مالم الذرّة

AECS AECS

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

AECS AECS

المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذريّة

رئاسة هيئة التحرير

أ. د. عادل الحرفوش

أ. د. محمد قعقع

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. أحمد الحاج سعيد

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. نجم الدين شرابي

أ. د. فوزي عوض

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. توفيق ياسين

AECS AECS

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

ريما سنديان

الإخراج الفني

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

التنضيد الضوئي

هنادي كنفاني

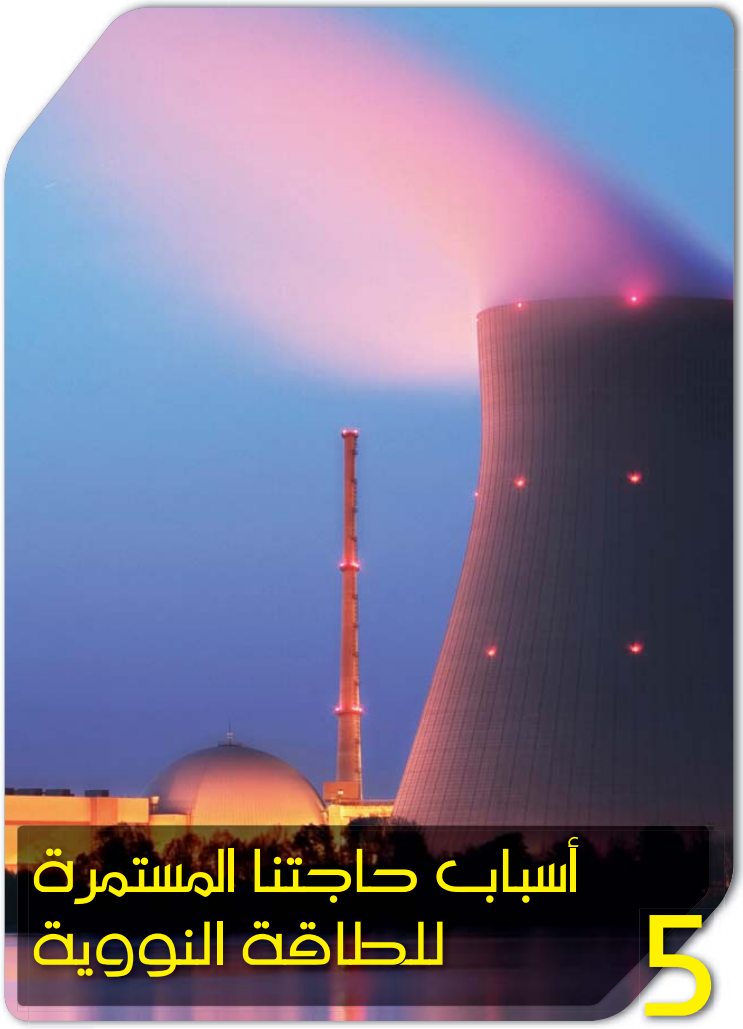
غفران ناوروز

التوزيع

عتيبة المنعم

AECS AECS

المحتويات



أسباب حاجتنا المستمرة للطاقة النووية 5

مقالات

بزوغ البيولوجيا الكمومية (الكوانتية) 11

تجارة الكربون تحتاج معالجة متعددة المستويات 16

الهوازل التوبولوجية 21

اصطناع رقوق (أغشية) نانوية نصف ناقلة وتجميعها وتطبيقاتها 27

أخبار علمية

- المعضلة الكمومية الكبرى 39
- تأثيرات فوكوشيما ما تزال غامضة 42
- تقارب الألماس والسليكون 54
- نفايات العقاقير تؤذي الأسماك 47
- تداخل الموجة والمادة أصبح جلياً 49
- المغنيزيوم 51

ورقات علمية

- تحديد معدل ارتشاح النظير ^{134}Cs من منابع مشعة منخفضة النشاط الإشعاعي ومصلبة ضمن الإسمنت البورتلاندي والإسمنت البورتلاندي الممزوج مع حبيبات الدولوميت وبودرة البوزولان 56
- الحالة المبيضية عند نعاج العواس السوري ذي الإلية خلال مراحل تناسلية ومعاملات هرمونية مختلفة بوساطة منظار جوف البطن وتراكيز هرمون البروجستيرون 56
- استقصاء مضاعفة تواتر بداخل تجويف الديود الليزري النبضي InGaAs/GaAs ذي مفتاح الكسب 57
- متلازمة عسر تنسج نقوي ثنائية النسيلة تشرك ستة صبغيات وفقدان وحيد الصنوة لمورثة الـ RB1 – حالة نادرة 57
- كفاءة معلمات RAPD وISSR في دراسة التنوع الوراثي للنوع Arthrocnemum macrostachyum (Chenopodiaceae) 57
- السمات الهدروحرارية والأمانية للوقود UO_2 في المفاعلات المنخفضة الاستطاعة 58
- السلينيوم والبيئة: مصادره، أثره وطرائق تعيينه 58
- تأثير الري الناقص في إنتاجيّة وكفاءة استعمال الماء في محصول القطن المروي بالتنقيط *(Gossypium hirsutum L.)* 58

تقارير علمية

- تأثير قناة ارتباط متجه الأيزو على الجزء الجهري لطاقة الارتباط النووي 59
- دراسة التركيب الكيميائي والتأثير السمي لبخار الزيت العطري المستخلص من نبات العرعر (الفصيلة السروية) ضد يرقات حشرات خنفساء خابرة الحبوب 59
- دراسة التأثير المتبادل بين البلازما وسطوح المواد بتقنية مسبر لانغمور أثناء المعالجة البلازمية 59
- تقدير التكاليف الإضافية للأضرار الصحية الناجمة عن إصدارات الملوثات الهوائية لمحطات التوليد الكهربائية باستخدام منهجية SIMPACTS 60
- تصميم جهاز رحلان كهربائي وتنفيذه 60
- مقارنة نتائج القياسات بمطياف غاما المحمول بنتائج القياسات التقليدية لتعيين النكليدات المشعة في التربة 60
- استخدام تقنية الرشرشة في تحضير طبقات رقيقة من أكسيد التوتياء وتوصيفها 61
- حساسية بعض أصناف الكرمة المنتشرة في المنطقة الوسطى لحشرة الفيلوكسيرا 61
- استخدام الكود MCNP-4C لتصميم حزمة نترونية حرارية للتصوير النتروني في مفاعل منسر 61

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 (18-2).
- 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.
- 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 [ ].
- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.
- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.
- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- 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 ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر
دمشق ـ ص.ب: 6091
هاتف: 6111926 11 (963+) ـ فاكس: 6112298 11 (963+)
E-mail: tapo@aec.org.sy

رسوم الاشتراك السنوي

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

المصرف التجاري السوري ـ فرع رقم 13 ـ مزة جبل ـ دمشق ـ ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012.

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

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

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

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

سعر العدد الواحد

سوريا: 50 ل.س	مصر: 3 جنيهات
لبنان: 3000 ل.ل	الجزائر: 100 دينار
الأردن: 2 دينار	السعودية: 10 ريالات

وفي البلدان الأخرى: 6 دولارات

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.

أسباب حاجتنا المستمرة للطاقة النووية

صناعة طاقة نظيفة وآمنة وبسعر مقبول.

الكلمات المفتاحية: *طاقة نووية، مفاعل، أمان نووي، نفايات نووية.*

هيئة الطاقة الذرية السورية

في السنوات التي أعقبت الحوادث الكبيرة في جزيرة ثري مايل "Three Mile Island" عام 1979 وتشيرنوبل "Chernobyl" عام 1986، لم تعد الطاقة النووية مستحبة، وأوقفت بعض الدول عجلة برامجها النووية. إلا أن العقد الأخير بدأ يشهد نوعاً من النهضة. فالاهتمام بالمناخ وتلوث الهواء إضافة إلى الحاجة المتزايدة إلى الطاقة الكهربائية قادت العديد من الحكومات إلى إعادة النظر في فكرة الابتعاد عن الطاقة النووية، التي تصدر القليل من ثنائي أكسيد الكربون والتي حقّقت أماناً مبهراً ووثوقية قياسية. فبعض الدول نقض المرحلة الرافضة للطاقة النووية، وبعضها الآخر قام بتمديد عمر المفاعلات الموجودة، والكثير قام بتطوير خطط لمفاعلات جديدة. يوجد اليوم ما يقارب الـ 60 محطة نووية قيد الإنشاء حول العالم ، والتي ستضيف حوالي الـ 60000 ميغا واط إلى قدرة توليد الطاقة –أي ما يعادل سدس حاجة العالم الحالية من توليد الطاقة النووية.

إلا أن هذه الحركة فقدت زخمها في آذار/مارس عام 2011، عندما دمّر زلزال قوته 9.0 وتسونامي هائل محطة الطاقة النووية فوكوشيما "Fukushima" في اليابان. أصيبت ثلاثة مفاعلات بضرر كبير، كان أقلّه ذوبان جزئي للوقود وتسرّب للإشعاع على مستوى أقل بقليل من كارثة تشيرنوبل "Chernobyl". أثار الحدث شكوكاً عامة واسعة حول مدى سلامة الطاقة النووية عندما تفلت من عقالها. أعلنت ألمانيا عن

إسراعها في إيقاف المفاعلات النووية لديها بدعم من الرأي العام، وقامت اليابان بإعلان مماثل، وربما بقناعة أقلّ. لقد كانت هذه أسهل قبولاً بفضل حقيقة أن الطلب على الكهرباء قد خفّ أثناء التباطؤ الاقتصادي في العالم وحقيقة أن الإجراءات العالمية للحدّ من تغيّر المناخ لم تعد تبدو ملحّة كما كانت في العقد السابق. ففي الولايات المتحدة، كان التوجه المسبق نحو إنشاء المفاعلات النووية الحديثة قد تباطأ بشكل أكبر نظراً لوفرة الغاز الطبيعي غير المتوقعة.

ومع هذا فإنه من الخطأ أن يقود حادث فوكوشيما الحكومات إلى التخلّي عن الطاقة النووية وفوائدها. فتوليد الكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية يصدر ثنائي أكسيد الكربون أكثر مما تصدره وسائل النقل أو الصناعة، والطاقة النووية هي أكبر مصدر لكهرباء خالية من الكربون في هذه البلد. كما أن توليد الطاقة النووية رخيص نسبياً، فهو يكلف أقل من 2 سنت للكيلو واط الساعي للتشغيل وللصيانة وللوقود. وحتى بعد كارثة فوكوشيما لم تبدِ الصين –التي تستحوذ على حوالي 40% من محطات الطاقة النووية الحالية– وكذلك الهند، وروسيا، وكوريا الجنوبية –التي تستحوذ معاً على 40% أخرى– أيّ علامات توحي بتراجعهم عن دفع الطاقة النووية إلى الأمام.

> ما تزال الطاقة النووية تواجه عدداً من التحديات فيما يخص الأمان وكلفة الإنشاء وإدارة النفايات وانتشار الأسلحة.

إن سجل أداء الطاقة النووية بتأمين كهرباء نظيفة وموثوقة يعدّ إيجابياً مقارنة مع مصادر أخرى للطاقة. إن انخفاض سعر الغاز الطبيعي الذي أمكن الوصول إليه حديثاً يعود غالباً إلى أن أصله من الغضار الصفحي (السجيل) وهذا ما ألقى الضوء على احتمالات أن كفاءة محطات احتراق الغاز يمكن أن تقلّل من انبعاث ثنائي أكسيد الكربون وملوثات أخرى بشكل سريع نسبياً، وذلك عن طريق التخلص من محطات الفحم القديمة وغير الفعّالة ، إلا أن قابلية تقلب أسعار الغاز الطبيعي التاريخية جعلت شركات المرافق العامة تحذر من وضع البيض كله في سلة واحدة. كما أنه، وعلى المدى البعيد، سيؤدي احتراق الغاز الطبيعي إلى انبعاث الكثير من ثنائي أكسيد الكربون. إن انتشار طاقة الرياح والطاقة الشمسية يتزايد باستمرار، إلا أن انقطاعهما ومخزونهما المتغيّرين يجعلانهما بالكاد ملائمتين للاستخدام بشكل كبير في حالة غياب طرائق ذات سعر معقول لتخزين الكهرباء. وفي الوقت الحاضر، تعدّ إمكانات التوسع في أفاق الطاقة الكهرومائية محدودة في الولايات المتحدة بسبب المخاوف البيئية وقلة المواقع ذات الإمكانات.

ما تزال الطاقة النووية تواجه عدداً من التحديات فيما يخص الأمان وكلفة الإنشاء وإدارة النفايات وانتشار الأسلحة. فبعد حادث فوكوشيما، قامت لجنة التنظيم النووي الأمريكية، وهي وكالة فيدرالية مستقلة تقوم بترخيص المفاعلات النووية، باستعراض الاحتياجات التنظيمية وعمليات التشغيل وخطط الاستجابة للطوارئ، ومتطلبات سلامة التصميم وإدارة الوقود المستهلك. ستقوم لجنة التنظيم النووي "NRC" فعلياً بتطبيق عدد من التوصيات الناتجة عنها وستكون تكلفة القيام بصفقة مع الطاقة النووية في الولايات المتحدة الأميركية مرتفعة حتماً. ومن أجل تمديد ترخيص المنشآت التي تقارب نهاية عقدها الرابع من بداية ترخيصها، والتي تفتقر إلى بعض معالم السلامة الحديثة، فإنها ستخضع لتحرّيات إضافية.

وفي الوقت نفسه، فإن مفاعلات جديدة قيد الإنشاء في فنلندا وفرنسا قد تجاوزت نفقاتها الميزانية بمليارات الدولارات، ما يشكك في قابلية التزود بمحطات الطاقة النووية. كما أن الاهتمام العام بالنفايات الإشعاعية يقف في وجه الطاقة النووية أيضاً، ولا تمتلك أية دولة منظومة تعمل على التخلص من هذه النفايات بشكل آمن حتى الآن. وفي الواقع، تدفع الحكومة الأميركية مليارات الدولارات مقابل الأضرار التي تتحملها شركات المرافق العامة بسبب عدم قدرتها على الوفاء بالتزاماتها بإزالة الوقود المستنفد من مواقع المفاعلات. وبعض المراقبين قلقون حيال انتشار البنية التحتية للطاقة النووية والتي قد تؤدي إلى ازدياد انتشار الأسلحة النووية، ومثال ذلك هو برنامج تخصيب اليورانيوم في إيران.

وإذا ما أردنا أن تتحقق فوائد الطاقة النووية في الولايات المتحدة الأمريكية فيجب تجاوز كل هذه العقبات. وفيما يتعلق بالأمان فإن متطلبات التصميم يجب أن يُعاد فحصها وفق تحليلات متجددة لحوادث متوقعة. وبالنسبة للتكلفة، فإن على الحكومة والقطاع الخاص أن يطوّرا التصاميم الحديثة التي ستخفض من المخاطر الاقتصادية لإنشاء محطات طاقة نووية. كما يجب على الدولة أن تستبدل منظومة إدارة النفايات النووية المعطلة بأخرى قادرة على التخلص من النفايات بطريقة آمنة وتخزينها لقرون. وعندها فقط يمكن اكتساب ثقة الجمهور.

أكثر أماناً و أقلّ كلفة

يُعدُّ التسونامي الذي ضرب اليابان في شهر آذار/مارس عام 2011 أول حدث خارجي أدّى إلى تسرب نشاط إشعاعي كبير من

محطة نووية. لقد شكّلَ موجة ارتفاعها 14 متراً، أي أكثر من ضعف الارتفاع الذي أخذ بالاعتبار عند تصميم فوكوشيما، وقد ترك المحطة المغمورة بالمياه معزولة عن الدعم اللوجستي الخارجي وعن إمدادات الطاقة اللازمة لتبريد المفاعلات وتجمعات الوقود المستنفد. إن كوارث طبيعية كهذه، ورغم ندرة حدوثها، كان يجب أن يخطّط لها لدى تصميم المفاعل: شهد حزام النار بالمحيط الهادئ "Pacific Ring of Fire" زلازل ارتدادية متعددة تراوحت قوتها بين 8.5 و9.5 خلال عام 2010، وسجلت اليابان أكبر عدد من التسونامي في العالم، بأمواج وصل ارتفاعها أحياناً إلى 30 متراً. وقبل أربع سنوات فقط، أغلقت اليابان أكبر محطة توليد نووية في العالم (كاشيوازاكى–كاروا "KashiWazaki–KariWa") بسبب زلزال أصاب المحطة بضرر أكبر مما تستطيع أن تتحمله، ولا تزال ثلاثة من المفاعلات السبعة معطّلة حتى اليوم.

إن كارثة فوكوشيما ستكون السبب في أن يقوم منظمو الطاقة النووية بإعادة النظر في متطلبات الأمان –وبشكل خاص، تلك التي تُعنى بمواصفات تصاميم المنشآت لتحمل الحوادث. في السنوات الأربعين، منذ أُعدَّ مفاعل فوكوشيما للعمل لأول مرة، حقّق علم الزلازل وعلم مخاطر الفيضانات تقدماً هائلاً، معتمداً على تطور الحساسات، والنمذجة وقدرات جديدة أخرى. لا يجب أن تستخدم المعرفة الجديدة هذه عند تصميم منشآت طاقة جديدة فقط، ولكن أيضاً يجب إعادة النظر في متطلبات المنشآت القديمة كما كان يحدث في فوكوشيما قبل التسونامي. إن متطلبات الأمان القديمة يجب ألا تبقى كما هي. ففي الولايات المتحدة الأمريكية، أدّى استعراض توصيات لجنة التنظيم النووي NCR إلى توصية بضرورة أن يقوم مشغّلو منشآت الطاقة النووية بإعادة النظر عند تقييم دراسة الزلازل ومخاطر الفيضانات كل عشر سنوات. إن التعديلات المطلوبة ستكون على الأغلب طفيفة مع بعض الاستثناءات، ولكن خطوة كهذه ستساعد في التأكد من أن تصاميم المنشآت تحقق المعلومات المستجدة.

