% على التوالي، مما يجعل المادّة مكافئاً جيداً للنسيج الطري [4]. تبدو مادة FXG المحضّرة حديثاً غير المشعّعة بلون برتقالي مائل للصُّفرة عالية الشفافيّة. وبعد التشعيع تبدأ بالتحوّل المتزايد نحو اللّون الأرجواني ولكنها تحافظ على شفافيّتها ولا تظهر أي أثر للتعكّر. لمعايرة المنظومة قسنا الامتصاص الضوئي بمطيافيّة ضوئيّة ثنائية الحزمة في المجال فوق البنفسجي–المرئي باستخدام خلايا ذات طول مسار ضوئي 1 cm من مادة الـ PMMA. تدلّ الشفافية العالية التي تتمتع بها هذه المادة على أن القسم المتبعثر من الضوء صغير مما يوحي بأنّ قراءة المعطيات بالتصوير الطبقي الضوئي optical tomographic بمنبع ضوئي ذي حزمة واسعة (أي غير مجمّعة) ممكنة. وهذا يسمح بزيادة سرعة القراءات بشكل كبير مقارنة مع تقنيات التصوير بـ (MRI) أو



الشكل 2: (a) تأثيرات التخزين الطويل في درجة حرارة المختبر في قراءة الهلام غير المشعّع.
(b) التأثيرات الناجمة عن التخزين القصير، بضعة أيام، في درجة حرارة المختبر.

بالحزمة الوحيدة (ليزر). نوصّف في هذا العمل واحداً من العوامل العملية يمكن أن يوفر فهماً أفضل للمنظومة وتطبيقاً أمثل لها وهو تأثير درجة الحرارة.

استجابة FXG للجرعة

قد تسبِّب ظروف التخزين بما فيها درجة الحرارة والضوء والرطوبة، الخ...، إضافة إلى نقاوة المواد المكونة للمنظومة بعض التغيّرات مع مرور الزمن، وقد تؤثّر هذه التبدّلات في قراءة المادة الهلاميّة غير المعرّضة للإشعاع. تتأكسد أيونات الحديدي طبيعياً في الهلام ببطء؛ ولذلك فإن نظام FXG يعاني من نوع التحوّلات نفسها في مرحلة ما قبل التشعيع كما هو في منظوم فريكي. وقد تبيّن أن النظام FXG حسّاس لارتفاع درجة الحرارة، الذي يعزّز الإثارة غير المرغوبة لجزيئات الصباغ مما يؤدي إلى تغيّرات تبيّن تجريبيّاً أنها عكوسة في الكثافة الضوئيّة للهلام.

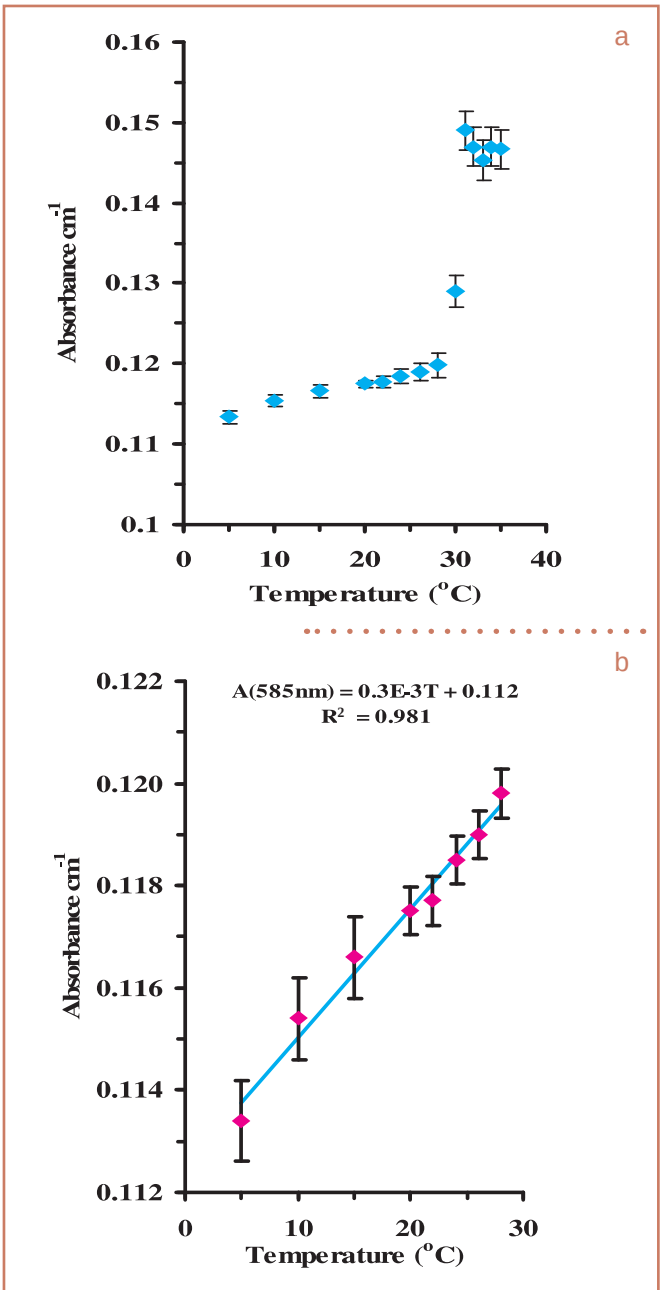
يُعدُّ كل من جرعة الصفر للنظام والتغيّرات التي تحدث في العيّنات غير المشعّعة الناتجة عن الأكسدة الذاتية من المعوّقات المهمة. ولذا فإن معرفة هذه التأثيرات مطلوبة لكي تؤخذ بالحسبان بطرحها من قراءة الجرعة الفعليّة. تبدي هذه التأثيرات في الكثير من الحالات عدم قابليّة تكرار مهمة لا يمكن تجاهلها، لهذا يصبح من الأهمية بمكان تنظيم كل قراءات مقياس الجرعة بالرجوع إلى عيّنة تحكّم أو قراءة الخلفية الأرضية. تبيّن أن قراءة جرعة الصفر لمقياس FXG هي حوالي $0.09\ cm^{-1}$ عند الطول الموجي 585 nm. كما وجد أن التغيّر في الكثافة الضوئية لمادة FXG والناتج عن الأكسدة الطبيعية في درجة حرارة الغرفة بلغ مقداره حوالي $0.7 \times 10^{-3}\ cm^{-1}h^{-1}$ مقيسة عند طول الموجة 585 nm [4]. وبالمقارنة، فإن التغيّر الناتج عن التعرّض لطاقة إشعاعية متوضّعة مقدارها يساوي 1 Gy هو 84×10^{-3} عند الطول الموجي 585 nm انظر (الشكل 1).

يمكن اختيار الحدّ الأعلى للجرعة في النظام FXG بحيث تتناسب ومسألة قياس الجرعة قيد الدراسة. وينجز هذا عملياً بزيادة تركيز أيونات الحديدي وجزيئات الزينول البرتقالي من جهة وبالسيطرة على المردود الكيميائي للمنظومة وذلك بزيادة تركيز حمض الكبريت [4]. تصبح استجابة المقياس FXG بعد عتبة الـ 30 Gy تقريباً بدون تغيير، لا يتجاوز ميل المنحنى في هذه المنطقة 8% من الميل في المجال 0-30 Gy.

تتزايد مع الزمن قراءات الامتصاصية الضوئية للعيّنات المخزنة في الظلام في درجة حرارة المختبر العادية، (الشكل 2a) وذلك بعد فترة استقرار أولية تمتد نحو 30 ساعةً، (الشكل 2b).

تأثير درجة الحرارة

وضعت مجموعة عيّنات من FXG في حمّام مائيّ يمكن التحكم بدرجة حرارته بحيث يسمح بتبريد الماء لدرجة قريبة من درجة



الشكل 3: تأثير درجة الحرارة في مجموعة عيّنات FXG غير مشعّعة، قيست الامتصاصية الضوئية عند الطول الموجي 585 nm.

التجمد وبرفع درجة الحرارة حتى درجة 100°C تقريباً. ثبتنا في بداية هذه التجربة، درجة حرارة الحمّام المائي عند الدرجة 4°C، بحيث وصلت جميع العيّنات إلى هذه الدرجة بوضعها في الوسط لفترة زمنية طويلة بما يكفي لبلوغ التوازن الحراري مع الماء المحيط. أُبقيت عملياً العيّنات لفترة تزيد عن عشر دقائق، ثم أُخرجت واحدة تلو الأخرى وقيست عند الطول الموجي 585 nm باستخدام عينة مراقبة في الحزمة المرجعية للمطيافيّة. رُفعت بعدئذ درجة حرارة الحمّام المائي خطوة واحدة ثم أُخذت قراءة كل العيّنات وهكذا انظر (الشكل 3).

لوحظ تسارع الازدياد الثابت في الامتصاص الضوئي عندما بلغت درجة الحرارة حوالي 30°C. ثمّ تقفز قراءة الامتصاصية عندئذٍ إلى قيمة أعلى كثيراً، أما إذا استمرت درجة الحرارة بالارتفاع فإنّ لون الهلام يبدأ بالاضمحلال بشكل بطيء، انظر (الشكل 3a). قد يكون هذا المفعول ناتجاً عن تأثيرات درجة الحرارة العليا في المكونات الفعّالة، ويمكن أن يكون نتيجة مباشرة للتغيّرات التي تطرأ على الحالة الفيزيائية لمادّة النظام، أي التحول من الحالة الهلاميّة نصف الصلبة إلى الحالة السائلة. أخيراً، لوحظ بأن تبريد العيّنات يمكن أن يعكس الزيادة في امتصاصية FXG الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة ولذلك يمكن القول إن هذه التأثيرات ناجمة عن عملية إثارة جزيئات XO أكثر من الأكسدة الفعليّة لأيونات الحديدي وتشكيل المعقّد اللوني.

الاستنتاجات

يُعدُّ الاستقرار التخزيني المتدني واحداً من السلبيات التي لا يستهان بها للمنظومة FXG، شأنها في ذلك شأن أي منظومة أخرى تعتمد على التفاعلات الكيميائيّة. يمكن أن تسبِّب درجة الحرارة وشروط المحيط الأخرى إشكالات كبيرة لأن معامل الانطفاء الضوئي optical extinction coefficient يعتمد عموماً على هذه العوامل. ويمكن التقليل من هذه المؤثرات باستخدام تركيز أدنى من أيونات الحديدي بادئ ذي بدء، وحفظ المواد في ثلاجة قبل الاستعمال. كما يوصى بتطبيق عامل تصحيح لتعويض التغيّر الناتج عن زمن الحفظ. أما ارتفاع درجة الحرارة أثناء التشعيع فيمكن إهماله إذا ما حُفظت مادة مقياس الجرعة بعد التشعيع وخلال التقييم في شروط حرارية مسيطر عليها. في النهاية، يوفر النظام FXG مقياس جرعة مقبول عملياً إلى حدٍّ معقول يمكن استعماله لدراسة العديد من المشاكل المرتبطة بقياس الجرعة بشكل عام، ولا يقتصر على التطبيقات الثلاثية الأبعاد فقط.

References المراجع

[1] B. L. Gupta and G.R. Narayan, Phys. Med. Biol. 30 (1985) 337.

[2] A. Appleby and A. Leghrouz, Med. Phys. 18 (1991) 309.

[3] M. A. Bero, W. B. Gilboy, P. M. Glover and J. K. Keddie, Nuclum. Instr. and Meth. A 422 (1999) 617.

[4] M. A. Bero, W. B. Gilboy, P. M. Glover and H. El-Masri,. Nucl. Instrum. and Meth. B166 (2000) 820.

[5] M. A. Bero, W. B. Gilboy, P. M. Glover and S. J. Doran, page 109 DosGel'99, Proceedings of the Radiotherapy Gel Dosimetry Workshop, Lexington, Kentucky, USA, July 21-23, 1999.

[6] M. A. Bero, W. B. Gilboy, P. M. Glover, J. Radiol. Prot. 20 (2000) 287.

ممدوح برو ، محمد حسان خريطة .

– هيئة الطاقة الذرِّية، قسم الوقاية الإشعاعية، ص. ب 6091 – دمشق – سورية.

– نُشرت ورقة *البحث* هذه في مجلة:

Journal of Physics: Conference Series Vol.3, 236-239 (2004).

تشعيع البهارات ومواد التغليف ومرتديلا اللحم لتحسين مدة تخزين الناتج النهائي

ملخص

تم تعريض البهارات ومواد التغليف لجرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري من أشعة غاما. وتم تحضير مرتديلا اللحم باستخدام بهارات معالجة وغير معالجة بالأشعة ومغلفة بمواد تغليف مشعة أو غير مشعّة. وعولجت مرتديلا اللحم المغلفة بجرعة قدرها 2 كيلوغري. وتم تخزين مرتديلا اللحم المغلفة المشعة منها وغير المشعة في البراد (1 – 4 م°) ولمدة 12 شهراً. وقدرت الخصائص الميكروبية والغذائية والكيميائية للمرتديلا بعد المعالجة وخلال التخزين؛ في حين قُدرت الخصائص الحسّية فقط بعد التشعيع. لقد خفّضت أشعة غاما العدد الميكروبي في البهارات ومواد التغليف والمنتج المغلف وأطالت مدة تخزين هذا المنتج. لم تسجل فروق معنوية في الرطوبة والبروتين والدسم وقيم الحموضة الـ pH والحموضة الكلية وبيروكسيد الدسم والقواعد الآزوتية الطيارة كنتيجة للتشعيع. بيّن التقويم الحسّي أن جميع المعاملات المركبة لمرتديلا اللحم كانت مقبولة. ومع ذلك، فقد كانت القيم المعطاة للطعم والرائحة والمظهر الخارجي والقوام للمنتج المغلف والمشعع أقل معنوياً من قيم العينات غير المشععة.

الكلمات المفتاحية:

خصائص كيميائية، حمل ميكروبي، تقويم حسّي.

مقدمة

لقد ازداد ميول المستهلك إلى الأغذية شبه الطازجة أو المعالَجة بعناية أو بوسائل ملائمة أو الجاهزة للتناول. واهتمت الصناعات الغذائية أيضاً بالوجبات "المعالجة في الحد الأدنى" وغير المجمدة وبمكونات الوجبة. وتعزز مكان الأغذية المعالجة بالحد الأدنى، واعتُبرت محدودية فترة تسويق هذه الأغذية بمثابة عامل مُحدّد عند المقارنة بالغذاء الطازج والأكثر موثوقية والمخزَّن في البراد الذي يعتبر كأساس لدرجة الحفظ [1]. لقد أدرك المستهلك مفهوم الجودة العالية بتفضيله التبريد على التعليب أو التجفيف أو التجميد [2]. ومع ذلك يبقى لهذه المنتجات عمراً تسويقياً قصيراً نسبياً عند حفظها على درجة حرارة تتراوح بين 1 و 3 م°. إضافة لوجود مخاطر ترتبط بخصائصها الميكروبية [3، 4، 5، 6]، وتدهور خصائصها الحسية [7]، وانخفاض قيمتها الغذائية [8]. وبالتالي فإن اقتراح استخدام جرعة منخفضة من الأشعة قد يساهم في إطالة فترة تسويق هذه النماذج من الأغذية، وفي الوقت نفسه يقلّل ما أمكن من مخاطر التسمم الغذائي [9].