اقترحت لجنة التنظيم النووي NRC أيضاً تنظيمات تطالب محطات الطاقة النووية بأن تضع منظومات في المحطات تسمح بإبقائها آمنة إذا ما عُزلت عن الطاقة الخارجية لمدة تصل إلى ثلاثة أيام. كما أصدرت توصيات أخرى تتعلق بأمور مثل التخلص من الغاز القابل للاحتراق ومراقبة مخازن تجمعات الوقود المستنفد. إن هذه المقترحات لا تعني بأن الـNRC لا تثق بأمان المفاعلات النووية الأمريكية، إذ إن سجلها الحافل بتشغيلها 90% من الوقت مؤشر على أدائها الآمن وغير الاعتيادي مقارنة بطرائق أخرى لتوليد الكهرباء. ومع هذا فإن حادثة فوكوشيما تدعو بشكل واضح لمتطلبات تنظيمية إضافية، ويجب أن توضع توصيات لجنة التنظيم النووي NRC قيد التنفيذ بأسرع وقت ممكن.

ستزيد التنظيمات الجديدة حتماً من تكلفة الطاقة النووية ومن تكلفة محطات الطاقة النووية، ويسجل السعر قيمة تتراوح بين 6–10 مليارات دولار لكلٍّ منها مما يزيد بكثير عن تكلفة بناء محطات توليد الطاقة بالوقود الأحفوري. وليست تكاليف رأس المال هي المرتفعة فحسب، فهناك وقت البناء الطويل مما يعني أن شركات المرافق العامة ستراكم رسوم تمويل كبيرة قبل أن يصبح بإمكانها بيع أية كهرباء. وفي محاولة لتحقيق توفير في الحجم، تحولت بعض المرافق لبناء مفاعلات أكبر يصل إنتاجها إلى 1600 ميغا واط بدل من تلك النموذجية التي تنتج 1000 ميغا واط. وهذا يرفع من كلفة المشاريع ويضخم عواقب الأخطاء أثناء عملية البناء.

إن كل هذا قد يجعل من منشآت الطاقة النووية استثماراً محفوفاً بالمخاطر، الأمر الذي يزيد بدوره مطالب المستثمرين بالمقابل برفع قيمة اقتراض الأموال لتمويل المشاريع. إلا أن الطاقة النووية لا تزال تتمتع بانخفاض كلفة التشغيل، مما يجعلها تدخل في المنافسة من ناحية تكلفة توليد الكهرباء اللازمة لاسترداد رأس المال المستخدم في الاستثمار طالما استمرت المنشأة في العمل. وفيما إذا قامت الحكومات في نهاية المطاف بكبح جماح انبعاث ثنائي أكسيد الكربون عن طريق إما فرض رسوم أو وضع شروط تنظيمية، كما هو متوقع أن يتم في العقود القادمة، فعندها ستكون الطاقة النووية محط اهتمام أكبر مقارنة بالطاقة التي تعتمد على الوقود الأحفوري.

في الولايات المتحدة، لا يزال هناك الكثير من الشك حول كلفة المنشآت الجديدة للطاقة النووية. فقد مضى حوالي 40 عاماً على طلب بناء منشأة جديدة للطاقة النووية. تقوم حالياً سلطة وادي تينسي "Tenessee Valley Authority"، وهي شركة "تملكها الحكومة الفيدرالية بإنهاء بناء مفاعل واطس بار الوحدة "Watts Bar Unit 2"– 2" – شرق تينيسي، والذي بدأ منذ فترة طويلة، وهي تخطط لاستكمال بناء آخر، بيلفونت الوحدة "Bellefonte Unite1 1" – في هوليوود، ألاباما. إن أول محطات نووية من الجيل الحديث من المقرر أن تُشاد في جورجيا من قبل الشركة الجنوبية "Southern Company"، بانتظار موافقة وكالة NRC. وتقرّر إتمامها عام 2016، وينطوي المشروع المقترح على مفاعلين يعملان بمجموع 2200 ميغا واط بكلفة تقدر بـ 14 مليار دولار. سيتم الاستفادة من الإعانات الكبيرة (ضمانات القروض، وائتمانات ضريبة الإنتاج وسداد التكاليف الناجمة عن التأخير الرقابي) التي تمّ طرحها في قانون سياسة الطاقة عام 2005 للبدء بإنشاء محطات نووية جديدة. وحتى بعد كارثة فوكوشيما، يبدو أن الكونغرس والبيت الأبيض ما يزالان ملتزمين بهذا البرنامج المساعد. إن نجاح مشاريع البناء هذه أو فشلها في تجنب التأخير وتجاوز التكاليف سيساهم في تحديد مستقبل الطاقة النووية في الولايات المتحدة.

حلول أقل أهمية

قد تكون تحديات الأمان وكلفة رأس المال المرتبطة بمنشآت الطاقة النووية كبيرة، لكن صنفاً جديداً من المفاعلات في مرحلة التطوير يبشّر بالتصدي لها. وهذه المفاعلات التي تُسمّى مفاعلات نمطية صغيرة (SMRs)، تنتج في أي مكان من 10 إلى 300 ميغا واط، بدلاً من 1000 ميغا واط التي تنتجها المفاعلات النموذجية. يمكن بناء مفاعل كامل أو معظمه في معمل ثم شحنه إلى الموقع لتركيبه، حيث يمكن تركيب مفاعلات عديدة معاً لإنشاء محطة أكبر للطاقة النووية. تمتلك هذه المفاعلات ميزات أمان جذّابة أيضاً. فتصميمها يتضمن غالباً ميزات تبريد طبيعية تستمر في العمل حتى بغياب الطاقة الخارجية، كما أن وضع المفاعلات تحت الأرض وتخزين الوقود المستهلك يُعدُّ أكثر أمانا.

بما أن مفاعلات SMRs أصغر من المحطات النووية التقليدية، فإن تأمين كلفة بناء المشروع الواحد ستكون أسهل، وبالتالي فإن شروط تمويله مواتية أكثر. وبما أنه يتم تركيبها في المعمل، فإن فترة البناء في الموقع ستكون أقصر. يمكن لشركة المرافق بناء حاجتها من الطاقة النووية خطوة خطوة، وأن تضيف مفاعلات إضافية حسب حاجتها، مما يعني أن بإمكانها أن تسترد إيراداتها من بيع الكهرباء بشكل أسرع، وهذا بدوره لا يساعد مالك المحطة فحسب بل المستهلكين أيضاً، المُطالَبين بدفع أسعار أعلى اليوم لتمويل محطات الغد.

كما يجب على خط إنتاج وتركيب مفاعلات SMRs تخفيض نفقاته أيضاً. وبدل الركض وراء اقتصاديات ذات ميزانية كبيرة وبعيدة المنال لبناء مشاريع أكبر، يمكن لمورّدي SMRs الاستفادة من موفورات التصنيع: قوة مهارة العمل الدائم، وضبط الجودة، والتحسينات المستمرة في تصميم المفاعلات وتصنيعها. حتى وإن كانت الأسعار الأصلية لكلّ ميغا واط أعلى في مفاعلات SMRs منها في المفاعلات الكبيرة، إلا أن الكلفة النهائية للميغا واط قد تكون أقل بفضل شروط التمويل المواتية وقصر مدة البناء –وهذه فرضية يجب أن يتم اختبارها. إن جدوى قيام مفاعلات SMRs بحاجة إلى إثبات. ومن المؤكد أنه على الحكومة أن تتقاسم المخاطر للقيام بهذا المشروع.

لم يتم ترخيص تصميم لـ SMR من قبل NRC حتى الآن، فهي عملية تستغرق وقتاً لأي تكنولوجيا نووية جديدة، وخاصة بالنسبة لتصاميم SMR التي تمثل انطلاقة كبيرة من خبرة لـ NRC. لن تتضح الكلفة الحقيقية لمفاعلات SMRs إلا بعد أن يتم ترخيصها وبناؤها. المهم، مع هذا، هو أنه لا يمكن أن يُلمَسَ ويُستَوعَبَ أي توفير صناعي إن لم يكن هناك أوامر موثوقة ومتتالية لإبقاء خط التصنيع مشغولاً بإنتاج التصميم نفسه. وكي يحدث هذا يجب على الحكومة الأمريكية أن تعرف كيفية احتضان المتعهدين الجدد وفي الوقت نفسه أن لا تبقى أسيرة لتقنية واحدة قبل الأوان.

مع الضغط الشديد في الميزانية الفيدرالية للولايات المتحدة الأمريكية، من الصعب تصور أن يقوم دافعو الضرائب بتمويل تجارب في مجال التكنولوجيا النووية الحديثة. ولكن في حال توقف الولايات المتحدة عن خلق طاقة نظيفة جديدة –ولتكن SMRs، وطاقة متجددة، وبطاريات متطورة، أو التقاط الكربون وعزله– فسينظر الأمريكيون إلى الوراء بعد عشر سنوات بأسف. سيكون هناك عدد أقلّ من الخيارات المجدية اقتصادياً لتلبية احتياجات الطاقة والحاجات البيئية في الولايات المتحدة، وستكون الدولة أقل قدرة على التنافس في السوق العالمية للتكنولوجيا.

قضية سلة النفايات

إذا كانت الطاقة النووية ستحظى بنهضة مستدامة، فلا بد من مواجهة تحدي كيفية التعامل مع النفايات النووية لآلاف السنين. يتم توليد الطاقة النووية عن طريق انشطار اليورانيوم مخلفاً وراءه منتجات إشعاعية خطيرة، مثل السيزيوم والسترونسيوم التي يجب عزلها لمئات السنين. كما تنتج هذه العملية عناصر ما بعد اليورانيوم مثل البلوتونيوم، وهي أثقل من اليورانيوم ولا توجد في الطبيعة، ويجب عزلها لآلاف السنين. هناك بديل للتخلص من عناصر ما بعد اليورانيوم: إذ يمكن فصلها عن وقود المفاعل كل بضع سنوات وإعادة تدويرها إلى وقود جديد للمفاعلات بصفتها مصدراً إضافياً للطاقة. إلا أن الجانب السلبي هو أن هذه العملية معقّدة ومكلفة، وتشكل خطر الانتشار النووي، إذ يمكن استخدام البلوتونيوم في صنع أسلحة نووية. إن النقاش حول إعادة تدوير عناصر ما بعد اليورانيوم لابد من حلّه.

الأمر الذي لا خلاف عليه هو أن معظم النفايات النووية يجب أن تُعزل بعيداً في أعماق الأرض. وقد دعم المجتمع العلمي هذه الطريقة منذ عقود، إلا أن إيجاد المواقع للمنشآت اللازمة قد ثبتت صعوبته. قام الكونغرس في الولايات المتحدة باعتماد مقاربة افتراضية، وقام بتجديد موقع واحد، وهو جبل يوكا في نيفادا Yucca Mountain، ووضع جدولاً زمنياً محدداً لدفن الوقود المستنفد تحت الأرض. وكان يدفع تكلفة هذا المشروع الضخم من قبل صندوق النفايات الدولية التي تساهم المرافق العامة فيه بحوالي 750 مليون دولار سنوياً. إلا أنه كان لهذه الاستراتيجية نتائج عكسية، والبرنامج يبدو في حالة فوضى. فنيفادا تصدت للبرنامج وقد تأخر الجدول لمدة عقدين من الزمن، مما أدى إلى دفع الحكومة أمر محكمة بمقابل الأضرار لشركات المرافق. في عام 2009 أعلنت إدارة أوباما بأنها ألغت مشروع جبل يوكا بالكامل، دون أن تضع بديلاً عنه للتخلص من النفايات الإشعاعية الناتجة عن محطات الطاقة النووية. وصل إلى

صندوق النفايات النووية 25 مليار دولار بدون وجود برنامج للتخلص من النفايات ليدعمه.

نبّه حادث فوكوشيما الشعب الأمريكي وأعضاء الكونغرس إلى مشكلة تراكم النشاط الإشعاعي للوقود المستنفد في أحواض تبريد الوقود عند مواقع المفاعلات. كانت الخطة الأصلية أن يُترك الوقود المستنفد ليبرد لمدة خمس سنوات تقريباً، ومن ثم إما أن يُدفن في أعماق الأرض أو أن يُعاد تدوير جزء منه. وأما الآن، فإن الوقود النووي المستهلك لا مكان للتخلص منه. قامت مرافق عدة بنقل بعضه خارج الأحواض إلى منشآت تخزين جافة مبنية في الموقع، والتي قيَّمتها لجنة التنظيم النووي NRC بأنها آمنة لمدة قرن من الزمن تقريباً. لم تكن منشآت التخزين الجافة في فوكوشيما عرضة لخطر الزلزال أو التسونامي، وهو تناقض مع المشاكل التي نشأت عند أحواض تبريد الوقود المستنفد عندما لا تتوفر عملية التبريد. وللتعامل مع المشكلة الملحة لتراكم النفايات في أحواض المفاعلات، فإن على الكونغرس أن يسمح باستخدام صندوق النفايات النووية لنقل الوقود المستنفد المتراكم في الأحواض إلى وحدات تخزين جافة قريبة. إلا أن خطوة إضافية كهذه يجب أن لا تكون بديلاً عن طريقة منهجية شاملة لإدارة النفايات.

> إذا كانت الطاقة النووية ستحظى بنهضة مستدامة، فلا بد من مواجهة تحدي كيفية التعامل مع النفايات النووية لآلاف السنين.

فبدلاً من تخزين الوقود المستنفد قرب المفاعلات، يجب أن يُخزّن في براميل خشبية جافة في عدد أقل من مواقع التجمعات تحدّد من قبل الدولة حيث يمكن بقاء الوقود لمدة قرن كامل. تتمتع هذه المقاربة بمزايا عديدة. إن وقت التبريد الإضافي سيساعد وزارة الطاقة أو أية منظمة أخرى على توفير الوقت الكافي لتسهيل تصميم مستودع جيولوجي. كما لن يكون على الدولة أن تدفع للمرافق لعدم تقيدها بالجدول الزمني، وسيكون ذلك مطمئناً للمجمعات القريبة من المفاعلات من أن للوقود المستنفد مكاناً يذهب إليه. في كلّ موقع سيكون الوقود القديم مراقباً، بحيث يمكن معالجة المشاكل التي قد تنتج عنه. وستبقي مرافق التخزين خيارات واشنطن مفتوحة، كما سيبقى الحوار حول ما إذا كان الوقود المستنفد عبارة عن نفايات أو مورد للعمل بحدّ ذاته. يجب أن تدفع هذه المواقع من قبل صندوق النفايات النووية، وهذا التغيّر يجب أن يحظى بموافقة الكونغرس.

يتوجب، في الوقت نفسه، على واشنطن أن تجد بديلاً لجبل يوكا لتخزين النفايات النووية على المدى البعيد. وبينما تقوم بذلك، يجب أن تتبنّى مقاربة أكثر مرونة وأكثر تكييفاً مما كانت في الماضي، وأن تعقد مفاوضات مبكرة مع المجتمعات المحلية والقبائل الأمريكية الأصلية والولايات. قامت السويد برفع كفاءة برنامجها للتخلص من النفايات على أساس توافق الآراء، وعملت وزارة الطاقة الأمريكية اثني عشر عاماً على مستودع جيولوجي لنفايات ما بعد اليورانيوم قرب كارلسباد في نيو مكسيكو، مع دعم قوي من الرأي العام. كما يجب على الحكومة أن تحقق في أساليب جديدة للتخلص من النفايات. فمثلاً، قد يكون من المنطقي فصل عناصر ما بعد اليورانيوم ذات نصف العمر الطويل في مخلفات المفاعل النووي والتي تشكل مجموعة صغيرة جداً، ولكنها سيئة جداً والتخلص منها في آبار بعمق أميال، ووضع المواد ذات العمر الأقصر في مستودعات أقرب إلى السطح. ونظراً للتحديات المستمرة لإدارة النفايات، يجب أن تتضمن الإصلاحات الشاملة للبرامج الموجودة إنشاء منظمة ميثاق فيدرالي وهي خطوة تبعد مسافة أو اثنتين من حسابات السياسة القصيرة الأجل.

هنالك أمر آخر بغض النظر عن الماضي وهو إدارة النفايات النووية المدنية بشكل منفصل عن النفايات النووية العسكرية. في العام 1985، اختارت الحكومة أن تقوم بخلط النفايات المدنية والدفاعية في مستودع جيولوجي واحد. بدا ذلك منطقياً آنذاك، حيث افترض المخططون أن جبل يوكا سيكون ملائماً لكلا النوعين. أما الآن، فيبدو بأنه سيمر وقت طويل قبل أن يُفتح مستودع ذو حجم كبير. اليوم، يبدو من المنطقي أكثر أن تُوضع خطط لتخزين النفايات العسكرية في مسارات منفصلة وأكثر سرعة، إذ إن هذه العملية تسهّل من التوصل إلى حل للنفايات المدنية. فبداية، هناك نفايات عسكرية أقلّ وسيكون تنامي حجمها أقل في المستقبل، إضافة إلى ذلك، فإن معظم النفايات العسكرية يكون فيها اليورانيوم والبلوتونيوم مفصولاً مسبقاً عن الوقود المستهلك لأن الهدف كان إنتاج مواد الأسلحة النووية. وبالتالي فإن كلّ ما تبقى هو نفاية من دون شك، وليس مصدراً للإشعاع.

إن التتبع السريع لبرنامج نفايات الدفاع العسكري سيسمح للحكومة الفيدرالية بأن تفي بالتزاماتها للدول التي تقوم برعاية منشآت الأسلحة النووية، والتي وافقت على إزالة نفايات النشاط الإشعاعي. كما أنه سيجعل اقتصاد تخزين النفايات أكثر وضوحاً، طالما أن شركات المرافق النووية تدفع مقابل إدارة نفايتها، في حين ينبغي على الكونغرس أن يوافق على تمويل نفايات الدفاع.

وعلى فرض أن مستودع نفايات الدفاع قد أنشئ أولاً، فإن الخبرة المكتسبة من تشغيله ستكون غنية جداً عندما يأتي الوقت لإنشاء مستودع نفايات مدنية.

إن لأنظمة إدارة النفايات النووية المختلة وظيفياً في الولايات المتحدة الأمريكية تأثيرات جانبية دولية مؤسفة: فهي تحدّ من خيارات منع دول أخرى من عدم استخدام البنية التحتية للطاقة النووية في إنتاج أسلحة نووية. فإن أصبح بإمكان دول مثل إيران تخصيب اليورانيوم لصنع وقود مفاعلات جديدة وفصل البلوتونيوم لاستعادة قيمته الطاقية منه، فسيكون بمقدورهم الوصول إلى تكنولوجيا ومواد ذات صلة ببرامج التسليح. إن اتفاقات الضمانات مع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية تسعى لأن تتأكد من أن البرامج المدنية لا تتحول إلى عسكرية، إلا أن الوكالة ليس لديها إلا قدرات محدودة للتصدي للبرامج السرية.

إن تطوير مرافق تخصيب أو فصل اليورانيوم مكلف ومن غير المرجح أن يرفع من اقتصاد دول ذات برامج طاقة نووية صغيرة. وأكثر ما يهم هذه الدول هو ضمان إمدادات الوقود النووي وطريقة للحدّ من عبء إدارة النفايات. هناك مخطط واحد واعد للحفاظ على المواد الانشطارية ينطوي على إعادة النفايات النووية إلى البلد الذي قام بتوريد الوقود (أو إلى بلد ثالث). ففي الواقع، يمكن أن يتم تأجير الوقود النووي لإنتاج الكهرباء. إذ إن البلد المورد للوقود سيتعامل مع الوقود المستنفد المرتجع كالوقود الذي يملكه، وسيتم التخلص منه مباشرة أو معالجته. وفي معظم الحالات، تكون كمية النفايات الإضافية قليلة مقارنة بما تتعامل معه الدولة. ومقابل التخلي عن إمكانية إعادة معالجة الوقود وبالتالي فصل المواد الصالحة لصناعة الأسلحة، فإن البلد الذي يستخدم الوقود سيكون قد حرّر نفسه من تحديات إدارة النفايات النووية.

تقوم الولايات المتحدة فعلياً بإدارة برنامج مماثل على نطاق ضيق، فهي تؤمن وقوداً عالي التخصيب من اليورانيوم يوزع إلى حوالي 30 دولة للمفاعلات البحثية الصغيرة. ولكن مع عدم وجود نظام تجاري فعّال لإدارة النفايات، فإنه لا يمكن توسيع البرنامج لاستيعاب النفايات الناتجة عن المفاعلات التجارية. وبدلاً عن ذلك، تحاول واشنطن أن تستخدم الدبلوماسية لفرض قيود حسب كل بلد على أمل أن توافق الدول على التخلي عن تخصيب اليورانيوم وإعادة معالجته مقابل تعاون نووي مع الولايات المتحدة. هذه الأساليب الخاصة كانت فعّالة عندما كانت الولايات المتحدة هي المهيمنة على موارد التكنولوجيا النووية والوقود، إلا أنها لم تعد كذلك، ويبدو أن الموردين الرئيسين الآخرين، مثل فرنسا وروسيا، غير مهتمين في فرض قيود على المعاملات التجارية. إن وضع برنامج مشترك ومتماسك لإدارة النفايات سيعطي الولايات المتحدة فرصة للوقوف عندما يتعلق الأمر بإقامة برنامج دولي لدورة الوقود لمقاومة انتشار السلاح.

إما الآن أو لن يتمّ أبداً

نظراً لتراكم الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي، فإن إيجاد السبل لتوليد طاقة نظيفة، وميسورة، وموثوق بها أصبح أمراً حتمياً وأكثر إلحاحاً. الطاقة النووية ليست رصاصة فضة، ولكنها حلٌّ جزئيٌّ أثبت فعاليته على نطاق واسع. وسوف تحتاج البلدان إلى انتهاج مزيج من الاستراتيجيات لإيقاف الانبعاثات، بما في ذلك التقليل من طلب الطاقة، واستبدال محطات الطاقة التي تعمل على الفحم بمحطات غاز طبيعي أكثر نظافة، واستثمار تقانات حديثة مثل الطاقة المتجدّدة واحتجاز الكربون وعزله. يجب أن يكون دور الحكومة المساعدة في تأمين قطاع خاص بما فيها مجموعة من الخيارات المفهومة، بما في ذلك الطاقة النووية – وأن لا تكتفي بحصة سوقية مرغوبة لأية تكنولوجيا محدّدة.

على الولايات المتحدة أن تتخذ عدداً من القرارات لتحافظ على خيار الطاقة النووية وتطوره. ويجب أن يترجم رد الفعل الأولي للجنة التنظيم النووي NRC تجاه دروس الأمان في فوكوشيما إلى أفعال، ويجب أن يقتنع الرأي العام بأن الطاقة النووية آمنة. على واشنطن أن تلتزم بخطتها لتقديم مساعدات محدودة لبناء مفاعلات نووية جديدة في هذا العقد، وتقتسم الدروس المستفادة من هذه الصناعة. كما يجب أن تكثف دعمها للتكنولوجيا الحديثة مثل المفاعلات النمطية الصغيرة SMRs وأدوات كمبيوتر متطورة. وبالنسبة لإدارة النفايات، فإن الحكومة بحاجة إلى تعديل المنظومة الحالية وأن تصبح أكثر جدية بخصوص التخزين على المدى الطويل. القلق المحلي حول مرافق النفايات النووية لن يختفي بلمسة ساحر، بل يحتاج لأن يُعالج بطريقة أكثر تكيفاً وتعاوناً ووفق برنامج نفايات واضح.

إن هذه الخطوات ليست سهلة، ولن يُنفّذ أيٌّ منها بين ليلة وضحاها. ولكن كلاً منها سيحدّ من عدم اليقين لدى الرأي العام وشركات الطاقة والمستثمرين. إن إيجاد منهج أكثر إنتاجية لتطوير الطاقة النووية –ومواجهة المخاطر المتزايدة لتغير المناخ– أمر طال انتظاره. والمزيد من التأخير سيزيد من الرهانات فقط.

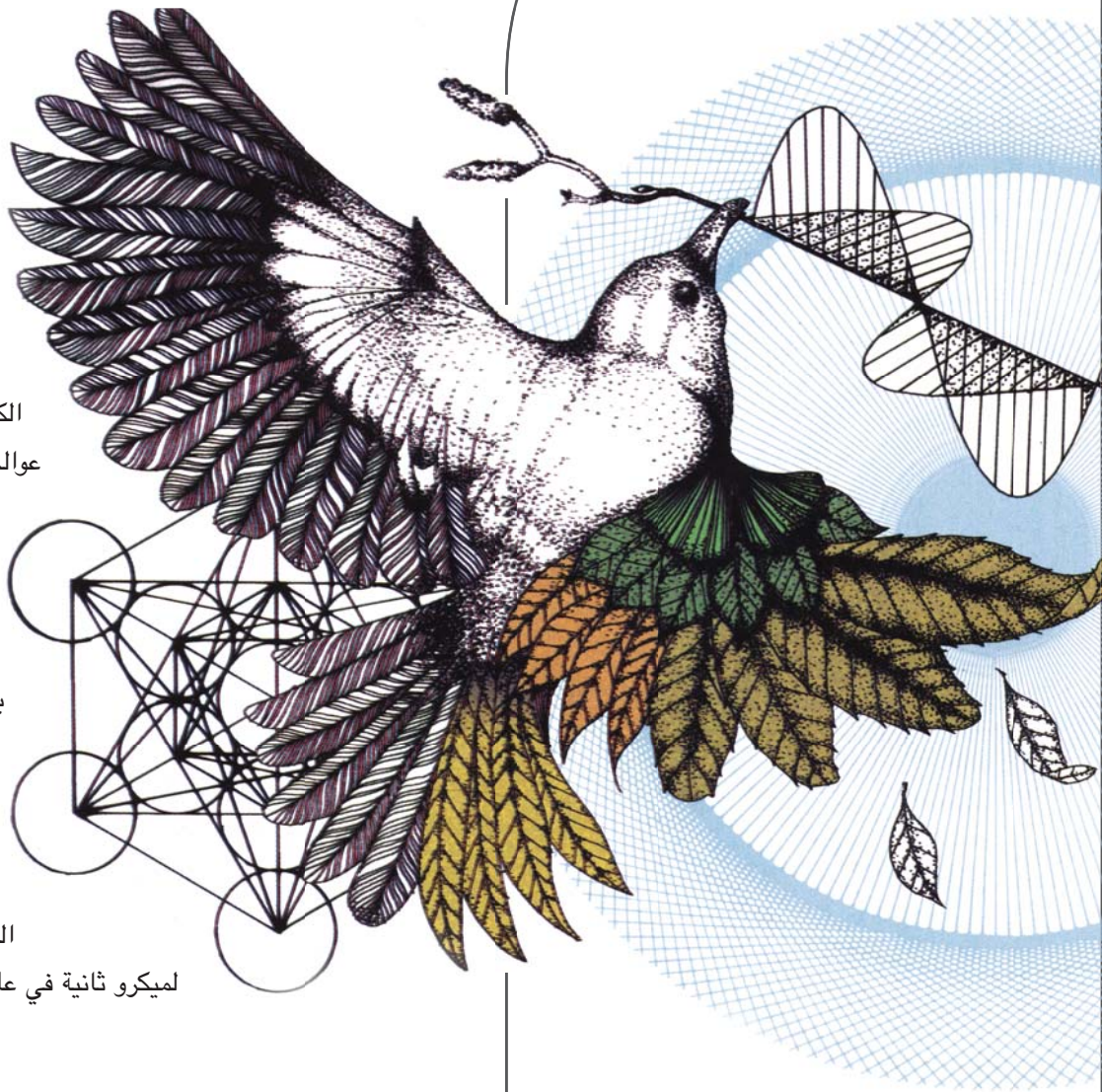
نُشر هذا المقال في ***www.mit.edu/mitei/news/spotlights***، ترجمة **د. أحمد حاج سعيد**، *هيئة التحرير*.

بزوغ البيولوجيا الكمومية (الكوانتية)

قد يكمن مفتاح الحوسبة الكمومية العملية والخلايا الشمسية العالية الكفاءة في العالم الأخضر الفوضوي خارج مختبر الفيزياء.

فيليب بول

الكلمات المفتاحية: *حوسبة كمومية، تمثيل ضوئي، ترابط كمومي.*



ظاهرياً، يبدو أن التأثيرات الكمومية والمتعضيات الحية تشغل عوالم مختلفة كلياً. عادة ما تلاحظ الأولى على المقياس النانومتري محاطة بفراغ صلب ودرجات حرارة فائقة الانخفاض وبيئة مختبر تحت السيطرة القوية. بينما تسكن الأخيرة العالم المشاهد للعيان الدافئ والفوضوي الخارج عن السيطرة. ظاهرة كمومية مثل "الترابط" والتي تبقى فيها الأنماط الموجية لكل جزء من النظام متلائمة، لا تستمر سوى لميكرو ثانية في عالم الخلية الصاخب.

أو هكذا يفكر كل شخص. ولكن تقترح الاكتشافات في السنوات الأخيرة أن الطبيعة تعرف بضع حيل لا يعرفها الفيزيائيون: إن السيرورات الكمومية المترابطة قد توجد بشكل دائم في العالم الطبيعي. تتراوح الأمثلة المعروفة أو المشكوك بها من مقدرة الطيور على الملاحة باستخدام حقل الأرض المغنطيسي إلى الأعمال الداخلية للتمثيل الضوئي – العملية التي تقوم فيها النباتات والبكتيريا بتحويل ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون والماء إلى مادة عضوية، وهو مثير للجدل بكونه أكثر التفاعلات الكيميائية الحيوية أهميةً على الأرض.

يقول سيث لويد Seth Lloyd وهو عالم فيزياء في معهد ماساشوتس للتقانة في كامبردج: للبيولوجيا براعة باستخدام ما يعمل، وإذا كان ذلك يعني "شعوذة كمومية"، كما يقول، "يكون إذاً شعوذة كمومية". حتى أن بعض الباحثين بدؤوا بالكلام عن حقل بازغ يدعى البيولوجيا الكمومية، ويجادلون بأن الآثار الكمومية هي مكون حيوي للطريقة التي تعمل بها الطبيعة، حتى ولو كانت نادرة. وعلماء المختبر الفيزيائيون المهتمون في التقانة العملية ينتبهون جيداً. يقول لويد "نأمل أن نكون قادرين أن نتعلم من السلاسة الكمومية لهذه النظم البيولوجية". إن الفهم الأفضل للكيفية التي يحفظ فيها تأثير الكموم في المتعضيات الحية يمكن أن يساعد الباحثين لتحقيق الهدف المراوغ للحسابات الكمومية، ويقول "أو ربما يمكن أن نصنع أجهزة تحفظ الطاقة بشكل أفضل أو خلايا شمسية عضوية أفضل".

مكتشف طريق الطاقة

كان لدى الباحثين منذ زمن طويل شكوك بأن هناك شيئاً ما غير عادي يجري في التمثيل الضوئي. ذرات من الضوء تسمى فوتونات تتدفق من الشمس إلى الأرض وتصل بشكل عشوائي إلى جزيئات اليخضور وصبغات أخرى تعمل كلاقطات ماصة للضوء تتجمع داخل خلايا كل الأوراق وبداخل كل بكتيريا قادرة على التمثيل الضوئي. ولكن عندما تتوضع طاقة الفوتون لا تبقى عشوائية. بطريقة ما يتم تموضعها في مجرى ثابت باتجاه مركز تفاعل التمثيل الضوئي في الخلية، والذي يمكن أن يستخدمها بأعلى فعالية لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى سكريات.

عرف الباحثون، منذ ثلاثينيات القرن العشرين، أن هذه الرحلة يجب أن توصف من قبل الميكانيك الكمومي، الذي يعتبر أن جسيمات مثل الإلكترونات تعمل غالباً مثل الموجات. عندما تصدم الفوتونات جزيئاً لاقطاً فإنه سيصدر إلكترونات طاقية إكسيتون (excitons) كما هو الحال عند سقوط حجر في بركة ماء. تمر بعدئذ هذه الإكسيتونات من جزيء إلى الجزيء المجاور له حتى تصل إلى مركز التفاعل. ولكن هل مسارها عشوائي، متخبط، كما افترض الباحثون بالبداية؟ أم أن هذه الحركة قد تكون أكثر تنظيماً؟ أشار بعض الباحثين الحديثين إلى أن هذه الإكسيتونات قد تكون مترابطة مع الأمواج الممتدة إلى أكثر من جزيء واحد عندما تكون متوافقة وتقوي بعضها بعضاً.

إذا كان الأمر كذلك ستكون له عواقب مدهشة. يمكن أن توجد الأمواج الكمومية المترابطة في حالتين أو أكثر في الوقت نفسه، بالتالي فإن الإكسيتونات المترابطة يمكن لها أن تنتقل عبر غابة من جزيئات اللواقط بطريقين أو أكثر بآن واحد. في الحقيقة، يمكن لها أن تستكشف بآن واحد عدداً كبيراً من الخيارات الممكنة، وأن تختار بصورة آلية (أوتوماتيكياً) المسار الأكثر فعالية إلى مركز التفاعل.

منذ أربع سنوات، استطاع فريقان بإشراف غراهام فليمينغ Graham Fleming، وهو كيميائي في جامعة كاليفورنيا، بيركلي، الحصول على برهان تجريبي يدعم هذه الفرضية. استخدم أحد الفريقين خيطاً من نبضات ليزرية قصيرة جداً لسبر جهاز التمثيل الضوئي لبكتيريا الكبريت الخضراء المسماة Chlorobium tepidium. كان على الباحثين أن يبردوا عيناتهم إلى 77k بالآزوت السائل ولكن البيانات من مسبر الليزر الخاص بهم أظهرت دليلاً واضحاً لحالات الإكسيتونات المترابطة. قام الفريق الثاني بدراسة مشابهة على البكتيريا الأرجوانية Rhodobacter sphaeroides ووجدوا أن الترابط الإلكتروني ذاته يعمل على درجات حرارة تصل إلى 180k.

في عام 2010، نشر باحثو الفريق الأول دليلاً على الترابط الكمومي في معقدهم البكتيري بدرجات حرارة جو الغرفة –مظهرين أن الترابط ليس مجرد نتاج صنعي عن ظروف المختبر الفائقة البرودة، ولكنها قد تكون فعلياً ذات أهمية للتمثيل الضوئي في العالم الحقيقي. وفي الوقت نفسه، ذكر فريق بقيادة غريغوري شولز Gregory Scholes وهو كيميائي في جامعة تورنتو بكندا، أيضاً آثار الترابط في درجة حرارة المختبر– وهذه المرة ليس في البكتيريا وإنما في الطحالب الوحيدة الخلية cryptophyte ذات المقدرة على التمثيل الضوئي، وهي متعضيات متمايزة تطورياً أكثر

قرابة للنباتات والحيوانات، وتستخدم مجموعات كيميائية ماصة للضوء مختلفة كلياً.

ولكن كيف للترابط الكمومي أن يبقى بما يكفي ليصبح مفيداً في التمثيل الضوئي؟ كان معظم الفيزيائيين يفترضون أن درجات حرارة الجو والفوضى الجزيئية المحيطة في الخلية تحطم الترابط بشكل لحظي تقريباً.