تعتبر البهارات (التوابل) والمركبات المنكِّهة الأخرى من الوصفات التي تضاف لتحسين نكهة الغذاء. وتحت ظروف الإنتاج والتصنيع السائدة، فإن معظم البهارات والمنكهات تحتوي على أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة القادرة على الإفساد أو في حالات نادرة قد تسبب المرض [10]، وبيّنت نتائج الأبحاث المنفذة على الإضافات الغذائية الجافة والنباتات الطبية إمكانية القضاء على العضويات

مدة التخزين (شهر)	0	2	7	10	12	LSD
الرطوبة النسبية %						
nirsp-nirp	59.83 ±0.11	59.66±0.13	59.743±0.09	59.62±0.17	59.67±0.43	0.44
nirsp-irp	59.77±0.29	59.67±0.31	58.41±2.53	59.91±0.86	63.72±6.98	0.69
irsp-nirp	59.60±0.42	59.88±0.43	59.28±0.11	60.003±0.26	59.907±0.41	0.86
irsp-irp	59.53±0.09	59.73±0.13	58.73±0.76	59.58±0.31	59.73±0.65	0.98
LSD	0.50	0.573	2.49	0.91	6.62	
الدهن %						
nirsp-nirp	14.13±0.10	14.10±0.13	14.26±0.25	12.80±0.09	12.21±0.34	0.42
nirsp-irp	13.85±0.65	14.09±0.21	14.21±0.24	12.51±0.62	11.96±0.46	0.80
irsp-nirp	13.49±0.443	12.27±1.46	14.01±0.41	11.38±0.10	12.96±0.50	1.72
irsp-irp	13.71±0.39	14.01±0.23	14.06±0.16	11.13±0.41	12.57±1.75	1.71
LSD	0.83	1.581	0.53	0.71	1.80	
البروتين الخام %						
nirsp-nirp	15.74±0.45	15.03±0.32	14.73±0.10	12.81±0.27	13.83±0.33	0.67
nirsp-irp	16.27±0.49	14.98±0.10	14.36±0.65	9.29±7.71	14.45±0.07	0.77
irsp-nirp	15.74±0.52	14.75±0.29	13.76±0.24	10.38±7.04	13.80±0.13	0.62
irsp-irp	16.77±0.58	14.84±0.07	13.84±0.55	9.200±7.58	14.28±0.20	0.78
LSD	0.96	0.42	0.838	12.15	0.39	
قيم الحموضة الـ pH						
nirsp-nirp	6.46 ± 0.01	6.47±0.02	5.81±0.06	6.33±0.16	5.81±0.98	0.79
nirsp-irp	6.46 ± 0.01	6.48± 0.01	5.82±0.58	6.44±0.3	6.45±0.04	0.02
irsp-nirp	6.46 ±0.010	6.46± 0.02	5.82±0.02	6.41±0.03	6.46±0.01	0.05
irsp-irp	6.45 ±0.01	6.47±0.02	5.80±0.02	6.43±0.32	6.107±0.62	0.02
LSD	0.02	0.03	0.08	0.16	1.10	

الجدول 1: تأثير أشعة غاما في الرطوبة والبروتين والدهن وقيم الحموضة عند مرتديلا اللحم.

الملوثَة لها من خلال معالجتها بالأشعة المؤينة [11]. وبهدف المحافظة على فترة تسويق جيدة لمنتجات اللحوم تُستخدم عادة وعلى نطاق واسع مواد تغليف من البلاستيك غير النفوذ للأكسجين وبنظام تغليف تحت تفريغ. حيث يمكن لمواد التغليف أن تحمي المنتجات من وصول الملوثات إليها بعزلها عن المحيط الخارجي. مع الأخذ بالحسبان فوائد أنظمة التغليف هذه، حيث أصبح من الممكن استخدام هذه التقانات كمعاملة مركبة مع التشعيع [12].

كان الهدف من هذه الدراسة اختبار استخدام أشعة غاما كمعالجة مركبة مع التغليف لإطالة فترة عرض مرتديلا اللحم المغلفة عند تخزينها على درجة حرارة منخفضة (1 – 4 مْ) ولمدة 12 شهراً. وتقويم التغيرات في خصائص المنتج وإنجاز تشعيع مواد التغليف المستخدمة خلال التخزين.

المواد والطرائق

تحضير وتجهيز مرتديلا اللحم

تم تحضير مرتديلا اللحم من لحم عجل أُحضر من أحد المحلات التجارية. ولم يتم إدخال أي تعديل على الطريقة المعتمدة في تحضير المرتديلا في هذه الصناعة، حيث يتم تصنيع المرتديلا بفرم لحم العجل باستخدام آلة فرم قطر مصفاتها 3 – 4 مم، ثم يمزج اللحم المفروم لمدة 5 دقائق مع 2% من ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) ليحفظ المزيج بعد ذلك في البراد لمدة 6 ساعات وعلى درجة حرارة قدرها 4 مْ، يخلط المزيج ولمدة 5 دقائق مع المواد التالية: 7% بيض و 4% دقيق قمح و 3% حليب جاف و4% دقيق فول الصويا و1% ثوم مفروم (النسبة المئوية للتراكيز محسوبة على أساس وزن اللحمة)، حمض اسكوربيك (0.4 غرام/كغ لحم)، بيروفسفات الصوديوم ($Na_3Hp_2O_7$) (1.5 غرام/كغ لحم). يخلط المزيج الجديد ولمدة 5 دقائق بـ 20% من الثلج. أضيف إلى نصف الكمية المتحصل عليها من المزيج 1% من البهارات المعالجة بجرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري وأضيف إلى النصف الآخر بهارات غير مشعة (شاهد). تم بعد عمليات الفرم والمزج تعبئة الخلطة المتحصل عليها في عبوات أسطوانية من الألياف قطرها 5 سم وطولها 15 سم (تحتوي كل عبوة على 300 غ) ليتم طهيها على درجة حرارة قدرها 90 – 95 مْ ولمدة 90 دقيقة باستخدام بخار الماء. بعد الطهي قطعت أسطوانات المرتديلا ووضعت في أطباق من البوليسترين وغلفت بفيلم من البولي إثيلين وخزنت على درجة حرارة تتراوح بين 1 و 4 درجة مئوية ولمدة 10 ساعات، ونُفذت تجربتان،

استُخدمت في التجربة الأولى مواد تغليف غير معالجة بالأشعة (شاهد) في حين استخدمت في التجربة الثانية مواد تغليف معالجة بجرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري.

المعاملات والاختبارات المنجزة خلال التخزين

تم تعريض البهارات (فلفل أبيض وفلفل أسود وفليفلة وجوزة الطيب وأوريغانو والخبز المحمص والقرنفل والزنجبيل والقرفة وحب الهال والكزبرة) ومواد التغليف لجرعة قدرها 10 كيلوغري من أشعة غاما، كما تم تعريض مرتديلا اللحم المغلفة لجرعة إشعاعية قدرها 2 كيلوغري من النظير المشع كوبالت 60 (معدل الجرعة 730 غري/ساعة)، وتم تقدير الجرعة الممتصة باستخدام مقياس كلور البنزن الكحولي [13]. وبذلك تكون المعاملات الأربع هي: مرتديلا غير مشعة وتحتوي على بهارات غير مشعة (nirsp-nirp)، مرتديلا مشعة تحتوي على بهارات غير مشعة (nirsp-irp)، مرتديلا غير مشعة تحتوي على بهارات مشعة (irsp-nirp)، مرتديلا مشعة تحتوي على بهارات مشعة (irsp-irp). استُخدم لكل معاملة 20 طبقاً من مرتديلا اللحم وضعت في البراد على درجة حرارة تراوحت بين 1 و4 م°. وتم تنفيذ الاختبارات الميكروبية والكيميائية والحسية لعينات كل معاملة بعد التشعيع مباشرة وخلال مراحل التخزين والتي كانت 2 و7 و10 و12 شهراً.

التقويم الميكروبيولوجي

استخدمت ثلاثة مكررات (أطباق) من كل معاملة (مرتديلا اللحم أو البهارات) حيث تم فتح العينة بعناية وعرِّضت إلى تمديد عشري باستخدام 10 غرام من كل عينة وذلك طبقاً لما ورد في الطرائق المعيارية المعتمدة [14]، وتم غسل مواد التغليف وأجريت التمديدات باستخدام 1 مل من المحلول الملحي لكل 1 سم^2، واستُخدمت بيئة الآغار المغذي لتنفيذ الدراسة الميكروبية، حيث استُخدمت لتحديد العدد الكلي للمستعمرات الهوائية بيئة (Oxoid) (تحضين بدرجة حرارة قدرها 30 م° ولمدة 48 ساعة). واعتبرت القيمة 10^7 من العدد الكلي للمستعمرات الهوائية [15] كحدٍّ فاصل لاعتبار العينات غير مقبولة ولا حاجة للاستمرار بتنفيذ التحاليل عند تجاوزها، فاستخدمت تقانة غمر الأطباق.

تم تقدير قيم الـ pH باستخدام جهاز تقدير قيم الحموضة HI 8521 pH (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA).

التقويم الكيميائي

حُضِّرت عينات المرتديلا للتحليل الكيميائي بمزج 150 غراماً من كل عينة ولمدة 15 ثانية باستخدام خلَّاط مخبري، واستُخدمت هذه الكمية لتنفيذ مجمل الاختبارات الكيميائية. تمت مجانسة كل عينة واختبارها بثلاثة مكررات لكل معاملة. تم تقدير الرطوبة النسبية (بالتجفيف لمدة 6 ساعات على درجة حرارة قدرها 105 م°)، والدهن (كمركب قابل للاستخلاص باستخدام تجهيزات سوكسليت)، والبروتين (نتروجين كلداهل) باستخدام الطرائق المعيارية [16].

الحموضة الكلية

تم تقدير الحموضة الكلية بالمعايرة [17]، حيث مزج 10 غ من كل عينة مغنطيسياً في 100 مل ماء مقطر ولمدة 30 دقيقة، وتمت الفلترة وأُخذ 10 مل من رشاحة الفلترة لمعايرتها بمحلول 0.1 نظامي من هيدروكسيد الصوديوم باستخدام ثلاث نقط من الفينول فتالئين كمشعر وحسبت الحموضة الكلية مقدَّرة بـ 1 مل (0.1 نظامي) NaoH تعادله 0.009 غ من حمض لاكتيك.

القواعد الآزوتية الطيارة الكلية

تم خلط 10 غ من عينة مرتديلا اللحم مع 100 مل من الماء المقطر، وغُسلت العينة إلى دورق استقبال بـ 100 مل من الماء المقطر و2 غ من أوكسيد المنغنيز مع إضافة مانع لتشكل الرغوة. تم تقطير المزيج باستخدام تجهيزات كلداهل المصغرة. جُمعت نواتج التقطير ولمدة 25 دقيقة مع 25 مل من محلول حمض البوريك 4% وخمس نقط من دليل تاشيرو، ليعاير المحلول باستخدام Hcl 0.1 نظامي ليتم تقدير القواعد الآزوتية الطيارة في العينة على أساس ملغ/100 غ مرتديلا اللحم [18].

أكسدة الدهون

قُدِّرَ بيروكسيد مرتديلا اللحم كَميلِّي مول أكسجين لكل غرام مرتديلا باستخدام طريقة معدلة [19]. بوضع 1 غ من المرتديلا في دورق سعة 250 مل ومجانسته مع 20 مل من مزيج حمض الخل (50% حمض الخل و50% كلوروفورم). تم تحضين المزيج في حمام مائي وبدرجة حرارة قدرها 50 م° مع الرّج لمدة 30 دقيقة. رُشِّحت العينة وأضيف إليها 0.5 مل يوديد البوتاسيوم 50% ووضع المزيج في مكان مظلم لمدة دقيقتين. أضيف إلى العينة 100 مل ماء مقطر وثلاث نقط من محلول مطبوخ النشا 1% وجرت المعايرة بمحلول 0.01 نظامي من ثيوكبريتات الصوديوم حتى الوصول إلى الحد النهائي (زوال اللون البنفسجي تماماً).

التقويم الحسي

لقد تمّ تقويم المعيار الحسي للطَعم والرائحة والقوام والمظهر الخارجي للعينات المعالجة وغير المعالجة بالأشعة وذلك خلال أسبوع من التشعيع. في غرفة مخصصة قُدمت لكل عنصر من عناصر التذوق أربع عينات (عينة من كل معاملة)، حيث قُدمت عينة من كل معاملة إلى عشرين متذوق. اخْتَبرَ كل متذوق وبشكل مستقل كلاً من طعم المرتديلا ورائحتها وقوامها ومظهرها الخارجي بنظام الخمس درجات (1= سيء جداً، و2= سيء، و3= مقبول، و4= جيد، و5= جيد جداً) [20].

التحليل الإحصائي

اعتُمد تصميم عشوائي كامل بأربع معاملات مركبة وثلاثة مكررات. أخضعت البيانات إلى اختبار تحليل التباين (ANOVA) باستخدام برنامج (Super Anova) (Abacus Concepts Inc, Berkeley, CA. USA; 1998)، حيث تمت مقارنة قيم متوسطات المعاملات باعتماد طريقة ذات فرق معنوي أقل LSD وبحد ثقة ($p < 0.05$).

النتائج والمناقشة

تأثير أشعة غاما في الخصائص الكيميائية لمرتديلا اللحم

نُفِّذت هذه القياسات خلال الجزء الثاني من التجارب وعلى مرتديلا اللحم المغلفة. وقُدِّرت قيم هذه الخصائص المتمثلة بالرطوبة والبروتين والدسم وقيم الحموضة pH بثلاثة مكررات في البداية وخلال مراحل التخزين، وتم تلخيص البيانات في الجدول 1، حيث

Treatment		
Spices	*0 kGy*	*10 kGy*
white pepper	14×10^3	<10
blak pepper	32×10^6	<10
Allspice	12×10^3	<10
Nutmeg	400	<10
Oregano	77×10^3	<10
Origanum Vulgare	11×10^4	<10
Mixture	10×10^6	<10
Toast	30×10^3	<10
Nutmeg	59×10^4	<10
Cloves	730	<10
Ginger	470	<10
Cinnamon	1690	<10
Cardamom	11×10^3	<10
Coriander	46×10^4	<10
Packaging material	11.67	<10

الجدول 2: تأثير أشعة غاما في الحمولة الميكروبية عند التوابل ومواد التغليف (ميكروب / غ او سم$^{-2}$).

كانت متوسطات هذه القيم: (4.13 ± 0.10 %) دهن و(15.74 ± 0.45%) بروتين و(59.83 ±0.11%) رطوبة نسبية. وإن قيم الحموضة للمرتديلا هي (46.6 ± 0.01). بعد التشعيع مباشرة وخلال التخزين لم تسجل فروق معنوية في محتوى الرطوبة والبروتين وقيم الحموضة لمرتديلا اللحم بين العينات المعالجة والعينات غير المعالجة بالأشعة. هذا، وقد انخفض محتوى العينات من الدهن والبروتين معنوياً ($p < 0.05$) وذلك عند تخزين المرتديلا لمدة 12 شهراً، والتي كانت (12.21 ±0.34) و(13.83 ± 0.34) على التتالي.

تأثير أشعة غاما في الخصائص الميكروبيولوجية لمرتديلا اللحم

لاختبار تأثير أشعة غاما في الحمولة الميكروبية وإطالة فترة تخزين مرتديلا اللحم المغلف فقد تم تنفيذ التجربتين التاليتين. نُفذت التجربة الأولى على مرتديلا مغلفة بمواد تغليف غير مشعَّعة في حين نُفذت التجربة الثانية على مرتديلا مغلفة بمواد تغليف مشععة. واستُخدمت في كلا التجربتين بهارات معالجة وغير معالجة بالأشعة.

نتائج التقويم الميكروبي لمسحوق البهارات ومواد التغليف قبل وبعد التشعيع مبينة في الجدول 2. حيث وجد أن جميع أنواع البهارات المختبرة (فلفل أبيض وفلفل أسود وفلفل أحمر وجوز الطيب وأوريغانو وخبز محمص وقرنفل وزنجبيل وقرفة وحب الهال وكزبرة) تحتوي على حمولة ميكروبية من مرتبة 10^2 إلى 10^7 ميكروب/غ$^{-1}$، والعدد الميكروبي لمواد التغليف كان من مرتبة 12 ميكروب/ سم$^{-2}$، وكان العدد الميكروبي عند مسحوق البهارات وعند مواد التغليف المعرضين لجرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري تحت حدود الكشف. عند البهارات فإن مجالاً من الجرع يتراوح بين 5 و10 كيلوغري، يمكن أن يخفض الحمولة الميكروبية إلى السويات المقبولة، ويماثل تأثير هذا المستوى من الجرع الإشعاعية في الحمولة الميكروبية، تأثير التبخير التجاري بغاز أوكسيد الإثيلين [11]، وذُكر في بعض المراجع العلمية عدم وجود تأثير لاستخدام جرع إشعاعية تصل حتى 20 كيلوغري على الخصائص النوعية لمواد التغليف [12، 21].

تشير البيانات المدوَّنة في الجدول 3 إلى احتواء العينات الداخل في تركيبها بهارات مشععة (irsp) على حمولة ميكروبية منخفضة معنوياً ($p > 0.05$) سواءً أكانت هذه المنتجات مشععة (irp) أم غير مشععة (nirp) بجرعة إشعاعية قدرها 2 كيلوغري وذلك عند مقارنتها بالعينات المحتوية على بهارات غير مشععة (nirsp)، حيث وصل العدد الميكروبي في عينات الشاهد (nirp-nirsp) إلى المستوى العام المعتمد كأساس للتلف 10^7 ميكروب/غ$^{-1}$ [15]، وذلك بعد مضي 4 أشهر على تخزينها، في حين وصلت عينات مرتديلا اللحم في المعاملات المركبة الثلاث الأخرى (nirsp-irp, irsp-nirp and irsp-irp) إلى هذا المستوى وذلك بعد مرور 7 أشهر على تخزينها. وبالتالي فإن فترة التخزين الميكروبية لمرتديلا اللحم قد تمَّت إطالتها من 4 أشهر إلى أكثر من 7 أشهر وذلك حسب المعاملة المستخدمة. وبيَّنت نتائج أعمال سابقة أن المعالجة بجرع إشعاعية مماثلة يمكن أن يكون كافياً للقضاء على الأطوار الخضرية من الميكروبات الممرضة ومساعداً على تحسين السلامة الميكروبية للوجبات الغذائية [22].

من نتائج العد الميكروبي عند مرتديلا اللحم (الجدول 3)، تتضح الزيادة الواضحة في فترة التخزين عند استخدام التعقيم الإشعاعي لمواد التغليف وذلك عند جميع المعاملات المركبة، حيث لم يسجل أي نمو ميكروبي خلال فترة التخزين التي استمرت 12 شهراً في عينات مرتديلا اللحم المغلفة بمواد تغليف معقمة. وعند

Treatment	*nirp-nisp*	*nirsp-irp*	*irsp-nirp*	*irsp-irp*
مدة التخزين (شهر)				
1- التجربة الأولى: مرتديلا مغلفة بمواد تغليف غير معالجة بالأشعة				
0	4.90±0.31	4.19±0.39	2.35±0.30	2.50±0.21
4	R	3.98±0.12	4.16±0.10	1.95±0.76
6	R	4.20±0.17	4.80±0.09	3.43±0.07
7	R	4.20±0.08	5.06±0.05	5.79±0.10
9	R	R	R	R
2- التجربة الثانية: مرتديلا مغلفة بمواد تغليف معالجة بالأشعة				
0	4.56 ±0.10	3.75±0.08	<1	<1
2	4.77±0.25	4.13±0.16	<1	<1
7	4.22±0.12	3.58±0.08	<1	<1
10	4.66±0.10	3.56±0.06	<1	<1
12	4.66±0.23	4.01±0.15	<1	<1

* R= المستبعدة

الجدول 3: تأثير أشعة غاما في الحمولة الميكروبية للمرتديلا المخزَّنة في البراد لمدة 12 شهراً.

مدة التخزين (شهر)						
Treatment	0	2	7	10	12	LSD
الأحماض الحرّة (% حمض لاكتيك)						
nirsp-nirp	0.74±0.065	0.86±0.01	0.92±0.03	0.69±0.09	1.31±0.61	0.58
nirsp-irp	0.83±0.44	0.84±0.01	0.96±0.05	0.63±0.05	0.64±0.16	0.13
irsp-nirp	0.79±0.44	0.87±0.01	0.93±0.02	0.64±0.05	0.62±0.04	0.06
irsp-irp	1.05±0.452	0.72±0.22	0.90±0.06	0.60±0.02	0.66±0.04	0.48
LSD	0.43	0.21	0.21	0.11	0.60	
رقم البيروكسيد (mmol O_2 /g)						
nirsp-nirp	0.130±0.001	0.110±0.024	0.190±0.056	0.150±0.080	0.460±0.094	0.105
nirsp-irp	0.127±0.003	0.060±0.023	0.220±0.055	0.170±0.038	0.345±0.131	0.136
irsp-nirp	0.127±0.004	0.092±0.059	0.650±0.072	0.110±0.062	0.320±0.342	0.133
irsp-irp	0.127±0.003	0.120±0.007	0.469±0.083	0.073±0.043	1.310±0.091	0.116
LSD	0.005	0.064	0.127	0.110	0.366	
القواعد الأزوتية الطيارة (جزء في المليون)						
nirsp-nirp	409.10±2.45	369.15±6.53	537.38±48.26	430.22±24.50	197.69±18.20	49
nirsp-irp	406.87±7.36	304.14±3.06	469.52±68.80	457.45±9.95	217.45±48.58	79.65
irsp-nirp	388.67±8.18	289.92±8.67	497.71±18.89	431.97±36.39	197.02±36.98	40.67
irsp-irp	489.51±211.01	295.86±90.64	557.05±48.64	451.25±12.86	230.98±3.03	221
LSD	198.94	85.99	93.13	44.04	60.04	

الجدول 4: تأثير أشعة غاما في الحموضة الكلية ورقم البيروكسيد والقواعد الأزوتية الطيارة عند مرتديلا اللحم.

استخدام بهارات ومواد تغليف معقمة بالأشعة، انخفضت الحمولة الميكروبية بشكل ملحوظ وازدادت فترة تخزين مرتديلا اللحم. ومع ذلك فقد كان للجرعة 2 كيلوغري دور واضح في تحسين الخصائص الميكروبية لمرتديلا اللحم.

لقد تم التعبير عن الحمولة الميكروبية في المواد المستخدمة في التغليف على أساس ميكروب/سم^2، في حين تم التعبير عن الحمولة الميكروبية في المنتج كميكروب/غ (1غ من مادة التغليف يكافىء 115 سم^2)، ومع ذلك فإن الكائنات الحية الدقيقة الموجودة على مواد التغليف يمكن أن تتكاثر وبسرعة عند توفر البيئة والظروف المناسبتين، حيث يقدر الزمن اللازم لإيصال المنتج من موقع الإنتاج إلى البراد بحوالي 24 إلى 48 ساعة.

عندما تم تعريض البهارات لجرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري مُزج لحم العجل المفروم بالبهارات المشعة وتمت معالجة المزيج (لحم + بهارات) حرارياً بدرجة حرارة قدرها (90–95 م°) وتم تعريض مواد التغليف إلى جرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري. وهذا التتابع يبدو أنه أكثر فاعلية من المعالجة الموازية. فهذه المعاملات المركبة كانت قادرة على القضاء على كافة الأطوار الخضرية للكائنات الحية الدقيقة وأبواغها. في حين كانت المعاملة الحرارية قادرة فقط على القضاء على الأطوار الخضرية من الكائنات الحية الدقيقة في البهارات غير المشعة ودون أن يكون لها أي تأثير على الأبواغ. فالمعالجة الحرارية لم تكن كافية لإزالة العدد الزائد من الأبواغ. والمتبقي على قيد الحياة كان غير قادر على النمو في منتج مرتديلا اللحم في قيم من الـ pH تقدر بحوالي 6.5 وتحت درجة حرارة منخفضة (1 – 4م°) خلال مراحل التخزين. وقد وُجد [23] أن جرعة إشعاعية قدرها 8 كيلوغري لم تكن كافية للقضاء على أبواغ الكلوستريديا المرجعة للسلفيد sulphite-reducing clostridia والموجودة في النقانق البرتغالية "Chorizo" portuguese sausages.

تأثير أشعة غاما في الخصائص الكيميائية لمرتديلا اللحم

بيَّنت النتائج عدم وجود تغيرات معنوية في نسب الأحماض الدهنية الحرة (FFA) كنتيجة للتشعيع بجرع إشعاعية قدرها 2 كيلوغري وبعد مرور شهرين على التخزين (الجدول 4). وبعد مرور 12 شهراً على التخزين كانت الحموضة الكلية عند عينات الشاهد من المرتديلا المغلفة (nirsp-nirp) أعلى معنوياً عند مقارنتها بعينات المعاملات المركبة الأخرى (nirsp-irp, irsp-nirp or irsp-irp). وتتناقض نتائج هذه التجارب مع نتائج تجارب [24] التي أشارت إلى انخفاض كمية الأحماض الدهنية الحرة في اللحوم وذلك بعد التشعيع وتتعارض أيضاً مع نتائج تجارب [25] الذين وجدوا أن إضافة مضادات الأكسدة قبل التشعيع يؤدي إلى حدوث تأثير تضافري في خفض كمية الأحماض الدهنية الحرة. لقد ازداد مقدار الأحماض الكلية في عينات الشاهد (nirsp-nirp) وذلك خلال التخزين، وقد وجد [26] أن الأحماض الدهنية الحرة والتزنخ (مقدر كقيم بيروكسيد) قد انخفضت في صدر لحم الفروج المعالج بجرعة إشعاعية قدرها 2.5 كيلوغري.

لم يلاحظ وجود فروق معنوية ($p < 0.05$) بين المعاملات عند

Treatment	Taste	Odour	Texture	Apperance
nirsp-nirp	4.25±0.64	4.15±0.49	4.40±0.50	4.35±0.59
nirsp-irp	3.55±0.89	3.80±0.70	3.85±0.75	3.60±1.05
irsp-nirp	4.10±0.97	3.90±0.91	4.10±0.79	4.20±0.89
irsp-irp	3.30±0.66	3.30±0.92	3.40±0.82	3.30±0.80
LSD	0.504	0.49	0.46	0.54

** Data represent a 5 point scale ranging from 1 (very bad) to 5 (very good).*

الجدول 5: تأثير أشعة غاما في الطعم والرائحة والقوام والمظهر الخارجي لمرتديلا اللحم (بعد التشعيع مباشرة)*.

إجراء تحليل القواعد الآزوتية الطيارة خلال مراحل التخزين المختلفة (الجدول 4). أما بعد مرور 12 شهراً على التخزين، فقد أصبحت كمية القواعد الآزوتية الطيارة في عينات المعاملات كافة أقل معنوياً مما هي عليه في عينات بداية التخزين.

يمكن للجذور الحرة المتولدة خلال التشعيع أن تخرب مانعات الأكسدة الموجودة في العضلات، وتخفض قابلية التخزين وتزيد مجموع القواعد الآزوتية الطيارة، والمنتجات المخربة للنكهة عند اللحوم [27, 28] كذلك فإن وجود Dietary DL - α- tocopheryl acetate (TA) بقيمة تزيد عن 200 IU في الكيلوغرام يخفض أكسدة الدهون ويقلل من كمية القواعد الآزوتية الطيارة في فطائر الديك الرومي غير المطبوخة وذلك عند تخزينها لمدة 7 أيام [29].

تمت مقارنة تأثير أشعة غاما في أكسدة دهون مرتديلا اللحم المغلفة (الجدول 4). فبعد التشعيع مباشرة وبعد مرور 2 و7 و10 أشهر على التخزين لم تلاحظ أي فروق معنوية في أكسدة دهون مرتديلا اللحم بين عينات المعاملات المركبة. وبعد مرور 12 شهراً على التخزين كانت قيم أكسدة الدهون عند عينات المعاملة المركبة (irsp-irp) أعلى معنوياً مما هي عليه عند عينات المعاملات المركبة الأخرى (nirsp-nirp, nirsp-irp or irsp-nirp). ومع ذلك فقد ازدادت قيم البيروكسيد خلال التخزين عند جميع عينات المعاملات المركبة. فعند جميع المعاملات كانت الفروق في قيم أكسدة الدهون معنوية وذلك عند مقارنة عينات بداية التخزين (0 شهر) بعينات نهاية التخزين (12 شهراً). تم تقدير تأثير أشعة غاما في قيم كل من الرقم اليودي ورقم البيروكسيد وقيم 2-thiobarbiture acid (TBA) في المادة الدسمة للحم، حيث بيَّنت النتائج عدم وجود فروق معنوية عند دهون اللحم [30]. من جهة أخرى فقد أشار كل من [31] و[32] إلى عدم وجود فروق في أكسدة الدهون خلال الأسبوع الأول من التخزين، وبغض النظر عن جو التغليف وبمقارنة المعالجة بجرعة إشعاعية قدرها 2 كيلوغري مع الشاهد من فطائر لحم العجل المفروم.