اقترحت النمذجات الحاسوبية التي قام بها لويد وبعض زملائه الجواب: إن الضجيج العشوائي في البيئة قد يعزز فعليا كفاءة نقل الطاقة في التمثيل الضوئي أكثر من كونه يخربها. يبدو أن الإكسيتون يمكن أن يحتجز في بعض الأحيان على مواقع معينة في سلسلة التمثيل الضوئي، ولكن تقترح النمذجات أن الضجيج البيئي يمكن أن يحركها بما يسمح بتحريرها بما يكفي لتجنب تدمير ترابطها. بالفعل، يقول لويد: "تحرر البيئةُ الإكسيتون وتسمح له بالذهاب إلى حيث يريد".

> "الطبيعة تعرف بعض الخدع التي لا يعرفها الفيزيائيون"

إن التمثيل الضوئي ليس المثال الوحيد للآثار الكمومية في الطبيعة. على سبيل المثال، عرف الباحثون منذ سنوات عدة أنه في بعض التفاعلات التي تحتاج إلى وساطة أنزيمية، تتحرك البروتونات من جزيء لآخر عن طريق ظاهرة ميكانيكية كمومية تسمى العبور النفقي tunneling والتي يمر فيها جسيم عبر حاجز طاقي وليس عبر حشد طاقته ليتسلق عليه. والنظرية الجدلية المسماة olfaction (جهاز حاسة الشم) تدعي أن الرائحة تأتي من استشعار بيوكيميائي لاهتزازات جزيئية – سيرورة تشمل عبور إلكترون بالنفق بين الجزيء المسؤول عن الرائحة والمستقبل الذي يلتحم عليه في الأنف.

ولكن هل هناك أمثلة واسعة الانتشار بما يكفي لتبرير قيام فرع جديد من المعرفة؟ يعترف روبيرت بلانكينشيب Robert Blankenship، باحث بالتمثيل الضوئي في جامعة واشنطن في سينت لويس، ميسوري ومؤلف مشارك مع فليمينغ في ورقة C. tepidium، ببعض التشاؤم. يقول "إحساسي أنه قد يوجد بعض الحالات، مثل التي نعرف بعضها سابقاً، حيث تكون هذه التأثيرات مهمة"، "ولكن الكثير من النظم البيولوجية، إن لم يكن معظمها لا تستعمل الآثار الكمومية المشابهة لهذه". ولكن شولز يعتقد أنه توجد أرضيات للتفاؤل، إذا أعطينا تعريفاً عاماً مناسباً للبيولوجيا الكمومية. يقول "أعتقد أن هناك أمثلة أخرى في البيولوجيا حيث سيساعدنا الفهم على مستوى الميكانيك الكمومي بتقدير أكثر عمقاً حول كيفية عمل هذه السيرورة".

بوصلة عين الطير

أحد الألغاز البيولوجية القائمة منذ زمن بعيد والذي يمكن أن يشرح بالآثار الكمومية الغريبة هو كيف تستطيع بعض الطيور الطيران باستشعار الحقل المغنطيسي الأرضي.

من المعلوم أن الحساس المغنطيسي للطيور يتفعل بالضوء الذي يصطدم بشبكية عينها. وأفضل تخمين حالي للباحثين عن الآلية هو أن الطاقة المتوضعة بكل فوتون ضوئي قادم تخلق زوجاً من الجذور الحرة – جزيئات فعالة بدرجة كبيرة، ولكل منها إلكترون غير متزاوج. إن كل إلكترون من هذه الإلكترونات غير المتزاوجة له اندفاع زاوي ذاتي، أو سبين يمكن أن يعاد توجيهه بحقل مغنطيسي. وعندما تنفصل الجذور الحرة، فإن الإلكترون غير المتزاوج على أحدها يتأثر بشكل رئيس بمغنطيسية النواة الذرية القريبة، في حين يكون الإلكترون غير المتزاوج على الأخرى بعيداً عن النواة، ويستشعر فقط حقل الأرض المغنطيسي. الفرق بين الحقلين يزيح زوج الجذور بين حالتين كموميتين باستجابة كيميائية مختلفة.

"أحد تصورات الفكرة أنه يتم تصنيع بعض المركبات الكيميائية" في خلايا شبكية عين الطير عندما يكون النظام في حالة ما ولكن لا يتم ذلك عندما يكون النظام في الحالة الأخرى، يقول سيمون بنجامين Simon Benjamin وهو عالم فيزياء في جامعة أوكسفورد، بالمملكة المتحدة. "يعكس تركيزها اتجاه حقل الأرض". تم توضيح إمكانية تحقيق هذه الفكرة في عام 2008 في تفاعل فوتوكيميائي صنعي، أثرت بموجبه الحقول المغنطيسية على مدة حياة زوج الجذور.

اقترح بنجامين وزملاؤه أن الإلكترونين غير المتزاوجين، ولكونهما متشكلين عن امتصاص فوتون مفرد، فإنهما يوجدان

بحالة تشابك entaglement كمومي: وهي شكل من الترابط يُبقي أحد السبينين مرتبطاً مع توجه الآخر، بغض النظر عن بعد حركة الجذور. عادة ما يكون التشابك رهيفاً عند درجة حرارة المختبر، ولكن حَسَبَ الباحثون أنه يبقى في بوصلة الطيور على الأقل لعشرات الميكروثانية – وهذا أطول بكثير من أي نظام جزيئي صنعي ممكن حالياً.

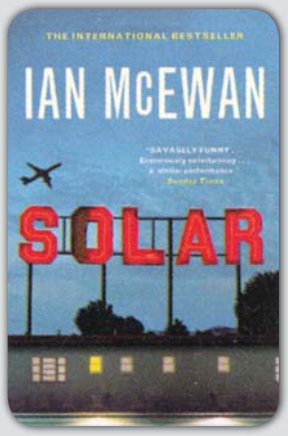
يمكن أن يكون هذا الاستشعار المغنطيسي المساعد كمومياً واسع الانتشار. ليس فقط عند الطيور، وإنما أيضاً عند بعض الحشرات وحتى بعض النباتات تظهر استجابات فيزيولوجية لحقول مغنطيسية – على سبيل المثال، تأثير منع النمو للضوء الأزرق على النبات المزهر Arabidopsis thaliana يتم بوساطة الحقول المغنطيسية بطريقة قد تستعمل آلية أزواج الجذور. لكن من أجل البرهان الأكيد على عملها بهذه الطريقة، يقول بنجامين، نحن "نحتاج أن نفهم الجزيئات الأساسية المعنية، وبعد ذلك ندرسها في المختبر".

فوائد مختارة

يبدو أن الترابط الكمومي في التمثيل الضوئي ذو فائدة للمتعضيات التي تستعمله. لكن هل تنشأ مقدرتها على استغلال تأثير الكموم من خلال الاصطفاء (الانتخاب) الطبيعي؟ أم هل يكون الترابط الكمومي هو فقط أثر جانبي عرضي للطريقة التي تبنى عليها بعض الجزيئات؟ "هناك الكثير من التخمين حول السؤال التطوري، والكثير من سوء الفهم"، يقول شولز، الذي ليس متأكداً أبداً من الإجابة. "لا نستطيع القول فيما إذا كان هذا التأثير في التمثيل الضوئي بنتيجة الاصطفاء، ولا إذا كان هناك خيار لعدم استخدام الترابط لتحريك الطاقة الإلكترونية. لا يوجد بيانات متوفرة إطلاقاً ولا حتى لتوجيه السؤال". لقد أشار إلى أنه ليس من الواضح لماذا يفضل الاصطفاء الترابط، "تقريباً تصرف كل المتعضيات ذات التمثيل الضوئي معظم يومها في محاولة تلطيف (moderate) الحصاد الضوئي. من النادر أن يكون الضوء محدوداً. لذلك لماذا يجب أن يكون هناك ضغط انتخابي ليزعزع كفاءة حصاد الضوء؟ "يوافق فليمينغ، إنه يشك بأن الترابط الكمومي ليس قابلاً للتأقلم، ولكن ببساطة" إنه منتج ثانوي لتكثيف الكروموفورات المحتاجة إلى أمثلة امتصاص الأشعة الشمسية". يأمل شولز بأن يبحث القضية من خلال مقارنة البروتينات اللاقطة المعزولة من أنواع الطحالب الوحيدة الخلية cryptophytes التي نشأت في أزمنة مختلفة.

فكرة جديدة

الحقيقة الكمومية تقابل الخيال



"كيف تحول ورقةٌ عادية الطاقةَ من نظام جزيئي واحد إلى آخر ليس أقل من معجزة. ترى أن الترابط الكمومي هو المفتاح للكفاءة، مع النظام الذي يضع كل مسارات الطاقة بآن معاً. وبالطريقة التي تسير عليها تقانة النانو، نستطيع نسخ ذلك بالمواد المناسبة".

هذه الكلمات مأخوذة من صفحات من رواية إيان مك إيوان Ian McEwan بعنوان شمسي (Jonathan Solar Cape, 2010) التي تصف الاستغلال المضحك المبكي للفيزيائي مايكل بيرد Michel Beard الحاصل على جائزة نوبل وزير النساء، عندما لم تعجبه فكرة عن طريقة شمسية لفصل الماء إلى عناصره. "أردت أن أعطيه تقانة لا تزال على طاولة المختبر" يقول مك إيوان، الذي مسح العلوم من خلال كتبه الحب الدائم Enduring Love(1997) والسبت Saturday (2005). صادف بحثاً في التمثيل الضوئي الكمومي لـ غراهام فليمينغ Graham Fleming، الكيميائي في جامعة كاليفورنيا، بيركلي، وقرر أن ذلك هو ما يحتاجه فقط. واءم الفكرة مع عمل بيرد المفترض في الفيزياء الكمومية بمساعدة غريم ميتشيسون Graeme Mitchison ، الفيزيائي بجامعة كامبردج، المملكة المتحدة، الذي هندس عكسياً مقولة نوبل لبيرد التي ظهرت في ملحق Solar وتقرأ، "أظهرت نظرية بيرد أن الأحداث تقع عندما تتآثر الأشعة مع المادة وتنتشر بشكل مترابط على مستوى كبير مقارنة مع حجم الذرات".

لكن حتى لو كان الترابط الكمومي في النظم البيولوجية قد حدث بالصدفة، يضيف فليمينغ، فإن عواقبها استثنائية وتجعل النظم غير حساسة للاضطراب في توزيع الطاقة. إضافة إلى ذلك،

يقول، فإنها "تمكن مشابهات المقوّمات rectifier–like ذات الاتجاه الواحد لنقل الطاقة، التي تنتج أسرع معدل تحويل طاقة، من أن تصبح غير حساسة للحرارة وربما بعض الأشياء الأخرى التي لم أفكر بها".

تقترح هذه الآثار بدورها تطبيقات عملية. لربما أكثر وضوحاً، يقول شولز، إن أفضل فهم عن كيفية تحقيق النظم البيولوجية للترابط الكمومي بظروف الحرارة العادية سوف "يغير الطريقة التي نفكر بها حول تصميم البنى التي تحصد الضوء". وهذا قد يسمح للعلماء أن يبنوا تقانة مثل الخلايا الشمسية مع تحسين كفاءة تحويل الطاقة. يعد سيث لويد Lloyd Seth هذا "توقعاً معقولاً"، وهو يأمل بشكل خاص أن هذا الاكتشاف للدور الإيجابي للضجيج البيئي سيكون مفيداً لهندسة نظم فوتونية باستخدام مواد مثل النقط الكمومية (بلورات ذات أبعاد نانوية) أو بوليميرات متفرعة جداً مرصعة بمجموعات كيميائية ماصة للضوء، يمكن أن تخدم كمنظومات لاقطات صناعية.

> "يمكن أن يعطينا هذا بعض المفاتيح في السعي لإنشاء تقانة كمومية"

المجال الآخر للتطبيقات الممكنة هو في الحوسبة الكمومية. إن الهدف منذ زمن بعيد للفيزيائيين والمهندسين العاملين في هذا المجال هو منابلة (معالجة) البيانات المُكوَّدة في البتّات الكمومية (qubits)، مثل حالات سبين فوق spin–up وسبين تحت spin– down للإلكترون أو لنواة الذرة. يمكن أن توجد البتّات الكمومية ubits في الحالتين بآن واحد مما يسمح باستكشاف لحظي لكل الأجوبة الممكنة للعملية الحسابية التي تشفرها. من حيث المبدأ، سيقدم هذا للحواسيب الكمومية القوة لتجد الحل الأفضل بشكل أسرع بكثير مما تستطيع الحواسيب الحالية القيام به – ولكن فقط إذا كانت الـqubits تستطيع المحافظة على ترابطها، بدون الضجة الناجمة عن البيئة المحيطة، مثل الـ jostling للذرات المجاورة، مما يحطم تزامن الموجات.

ولكن البيولوجيا حلت المعضلة بشكل ما: بالفعل، يسمح الترابط الكمومي للنظام الضوئي بأن ينفذ حسابات كمومية "لأفضل ممر". يرى بنجامين، المهتم بشكل رئيس بتصميم نظم مواد لحسابات الكموم وتقانة المعلومات، بوصلة الطيور في درجة الحرارة العادية كمرشد ممكن. يقول "إذا استطعنا معرفة كيف تحمي بوصلة الطيور نفسها من فقدان الترابط decoherence، فإن هذا قد يعطينا بعض الحلول في سعينا لخلق تقانات الكموم". التعلم من الطبيعة هي فكرة قديمة قدم الميثولوجيا (علم الأساطير) – ولكن حتى الآن، لم يتصور أحد أن لدى العالم الطبيعي أي شيء ليعلمنا حول العالم الكمومي.

نشر هذ المقال في مجلة: ***Nature, vol 474, 16 June 2011***.
ترجمة **د. نزار ميرعلي**، هيئة الطاقة الذرية.

تجارة الكربون تحتاج معالجة متعددة المستويات

*الاتفاقيات الدولية غير كافية، فالأدوات الوطنية والإقليمية المترابطة ضرورية أيضاً، لخفض إصدارات الكربون، هذا ما يقوله كلٌّ من مارك ماسلين **Mark Maslin** وجوان سكوت **Joanne Scott**.*

هيئة الطاقة الذرية السورية

الكلمات المفتاحية: *نظام "جنّب واتّجر"، إصدارات الكربون العالمية، أرصدة الكربون الناتجة، سوق الكربون، الإصدارات المجنّبة.*

لقد ارتفعت إصدارات الكربون عام 2010 وأصبحت عاليةً في كلّ الأوقات، وفشلت حتى الآن المباحثات الدولية في الاتفاق على أهدافٍ ملزمةٍ وطنياً، بشأن إصدارات الكربون. ومع ذلك، فإن الإخفاقات بين الحكومات لم تُبطئ التوسُّعَ في تجارة إصدارات الكربون.

تجري إقامة أسواق الكربون في مستوياتٍ حكومية متعددة –تتضمن مستويات محلية، وإقليمية تتجاوز الحدود الوطنية. فقد أقيمت الأسواق في الاتحاد الأوربي (EU) وفي نيوزيلندا ويجري الإعداد لأسواق في كاليفورنيا وأستراليا والهند. والأكبر من ذلك بمراحل هو مخطط الاتحاد الأوربي لتجارة الإصدارات (Emissions Trading Scheme (ETS، الذي يستعمل قدرة سوقه الكربوني لتجريب حلولٍ جديدة لمسائل قديمة، ولتحفيز عمل مبادرات مناخية في أيّ مكان آخر.

وما يثير الجدل هو أن مخطط الاتحاد الأوربي ETS قد وُضع ليوسع سوقه الكربوني حتى يضم بعض الإصدارات من غير الاتحاد الأوربي. فعلى سبيل المثال، بدءاً من 2012، سيتمكن مخطط ETS من تغطية إصداراتٍ تبلغ 60% تقريباً من إصدارات الطيران الدولي التجاري. وبالرغم مما يلقاه هذا التحرّك من تَحدٍ في

المحاكم، يدّعي الاتحاد الأوربي أنه يشجع منظمة الطيران المدني الدولية للأمم المتحدة لتدرس النظام العالمي لإصدارات الطيران. وبالمثل يستعمل الاتحاد الأوربي التهديد بتوسيع ETS أكثر من ذلك، حتى يدفع نظام الكربون العالمي ليشمل ملاحة النقل البحري.

إن لهذه الهياكل التنظيمية، المتآثرة والمتداخلة كثيراً من الميّزات. فهي توفر فرصاً متعددة لدراسة أيٍّ من هذه التنظيمات لتصبح الأكثر فعالية على المدى القصير والمدى الطويل. وتعزّز الجهود المحلية أيضاً إمكانية تحسين المنظومة: فهي تسلك سلوك شبكات أمانٍ تنظيمية عندما تخفق المباحثات على المستوى الأعلى. وكما بيّن الاتحاد الأوربي، فإن الجهود المحلية يمكن أن تساعد في تنشيط ديناميّة المناقشات الدولية. إن الانتقادات تخيف أصحاب السلطة من الموظفين الذين يمارسون بيروقراطيات متعددة غير مرتبة ومضلّلة وتدخل أثماناً باهظة للصفقات، ولكن بالرغم من أن النظام الحكومي من القمة للأسفل يمكن أن يُجمِّل مثل هذه الجهود إلاّ أنه من غير المحتمل أن ينجح.

بروز المعلومات

لقد خلقت تجارة إصدارات الكربون سوقاً عالمياً رئيساً منذ أواسط التسعينيات مع إنفاق يقدَّر بنحو 142 بليون دولار أمريكي في عام 2010، صرف 85% منها من خلال مخطط الاتحاد الأوربي لتجارة الإصدارات ETS. وصرف 48 بليون أخرى ما بين العامين 2009 و2010 فقط على معلومات سوق الكربون (لجمع وتحليل المعلومات المطلوبة للبيع الفعّال أو لشراء الاعتمادات القائمة على أساس الكربون). إن حجم سوق إصدارات الكربون بحدّ ذاته لم يتغيّر بقدر كبير بين العامين 2009 و2010، بالرغم من التراجع الاقتصادي (انظر، "حجم سوق الكربون"). وفي الوقت ذاته، ترفع أعمال التجارة والحكومات استثماراتها ضمن الجهود الرامية لفهم تدفق الكربون، في سبيل وضع خطط السياسات الاقتصادية والبيئية. وبيّنت الأرقام المجموعة لهذا الغرض حتى تاريخه على أساس استشارات K Matrix الموجودة في المملكة المتحدة، أن قطاع الفكر قد نما مرة أخرى بين العامين 2010–11 إلى 56 بليون دولار أمريكي، نمواً قدره 16% في سنة واحدة (انظر "حجم سوق الكربون"). إن نوعية هذه المعلومات وفائدتها تتغيّر تغيّراً هائلاً، إلا أن نموها يؤكد أهمية المعطيات الموثوقة في فهم تطور هذا السوق الضخم الواعد.

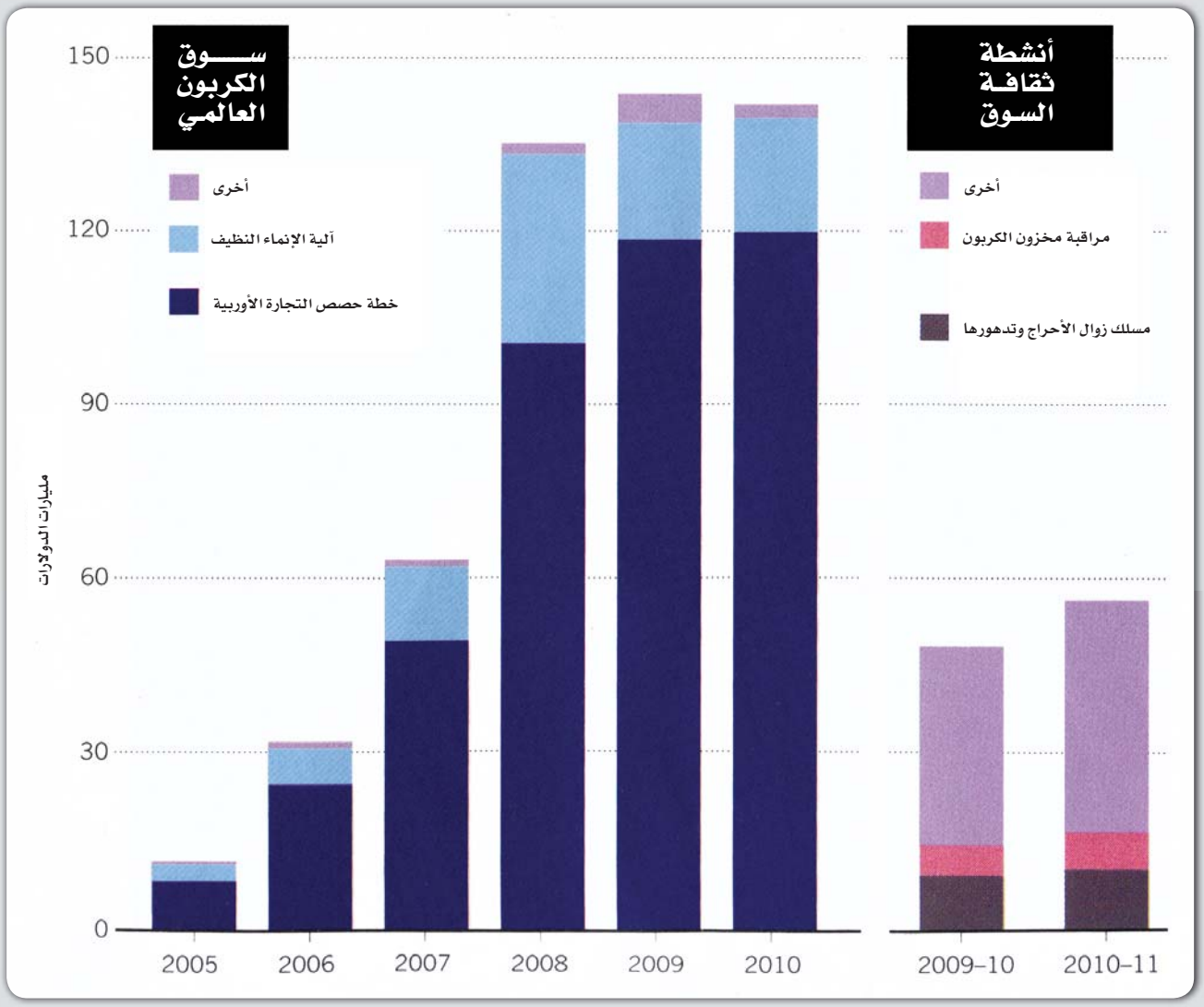
صنع حجم سوق إصدارات الكربون من الاتجار في الحصص في أنظمة "جنِّب وتاجر cap–and–trade" (بمعنى تجنّب ملوثات الجو وتاجر بفائدة فعلتك، وهي طريقة لتنظيم ملوثات الجو وتجنبها وتجنب إصدارها). وهذه الأسواق تكون في العادة وطنية وإقليمية لأنه من الأسهل أن تضع قبّعة على الإصدارات ضمن حدودٍ وذات علاقة بصناعاتٍ محددة. وعلى المستوى الدولي تكون تجارة أسواق الكربون بضمانات أرصدة من المشاريع المصدّقة وفق بروتوكول كيوتو، المسمّاة آلية الإنماء النظيفة Clean Development Mechanism (CDM). تسمح آلية CDM هذه للمستثمرين، من مثل الشركات والبلدان، بشراء بدلات الكربون المعروفة باسم تخفيضات الإصدار المصدّقة وذلك باستثمار مشاريع خفض–الكربون في الدول النامية. فمثلاً، إن أرصدة الكربون المحسوبة من الإصدارات المتجنّبة نتيجة بناءِ مزرعة ريحيّة في الهند يمكن أن تُشترى من قبل شركة للطاقة في الاتحاد الأوربي في مقابل التزاماتها من خفض إصداراتها وفق ETS.

> لقد ارتفعت إصدارات الكربون عام 2010 وأصبحت عالية في كلّ الأوقات.

إن تقييم (مراقبة وتسجيل وتحقق) إصدارات الكربون المتجنَّبة كماً ونوعاً بقي لمدةٍ طويلةٍ معضلةً لآلية CDM. فمثلاً، إن أرصدة مشاريع شملت أَسر غازات صناعية مثل hydro fluorocarbons أو HFCs وهو أمر سهل التحقّق. فقد خلقت التنظيمات حافزاً مضلّلاً للشركات لإنتاج مزيد من HCFC–22[1]، وهو غاز مبرّد ومنشّط للدفيئة ألغي شيئاً فشيئاً بفعل بروتوكول مونتريال، بالعودة إلى مكاسب سهلة من أَسر HFC–23 كمنتج ثانوي من إنتاجه، فنحو 70% من تخفيضات الإصدار المصدّقة قد أتت من مشاريع من هذا النوع. وما يبعث على الكآبة أن اللجنة الأوربية وصلت في العام 2011 إلى استنتاج أن إنتاج HCFC–22[2] يمكن أن يكون اليوم أعلى مما لو بقيت الأمور عليه دون نشاط CDM.

لقد عرفت مشكلة أرصدة الغاز الصناعي منذ العام 2007 على الأقل، وحتى الآن ليس في مقدور المجلس التنفيذي المتعدّد الأمم الوصول إلى اتفاقٍ على كيفية حلّها. وحتى الآن لم يتم الاتفاق إلا على منع جزئي ومؤقت لمشاريع أَسر–الغاز. ومن بواعث الغبطة، أن الاتحاد الأوربي لم يعتمد فقط على التنظيمات الدولية لـ CDM. وأخيراً بعد أن فقد صبره مع المنظمين الدوليين فإنه سيلجأ إلى

[1] يرمز للمركب CF_2Hcl (داي فلورو ومونو كلورو ميتان).
[2] يرمز للمركب CF_3H (تري فلورو ميتان).



حجم سوق الكربون

لقد كانت تجارة الكربون تنمو بسرعة حتى انهارت إثر ضربة التراجع الاقتصادي في أواخر العام 2008. إلا أن الإنفاق على أنشطة ثقافة السوق نما بنحو 16% ما بين العامين 2009 و2010 والعامين 2010 و2011، بدءاً من توسع المشروع وحتى تدوين حسابات الكربون وتفسيرها.

حظر استعمال الأرصدة من مشاريع الغاز الصناعي في ETS، بدءاً من عام 2013.

وقد ألقت قصة الغازات الصناعية الطويلة الضوءَ على العيوب الأخرى لـ CDM. ولعل المشكلة الأصعب لموازنة الكربون هي مخاوف "الإضافة". ومن حيث المبدأ، تأتي تخفيضات الإصدار المصدّقة من مشاريع تولّد تخفيضاتٍ في الإصدارات هي "إضافية" فوق التي كانت ستحصل. وإن التحقّق من الإضافة بالرجوع إلى الخط الأساسي الذي يستند إلى العمل (التجارة) كتقييم معتاد (مستوى إصدارات الكربون إذا لم يوضع هذا المشروع في مكانه) أمر صعب جداً. وفي النتيجة هناك شكوك في قابلية CDM لإحداث تخفيضات حقيقية في الإصدارات.

وأحد حلول مشكلة الإضافية يمكن أن يأتي من دفع الاتحاد الأوربي لتجارة الكربون "القطاعية sectorial trading". فالتناول "القطاعي" للإصدارات سيغيّر من حيث الأساس جذرياً الطريقة التي يقيس بها الاتحاد الأوربي الإصدارات المُتجنَّبة نتيجة مشاريع CDM. ولن يستمر تقييم الإصدارات المُتَجنَّبة بالرجوع إلى عمل افتراضي كما هو في الأساس المعتاد، ولكن بالرجوع إلى معايير مردود الكربون قطاعاً إثر قطاع. ولتوليد الأرصدة يترتب على المشروع قطع الإصدارات دون مستوى "حدّ" الإذعان المتوافق مع المعيار. وفي حالة عدم وجود اتفاق عالمي، عند غياب التوافق العالمي، يبحث الاتحاد الأوربي عن اتفاقيات ثنائية للتقدم بهذه المعالجة نحو الأمام، ويُهدّد برفض تخفيضات إصداراتٍ مصدّقة من

مشاريع جديدة بعد العام 2013، باستثناء المشاريع الموجودة في أقل البلدان تطوراً من أجل حثّ بلدان على الالتحاق بالركب.

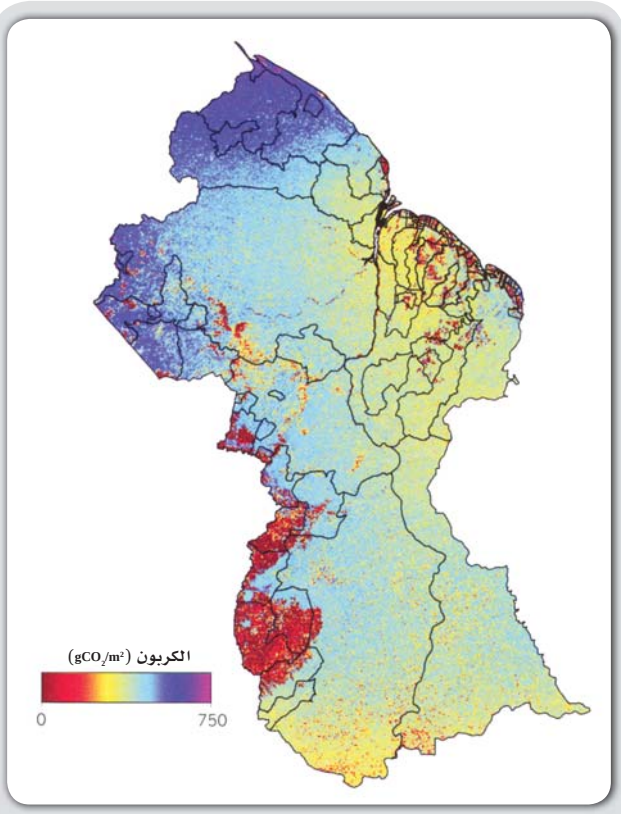
ويمدّد الاتحاد الأوربي أيضاً الشمول الجغرافي للمخطط ETS. فبدءاً من عام 2010 سيطلبُ من جميع الرحلات الجوية الواصلة إلى أي مطار للاتحاد الأوربي أو المغادرة منه تسليم حصةٍ تتعلق بالإصدارات أو شهادة عن كلّ طن كربون أصدرته خلال طيرانها، بما فيها الإصدارات خارج مجال طيرانها الجوي للاتحاد الأوربي (ما لم تكن هذه الإصدارات خاضعة لتنظيمات مناخية في أيّ مكان آخر). ويمكن لـ ETS بحلول العام 2020 إضافة مبلغٍ يُقدّر من 11 إلى 56 دولاراً أمريكياً لعائد رحلات الشحن الطويلة. في البداية، يتصدر 85% من هذه الشهادات عن الاتحاد الأوربي مجاناً دون مقابل للخطوط الجوية التي تشتري الـ 15% الباقية بالمزاد العلني. ويجري تحدّي هذه القواعد من معظم الخطوط الجوية للولايات المتحدة بحجج وبراهين تقدّم حالياً أمام المحكمة العليا للاتحاد الأوربي. ويتوقع صدور الحكم النهائي في النصف الأول من عام 2012.

يحتاج واضعو السياسات إلى أمثلةٍ عن ممارسات جيدةٍ أو أفكار جيدة. فأفعال شركات الكربون الدولية –أي مجموعة البلدان والمناطق التي تمارس التجارة بنظام (جنِّب وتاجر cap–and–trade) تميل للمشاركة في المعرفة والخبرات في مجال تطوير أسواق الكربون. وعلى هذا النحو قدّمت ساندباغ Sandbag، وهي منظمة غير حكومية موجودة في لندن، ملاحظاتٍ في عام 2010 على خطط كاليفورنيا لتأسيس نظام "للمجانبة والاتجار" يبيّن أوجه الخلاف بإفراطٍ في المحاسنً والسيئات ونذر الشر في تجربة الأوربيين مع ETS.

إذا لم يسمع أحد سقوط الشجرة

يجب أن يُستفاد من دروس تجربة ETS مع CDM، في تصميم برنامج الأمم المتحدة وتشغيله لخفض الإصدارات من التصحّر (زوال الأحراش) وتدهور الغابات في الدول النامية Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in developing Countries (REDD+). وبالرغم من وجود جدلٍ حول المحاصصة في إصدارات الكربون العالمية (على الكرة الأرضية)، التي يمكن أن تُعزى إلى زوال الأحراش وتغيّر استعمال الأرض، فهناك رقم مطروح يقارب الـ 20%. وبدون خطأ غير مقصود في المستويات الحكومية المتعددة، مثل CDM، ستكون هناك صعوبات حقيقية في تقييم نوعية إصدارات الكربون المتجنّبة ومقدارها.

وبمتابعة مناقشات UN للمناخ في كوبنهاكن في عام 2010، أعطت الدول المتطورة وعوداً غير ملزمة لخفض الإصدارات ما بين



رسم تغيّرات الكربون في خريطة

يمكن لنظام "كانوبي" تقدير تدفقات الكربون من الزراعة، من علم الحراجة ومن تغيّرات استعمال الأرض في المقياس 250 متراً؛ وما هو ظاهرٌ هنا هو غوايانا في عام 2009.

13% و19% (مقارنة بالخط الأساسي في عام 1990). وقدَّم الاتحاد الأوربي تعهداً ملزماً بخفض الإصدارات بمقدار 20% بحلول العام 2020 (مرة أخرى مقارنة بالخط الأساسي في عام 1990). فإذا كانت مخصّصات الكربون أو التوازنات من REDD+ متاحة للاستعمال في بلوغ مطاوعة هذه الأهداف، فإن العالم في أرجائه المترامية بحاجة لتخفيضات محلية مجدية. لذلك من المهم جداً وجود سقوف قوية البنية لاستعمال أرصدة REDD+ في أسواق الكربون المحلية، وما إذا كان ينبغي للحوافز التشجيعية للعمل الوطني أن تبقى على جدواها.

وهناك أمر أساسي أيضاً هو ألا تولِّد المشاريع المموَّلة آثاراً عكسية اجتماعية، أو ثقافية، أو بيئية. فالمستثمرون في REDD+ وكذلك الحكومات التي تسمح باستعمال الحصص من REDD+ للإذعان للنظام، يجب أن تتقاسم المسؤولية مع الحكومات المضيفة لإنماء وتحسين تقييمات المشاريع حتى تتجنب الآثار السلبية. وهناك أيضاً قلق من تقديرات تكاليف التنفيذ دون

المستوى المطلوب، ومن أن تَضْعُفَ البرامج الحكومية الجيدة للغابات في البلدان الرئيسة.

مرة أخرى، إن أكبر المشاكل وأكثرها عناداً هي عملية الإضافة additionality. فبالرغم من أن 47% من إصدارات الكربون، من أصل الإنسان وتطوره anthropgenic، تبقى في جو الأرض، وأن 27% تُمتَصُّ من المحيطات و26% الباقية تُمتصُّ من غلاف الأرض الحيوي، فإنه ينبغي عمل شيء إضافي من أجل أرصدة REDD+ الكربونية حتى يُحال دون الضياع المستقبلي لمخزون الأرض الكربوني، مثلاً من خلال تجنّب زوال الأحراج. وإن البلدان التي تبدأ مبكراً عملاً فعّالاً للحفاظ على غلاف أرضها الحيوي تعزّز مستوى جهودها الأساسية، وتعاكس صعوبات الحصول على الدعم المالي من REDD+. تأخذ مناقشات الأمم المتحدة الحالية في الاعتبار الطرائق الممكنة للتوجّه لهذه المسألة بما فيها وضع إطارٍ لمعدل زوال الأحراج الإقليمي، الذي يمكن أن يفيد كخطٍ أساسي (أساساً) لكل البلدان في منطقةٍ محددة، بغض النظر عن معدل زوال أحراشها الفعلي أو المتوقع.