وقد تمَّت دراسة ثبات أكسدة الدهون في المنتجات المغلفة تحت تفريغ من قبل [33] الذي أشار إلى أن التشعيع بغياب الأكسجين والذي يمكن أن يوجد في رأس القطعة المغلفة أو في النسيج اللحمي للمنتج المغلف تحت تفريغ، قد يعيق الأكسدة. إضافة لذلك، فقد أشارت نتائج تجارب [25] إلى انخفاض قيم (TEA) عند عينات اللحمة المعالجة بالأشعة بعد إضافة مضادات الأكسدة إليها وذلك عند مقارنتها بعينات الشاهد غير المعالجة. وقد وجد [34] أن ظروف التغليف المناسبة يمكن أن تعيق تبدلات التزنخ في اللحم المفروم وبالتالي يمكن أن يكون التشعيع طريقة بديلة ومناسبة لمعالجة هذه النماذج من اللحم.

تأثر أشعة غاما في الخصائص الحسية لمرتديلا اللحم

تبين نتائج الاختبار الحسي والمثبتة في الجدول 5 أن عينات مرتديلا اللحم لجميع المعاملات المركبة كانت مقبولة من حيث الطعم. ومع ذلك فقد سُجِّل انخفاض معنوي في القيم المعطاة للطعم والرائحة والمظهر الخارجي والقوام عند عينات المرتديلا المغلفة والمعرضة لجرعة إشعاعية قدرها 2 كيلوغري مقارنة بالعينات غير المشعة. وربما يعود ذلك إلى تأثير أشعة غاما في المواد المستخدمة في التغليف، والذي قد يؤدي إلى تشكل مركبات أو رحيل بعض المركبات من مادة التغليف إلى المرتديلا وهذا ما ينتج منه حدوث بعض التدهور في النكهة أو الرائحة، والتشعيع ربما يحفز آلية التغير لهذه التداخلات [35].

تناول العديد من الباحثين تأثير أشعة غاما في الخصائص الحسية لمنتجات اللحوم فقد وجد [34] أن عدم وجود اختلاف معنوي بين العينات المعالجة بالاشعة وعينات الشاهد في معايير القبول المتمثلة في الطعم والطزاجة والجاذبية والعصيرية عند لحم الخنزير المفروم والمطبوخ (تشعيع بجرعة قدرها 2.5 كيلوغري ومغلف تحت تفريغ). وأشارت نتائج تجارب [36] والتي اعتمدت على قيم مخبرية ومتوسطات بصرية إلى عدم وجود اختلاف في اللون بين شرائح لحم البقر المعالج بجرعة إشعاعية قدرها 1.5 كيلوغري وبين شرائح الشاهد. وقد وجد [37] أن الجرعة 2 كيلوغري لم تؤثر في الخصائص الحسية لكرات لحم العجل.

الاستنتاجات

من النتائج التجريبية المتحصَّل عليها من هذه التجارب، يمكن الاستنتاج بأن جرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغري من أشعة غاما لمعالجة كل من البهارات ومواد التغليف قبل تحضير مرتديلا اللحم تسمح بإنتاج مرتديلا لحم مبهَّرة ومغلفة وآمنة ميكروبياً ومقبولة من حيث الخصائص الحسية دون حدوث تبدلات في القيم الغذائية لها.

د . محفوظ البشير .

– قسم تكنولوجيا الإشعاع، هيئة الطاقة الذرِّية، ص. ب 6091 – دمشق – سورية.

– نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة:

International Journal of Food Science and Technology 2004, 39, 1-8.

References المراجع

1. Farkas, J., Polyak-Feher, K. Mohachi-Farkas, C., Meszaros, L., Andrassy, E., Saray, T. (2003): Studies on irradiation of pre-packaged prepared vegetables and improvement of microbiological safety of some sous-vide meals by gamma radiation. Pp.27 – 46. Vienna. Austria: IAEA- TECDOC – 1337.
2. Stringer, M. (1990): Chilled foods in 1990,s, Food Manu, April 92. Pp. 94 – 95.
3. Gillbert, R.J., Miller, K.L., Roberts, D. (1989): Listeria monocytogenes and chilled foods, Lancet. 1. 383 - 384.
4. Kerr, K J., Lacey, R. W.(1989): The enigma of foodborne listeriosis, Env. Health. 96, 7- 9.
5. Willkinson, D. J.(1990): Cook-child in perspective, British Food Journal, 92, 37- 41.
6. Geraldine, M.S. (1992): Emerging Food-borne pathogens and their significance in chilld foods, J. Appl. Bacteriol. 72. 267-273.
7. Zacharias, R. (1980): Chilled meals: sensory quality. In: Catering Technology (Ed. By G. GLEW). Pp. 409-416. UK. Applied Science Publishers
8. Bognar, A., (1980): "Nutritive value of chilled meals", Advances in Catering Technology (GLEW, G., Ed.,), Applied Science Publishers. Uk. 387-408.
9. Drew, K., (1989): A sunny outlook for chilled foods, Food Technol. Int. Eur. Annual. 167-170.
10. IAEA (1992): Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings. P 639. Vienna: International Atomic Energy Agency,
11. Farkas, J. (1988): Irradiation of dry food ingredients. Boca Raton, FL. CRC Press.
12. Noomhorm, A., Vongsawasdi, P., Inprasit, C. et al. (2003): Impact of Irradiation on the Quality of Processed Meat and Fishery Products. Pp.167 – 193. Vienna. Austria: IAEA- TECDOC – 1337.
13. Cserep, Gy., Fejes, P., Foldiak, G. et al. (1971): Chemical dosimetry course: a laboratory and institute of isotopes of Hungarian Academy Sciences Budapest, 27-32.
14. AOAC (1986): Official Methods of Analysis (14th ed.), Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists
15. Ayres, J. C. (1960): The relationship of organisms of the genus pseudomonas to the spoilage of meat, poultry and eggs. J. Appl. Bacteriol. 23, 471-486.
16. AOAC (1990): Official Methods of Analysis (15th ed.), Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists
17. Egan, H., Kirk, R. S., Sawyer, R. (1987): Pearson's Chemical Analysis of Foods. 8th ed. P. 185. UK. Longman scientific & Technical.
18. Pearson, D. (1976): The Chemical Analysis of Foods 7th ed. Churchill, Livingston, Pp. 386.
19. Buege, J. A., Aust, S. D. (1978): Microsomal lipid peroxidation. In Methods in Enzymology, 52 (Packer, L. and Fleischer. Eds.). NewYork. Academic press. Inc. Pp 302-310.
20. Lavrova, L. P., Krilova, V. X. (1975): Luncheon meat technology. Pp.325-326. Moscow: Food's industry, (in Russian).
21. Rigg, W. J. (1979): Measurment of the permeability of chilled meat packaging film under conditions of high humidity, J. Food Technol. 14, 149 – 155.
22. Grant, I. R., Paterson, M. F. (1992): Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal, Food Microbiol. 9. 95 – 103.
23. Trigo, M. J., Andrade, M. E., Veloso, M. G., Barreto, A. (2003): Irradiation of Raw Portuguese Sausages and Meat Based Ready-to-Eat Meals. Pp.198 – 2006. Vienna. Austria: IAEA- TECDOC – 1337.

24. Kanatt, S. R., Paul, P., Dsouza, S. F., Thomas, P. (1997): Effect of gamma irradiation on the lipid peroxidation in chicken, lamb and buffalo meat during chilled storage. Journal of Food Safety, 17, 283-294.

25. Paul, P., Dsouza, S. F., Thomas, P. (1998): Lipid peroxidation in chicken meat during chilled storage as affected by antioxidants combined with low-dose gamma irradiation. Journal of food science, 63, 198-200.

26. Lescano, G., Narvaiz, P., Kairiyama, E., Kaupert, N. (1991): Effect of chicken breast irradiation on microbiological, chemical and organoleptic quality. Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie, 24, 130-134.

27. Thayer, D. W., Fox, J. J. B. & Laktritz, L. (1993): Effects of ionizing radiation treatments on the microbiological, nutritional and structural quality of meats. In: American Chem. Soc. ACS Symp. Ser. 528, Washington. Pp. 293.

28. Lakritz, L., Fox, J. B. Jr., Hampson, J., Richardson, R., Kohout, K., Thayer, D. W. (1995): Effect of gamma radiation on levels of a- tocopherol in red meats and turkeys, Meat Sci., 41, 261 – 271.

29. Ahn, D. U., Sell. J. L., Jeffery. M. , Jo. C., Chen. X., Wu C., Lee. J. I. (1997): Dietary vitamin E affects lipid oxidation and total volatiles of irradiated raw turkey meat. Journal of Food Science, 62, (5), 954-958.

30. Hampson, J. W., Fox, J. B., Lakritz, L., Thayer, D. W. (1996): Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats, Meat Sci. 42. 271 – 276.

31. Peter, S., Murano, P. S., Murano, E. A., Olson, D. G. (1998): Irradiated ground beef: sensory and quality changes during storage under various packaging conditions, Journal of Food science, 63, 548-551.

32. Murano, P. S., Murano, E. A., Olson, D. G. (1998): Irradiated ground beef: Sensory and quality changes during storage under various packaging conditions, J. Food Sci. 63, 548 – 551.

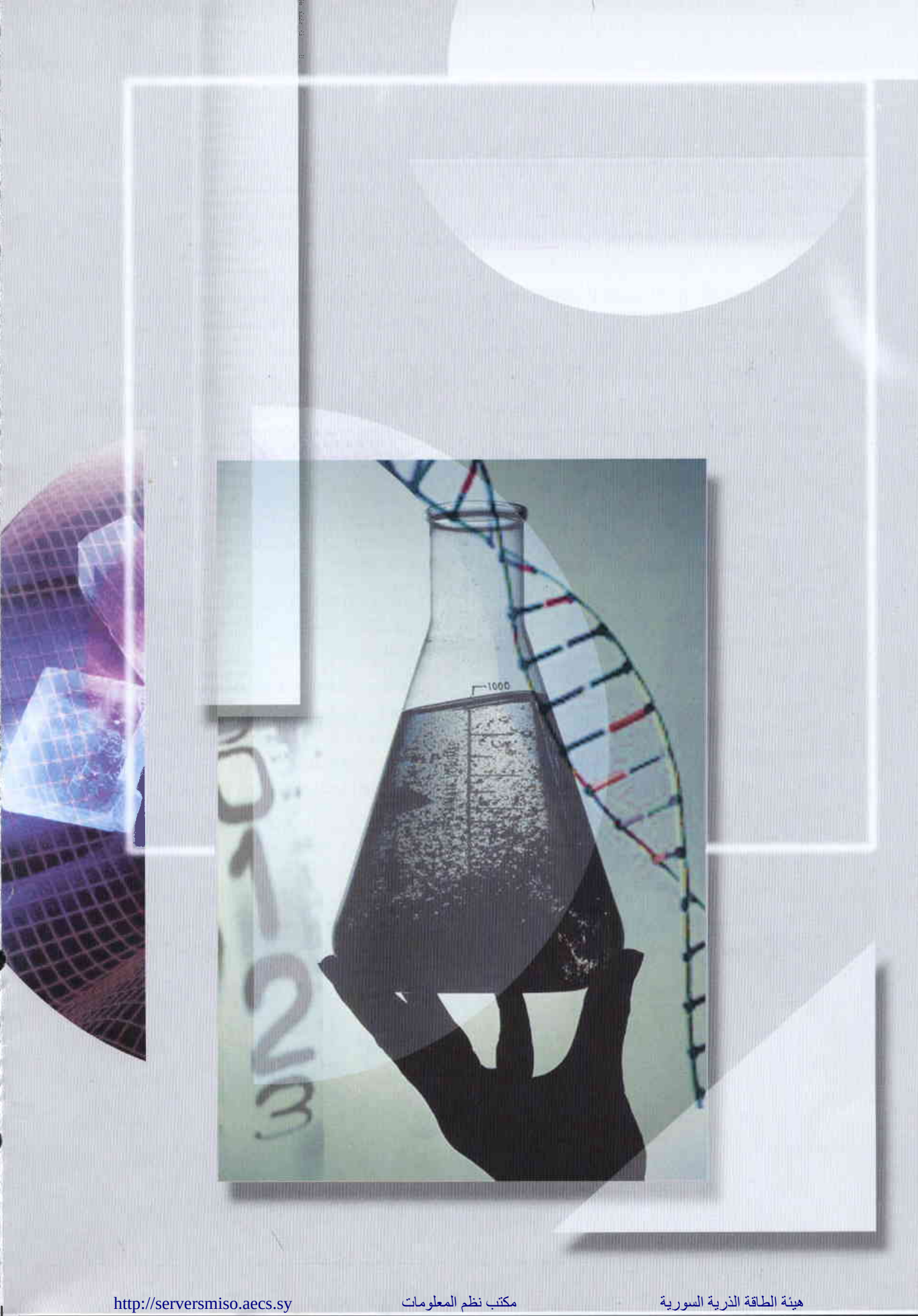
33. Taub, I. R., Robbins, F. M., Simic, M. G., walker, J. E., Wierbicki, E. (1979): Effect of irradiation on meat proteins. Food Technol., 33, 184-193.

34. Luchsinger, S. E., Kropf. D. H., Garcia-Zepeda, C. M., et al. (1996): Consumer acceptance of irradiated boneless pork chops. In: Annual Meeting of the Institute of Food Technologists, New Orleans, LA. Abstract 38-7.

35. Pillette. L. (1990): Effects of ionizing treatments on packaging-food simulant combinations, Pack. Technol. Sci. 3. 17 – 20.

36. Fu, A. H., Sebranek, J. G., Murano, E. A. (1995): Survival of Listeria monocytogenec, Yersinia enterocolitica and Escherichia coli O157: H7 and quality changes after irradiation of beefsteaks and ground beef, Journal of Food Sci. 60, 972 – 977.

37. Saovapong, C., Nouchpramool, K. (1996): Gamma irradiation of beef for shelf-life extension and for improving its bacterial quality. Office of Atomic Energy for Peace, Bangkok (Thailand). In: Proceedings of the 6th nuclear science and technology conference December. P. 13.


1000

أسس اختبار التسرُّب للتحقق من سلامة الوصلات اللحامية على الهياكل المعدنية باستخدام تقانة انبعاث الفقاعات

د. وفيق حرارة، محمد أفغاني، محمد بكار، أسامة جرادة

قسم الخدمات العلمية، هيئة الطاقة الذرّية، ص.ب.6091 دمشق، سورية.