> يحتاج واضعو السياسات لأمثلة عن ممارسات جيدة أو أفكار جيدة.

ولن تُحلَّ التحديات المتعددة لـ REDD+ من قبل الأمم المتحدة وحدها. فحتى وقت قريب كان يُعتقد أن قياس تغيّر مخزون الأرض الكربوني والتدفق السنوي، هما أمران "وراء العلم"، لأن مجموعات المعطيات المستقرة كانت وحدها المتوفرة/المتاحة في السنوات العشر بعد الألفين. وبالرغم من هذا، فقد أُنفق المبلغ المذهل 6.3 بليون دولار في العامين 2010 و2011 (بزيادة 20% على السنة السابقة) على مراقبة كربون الأرض، وفي الغالب، بنوعيةٍ من المعطيات في غاية الرداءة. إن نقص المعطيات الموثّقة بالنسبة لـ REDD+ كان قادراً على إضعاف البرنامج برمته من حيث جعله سهل الانخداع والاحتيال عليه. وعلى كل حال، فإن تقدماً علمياً مهمّاً قد تحقّق وتبزغ طرائقُ جديدة للتوثُّق من المعطيات.

إن أحد كاتبي المقال وهو مارك ماسلين يهتم في مثل هذا التوثُّق. وبعمله من خلال مدقّقي حسابات الكربون، في شركةٍ موجودةٍ بلندن هي امتداد لكلية جامعة لندن، وبمشاركة شركة لوجيكا لخدمات العمل business service company Logica، بيَّن أنه يمكن عمل المراقبة، والتسجيل، التوثُّق بشكلٍ فعّال باستعمال نظام كانوبي Canopy الخاص بهم، الذي طوروه بالتشارك. يجمع كانوبي المعطيات المنعكسة من الساتل NASA MODIS بأنظمة بيئية منمذجة لتقدير مخزونات الكربون من شهري إلى سنوي وكذلك التدفق بميْز أرضي قدره 1 كيلومتر أو 250 متراً (انظر رسم تغيّرات الكربون في الخريطة). وبما أن المعطيات تعود للعام 2001، والدقة يمكن أن تُعزَّز بضم معطيات الأرض، يمكن استعمال كانوبي لرسم خطوط الأساس لفهم طبيعة التغيّرات وتحديد المناطق الرئيسة لزوال الأحراج (وتدهورها) على مدى العقد الماضي.

إن تطوير الأنظمة المتساوقة مع المناقشات العامة وسط الحكومة حول الخطوط الرئيسة لتغيّر المناخ، سيساعد في تأكيد أن مجانبة طن واحد من الكربون في البرازيل سيكون مكافئاً لطن الكربون المُجنَّب في أستراليا. وفي عالم مثالي، سيكون هناك مخططات متعددة متداخلة وشفّافة للمراقبة والتدقيق والتسجيل مع المنظمات المحلية ومع وجهة ثالثة تسهم في حسن الوثوق في الإصدارات المتجنَّبة وتراكم الأرصدة الناتجة.

ورغم أننا يمكن أن نعلق الآمال على بزوغ اتفاق عالمي واسع حول تغيّر المناخ، يجب أن نعرف أنه حتى لو حصل هذا الاتفاق، فسيبقى وجود حكّام متعددي المستويات مطلوباً. فمع نمو أسواق تجارة الإصدارات، يترتب على الحكومات في كلٍّ المستويات تحمل المسؤولية للتأكد من أن هذه التجارة تحقق أهدافها بشكل مناسب.

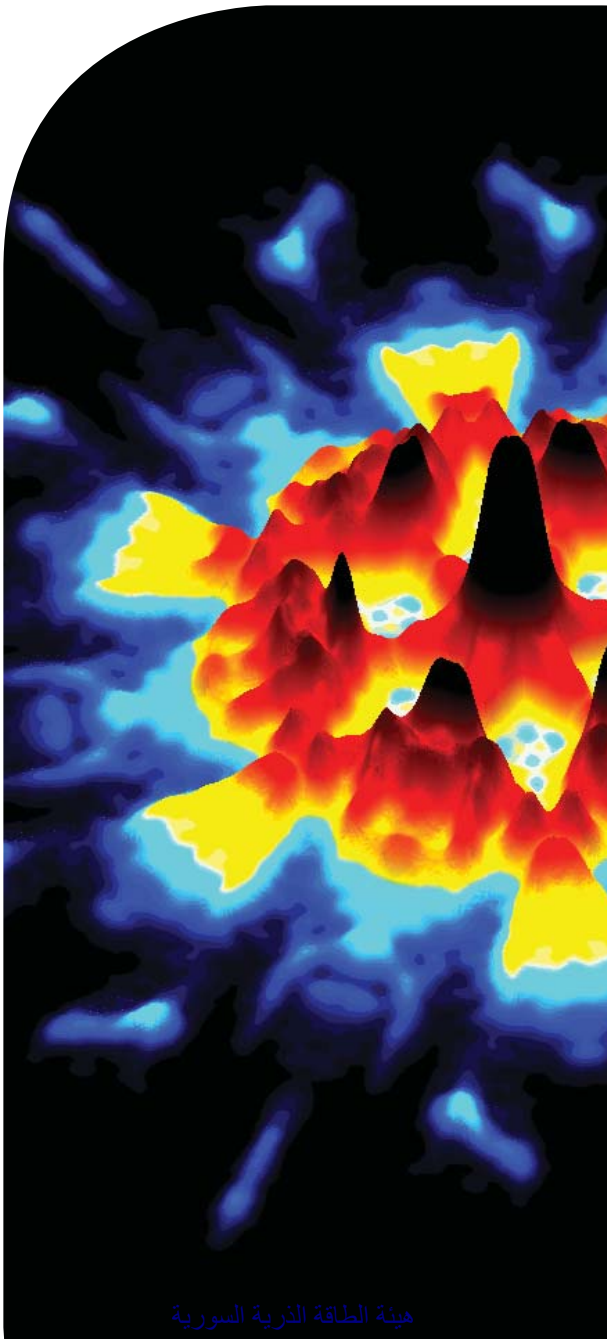
نُشر هذا المقال في مجلة ***Nature, vol 475, 28 July 2011***، ترجمة **د. مصطفى حموليلا**، عضو هيئة التحرير.

- مارك ماسلين يعمل في قسم الجيولوجيا، جامعة كلية لندن.
- جوان سكون في كلية الحقوق، جامعة كلية لندن.

العوازل التوبولوجية

لقد أصبح هذا الطور للمادة المُكْتَشَف حديثاً أحد أكثر المواضيع سخونة في فيزياء المادة المكثفة. إنه عسير على الفهم -ليس في ذلك شك- ولكن صبراً، فإن تشارلز كين ***Charles Kane*** *وجولِ مور* ***Joel Moore*** *سيوضّحان هنا ما تعنيه كلّ هذه الضجة القائمة حوله.*

الكلمات المفتاحية: *عوازل توبولوجية، فرميون ماجورانا، حالة هول الكمومية، اقتران سبين-مدار.*



هيئة الطاقة الذرية السورية

كما يخشى أي شخص على صحته من أن تمس أصابعه قلب المقبس الكهربائي، فإن سلوك الإلكترونات في المواد المختلفة يتغير بصورة مثيرة جداً. إن أولى "الأطوار الإلكترونية" للمادة الواجب تعريفها كانت الناقل الكهربائي والعازل الكهربائي، ثم جاء بعدها نصف الناقل، والمغنطيس ثم الأطوار الأكثر غرابة كالناقل الفائق. بيد أن الأعمال الجارية حديثاً قد تمخّضت عن طور إلكتروني جديد يدعى العازل التوبولوجي topologicbl insulbtor. فإذا تركنا الاسم جانباً الآن، والذي سيصبح معناه واضحاً فيما بعد، فإن ما يثير كلّ واحد منا حقاً هو سلوك المواد في هذا الطور. من الغريب أن بإمكانها أن تكون عازلة في الداخل لكنها تنقل في الخارج -أي تعمل مثل كبل بلاستيكي ثخين مغطى بطبقة من المعدن، إلا أن المادة هي ذاتها في كلّ الكبل. وفوق ذلك، فالإلكترونات الناقلة ترتب نفسها في صنفين: إلكترونات ذوات سبين فوقspin–up electrons تنتقل في أحد الاتجاهات، وإلكترونات ذوات سبين تحت spin–doWn electrons تنتقل في الاتجاه الآخر. وهذا التيار "السبينيspin current" هو المَعْلَم في تحقيق إلكترونيات سبينية أو ما نصطلح على تسميته "سبينترونياتspintronics " بصورة عملية.

العوازل التوبولوجية لها تاريخ غير عادي وذلك لأنها، على عكس معظم الأطوار الغريبة الأخرى للمادة، كانت موصوفة نظرياً قبل اكتشافها تجريبياً. إن كاتبي هذا

نظرة خاطفة : العوازل التوبولوجية

- *العوازل التوبولوجية هي مواد عازلة تنقل الكهرباء على سطحها من خلال حالات إلكترونية سطحية خاصة.*
- *الحالات السطحية للعوازل التوبولوجية تكون محميّة توبولوجياً، وهذا يعني أنها ليست كالحالات السطحية العادية إذ لا يمكن تخريبها بواسطة الشوائب أو العيوب.*
- *تصبح العوازل التوبولوجية ممكنة بسبب سمتين للميكانيك الكمومي: التناظر في شروط انعكاس اتجاه الزمن، وتآثر السبين–مدار، الذي يحدث في عناصر ثقيلة كالزئبق والبزموت.*
- *لقد تُنبِّئ بالحالات العازلة التوبولوجية نظرياً في مواد ثنائية البعد وثلاثية الأبعاد عام 2005 والعام 2007 قبل اكتشافها تجريبياً.*

المقال وغيرهما من الباحثين كانوا منشغلين في الأعمال المبكرة، التي كانت مبنية على نظرية العصائب للجوامد –وهي تشكل الإطار النموذجي لميكانيك الكم لفهم الخواص الإلكترونية للمواد. لقد أظهرنا شيئين: الأول حالات حافيّة خاصة specibl edge stbtes (في أجسام ثنائية البعد) أو حالات سطحية surfbce stbtes (في أجسام ثلاثية الأبعاد) تسمح للإلكترونات بالنقل عند سطح المادة التي تسلك سلوك عازل فيما عدا ذلك. والثاني هو أن هذه الحالات تحدث بالضرورة عندما يكون للبنية العصابية صفة محددة –قيمة مصاحبة لكمية مجردة تُدعى التوبولوجيا (المزيد عنها سيأتي لاحقاً). كان الأمر بالنسبة لأحدنا وهو تشارلز كين محاولة للمساهمة بنظرية الغرافين grbphene، الذي ألهم هذه الأفكار الجديدة عن التوبولوجيا. والغرافين هو طبقات من الكربون سمك كلّ طبقة منها ذرّة واحدة، والذي أُعلن عنه في احتفالات جائزة نوبل لعام 2010.

لكن اهتمامات مجتمع فيزياء المادة المكثّفة لم تتركّز على هذا الصنف الجديد من المواد إلا عند اكتشاف العوازل التوبولوجية تجريبياً في عام 2007. توجد صفة توبولوجية ذات صلة تُعرف باسم مفعول هول الكمومي qubntum Hbll effect اكتشفت سابقاً في أشرطة ثنائية البعد في أوائل ثمانينيات القرن الماضي، لكن اكتشاف المثال الأول من الطور التوبولوجي الثلاثي الأبعاد ألهب من جديد ذلك الاهتمام السابق. إذا علمنا أن العوازل التوبولوجية الثلاثية الأبعاد هي أنصاف نواقل جرمية نموذجية إلى حدٍّ ما وأن خصائصها التوبولوجية يمكن أن تبقى عند درجات حرارة عالية، فإن صفاتها الجديدة وغير المألوفة قد تؤدي إلى بعض التطبيقات المثيرة.

كيف تعمل؟

إن العديد من معظم الظواهر المتميزة في فيزياء المادة المكثفة هي نتائج لسلوك الإلكترونات في المواد وفقاً لميكانيك الكم. إن حالات المادة، حتى الحالات العازلة منها (الشكل 1b)، وهي أكثر الحالات الإلكترونية الأساسية للمادة، تبدي ناقلية تساوي الصفر بالضبط بالقرب من درجة الصفر المطلق بسبب ظاهرة ميكانيكية كمومية فريدة. تحدث الحالة العازلة عندما توجد فرجة طاقة تفصل الحالات الإلكترونية الممتلئة عن الحالات الإلكترونية الفارغة –وهو سلوك يمكن أن يُعزى في النهاية إلى استكمام سويات الطاقة في الذرّة.

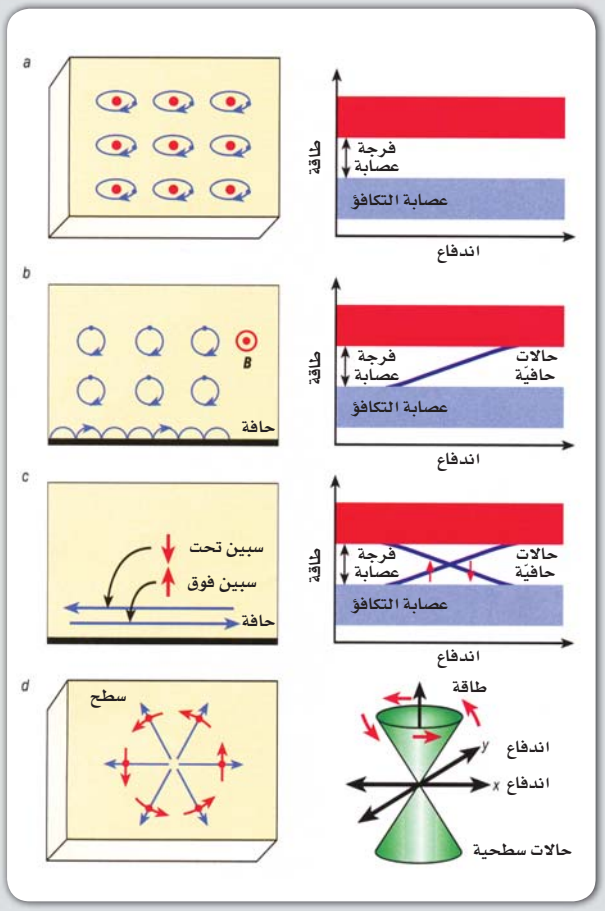
إن حالة هول الكمومية لها مظهر ميكانيكي كمومي مثير في نقلها الكهربائي. فناقلية هول فيها (وهي النسبة بين التيار الكهربائي والتوتر العمودي على جريان التيار) مكمّاة بدقة في وحدات من الثوابت الأساسية عندما تكون المادة بالقرب من الصفر المطلق. العوازل التوبولوجية مشابهة لحالة هول الكمومية من حيث أنها تبدي "نظاماً توبولوجياً". وعلى عكس النواقل الفائقة والمغانط، التي لها نظام يصحبه تناظر منهار، فإن الحالات المنتظمة توبولوجياً يمكن تمييزها بنوع من الحياكة للحالات الكمومية للإلكترونات. إن هذا النظام التوبولوجي"يحمي" الحالات السطحية، بحيث لا يمكن حذفها بعدم الترتيب أو التهميد الكيميائي، ويمنحها صفات خاصة ربما تكون مفيدة لتطبيقات تمتد من السبينترونيات إلى الحوسبة الكمومية.

تحدث حالة هول الكمومية، التي هي أبسط الحالات المرتّبة التوبولوجية، عندما تكون الإلكترونات محصورة بسطح بيني ثنائي البعد بين نصفي ناقلين يخضعان لحقل مغنطيسي قوي (الشكل 1b). إن الحقل يجعل الإلكترونات تعاني من قوة لورنتس العمودية، التي تجعل حركتها تتقوّس في دائرة، كما في الحركة الدائرية لإلكترونات مقيدة في ذرّة. وكما هو الحال في ذرّة، يستعيض ميكانيك الكم عن هذه الحركة الدائرية بالمدارات التي لها طاقات مكمّاة. وهذا يؤدي إلى فرجة طاقية energy gbp تفصل الحالات الممتلئة عن الحالات الفارغة، تماما كما هو الحال في عازل عادي. لكن الإلكترونات، عند حدود الجملة، تخضع لنوع مختلف من الحركة، لأن المدارات الدائرية تستطيع أن تثب من الحافة، مما يؤدي إلى

"تخطي المدارات skipping orbits"، كما هو مبيّن في الشكل 1b، وحسب النظرية الكمومية، فإن هذه المدارات المُتَخطّاة تؤدي إلى حالات إلكترونية تنتشر على طول الحافة في اتجاه واحد فقط وليس لها طاقات مكمّاة qubntized energies. فإذا علمنا أنه لا توجد فرجة طاقية، فبإمكان هذه الحالات أن تنقل. وزد على ذلك، فإن الجريان الوحيد الاتجاه يجعل النقل الإلكتروني في الحالات الحافّيّة (الطرفية) مثالياً: في العادة، تستطيع الإلكترونات أن تتبعثر على الشوائب، ولكن إذا علمنا أنه لا توجد أنماط للحركة إلى الخلف، فليس أمام الإلكترونات خيار سوى الحركة إلى الأمام. تؤدي هذه الحركة إلى ما يُعرف بالنقل اللامُبَدّد dissipbtionless trbnsport من قبل الحالات الحافية –فلا تتبعثر الإلكترونات ومن ثم لا يوجد ضياع للطاقة على شكل حراري– وهو في النهاية مسؤول عن النقل المكمّى بدقة.

العوازل التوبولوجية ليست كمفعول هول الكمومي، الذي لا يُرى إلا إذا وُجِد حقل مغنطيسي قوي، بل هي تحدث في غياب الحقل المغنطيسي. إن دور الحقل المغنطيسي في هذه المواد يتمثل باقتران سبين–مدار spin–orbit coupling. وهذا هو تأثر الاندفاع الزاوي الذاتي للإلكترون، أو السبين، مع الحركة المدارية للإلكترونات في الفضاء. ففي الذرّات التي عددها الذرّي كبير، كالزئبق والبزموت، تكون قوة سبين–مدار قوية لأن الإلكترونات تتحرك بسرعات نسبوية. الإلكترونات التي تنتقل خلال المواد مؤلفة من ذرّات كهذه لذا تشعر بقوة قوية تعتمد على السبين–والاندفاع– والتي تماثل حقلاً مغنطيسياً تتغيّر جهته عندما يتغيّر السبين.

إن هذا التشابه بين الاقتران سبين–مدار والحقل المغنطيسي المعتمِد على السبين يقدم طريقة لفهم هذا العازل التوبولوجي الثنائي البعد البسيط –حالة هول للسبين الكمومي qubntum spin Hbll stbte (الشكل 1c). لقد تمّ التنبؤ بهذا للمرة الأولى عام 2005، ويحدث عندما تكون كلٌّ من الإلكترونات ذوات السبين فوق –spin up والإلكترونات ذوات السبين تحت spin– doWn، والتي تشعر بـ "حقول مغنطيسية" للسبين–مدار متساوية ومتعاكسة، في حالات هول الكمومية. ومثلما هو الحال في العازل العادي يوجد إذن فرجة تفصل الحالات الممتلئة عن الحالات الفارغة في الداخل، بيد أنه توجد حالات حافّيّة (طرفية) تنتشر فيها الإلكترونات ذات السبين فوق في اتجاه يعاكس اتجاه انتشار الإلكترونات ذات السبين تحت. إن ناقلية هول لهذه الحالة تساوي الصفر لأن إلكترونات السبين فوق وإلكترونات السبين تحت يلغي بعضها بعضاً. لكن الحالات الطرفية تستطيع أن تنقل. فهي تشكل ناقلاً أحادي البعد أي إنه في الأساس هو نصفٌ من ناقل أحادي البعد عادي ("سلك كمومي"، يمكن أن يكون له إلكترونات ذات سبين فوق وسبين تحت تتحرك في أيٍّ من الاتجاهين). إن حالات هول الحافيّة ذات



1 الحالات الإلكترونية للمادة

(a) *تتميّز الحالة العازلة بفرجة طاقة تفصل بين الحالات الإلكترونية المشغولة والفارغة، التي هي نتيجة لاستكمام طاقة المدارات الذرّية.* ***(b)*** *في مفعول هول الكمومي، تعترض حدودُ العيّنة الحركةَ الدائريةَ للإلكترونات في حقل مغنطيسي B. وعند الحافة تُنَفّذ الإلكترونات "تخطي المدارات" كما هو مبيّن، مؤدّية في النهاية إلى نقل مثالي في اتجاه واحد على امتداد الحافة.* ***(c)*** *تحتوي حافة "حالة مفعول هول للسبين الكمومي" أو العازل التوبولوجي الثنائي البعد نمطي الانتقال إلى اليسار وإلى اليمين واللذين لهما سبين معاكس ولهما علاقة بتناظر انعكاس الزمن. يمكن لهذه الحافة أن يُنْظر إليها أيضاً كنصف من سلك كمومي، والذي سيكون له إلكترونات ذات سبين فوق وسبين تحت تنتشر في كلا الاتجاهين.* ***(d)*** *سطح العازل التوبولوجي ثلاثي الأبعاد يدعم الحركة الإلكترونية في أي اتجاه على امتداد السطح، ولكن حركة الإلكترون تعيّن بصورة فريدة جهة سبينه والعكس بالعكس. إن علاقة الطاقة–اندفاع لها بنية "مخروط ديراك" مماثلة لبنية الغرافين.*

السبين الكمومي محميّة من التبعثر الخلفي bbckscbttering مثل حالات هول الحافيّة الكمومية. بيد أنه، في هذه الحالة، حيث توجد حالات تنتشر في كلا الاتجاهين، تنشأ الحماية لأسباب أكثر دقة. إن تناظر انعكاس الزمن time–reversbl symmetry يلعب الدور الرئيسي. إن انعكاس الزمن يحوّل كلاً من اتجاه الانتشار وجهة السبين، فيبادل بين النمطين المنتشرين باتجاهين متعاكسين. سنرى أدناه أن تناظر انعكاس الزمن يلعب دوراً رئيساً في ضمان الاستقرار التوبولوجي لهذه الحالات.

وأخيراً، فإن الصف التالي من التعقيد في هذه العائلة من الأطوار الإلكترونية هو العازل التوبولوجي الثلاثي الأبعاد. ولا يمكن فهم هذا باستعمال الصورة البسيطة لحقل مغنطيسي يعتمد على السبين. ومع هذا، فإن الحالات السطحية لعازل توبولوجي ثلاثي الأبعاد لا تماثل بقوة الحالات الحافيّة لعازل توبولوجي ثنائي البعد. وكما في حالة ثنائية البعد، فإن اتجاه حركة الإلكترون على سطح عازل توبولوجي ثلاثي الأبعاد تتعين باتجاه السبين، الذي يتغيّر الآن بصورة مستمرة كدالة لجهة الانتشار (الشكل 1d). والنتيجة هي "معدن مستوٍ" غير عادي plbnbr metbl، حيث تكون جهة السبين مغلقة في جهة الانتشار. وكما في الحالة الثنائية البعد، فإن الحالات السطحية للعازل التوبولوجي الثلاثي الأبعاد تكون مشابهة لنصف من ناقل ثنائي البعد عادي، وتكون محمية توبولوجياً من التبعثر الخلفي.

اكتشاف تجريبي

التجربة المفتاحية الأولى في هذا المجال كانت مشاهدة مفعول هول للسبين الكمومي الثنائي البعد في بنية بئر كمون كمومي صُنع بإقحام طبقة رقيقة من تللوريد الزئبق (HgTe) بين طبقات من تللوريد الكادميوم والزئبق (Hgx Cd1–xTe). لقد تنبأ العمل النظري المبكر أن هذه البنية يجب أن تحقّق مفعول هول للسبين الكمومي الثنائي البعد، من أجل مجال مناسب لثخن الطبقات. وعليه، فإن التنبؤ كان يعني أن على هذه البنية أن تنقل الكهرباء على حافتها فقط، وأن ناقلية الحافة ينبغي أن تساوي 2e2/h،في درجة حرارة الصفر، حيث e هي شحنة الإلكترون وh ثابت بلانك. نُشرت النتائج التجريبية في عام 2007 من قبل مجموعة بحث من جامعة ورزبِرْغ بألمانيا، بقيادة لورنز مولينكامب L. Molenkbmp ، قاست خصائص النقل الكهربائي لبنى بئر الكمون هذه ولاحظت الناقلية المُتَنَبَّأ بها 2e2/h. وكانت أيضاً مستقلة عن عرض العينة، كما كان متوقعاً للناقلية الناتجة فقط عن حالات حافّية.

إن قياسات النقل الكهربائي، التي هي مثالية بالنسبة لسبر مفعول هول للسبين الكمومي الثنائي البعد، تكون أكثر صعوبة من أجل العوازل التوبولوجية الثلاثية الأبعاد. والعقبة هي أنه حتى عندما يوجد فرجة عازلة على العازل، فإنه، عملياً، يوجد دائماً ناقلية نوعية جرمية صغيرة، ومن الصعب فصل المساهمتين الجرمية والسطحية في التيار. قد يكون من الأفضل استعمال مسبار يقرن بصورة رئيسة إلى السطح، لذا فإن الباحثين تحوّلوا إلى مطيافية الإصدار الفوتوني ذات الميْز الزاوي bngle–resolved photoemission spec-troscopy والتي تختصر على (BRPES)، والتي هي ملائمة بصورة مثالية للغرض. تستعمل BRPES المفعول الكهرضوئي: تُسلّط فوتونات عالية الطاقة على العيّنة فتنقذف الإلكترونات. وبتحليل طاقة هذه الإلكترونات، واندفاعها وسبينها يمكن قياس البنية الإلكترونية والاستقطاب السبيني للحالات السطحية بصورة مباشرة.

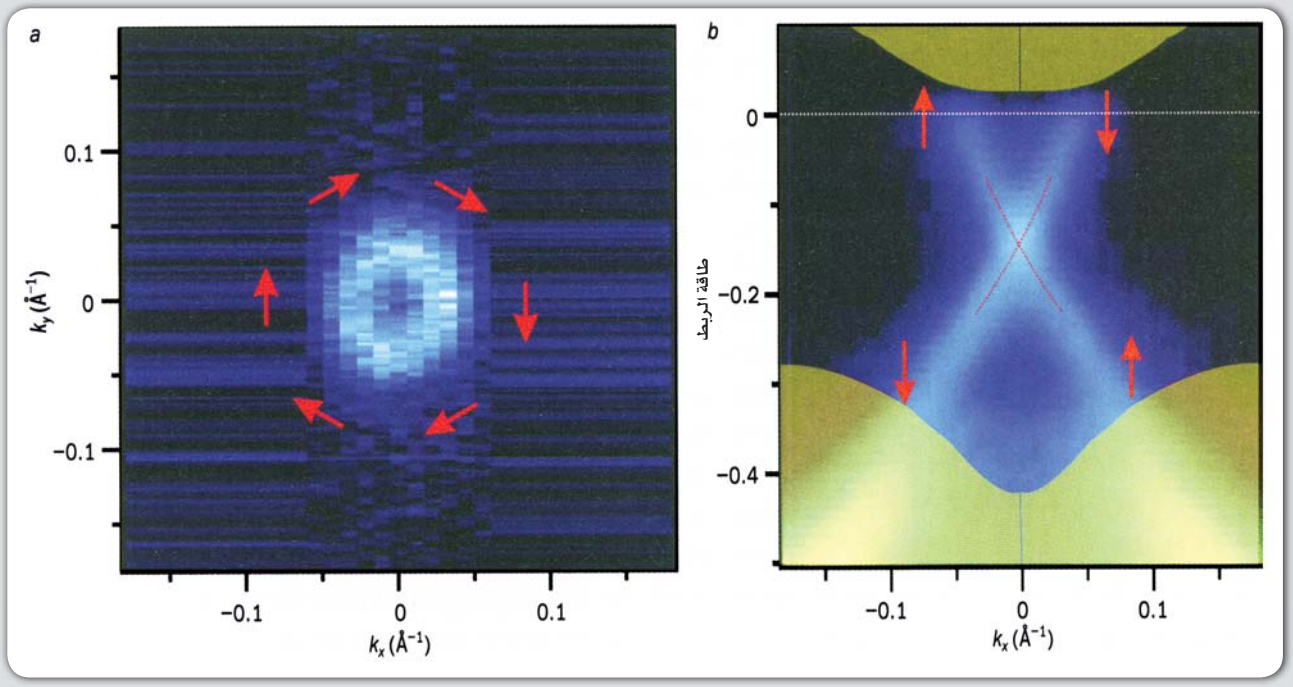
إن أول عازل توبولوجي ثلاثي الأبعاد سيجري سبره بهذه الطريقة كان سبيكة أنتيمونيد البزموت (Bix Sb1–x) نصف الناقلة، التي كان قد تُنُبِّئَ لها نظرياً في السابق أن تكون عازلاً توبولوجياً. وفي عمل نشر عام 2008، استعملت مجموعة من جامعة برينسيتون بقيادة زاهد حسن BRPES الحالات السطحية للسبيكة Bix Sb1–x ووجدت أن لها الصفات المميزة الخاصة (الموصوفة أدناه) للعازل التوبولوجي. ولكن، ولسوء الحظ، كانت الحالات السطحية أكثر تعقيداً مما كان ينبغي، الأمر الذي جعل حسن (وآخرين) يفتشون عن أصناف أخرى من المواد التي يمكن أن يكون لها بنية أبسط.

أدّى هذا البحث إلى الاكتشاف بأن سلنيد البزموت (Bi2Se3) وتلوريد البزموت (Bi2Te3) هما عازلان توبولوجيان. هاتان المادتان، اللتان هما نصفا ناقلين معروفان جيداً ولهما تآثران سبين–مدار قويان، يتمتعان بفرجة طاقة جرمية كبيرة نسبياً (0.3 eV من أجل Bi2Te3)، وهذا يعني أنهما يعملان في درجة حرارة الغرفة. كما أن لهما بنية للحالات السطحية هي البنية الأبسط الممكنة (الشكل 2). إن فوائد هاتين المادتين أطلقت جهداً تجريبياً عالمياً من أجل فهم خواصهما الكهربائية والمغنطيسية ولإيجاد أصناف أخرى من العوازل التوبولوجية.

الأطوار التوبولوجية، واللامتغيرات والعوازل

إن نقطتي الضعف في الوصف المبسط للعوازل التوبولوجية المعطاة أعلاه هما فشله في جذب الانتباه إلى مقدار متانة الحالات السطحية وكيف يُعين وجودها بواسطة جُرم المادة، بدلاً من الكيفية التي قُطعت بها لصنع السطح. كي نفهم المتانة والتعيين بواسطة الخواص الجرمية نحتاج إلى توضيح لماذا تكون هذه الحالات السطحية "توبولوجية" في حين تكون الحالات السطحية في مواد أخرى ليست كذلك.

التوبولوجيا هي فرع من الرياضيات التي تتعامل مع مقادير تكون لامتغيّرة في شروط تغيّرات مستمرة. وفي حين يمكن أن



2 حالات سطحية لعازل توبولوجي

(a) *خريطة سطح فرمي لسطح العازل التوبولوجي سلينيد البزموت كالسيوم ($Bi_{2-x}Cb_xSe_2$) مقيسة بواسطة الإصدار الفوتوني ذي الميّز السبيني والميّز الزاوي بدلالة الاندفاع السطحي kx و ky. اتجاه السبين يبادر مع اندفاع الإلكترون حول سطح فرمي الدائري، والاندفاعات المعاكسة لها سبين معاكس.* ***(b)*** *تتقاطع العصائب السطحية عند "نقطة ديراك" المعلَّمة بإشارة الضرب الموجودة داخل فرجة العصابة الجرمية عند 0.25 eV تقريباً. تركيز الكالسيوم X قد ضبط بحيث تقع طاقة فرمي بين عصابتي التكافؤ والنقل الجرميتين.*

تكون التوبولوجيا فرعاً من الرياضيات غامضاً جداً، فإن بعض مفاهيمها مألوفة لأي شخص رَبَطَ عقدة. انظر إلى الحلقات المرتبطة في الرمز الأولمبي، مثلاً. من المستحيل فصلها عن بعضها بدون قطع حلقة، حتى لو حُنِيت الحلقات أو وُسِّعت أو قُلِّصت. إن "العدد الرابط linking number" الذي يصوغ هذه الفكرة هو مثال على لامتغيّر توبولوجي، الذي هو كمية لا تتغيّر تحت تأثير تغيّرات مستمرة للحلقات.

إن الأفكار التوبولوجية من هذا النوع طُبّقت لأول مرة على فيزياء المادة المكثّفة الكمومية في ثمانينيات القرن الماضي لفهم مفعول هول الكمومي الصحيح integer qubntum hbll effect. إن مفعول حقل مغنطيسي في هذا الطور، الذي يخرق تناظر انعكاس الزمن، هو أن "تنعقد knot" الدالة الموجية الإلكترونية بطريقة لا بديهية –لا يمكن تغيير الدوال الموجية في عينة هول الكمومية بسلاسة، مع بقاء الجملة عازلة، إلى تلك الدوال التي هي لعازل عادي أو خلاء. وفي النتيجة، تظهر طبقة معدنية عند السطح حيث تتغيّر توبولوجية الدالة الموجية، وتكون خواص هذه الطبقة ليست حسّاسة جداً إلى الكيفية التي تشكل فيها السطح بالضبط.

ولكن كيف يمكن رؤية الدوال الموجية الإلكترونية وهي تنعقد؟ إن الإلكترونات في مادة ما لها دوال موجية تتغيّر مثل دالة تتبع اندفاع الإلكترون. إن تغيّر الاندفاع يشبه تحركاً على طول قطعة من خيط في عقدة، وفي بعض المواد يمكن أن يكون تطور الدالة الموجية معقداً لدرجة أن الدالات الموجية لا يمكن تغييرها بصورة مستمرة إلى تلك الأطوال الموجية التي لمادة عادية. وبصورة دقيقة أكثر، يمكن أن يتميّز تطور الدوال الموجية مع الاندفاع بعدد صحيح n يماثل العدد الرابط الذي تحدثنا عنه سابقاً. واللافت للانتباه وجود توافق عميق بين هذا اللامتغيّر، الذي يأتي من داخل العيّنة، وعدد الأنماط الحافيّة ذات الطريق الواحد التي تنتشر على الحدود.