الكلمات المفتاحية: اختبار التسرُّب، انبعاث الفقاعات، معدل التسرُّب، كتامة التسريب، حساسية الاختبار.

ملخص

تُعدُّ الاختبارات اللاإتلافية جزءاً من ضمان الجودة وتُستعمل في اختبار المواد دون إلحاق الضرر بها، وهي تضم عدة طرائق إحداها اختبار التسرُّب، ويضم اختبار التسرُّب عدة تقانات إحداها اختبار التسرُّب بانبعاث الفقاعات، كما أن تقانة اختبار التسرُّب بانبعاث الفقاعات تُطبَّق بدورها بعدة تقانات ولها العديد من المزايا.

تقرير مختصر عن دراسة علمية مكتبية أُنجزت في قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة القرابات الوراثية لبعض المحاصيل البقولية التابعة للجنس Vicia وأقاربها البرية في سورية باستخدام الرحلان الكهربائي لبروتينات التخزين بطريقة SDS-PAGE

د. نزار مير علي

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

الكلمات المفتاحية: Vicia، تنوع وراثي، رحلان كهربائي، بروتينات التخزين، SDS–PAGE.

ملخص

دُرست أنماط بروتينات التخزين لتقويم التنوع الحيوي في تحت الجنس Vicia. أمكن الكشف عن درجة الاختلافات ضمن كلٍّ نوع وبين الأنواع المدروسة وتميَّزت الأنواع خلطية التلقيح بنسبة اختلافات ضمن طرزها أعلى من تلك التي بين طرزها. أظهرت شجرة القرابة أن الفول Vicia faba هو الأبعد بين الأنواع تلاه كل من Vicia villosa و Vicia narbonensis ثم Vicia ervilia، في حين كانت الطرز الممثلة لتحت نوع Vicia sativa على درجة عالية من القرابة.

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

دراسة تأثير توزُّع فقاعات الفراغ void على التفاعلية في مفاعل البحث منسر

د. إبراهيم خميس، إسماعيل السليمان، نضال غازي

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

ملخص

جرت في هذا العمل دراسة أثر معامل الفراغ على التفاعلية وذلك من خلال دراسة تأثير فقاعة فراغ (void) موضعية تتحرك في قلب المفاعل مع المبرِّد وفي الاتجاهين الأفقي والشاقولي. وقد أمكن القيام بذلك نتيجة تطوير نموذج حاسوبي نتروني ثلاثي الأبعاد يمثّل مفاعل منسر. ثم جرى حساب معامل الفراغ الوسطي في مفاعل منسر فكانت قيمته مساوية 4.57689 mk/%. لكن، ونظراً لعدم توافر نتائج مقيسة أو منشورة في هذا المجال، فلم نتمكن من مقارنة نتائج هذه الدراسة سوى من خلال القول بأن النتائج المحسوبة كانت منسجمة والمنطق الفيزيائي. وقد جرى أيضاً خلال هذا العمل حساب التوزُّع الفراغي لتدفق النترونات الحرارية في جميع مناطق المفاعل ورسم خريطة له. حيث أظهرت الخريطة فكرة واضحة عن كيفية توزُّع التدفق النتروني في كافة مكونات المفاعل. وقد استُخدم في هذه الدراسة الكودان WIMSD-4 و CITATION. حيث استُخدم الأول لحسابات الخلية الواحدية، في حين استُخدم الثاني في مختلف حسابات فيزياء القلب. وأخيراً، أمكن بنتيجة هذه الدراسة تبيان أثر انخفاض كثافة المهدىء على الطيف النتروني في مفاعل منسر.

الكلمات المفتاحية: مفاعل منسر، خريطة توزُّع التدفق النتروني، معامل الفراغ، التفاعلية.

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

نظام الملاحقة الشمسية باستخدام المعالج التحكمي (حقول الجبسة والرميلان)

د. علي المحمد، خالد الفروح، صالح ليلى

قسم الخدمات العلمية، هيئة الطاقة الذرّية، ص.ب 6091، دمشق سورية.

ملخص

تّمَّ في هذا العمل تصميم وتنفيذ نظام للتحكم بحركة لوح من الخلايا الشمسية (الفوتو–فلطية) بواسطة معالج تحكمي وذلك لالتقاط أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي ومقارنة النتائج التي تمَّ الحصول عليها مع الوضع الثابت للنظام، وتبيَّن أنّ الاستطاعة قد تحسَّنت بنسبة تزيد على 35%. يقوم المعالج بتحصيل إشارتين من حسَّاسين ضوئيين، وبناءً على قيمة هاتين الإشارتين يقوم المعالج بإصدار أوامر لدارة قيادة كهربائية بتدوير محرك مستمر مركب على محوره لوح الخلية الشمسية وذلك لوضعها بالاتجاه المباشر للشمس خلال النهار.

الكلمات المفتاحية: لوح الخلايا الشمسية، الفوتو–فلطية، معالج تحكمي، حسَّاس ضوئي.

● تقرير مختصر عن عمل تقني أُنجز في قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

اختبار طريقة القيمة A لتقدير الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في نبات عشبة كالار

د. فواز كردعلي

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

ملخص

جرى اختبار تقانة ^{15}N (طريقة القيمة A) لقياس الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في نباتات عشبة الكالار وذلك في أصص. استُعملت نباتات من الكالار مضافاً إليها كميات متزايدة من الأزوت المعدني (20، 50، 150، 100 و 200 كغ N/هـ) لمعرفة الكمية التي تحقق تثبيطاً كاملاً في العملية التثبيتية، ليصار إلى توظيف نباتات المعاملة المثلى كمعاملة مرجعية لحساب الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في نبات الكالار. بيَّنت النتائج إمكانية استعمال طريقة القيمة A لقياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي من قبل بكتريا الريزوسفير في نباتات الكالار باستعمال النوع النباتي نفسه كمعاملة مرجعية مضافاً إليها كمية مرتفعة من الآزوت المعدني. إن إضافة 150 كغ N/هـ إلى النباتات كانت كافية للحصول على تثبيط في العملية التثبيتية للبكتريا الريزوسفيرية لنباتات الكالار، وبالتالي استعمالها كمعاملة مرجعية لتقدير الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي.

الكلمات المفتاحية: ^{15}N، القيمة A، عشبة كالار.

● تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة انتشار النمط الأساسي TEM_{00} في المجاوبات الليزرية المستقرة

د. محمد بهاء الصوص

قسم الفيزياء، هيئة الطاقة الذرّية، ص.ب 6091، دمشق، سورية.

ملخص

جرى في هذا العمل بناء برنامج حاسوبي بلغة C++Builder لدراسة انتشار النمط الأساسي TEM_{00} في المجاوبات الليزرية المستقرة. يقوم مستثمر البرنامج الحاسوبي بإدراج العناصر البصرية المختلفة للمجاوب من مرايا وعدسات ووسط مضخّم، ويدخل أبعادها ومحدّداتها. يستخدم البرنامج هذه المعطيات ليرسم مخططاً توضيحياً للمجاوب، ويمثّل كل عنصر بصري بمصفوفة 4×4 لتدخل في حسابات أبعاد النمط. يحسب البرنامج أبعاد الحزمة الليزرية الممثلة للنمط الأساسي على طول المجاوب وضمن العناصر البصرية وفق المحورين x و y ويرسم منحنيا انتشار الحزمة ضمن المجاوب.

الكلمات المفتاحية: مجاوب ليزري، النمط الأساسي TEM_{00}، مصفوفة الانتقال.

● تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

محاكاة ظواهر التبريد بالحمل الطبيعي لمفاعلات البحث باستخدام الكود PARET المرحلة الابتدائية في دمشق - ريف دمشق

د. علي حينون، فايز الهابط

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

ملخص

تتناول هذه الدراسة اختبار مقدرة الكود PARET على محاكاة ظواهر التبريد بالحمل الطبيعي تحت شروط بدئية مختلفة، إضافةً لتطبيق واختبار بعض الخيارات الجديدة المتعلقة بمحاكاة تحريك قضيب التحكم ودراسة مدى تأثير تمدد قضبان الوقود في التفاعلية المتاحة.

عالجت هذه الدراسة في هذا الإطار تحقيق الكود من خلال حساب تجربة جامعة Missouri المتعلقة بتبريد قناتين ضيقتين متوازيتين تحت شروط الحمل الطبيعي، حيث أظهرت المقارنة نتائج مقبولة بخصوص التوزُّع الزمني لسرعة جريان المبرّد ودرجة حرارة كلٍّ من الغلاف والمبرّد مع توافقٍ جيد في حساب معامل الانتقال. من جهةٍ أخرى، أعيدت نمذجة قلب المفاعل منسر بهدف محاكاة السلوك الديناميكي للمفاعل تحت شروط التبريد بالحمل الطبيعي عند استطاعات بدئية مختلفة. وقد بيَّنت النتائج حدوث تأرجحات في التوزُّع الزمني للاستطاعة في مرحلة الإقلاع لا تلبث أن تتلاشى تدريجياً مع مرور الزمن. وقد أُعيد في هذا السياق حساب تجارب التغيُّر القفزي للتفاعلية باستخدام خيار التبريد بالحمل الطبيعي مع اختبار طريقتين لمحاكاة الشروط البدئية للحساب؛ تتمثَّل الأولى بتحديد قيمة بدئية تقديرية لسرعة جريان المبرّد، في حين اعتمدت الثانية على إعطاء قيم فرق ضغط بدئية بين مدخل القلب ومخرجه. وقد وجد تطابق جيد لكلتا الحالتين مع القيم التجريبية. وقد ترافق التحقيق مع دراسة حساسية النتائج للسرعة البدئية للمبرّد وقيمة البعد القطري لقضبان الوقود، حيث لوحظ وجود تأثير هام لكلا المعاملين في النتائج. في هذا السياق، جرى تحديد تأثير تمدد قضبان الوقود في مفعول الربط العكسي للتفاعلية ومن ثم السلوك الديناميكي، وقد تبيَّن أن تأثير هذا التمدُّد مهمل، حيث لم يتجاوز الانزياح النسبي في قيمة الاستطاعة 0.7% من أجل الاستطاعة الاسمية للمفاعل.

من جهةٍ أخرى، جرى اختبار خيار جديد في الكود يتعلق بالتحكم بتفاعلية القلب عن طريق تحريك قضيب التحكم، واختُبر هذا الخيار بحساب حادث سحب قضيب التحكم دفعة واحدة من الحالة الباردة للمفاعل باعتماد سرعة وسطية ثابتة لحركة قضيب التحكم تبلغ حوالي 8.7 mm/s جرى التحقق منها تجريبياً من خلال إعادة قياس سرعة قضيب التحكم في المفاعل منسر، وقد اعتمد التوزُّع الطولي لغنى تفاعلية قضيب التحكم على تجارب معايرة قضيب التحكم المجراة على المفاعل. وقد دلَّت النتائج إلى وجود تطابقٍ جيدٍ مع النتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية: الكود PARET، المفاعل منسر، الحمل الطبيعي، السلوك الديناميكي، مفعول الربط العكسي للتفاعلية.

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

تحضير طاقم من الكبريت الغرواني وضبط جودته

د . توفيق ياسين ، لانه يونس ، محمد زياد لبابيدي ، محمد قولي

قسم الكيمياء، هيئة الطاقة الذرّية، ص.ب 6091، دمشق، سورية.

ملخص

تشرح هذه الدراسة طريقة تحضير طاقم من الكبريت الغرواني Sulphur Colloid وفق متطلبات الصيدلة الإشعاعية، ويُستخدم هذا الطاقم بعد وسمه بـ ^{99m}Tc لدراسة الجملة الشبكية البطانية للكبد والطحال.

يتألف طاقم الكبريت الغرواني من ثلاث عبوات: تحتوي العبوة الأولى 1.5 مل من حمض كلور الماء 0.148N وتحتوي العبوة الثانية على الجزء المجفد من الطاقم ويتألف من 18.1 ملغ جيلاتين، و 2.5 ملغ $EDTA–2Na–2H_2O$ ، و 3.14 ملغ $Na_2S_2O_3.5H_2O$، وتحتوي العبوة الثالثة 1.5 مل من محلول الوقاء الفسفاتي pH=7.5 المؤلف من 48 ملغ $11.8NaH_2PO_4.2H_2O$ ملغ NaOH.

أظهر الطاقم المحضَّر نوعية عالية الجودة ومطابقة لدستور الأدوية الأمريكي من خواص النقاوة الفيزيائية، والكيميائية الإشعاعية، والبيولوجية وصلاحيته للحقن البشري. زادت قيمة الوسم بـ ^{99m}Tc عن 98%، كما أظهرت دراسة التوزُّع البيولوجي في الجرذان أن حوالي 90% من الجرعة المحقونة قد توضّعت في الكبد والطحال بعد 20 دقيقة من الحقن في حين أن أقل من 1%، 2% قد توضّع في الرئتين والكليتين على التوالي. تبيَّن من دراسة الثباتية أن الطاقم الموسوم ثابت لمدة 8 ساعات في درجة حرارة الغرفة، وأن الطاقم البارد ثابت لمدة تزيد على 6 أشهر.

الكلمات المفتاحية: كبريت غرواني، صيدلة إشعاعية، جملة شبكية بطانية، ^{99m}Tc.

● تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة وقت الإزهار في بعض أصناف القطن المزروعة في سورية وتأثير العوامل البيئية في الإزهار

د. دانا جودت، د. بسام الصفدي، زهير الأيوبي

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

الكلمات المفتاحية: نبات القطن، وقت الإزهار، العوامل البيئية.

ملخص

أظهرت التجربة تميُّز الصنف البلغاري chirpan 539 بإزهاره المبكر، حيث تفتَّحت أول زهرة بعد شهر ونصف من الزراعة. تلته الأصناف الأربعة التالية: السلالة 118 ودير الزور 22، و رقة 5، والنوع طويل التيلة Gossypium barbadense وحلب 90، حيث تفتَّحت الزهرة الأولى بعد شهرين، وكان الصنف حلب 1/33 الأكثر تأخراً إذ تفتَّحت الزهرة الأولى بعد شهرين ونصف من الزراعة وجرت التجربة للمرة الأولى في محطة الصوجة (ريف دمشق) التابعة لهيئة الطاقة الذرّية.

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

دراسة إمكانية مكافحة فراشة ثمار التفاح، Cydia Pomonella (L.) ، في سورية باستعمال استراتيجية الجذب والقتل

د. محمد منصور

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

الكلمات المفتاحية: فراشة ثمار التفاح، مكافحة، جذب وقتل.

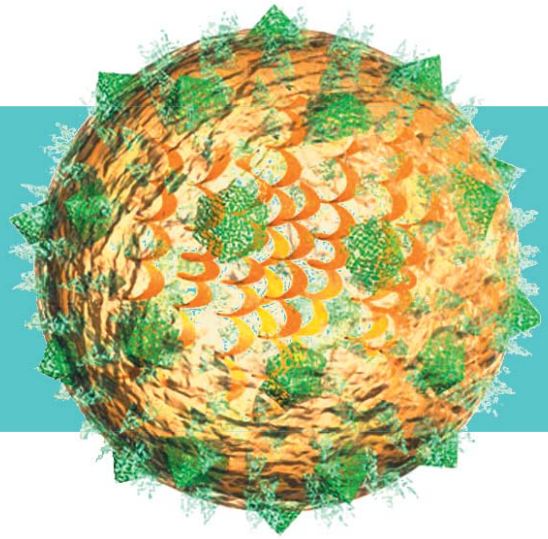
ملخص

دُرست إمكانية مكافحة فراشة ثمار التفاح، Cydia Pomonella (L)، باستعمال مادة جاذبة قاتلة (Lure & Kill) تحتوي على الفرمون الجنسي للحشرة ومبيد سريع التأثير (peremethrin) في مكافحة هذه الآفة، كبديل لاستعمال طريقة الرش الكامل للأشجار بالمبيدات الكيميائية. بيَّنت نتائج الدراسة، التي استمرت أربع سنوات، أن معاملة الأشجار بالمستحضر المذكور، بمعدل ثلاث مرات خلال الموسم، أبقت نسبة الإصابة في الحقول المعاملة دون الحد الاقتصادي الحرج للمكافحة، باستثناء حقل واحد (الشهابي) كان مجتمع الحشرة فيه عالياً قبل بدء الدراسة، ودون أن يؤدي ذلك إلى زيادة واضحة في مجتمع الآفات الأخرى، عدا واحدة منها (المن القطني)، كما لم يتزايد متوسط عدد اليرقات الساكنة للشجرة في الحقول المدروسة خلال أعوام الدراسة. أظهرت النتائج أيضاً انخفاضاً واضحاً في عدد الحشرات الملتقطة في الحقول المعاملة، وفي معدل تزاوج الإناث العذارى المربوطة في تلك الحقول، مقارنة بالشاهد (المعامل بالمبيدات الكيميائية)، كما بيَّنت اختبارات الأقفاص أن فعّالية المادة الجاذبة القاتلة انخفضت مع زيادة مدة تعرُّضها للظروف الحقلية، وبلغ هذا الانخفاض حدّه الأعظمي بعد ثمانية أسابيع من التعرُّض، إذ لم تختلف نسبة القتل في الأسبوع العاشر عن نسبته في الأسبوع الثامن. تشير النتائج المستحصل عليها إلى إمكانية استعمال هذه المادة، بمعدّل ثلاث مرات في الموسم، لمكافحة فراشة ثمار التفاح في سورية، شريطة أن لا يكون مجتمع الحشرة في الحقول المعاملة عالياً.

● تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إطلالة

2006



إنفلونزا الطيور

تُعدُّ الفيروسات أصغر العوامل المُعْدِية المعروفة. وهي تصيب معظم أشكال الحياة من حيوان ونبات وحتى جراثيم. وتتميز عن باقي المتعضِّيات الدقيقة بثلاث خواص، إذ إنها، أولاً، أصغر تلك المتعضِّيات حجماً بالرغم من كونها تتفاوت فيما بينها إلى حدٍّ كبير من حيث القدّ الذي يتراوح بين 10 نانومترات و 300 نانومتر قطراً. وهي، ثانياً، تختلف في طبيعة الجينوم (المجين) genome الذي يقتصر إما على الدنا DNA أو على الرنا RNA، مع الإشارة إلى أن الفيروسات لا تحتوي إلاّ على صنف واحد من الحمض النووي. وهي، ثالثاً، لا تملك فعالية استقلابية خارج خلايا المضيف الحسَّاس لها، لكونها لا تملك ريبوسومات أو جهازاً لاصطناع البروتين بالرغم من أن بعض الفيروسات يحتوي على أنزيمات في داخل عُضيَّاتها organelles.

ولذلك، لا تستطيع الفيروسات أن تتضاعف multiply إلاّ في داخل خلايا حيّة (وليس في أوساط عديمة الحياة). وفي هذا الصدد، يقوم الفيروس في داخل الخلية الحسَّاسة له بتوجيه آلية الاصطناع synthesis الخاصة بتلك الخلية بحيث تصنع هذه الأخيرة مكوّنات فيروسية جديدة لصالح ذلك الفيروس. إنه يفعل ذلك عبر آلية انتساخ transcription الجينوم الخاص به، أو عبر ربط الحموض الأمينية في الخلية الحسَّاسة على نحو يعطي الرنا المرسال (m RNA) الخاص بذلك الفيروس والذي يأمر بدوره الخلية بالقيام بتضاعف يولِّد جسيمات فيروسية جديدة.

أولاً- بنية الفيروس

تتألف الفيروسات أساساً من لبٍّ من حموض نووية (هو الجينوم) محاط بغِلالَة coat بروتينية تعمل على وقاية الجينوم من التعطُّل inactivation بفعل عوامل الوسط التي تضرُّ به مثل الأنزيمات المسمّاة نكليازات nucleases في مجرى الدم. ونشير هنا إلى أن هذه الغلالة البروتينية تلعب دور مستضدٍّ antigen، وغالباً ما تكون مسؤولة عن التحريض على توليد أضداد وقائية protective antibodies.

وفي سياق الحديث عن بنية الفيروس ترد التسميات التالية:

1- الفريون virion: وهو الجسيم الفيروسي السليم.

2- القُفَيْصَة capsid: وهي الغلالة البروتينية.

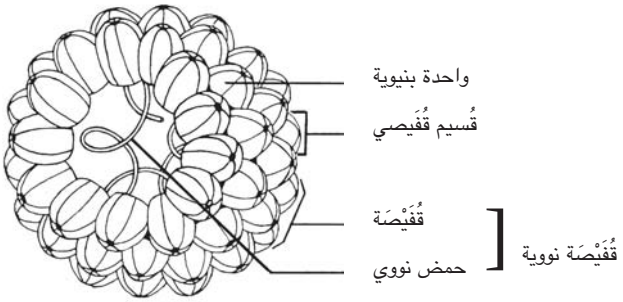
3- القسيمات القُفَيْصيَّة capsomeres: وهي الواحدات البنيوية التي تتألف منها القُفَيْصَة.

4- الغلاف envelope: وهو الغطاء الليبوبروتيني lipoprotein الذي يحيط بجسيمات العديد من الفيروسات ويحتوي على مستضدات فيروسية.

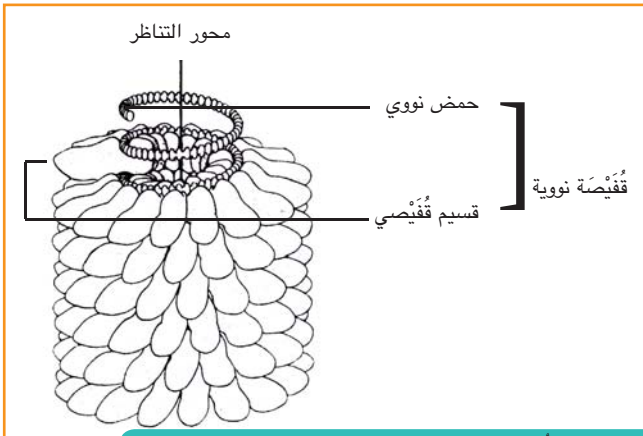
وفي سياق هذا الحديث نفسه نذكر لبنية الفيروس ثلاثة أنماط من التناظر:

1- النمط المكعَّب cubic: ويأخذ فيه الجسيم شكل صدفة بروتينية مجسَّمة ذات عشرين وجهاً تضم في داخلها الحمض النووي، أو الجينوم، (كما في الشكل 1).

2- النمط الحلزوني helical: الذي يحتوي فيه الجسيم على قُفَيْصة نووية متطاولة (الشكل 2). ونشير إلى أن الفيروسات الحلزونية في معظمها تحتوي على غلاف خارجي يكسو البروتين النووي الحلزوني.



الشكل 1: جسيم فيروسي عشروني ذو تناظر مكعب



الشكل 2: قُفَيْصَة نووية لجسيم فيروسي ذي تناظر حلزوني

ثانياً- التأثير الفيروسي على الخلايا

يمكن أن تؤثر الفيروسات على الخلايا بأربعة سبل:

1- الموت: بمعنى أن يكون الخمج infection مميتاً نتيجة لتسبُّبه بفعل إمراضي خلوي ينتهي إلى قتل الخلية.

2- التحويل transformation: بمعنى تحويل الخلية من خلية عادية إلى خلية ذات خواص خبيثة أو سرطانية.

3- الخمج الكامن latentinfection: بمعنى بقاء الفيروس داخل الخلية في حالة نشاط كامن بدون أن يحدِث في وظائفها أي تأثيرات واضحة.

4- الامتزاز الدموي haemadsorption: بمعنى أن بعض الفيروسات تَحْفُل في غلائلها الخارجية براصّة دموية haemagglutinine تلتصق بالكريات الحمراء وترصُّها بعضها مع بعض.

ثالثاً- تصنيف الفيروسات

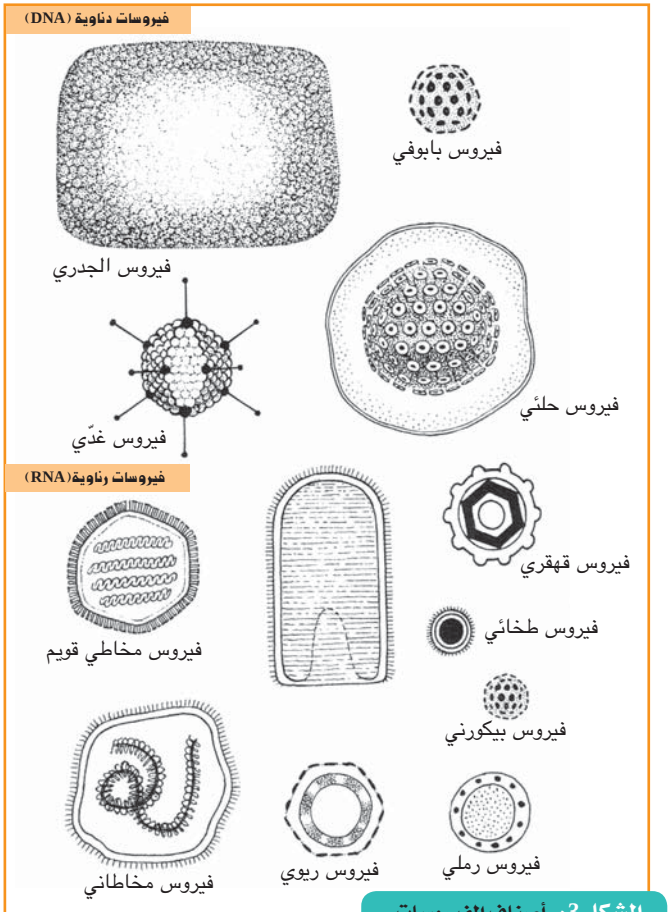
تنتسب الفيروسات إلى مجموعات أساسها شكل الجسم وطبيعة الحمض النووي وطريقة انتساخ الرنا RNA كذلك. ويعرض الشكل 1-3 بعض الجسيمات الفيروسية الممثِّلة لهذه المجموعات وهي:

1- الفيروسات الدناوية DNA viruses: ونذكر منها فيروس الجدري pox والفيروس البابوفي papova والفيروس الغدِّي adeno والفيروس الحلئِي herpes.

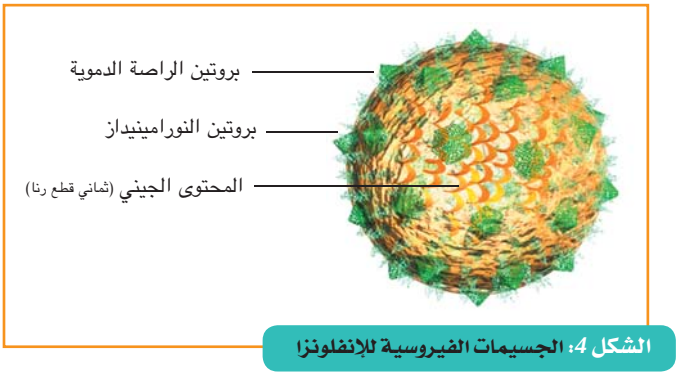
2- الفيروسات الرناوية RNA viruses: ونذكر منها الفيروسات المخاطية القويمة orthomyxo-، والفيروسات الربدية rhabdo، والفيروسات القهقرية retro-، والفيروسات الطخائية toga-، والفيروسات البيكورناوية picorna-، والفيروسات المخاطانية paramyxo-، والفيروسات الرِّيويَّة reo-، والفيروسات الرملية arena-.

الإنفلونزا

تُعدُّ الإنفلونزا من أهم الأمراض الوبائية الكبرى، إذ تأخذ من حين لآخر شكل جائحة تجتاح العالم. وقد سجَّل شتاء العامين 1918-1919 أقسى الجائحات الإنفلونزية حين هلك عشرون مليوناً من الناس في أرجاء المعمورة، وذلك بسبب ظهور سلالات جديدة من فيروس الإنفلونزا من الناحية المستضدية antigenically. أما سبب العدوى بها فيعود إلى استنشاق الأفراد مفرزات تنفُّسية من شخص مصاب بالأنفلونزا. وتتظاهر أعراضها بشكل حمَّى ودعث وصداع وأوجاع مُعمَّمة وسعال غير منتج (مع التهاب حلق وبحّة أحياناً) وسيلان أنفي وعطاس. وأما مدة هذه الأعراض فتدوم في



الشكل 3: أصناف الفيروسات



الشكل 4: الجسيمات الفيروسية للإنفلونزا

العادة حوالي أربعة أيام، بيد أن الإرهاق والضعف قد يدومان فترة أطول. ونشير هنا إلى أن مكان تضاعف هذا الفيروس هو الظهارة الخارجية للمسالك التنفُّسية الدنيا حيث تسبِّب الإنفلونزا تلف الأهداب وتوسُّف الظهارة.

توجد ثلاثة أصناف من فيروسات الإنفلونزا هي: A, B, C وتختلف بعضها عن بعض باختلاف البروتين النووي. ويُعدُّ الصنف A السبب الرئيس للإنفلونزا الجائحة. أما الصنف B فإنه يشكِّل شكلاً أكثر اعتدالاً ولكنه يسبِّب كذلك تفشِّيات مرضية ولاسيما عند الأطفال. وأما الصنف الثالث فمن المشكوك في إمراضيته للبشر. هذا، وتوجد فيروسات A كذلك في الحيوانات، وبخاصة في الطيور والخنازير والخيل. ونشير في هذا الصدد إلى أن فيروس الإنفلونزا هو من الفيروسات المخاطية القويمة orthomyxo viruses، وأنه رناوي الجينوم يتألف من شريط واحد ذي ثماني قطع مستقلة، يُشكِّل كل منها جينة بذاتها ترمِّز (تكوِّد) encode بروتيناً يختلف عن البروتينات التي تكوِّدها القطع الأخرى (نذكر مثالاً على ذلك: الراصّة الدموية hemagglutinine وأنزيم النورأمينيداز neuramin-idase). ومن الجدير بالذكر أن الجسيمات الفيروسية للإنفلونزا تكون ذات شكل كروي تقريباً ومتوسطة الحجم (100-800 نانومتر) وذات غلاف يحتوي على نتوءات شعاعية مؤلَّفة من الراصّة الدموية والنورأمينيداز (الشكل 4) وتقيم بداخله قُفَيْصَة نووية حلزونية اللولبة تتألف من رنا محاط بقسيمات قفيصيَّة بروتينية.

أولاً- الإنفلوانزا A

تتصف فيروسات الإنفلونزا A بقدرتها الفريدة على ممارسة التغيُّر المستضدي antigenic change بشكل متكرِّر. وما الأوبئة الإنفلونزية إلاّ نتيجة لظهور سلالات فيروسية إنفلونزية جديدة تحتوي على راصّة دموية تختلف عن الراصّة الدموية الخاصة بالفيروسات السابقة الجوّالة في الدم، الأمر الذي يسبِّب للناس ضعف مناعة (بمعنى نقصان الأضداد) تجاه الراصّة الدموية الجديدة. وقد يكون هذا التغيُّر المستضدي إما بشكل انزياح مستضدي antigenic shift أو بشكل انجرار مستضدي anti-genic drift. فالانزياح المستضدي يتضمَّن استبدال قطعة رناوية RNA segment تكوِّد راصّة دموية ليحلّ محلها قطعة رناوية من سلالة فيروسية أخرى مختلفة. ويمكن أن يحدث ذلك حينما يصيب فيروسان إنفلونزيان مختلفان خليةً ما بعينها ويتضاعفان بداخلها. فينشأ نتيجة لذلك فيروس جديد ذو راصّة دموية مُستحْدثة لا تملك الجماعات البشرية أضداداً مسبقة لها. وبذلك ينتشر هذا الفيروس المستحدث بشكل جائحة. ويمكن أن تحدث مثل هذه الإعادة التشكيلية الجينية genetic reassortment ذاتها بالنسبة للمستضد الآخر المتمثّل في النورأمينيداز. ونورد في القائمة التالية فيروسات الإنفلونزا A الرئيسية التي أصابها الانزياح المستضدي في السنوات الثمانين الماضية:

سنة الظهور	رمز الراصّة الدموية	رمز النورأمينيداز
1918	H1	N1
1957	H2	N2
1968	H3	N2

أما الانجرار المستضدي فيعود إلى طفرات عفوية تطرأ على جينة الراصّة الدموية فتسبِّب استبدالات ثانوية في متتالية الحمض النووي nucleic-acid sequence لبروتين الراصّة الدموية. ثم تصبح هذه السلالة الفيروسية التي عانت الانجرار المستضدي سلالة مصطفاة في الجماهير البشرية بفضل قدرتها على إصابة المضيف ذي المناعة الجزئية partial immunity. ونشير إلى أن الانجرار المستضدي يزداد بشكلٍ مطّرد من فصل سنوي إلى آخر.

ثانياً- إنفلونزا الطيور

تذكيراً بما ورد في الفقرة السابقة، ثمّة أنواع عديدة من الأنماط الفرعية المختلفة لفيروسات الإنفلونزا A تختلف فيما بينها تبعاً للتغيُّرات في الراصّة الدموية HA وفي النورأمينيداز NA على سطح الفيروس. وقد جرى تسجيل 16 نمطاً فرعياً من HA و 9 أنماط فرعية معروفة من NA بالنسبة لفيروسات الإنفلونزا A. كما يوجد العديد من التركيبات المحتملة لهذين البروتينين (NA, HA) بحيث تُمثِّل كل تركيبة منها نوعاً فرعيّاً مختلفاً. ونشير إلى أن كلّ الأنواع الفرعية المعروفة لفيروس الإنفلونزا A يمكن أن تكون موجودة في الطيور، ويرد بينها فيروس إنفلونزا الطيور الذي ينتسب إلى فيروسات الإنفلونزا A.

صحيح أن الإصابة بفيروس إنفلونزا الطيور قد تطال البشر بدرجة قليلة من الخطورة ولكن تمَّ تسجيل حالات مؤكّدة من هذا القبيل بعدة أنواع فرعية من فيروس إنفلونزا الطيور منذ العام

1997، وكان معظم الإصابات البشرية هذه نتيجة للاحتكاك بدواجن مصابة (مثل الدجاج والبط والديك الرومي) أو بسطوح ملوّثة بمفرزات الطيور المصابة. وندر جداً الإبلاغ عن انتقالٍ لفيروسات الطيور من شخصٍ مصابٍ إلى آخر سليم.

من المفيد في هذه الإطلالة على إنفلونزا الطيور إيجاز مسيرته في العقد الأخير من السنين، وبخاصة في السنوات الثلاث الماضية: ففي النصف الأول من عقد التسعينيات من القرن المنصرم بدأ الفيروس (H5N1)، الذي يعتبر النمط القاتل من إنفلونزا الطيور، بترسيخ نفسه في مجموعات الدواجن في آسيا. وفي بداية الأمر لم يسبِّب هذا الفيروس إلاّ شكلاً خفيفاً من المرض أفلت من الكشف عنه. ولكن في العام 1997 طفر mutated هذا الفيروس إلى شكلٍ مميتٍ يقتل الدواجن خلال 48 ساعة. وبعد تفشٍّ وجيز في العام 1997 بدا هذا المرض وكأنه اختفى. وبعدئذٍ عاد الفيروس A(H5N1)، وهو نفسه H5N1، للظهور بحلول نهاية العام 2003، وانتشر منذئذٍ في حوالي 50 بلداً.

وفي العام 2004، حدَّدت فيتنام الفيروس H5N1 كسبب لبضع وفيات بين البشر كانت قد بدأت أواخر العام 2003. وتبيّن أن هذا الفيروس ازداد فتكاً بالثدييات وأنه آخذٌ بقتل الطيور البرِّية. ومع نهاية العام نفسه، حدّد العلماء أن البط الأليف يمكن أن يكون بمثابة مكامن هاجعة لهذا الفيروس بدون إبداء علامات للمرض.

وفي الربع الأول من العام 2005 أعلن العلماء عن أول احتمال لانتقال المرض من إنسان إلى آخر من خلال حالة ظهرت في تايلاند في الشهر التاسع من العام 2004، ولكن في الربع الثاني من العام 2005 لم يعثر الباحثون على دليل على قابلية انتقال H5N1 بين البشر. وفي النصف الثاني منه ظهرت حالات عديدة من مرض إنفلونزا الطيور بين الدجاج والبشر.

وفي العام 2006، أخذ انتشار H5N1 يتزايد استناداً إلى تقارير من 28 بلداً عن أولى تفشِّيات المرض لديها. ويُذكر في هذا الصدد وفاة 29 إنساناً في ستة بلدان. ويقول بعض العلماء إن اكتشاف H5N1 عند الطيور في أمريكا الشمالية هو مسألة وقت فقط. فالطيور المهاجرة (التي تشكّل عوائل استضافة طبيعية لهذا الفيروس) من أوربا إلى أمريكا تخالط طيور أمريكا الشمالية في المنطقة القطبية (غرينلاند وشمالي كندا).

وفي ختام هذه الإطلالة على إنفلونزا الطيور نستعرض المخاطر على الصحة البشرية خلال تفشِّي الفيروس H5N1: فلقد تراوحت أعراض إنفلونزا الطيور على الجنس البشري من أعراض مشابهة للإنفلونزا المعتادة التي تصيب البشر (مثل الحمى والتهاب الحنجرة والآلام العضلية) إلى إصابات عينية وذات الرئة وأمراض تنفسية حادّة (مثل ضيق التنفُّسي الحاد) وتعقيدات حادّة أخرى قد تشكِّل خطراً على الحياة. وتتبدَّل أعراض إنفلونزا الطيور تبعاً للفيروس المسبِّب للعدوى. وقد أفادت الدراسات التي تمّت في المختبرات بأن بعض الأدوية المقبولة في الولايات المتحدة والتي توصي بتناولها ضد فيروسات الإنفلونزا المعتادة التي تصيب البشر لابد أن تفيد في معالجة البشر المصابين بإنفلونزا الطيور. ولكن لا يغرب على البال إمكان أن تصبح فيروسات الإنفلونزا مقاومة لهذه الأدوية وبالتالي لا تكون فعّالة بشكل دائم. وحَسبُنا أنه لابد من دراسات إضافية لإثبات فعّالية أية أدوية مبتكرة.

لقد مات في الموجة الحالية لتفشِّي مرض إنفلونزا الطيور في آسيا وأوربا أكثر من نصف من أصيبوا بهذا الفيروس. وظهرت معظم الحالات في الأطفال والشباب الذين كانوا ينعمون بصحة جيدة. وقد لا يكون قد جرى الإعلان إلاّ عن الإصابات الشديدة بهذا المرض. صحيح أن انتقال الفيروس H5N1 من شخص إلى آخر ما يزال حتى الآن محدوداً جداً، ولكن، وبسبب خاصية التغيُّر المستضدي لهذا الفيروس، يتخوّف العلماء من إمكانية أن يصبح قادراً ذات يوم على إصابة البشر والانتقال بسهولة من شخص إلى آخر في وقت لا يوجد فيه تحصين منيع ضده. وإذا ما اكتسب الفيروس H5N1 القدرة على الانتقال بسهولة من شخص إلى آخر، فقد يتفشّى المرض عالمياً ويأخذ صيغة الوباء، الأمر الذي لا يستطيع أحد أن يتنبأ بحدوثه. ويقف الخبراء على أهبة الاستعداد يراقبون عن كثب وضع الفيروس H5N1 في آسيا وأوربا مخافة أن يبدأ بالانتشار على نطاقٍ واسعٍ بسهولة أكبر بين الناس.

تجري الآن مقاومة فيروس H5N1 بعقارين هما: أمانتادين Amantadine وريمانتادين rimantadine اللذين يستخدمان في العادة ضد الإنفلونزا. وهناك أيضاً عقاران مضادان للفيروسات هما أُوسلتَامافير oseltamavir وزانامافير zanamavir ويحتمل أن يكونا مفيدين في معالجة الإنفلونزا الناجمة عن فيروس H5N1 وهما قيد الدراسة لاختبار فعاليتهما في هذا الصدد. يُضاف إلى ذلك وجود جهود حثيثة لتطوير لقاحٍ لوقاية البشر من هذا الفيروس. وقد بدأت في شهر نيسان/أبريل من العام 2005 دراسة بحثية لاختبار لقاح يحصِّن البشر ضد الفيروس H5N1.

إعداد : مكتب الترجمة والتأليف والنشر .

and its validity for human injection. The labeling yield exceeded 98%, the biodistribution study in rats showed that about 90% of the injected dose is localized in liver and spleen after 20 minutes, while less than 1% and 2% of it are localized in lungs and kidneys respectively The stability studies show that the labeled formulation is stable for 8 hours at room temperature, the cold kit is stable for more than 6 months.

Key Words: Sulphur Colloid, radiopharmaceutical, reticloendothelial, technetium 99m.

STUDY OF FLOWERING TIME IN SOME COTTON VARIETIES GROWN IN SYRIA AND THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON FLOWERING

D. JAWDAT, B. AL-SAFADI, Z. AYYOUBI

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

The experiment resulted in an early flowering time of Chirpan variety in which the first flower appeared a month and a half after planting. The varieties 118, Deer el Zoor 22, Rakka 5, Aleppo 90 varieties and Gossypium barbadense have flowered two months after planting. The latest variety to flower was Aleppo 33/1 about two months and a half after planting, and for the first time, at Al Soujeh station (in the country side of Damascus) of the Atomic Energy Commission of Syria.

Key Words: cotton, flowering time, environmental factors.

STUDYING THE POSSIBILITY OF CODLING MOTH, *CYDIA POMONELLA* (L.) CONTROL USING LURE AND KILL

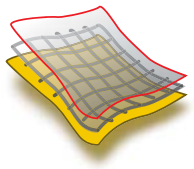
M. MANSOR

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

The possibility of controlling the codling moth, *Cydia Pomonella* (L.), using a lure and kill (L&K) approach as an alternative to chemical sprays with contact insecticides was investigated. The result of 4 years of study has shown that using a L&K approach, at a rate of 3 applications/season, kept infestation rate in treated orchards, with the exception of one (with high codling moth population), below the economic injury level. Although this system caused an increase in the population of the woolly apple aphid, the damage caused by this pest decreased with time. The mean number of caught males/trap/week and mating rate of tied virgin females in treated orchards was also reduced in comparison with the control (treated with insecticides). The result also showed that the activity of the product under orchard conditions decreased with time to reach its minimum after 8 weeks of the treatment. These results indicate that lure and kill can be used, at a rate of 3 applications season, for codling moth control in Syria, provided the pest population in treated orchards is not high.

Key Words: codling moth, control, lure and kill.

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



SIMULATION OF NATURAL CONVECTION COOLING PHENOMENA FOR RESEARCH REACTORS USING THE CODE PARET

A. HAINOUN, F. ALHABIT

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

This study deals with testing the capability of the code PARET to simulate natural circulation phenomena under different boundary conditions in addition to assessment of some new options related to simulation of control rod movement and the reactivity effect of thermal expansion fuel elements.

The experiments of the simple thermal hydraulic loop of Missouri university about natural circulation phenomena in narrow parallel channel were used to validate the code. The results indicate good agreements regarding the evolution of coolant velocity coolant and clad temperature. In particular the heat transfer coefficient of natural convection has been calculated in good agreement with the experiment. On the other hand, the core of MNSR reactor has been modelled to simulate the reactor dynamic behaviour under natural circulation condition for different initial power level. The observed oscillations during the initial phase vanish gradually with passing time. In this context three experiment of step reactivity insertion were calculated using two different options of boundary conditions, either using initial velocity or pressure drop along the core. The results indicate good agreement with the experiments regarding the evolution of relative power. The validations included also sensitivity analysis against some important parameters like initial velocity and radial distance of fuel rod.

The new option for simulation of control rod movement was also tested. For this purpose the MNSR experiment of full control rod withdraw was selected. The mean control rod velocity was estimated using experimental measurement. The simulation result of relative power evolution shows good agreement with the experiment during the first phase of the transient. However, an increased deviation is observed in the following phase due to the effect of closed hydrodynamic loop, which can not be modelled with the code PARET.

Key Words: PARET code, MNSR reactor, natural convection, dynamic behaviour, reactivity feedback effect.

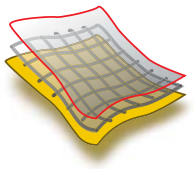
PREPARATION AND QUALITY CONTROL OF SULPHUR COLLOID KIT

T. YASSIN, L. YOUNES, M. Z. LABABIDI, M. KOULI

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

This study shows the preparation method of Sulphur Colloid kit according to the radiopharmaceuticals requirements to be used for reticloendothelial system imaging of liver and spleen after labeling with technetium 99m. Sulphur Colloid kit consists of three vials: The first contains 1.5 ml of 0.148 N hydrochloric acid, the second contains lyophilized sodium thiosulphate 3.14 mg, gelatin 18.1 mg, EDTA-2Na-2H_2O 2.5 mg and the third vial contains phosphate buffer pH = 7.5, NaOH 11.8 mg, $NaH_2PO_4.2H_2O$ 48 mg.

The prepared kit showed high quality satisfying the requirement of USP from the point of physical, radiochemical and biological purities.



Effect of moderator density reduction on neutron flux spectrum has been calculated too.

Key Words: MNSR, neutron flux distribution map, void effect, reactivity.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SUN TRACKER USING A MICROCONTROLLER

A. AL-MOUHAMMAD, K. AL-FROUH, S. LAYLA

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

In this project, a sun-tracking system has been designed and implemented using a PIC microcontroller to control the movement of a solar cells panel. The output power of the panel for both fixed and tracking positions has been compared. It was found that the gain in power exceeds 35% for the tracking system over that of the fixed one. The microcontroller commands all process of the system starting with the sun movement until choosing the precise panel position.

Key Words: solar cells panel, PIC, microcontroller, sensor.

TESTING THE "A VALUE" METHOD FOR MEASURING N_2-FIXATION IN KALLAR GRASS (LEPTOCHLOA FUSCA L.)

F. KURDALI

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

A pot experiment was conducted to test the ^{15}N tracer technique (A value approach) and to quantify N_2 fixation in Kallar grass (*Leptochloa fusca* L.). In order to select an appropriate reference treatment for measuring N_2 fixation, and to determine the optimal rate which inhibits N_2 fixation, plants received increasing amounts of ^{15}N labeled fertilizer (20, 50, 100, 150 and 200 kg N/ha). Results obtained from this experiment showed the possibility of using the ^{15}N technique (A value approach) for estimating N_2 fixation in Kallar grass by employing the same plant species that received 150 kg N/ha of N fertilizer as a reference treatment. Such an amount was found to be sufficient in obtaining inhibition of N_2 fixation.

Key Words: ^{15}N, A value, Kallar grass.

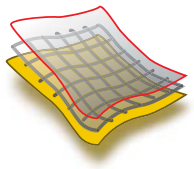
STUDY OF THE FUNDAMENTAL-MODE *TEM*$_{00}$ PROPAGATION IN STABLE LASER RESONATORS

M. B. ALSOUS

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

In this work, a computer program is written in C++Builder to study the TEM_{00} mode propagation in stable laser resonators. The user can insert optical elements such as mirrors, lens, and laser rods inside the cavity. The program determines the ray transfer matrix (4_4) for each element and draws a schematic diagram for the resonator. It calculates the beam spot of the fundamental mode along the resonator and inside the optical elements and draws two propagation curves along the two axes x and y.

Key Words: laser resonator, fundamental mode TEM_{00}, ray transfer matrix.



REPORTS

BUBBLE EMISSION LEAK TESTING

W. HARARA, M. AFGHANI, M. BAKKAR, U. JARADEH

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

Non-destructive testing is considered as a part of the quality assurance and used to test materials without damaging them. There are many methods, and leak testing is the one that contains many techniques, one of them is bubble emission leak testing. This has various applications and many advantages.

Key Words: leak testing, bubble emission, leak rate, leak tight, test sensitivity.

STUDY OF GENETIC RELATIONSHIPS OF SOME VICIA SPECIES AND ITS WILD RELATIVES IN SYRIA USING SDS-PAGE SEED PROTEIN ELECTROPHORESIS

N. MIRALI

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

Seed proteins were studied to evaluate the genetic diversity in subgenus *Vicia*. The study revealed the degree of variability within and among the studied species. Cross - fertilization species was characterized by a larger within- accession variation than that among accessions. The dendrogram showed that *V. faba* was the most distant among all species followed by *V. villosa*, *V. narbonensis* and *V. ervilia*. The *V. sativa* subspecies, however, were closely related.

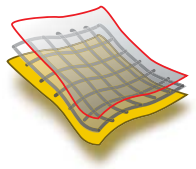
Key Words: Vicia, genetic diversity, electrophoresis, storage proteins, SDS-PAGE.

STUDY OF THE BUBBLE-VOID DISTRIBUTION EFFECT ON REACTIVITY IN THE MNSR RESEARCH REACTOR

I. KHAMIS, I. SULIEMAN, N. GHAZI

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

In this work, the effect of void on reactivity in the MNSR core has been studied, where void was represented as a localized vapor bubble moving within the core coolant. The effect of void on reactivity, in both axial and radial directions, was determined. An average void coefficient was calculated and found to be 4.57689 mk/%. Since neither measured nor published data are available on void coefficients in MNSR, comparison was not possible. However, the current calculated results seem acceptable and agree with the physical sense. Moreover, space-distribution of thermal neutron flux in all regions of the reactor has been obtained. As a result, a map of this flux distribution has been made. The map gives a clear picture on the neutron flux distribution through out various components of the MNSR. Two neutronics codes have been used in this analysis: WIMSD4 and CITATION. WIMSD4 was used to generate macroscopic cross sections for all materials in the reactor i.e. unit cell calculations, whereas the CITATION code was used for reactor core calculation. Finally, the



PAPERS

EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE FXG RADIOCHROMIC GELS USED FOR 3-D DOSIMETRY

M. A. BERO, M. H. KHARITA

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

Environmental effects on the optical properties of a sensitive radiochromic gel dosemeter; in particular storage, irradiation and measurements temperature were studied. Knowledge of light temperature and other ambient effects help to optimise working conditions and minimize errors. A ferrous-sulphate dosemeter with xylenol orange ion indicator incorporated in a gelatine gel matrix (FXG) was prepared under normal working conditions, and the samples were then kept in closed storage area at different temperature ranging from 5 °C up to the gel melting temperature about 35 °C. The samples optical absorbance was then measured quantitatively using double beam spectrophotometry. There is a small and steady increase in the absorbance 0.3×10^{-3}/°C with increasing temperature until about 30 °C when we observe a big jump in the gel absorbance. Finally, additional important behaviour of FXG material was noticed, that is the changes occurred under the influence of rising temperature are reversible which is different from the permanent radiation caused changes.

Key Words: radiochromic gel dosemeter, 3-D dosimetry, ferrous-sulphate, orange xylenol, Gelating (FXG).

THE IRRAADIATION OF SPICES, PACKAGING MATERIALS AND IUNCHEON MEAT TO IMPROVE THE STORAGE LIFE OF THE END PRODUCTS

M. Al-BACHIR

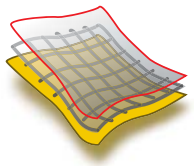
Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

Spices and packaging materials were exposed to γ-irradiation at a dose of 10 kGy. Luncheon meat was prepared with irradiated or non-irradiated spices and packaged in irradiated or non-irradiated packaging materials. Packaged luncheon meat was treated with 2 kGy. Irradiated and non-irradiated packaged luncheon meat were kept in a refrigerator (1-4 °C) for 12 months. Microbiological, nutritive and chemical characteristics of luncheon were evaluated after processing and during storage; whereas, sensory quality was evaluated only after irradiation. γ-Irradiation decreased the microbiological counts of spices, packaging materials and packed products and increased its shelf-life. No significant differences in moisture, protein, fat. pH value, total acidity, lipid peroxide and volatile basic nitrogen were observed as a result of irradiation. Sensory evaluation showed that all the combinations of treated luncheon meat were acceptable. However, the taste. odour, appearance and texture scores of irradiated packaged products were significantly lower than those of non-irradiated samples.

Key Words: chemical characteristics, microbial load, sensory evaluation.

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

Abstract



ARTICLES

FUSION: THE WAY AHEAD

R. PITTS
CRPP-EPFL in Lausanne, Switzerland
R. BUTTERY
Atomic Energy Authority in Oxfordshire, UK
S. PINCHES
Max Planck Institute for Plasma Physics in Garching, Germany

The recent decision to build the world's largest fusion experiment -ITER- in France has thrown down the gauntlet to fusion researchers worldwide. Richard Pitts, Richard Buttery and Simon Pinches describe how the Joint European Torus in the UK is playing a key role in ensuring ITER will demonstrate the reality of fusion power.

Key Words: nuclear fusion, JET, deuterium, tritium, plasma tokomak.

THE PROOF BY THE COLD ATOMS

F. CHEVY
Kastler Brossel laboratory, École Normale Supérieure, Paris

What could a gas of highly cooled atoms serve, where among other strange behaviors, the viscosity is equal null? According to works started since about ten years, physicists showed that this gas may serve in making up a new type of computers.

Key Words: super fluidity, Bose-Einstein condensate, analogical calculation, superconducting materials.

PHOTONIC CRYSTALS SHINE ON

T. KRAUSS
School of Physics & Astronomy, University of Andrews, UK

The ability of photonic crystals to act as perfect reflectors and to slow light down could lead to all-optical components and single-photon logic, as Thomas Krauss explains

Key Words: photonic crystals, slow light, wave guide, optical circuits, photonic- crystal cavities, perfect reflectors, single-photon logic.

SLOW LIGHT BRINGS FASTER COMMUNICATIONS

D. GAUTHIER
Department of Physics, Duke University, Durham, North Carolina, US

Two teams of researchers have managed to significantly reduce the speed of light in an optical fibre, which could open the door to all-optical routers for telecommunications, as Daniel Gauthier explains.

Key Words: optical router, slow light effect, stimulated brillouin scattering, electrostriction.

NEWS

35 ▸ DISEASE SURVEILLANCE NEEDS A REVOLUTION

37 ▸ ALZHEIMER'S DISEASE

39 ▸ TOWARDS ELECTRONICS WITHOUT TRANSISTORS

40 ▸ NANOMOTOR ROTATES MICROSCALE OBJECTS

42 ▸ HOW CLEAN IS TOO CLEAN?

44 ▸ THE PARCHED PLANET

49 ▸ ZIRCONIUM

PAPERS

52 EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE FXG RADIOCHROMIC GELS USED FOR 3-D DOSIMETRY

56 THE IRRAADIATION OF SPICES, PACKAGING MATERIALS AND IUNCHEON MEAT TO IMPROVE THE STORAGE LIFE OF THE END PRODUCTS

REPORTS

65 ▸ BUBBLE EMISSION LEAK TESTING

65 ▸ STUDY OF GENETIC RELATIONSHIPS OF SOME VICIA SPECIES AND ITS WILD RELATIVES IN SYRIA USING SDS-PAGE SEED PROTEIN ELECTROPHORESIS

66 ▸ STUDY OF THE BUBBLE-VOID DISTRIBUTION EFFECT ON REACTIVITY IN THE MNSR RESEARCH REACTOR

66 ▸ DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SUN TRACKER USING A MICROCONTROLLER

67 ▸ TESTING THE "A VALUE" METHOD FOR MEASURING N_2-FIXATION IN KALLAR GRASS (LEPTOCHLOA FUSCA L.)

67 ▸ STUDY OF THE FUNDAMENTAL-MODE TEM_{00} PROPAGATION IN STABLE LASER RESONATORS

68 ▸ SIMULATION OF NATURAL CONVECTION COOLING PHENOMENA FOR RESEARCH REACTORS USING THE CODE PARET

69 ▸ PREPARATION AND QUALITY CONTROL OF SULPHUR COLLOID KIT

70 ▸ STUDY OF FLOWERING TIME IN SOME COTTON VARIETIES GROWN IN SYRIA AND THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON FLOWERING

70 ▸ STUDYING THE POSSIBILITY OF CODLING MOTH, CYDIA POMONELLA (L.) CONTROL USING LURE AND KILL

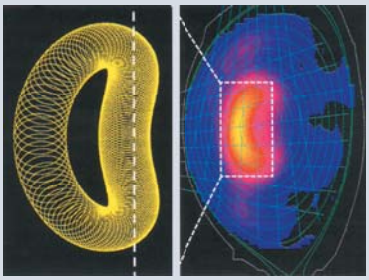
SCIENTIFIC HIGHLIGHT ON AN EVENT

72 AVIAN INFLUENZA IN BIRDS

81 ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH

CONTENTS

ARTICLES



5 ..... **FUSION: THE WAY AHEAD**

The recent decision to build the world's largest fusion experiment -ITER- in France has thrown down the gauntlet to fusion researchers worldwide. Richard Pitts, Richard Buttery and Simon Pinches describe how the Joint European Torus in the UK is playing a key role in ensuring ITER will demonstrate the reality of fusion power.

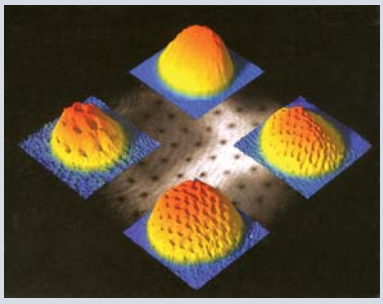
R. PITTS, R. BUTTERY, S. PINCHES

14 ..... **BORDER CONTROL: DRUGS, GUNS AND X-RAYS**

20 ..... **THE PROOF BY THE COLD ATOMS**

What could a gas of highly cooled atoms serve, where among other strange behaviors, the viscosity is equal null? According to works started since about ten years, physicists showed that this gas may serve in making up a new type of computers.

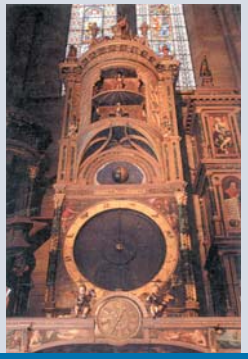
F. CHEVY



25 ..... **PHOTONIC CRYSTALS SHINE ON**

The ability of photonic crystals to act as perfect reflectors and to slow light down could lead to all-optical components and single-photon logic, as Thomas Krauss explains.

T. KRAUSS



31 ..... **Slow light brings faster communications**

Two teams of researchers have managed to significantly reduce the speed of light in an optical fibre, which could open the door to all-optical routers for telecommunications, as Daniel Gauthier explains.

D. GAUTHIER

AALAM AL-THARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate Knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of Atomic energy.

Managing Editor

Dr.Ibrahim Othman

Dirctor General of A.E.C.S

Editorial Board

Dr. Adel Harfoush

Dr. Ziad Qutob

NO.104