لقد كان يُعتقد طوال أكثر من عشرين عاماً أن هذا الانعقاد (الربط) knotting للدالات الموجية يتطلّب مفعول خرق انعكاس الزمنtime–reversbl–brebking effect لحقل مغنطيسي وأنه مقصور على مواد ذات بئر كمومي ثنائي البعد. أُعلن في عام 2005 عن اكتشاف نوع جديد من اللامتغيّر التوبولوجي (نوع جديد من "الربط") وأنه ينطبق على مواد ثنائية البعد لامتغيّرة انعكاس الزمن time–reversbl–invbribnt 2 D mbteribls وأنه يمكن توليدها بصورة نقية بالاقتران سبين–مدار، وهي صفة ذاتية لكلّ الجوامد. عندما لا يكون تناظر انعكاس الزمن موجوداً، فهذا اللامتغيّر لن يبقى موجوداً

فرميونات ماجورانا

من أكثر التطبيقات إثارة للعوازل التوبولوجية هو خلق فرميونات ماجورانا. لقد دُرست هذه الجسيمات الأساسية المخادعة في الفيزياء الجسيمية لعقود، ومع ذلك فإنه لا يوجد حتى الآن برهان نهائي محدد على وجودها. إن التجارب الحالية والمقترحة التي تبحث عن تفكك نووي نادر يُدعى تفكك بيتا المضاعف بدون نترينو neutrinoless double-betb decby محثوثة إلى حدٍّ كبير بإمكانية أن النترينو قد يكون فرميون ماجورانا. في فيزياء المادة المكثفة، يمكن أن تحدث الفرميونات كأشباه جسيمات (لا أساسية) في نواقل فائقة خاصة محددة. وهذا مسموح به لأن بإمكان زوج من أشباه الجسيمات أن تشكل زوج كوبر Cooper pbir وتختفي في الناقل الفائق. إن هندسة فرميون ماجورانا حقيقي يُعدُّ من الأمور ذات الأولوية القصوى في فيزياء المادة المكثفة. ويرجع ذلك في جزء منه إلى أنها تستطيع من حيث المبدأ أن تكون عدة لصنع حاسوب كمومي توبولوجي قادر على تحمل الخطأ. والسباق جارٍ حتى يصل إلى أفضل طريقة لتحقيقها.

الصعوبة التي تنشأ من استعمال نواقل فائقة لصنع فرميونات ماجورانا هي أنها تتطلب نوعاً خاصاً من النواقل الفائقة -يُدعى نواقل فائقة توبولوجية- والتي لم تكتشف حتى الآن. بيد أن فرميونات ماجورانا يمكن أن تصنع بناقل فائق عادي مثل البزموت إذا ضُم إليه عازل توبولوجي. إذا وضع ناقل فائق على تماس مع عازل توبولوجي، فإن الحالات السطحية تصبح ذات نقل فائق. ولما كانت الحالات السطحية هي "نصف" منظومة إلكترونية ثنائية البعد عادية، فإن حالات نقلها الفائق تكون "نصف" ناقل فائق عادي. وهذا ما هو مطلوب بالضبط لاستضافة فرميونات ماجورانا. يوجد عدد من الاقتراحات الأخرى لتحقيق فرميونات ماجورانا بتقنيات مختلفة. وإن أيّ واحد يبرهن على أنه أكثر ملاءمة سيعتمد على قضايا عملية عدة. لكن يوجد حافز لا يستهان به لجعل هذا يحدث، لأنه بالإضافة إلى تطبيقات المعلومات الكمومية المحتملة، فامتلاك صلة تجريبية على فرميونات ماجورانا سيسمح لأكثر مظاهر الميكانيك الكمومي غرابة أن تُسبر.

ونتيجة لذلك فإن الحالة السطحية لن تكون محميّة مجهرياً، والتبعثر الخلفي للإلكترونات عند السطح الذي ذكرناه سابقاً يُسمح به الآن ويمكن أن يجعل السطح يصبح عازلاً. قاد مزيد من التحسينات على هذه الأفكار بعد سنتين إلى فهم أن المواد الثلاثية الأبعاد يمكن أن تكون في طور توبولوجي أيضاً، بحالات سطحية محمية تتعين بواسطة توبولوجيا الدوال الموجية لإلكترونات المادة الجرمية، وأطلق على مثل هذه المواد اسم العوازل التوبولوجية.

إلى أين المصير؟

لقد دُرس اقتران سبين-مدار في المواد المغنطيسية التطبيقية لفترة طويلة على أنه يعيّن صفات مثل اللاتناحي المغنطيسي (يعني أيّ اتجاهات التمغنط هي المفضّلة) التي تُعدُّ حاسمة من أجل التطبيقات. وعلى النقيض من ذلك، فإن دراسة اقتران السبين-مدار في مواد لا مغنطيسية لم تُقلع إلا حديثاً مع ظهور السبينترونيات، التي هي نبائط إلكترونية مبنية على سبين الإلكترون، وهنا يمكن للعوازل التوبولوجية أن تجد إمكاناتها العظمى.

والتطبيق الذي يمكن أن يكون أكثر إثارة للفيزيائيين حالياً هو إمكانية استعمال العوازل التوبولوجية لصنع "فرميون ماجورانا" المراوغ "elusive" Mbjorbnb fermion. وككل الفرميونات، فإن فرميونات ماجورانا لها سبين يساوي نصف عدد صحيح، لكنها تختلف باعتبار واحد: إنها مماثلة لجسيماتها المضادة الخاصة بها، وهذا يعني أن زوجاً منها يمكن أن يفني كلٌّ منهما الآخر (انظر المؤطر). إن خلق فرميونات ماجورانا يمكن أن يمثل بالفعل اختراقاً مهمّاً في الفيزياء.

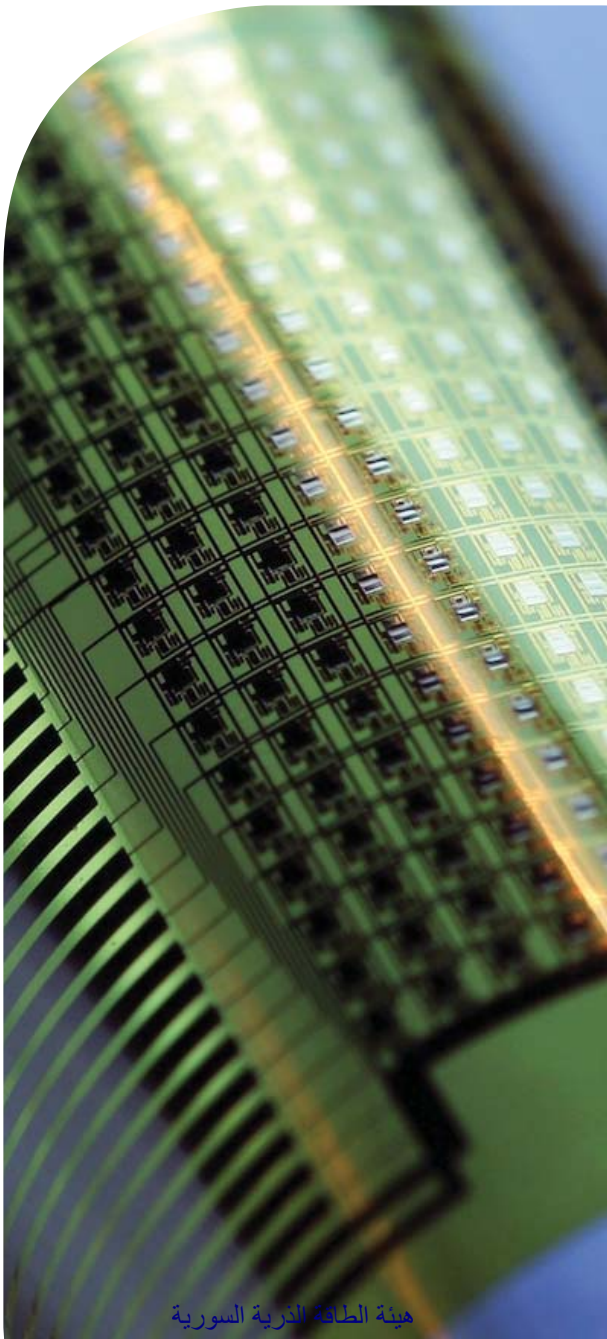
في السنوات الست التي انقضت منذ الاستكشافات النظرية الأولية في العوازل التوبولوجية، تزايد مستوى الاهتمام والنشاط بصورة أسّية. يوجد الآن عشرات المجموعات التجريبية في كل أنحاء العالم، بالإضافة إلى عدد لا يحصى من النظريين، يدرسون كل جوانب هذه المواد. بوجود هذا المستوى من النشاط هناك أمل كبير بأن بعض المقترحات الطموحة المبنيّة على العوازل التوبولوجية يمكن أن تتحقق، إضافة إلى أخرى ما كان لأحد حتى أن يحلم بها.

نُشر هذا المقال في مجلة ***Physics World, February 2011***، ترجمة **د. محمد قعقع**، رئاسة هيئة التحرير.

- تشارلز كين أستاذ الفيزياء في جامعة بنسلفانيا
- جول مور أستاذ الفيزياء المشارك في جامعة كاليفورنيا، بركلي وعالم كليّة في مختبر لورانس بركلي الوطني.

اصطناع رقوق (أغشية) نانوية نصف ناقلة وتجميعها وتطبيقاتها

غلب على أبحاث المواد النانوية الإلكترونية تاريخياً دراسات البلورات النانوية/الفلّورينات والأسلاك النانوية/الأنابيب النانوية، إلا أنه يضاف لها الآن دراسات تركّز على صفائح ذات سماكات بمقاس نانوي، تدعى رقوق (أغشية) نانوية. وإن لمثل هذه المواد جاذبية عملية لأن هندستها ثنائية البعد تسهّل مكاملتها مع النبائط (التجهيزات)، وتفتح مسارب حقيقية نحو التصنيع. فتزوّد التقدمات الحديثة في الاصطناع منفذاً باتجاه الرقوق النانوية ذات الخواص غير العادية في تشكيلات مختلفة، يستفيد بعضها من الآثار الكمومية والآثار الأخرى المعتمدة على الحجم. يقود هذا التقدم مع الطرائق البازغة للتجميع الحتمي، إلى فرص بحثية ملزمة تبدأ من الفيزياء الثنائية البعد الأساسية وحتى تطوير تطبيقات إلكترونيات هجينة.



الكلمات المفتاحية: رقوق نانوية نصف ناقلة، رقوق نانوية لا عضوية، اصطناع، رقوق نانوية عضوية.

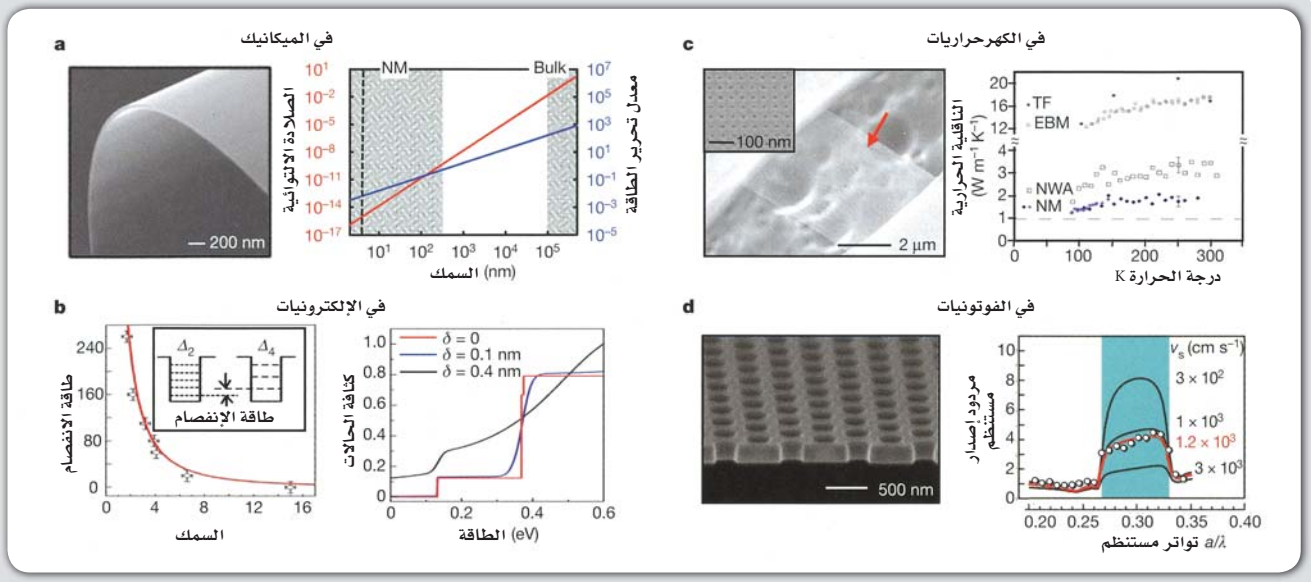
إن الرقوق (الأغشية) النانوية نصف الناقلة (NMs) هي بنى بلورية وحيدة سُمْكها أقل من بضعة مئات النانومتر وبأبعاد عرضية صغيرها أكبر بمرتبتين على الأقل من السمك. وهي تختلف عن الأغشية الرقيقة (الأفلام الرقيقة) في أنها توجد حرّة قائمة بذاتها، وبأشكال معزولة في مرحلة حرجة من مراحل نموها أو معالجتها، أو تكون كذلك في شكلها النهائي القابل للتكامل مع النبيطة (التجهيزة). ولأن هذه الرقوق (NMs) تبدي سمات عديدة لا نستطيع الحصول عليها من مواد ذات هيئات أخرى، فهي ذات أهمية مركزية في تطوير جبهات العلم النانوي والتقني المتوسعة توسعاً سريعاً. يمكن تقفي أصول العمل على الرقوق النانوية لقرابة ثلاثين سنة مضت حين أجريت أبحاث استكشافية على البلورات النانوية المعتمدة على الكادميوم وعلى الفلّورينات الكروية. وقد طُوّرت هذه الدراسات ودراسات أخرى على مواد ذات بعدية صفرية "zero–dimensional" لتشمل الأسلاك النانوية والأنابيب الكربونية، لأنه ولو جزئياً، يسهل (مع بقائها صعبة) تشكيل وصلات تماس كهربائية مع هذه البنى "الوحيدة البعد". ومع إمكان الحصول على أنواع نبائط نصف ناقلة متباينة باستعمال أسلاك مفردة أو أنابيب، إلا أن تطبيقاتها العملية لتعطي منظومات عالية الإنتاجية وقابلة للتصغير تواجه تحدّيات هندسية صعبة سواء في التجميع أو في مظاهر التصنيع الأخرى. تتجنب المواد في هيئات رقوق نانوية (NMs) هذه المحدوديات، بسبب كون هندستها ثنائية البعد تنسجم مباشرة مع تصميمات النبائط المشيدة ومع مقاربات المعالجة المستمدة من صناعة أنصاف النواقل، مما يمكنها البناء بناء طبيعياً على نتائج أبحاث امتدت لعقود في تنمية الأغشية الرقيقة وتنميطها ومعالجتها. كما تمتلك الرقوق النانوية أيضاً حجماً محدوداً ومميزات كمومية في خواصها الإلكترونية والفونونية والضوئية، ولها أيضاً سمات ميكانيكية فريدة، يرافقها آثار مرتبطة بتشوه الشكل وطي الصفائح، لا توجد في المواد صفرية البعد ولا في المواد أحادية البعد. ويمكن صنع الرقوق النانوية اصطناعاً منتظماً ومتكرراً (سواء في الحجم أو الشكل أو توجه السطح أو السمك أو حتى خشونة السطح) وذلك بطرائق مستعملة في مصانع نبائط أنصاف النواقل التي تبدأ من الأعلى وتتجه نحو الأسفل "top–down".

لقد ابتدأت دراسة مواد متقدمة عديدة بهذه الهيئة. يتضمن ذلك تنوعات متباينة عريضة من المواد اللاعضوية، بدءاً من المواد الشائعة كالسليكون وحتى المركبات المتطبقة الخاصة، إضافة إلى مجال ينمو بسرعة من أشكال الكربون المترافقة، التي لا تقتصر على الغرافين. وقد أصبحت طرائق منابلة الرقوق النانوية متاحة بسماكات يمكن أن تنخفض حتى أجزاء من النانومتر وبأبعاد عرضية تصل حتى بضعة سنتمترات مربعة، وبإنتاجية وخرج عاليين. ويمكن توزيع الأغشية النانوية على مساحات واسعة، مطوية بأشكال مختلفة، وملفوفة على سطوح منحنية. كما ظهرت نبائط إلكترونية وإلكترونية ضوئية متقدمة في تقارير تتميز كلٍ منها بتركيب متفرّد من سرعة العمل وترتيب هجين وتصميم مرن وأشكال ثلاثية البعد وسمات أخرى يكون الوصول إليها صعباً أو حتى مستحيلاً بتقنيات المواد الجسمية الحالية أو بالمواد النانوية ذات البعد صفر أو أحادية البعد. كانت هذه التقدمات وراء المراجعة الحالية لمقاربات الاصطناع والتجميع والتكامل بخصوص الرقوق النانوية العضوية واللاعضوية، باستثناء الغرافين، مع تأكيد على التحديات والفرص في المستقبل.

الرقوق النانوية اللاعضوية

تبدي الرقوق النانوية نصف الناقلة اللاعضوية الوحيدة البلورة بسماكات تنسجم مع مقاسات أطوال عمليات فيزيائية هامة (تبلغ بضع مئات من النانومتر أو أقل من ذلك) فرصاً في البحث الأساسي والتطبيقي، إضافة إلى البحث التقاني، كما يظهر في العروض الحديثة لنبائط عملية تقدم سمات عملياتية غير متيسرة في المواد الجسمية (الجرمية). يشرح الشكل (1) أمثلة معبرة عن خواص الرقوق النانوية في الميكانيك والإلكترونيات والكهرحراريات والفوتونيات. ففي المثال الأول (الشكل:1a) يقود السمك المتناهي في الصغر للغشاء النانوي (قرابة 2 نانومتر سليكون) صلادة التوائية يمكن أن تكون قيمتها أصغر بخمس عشرة مرتبة من الرقائق الجسمية (قرابة 200 مكرومتر) المصنعة من المادة نفسها. وإن القيم الناتجة هي من الصغر بحيث تغير من طبيعة المادة تغيراً كيفياً لتسمح بخيارات التكامل المتعدد الطبقات وهندسات غير مستوية كانت مستحيلة بدونها. تنشأ الإمكانات الأخيرة من تعاون آثار الصلادة الضعيفة ومعدلات تحرير الطاقة في حالة الانفصال بين الطبقات المساق حرارياً والذي ينقص نقصاناً خطياً مع السمك. ونتيجة لذلك، فإن الرقوق النانوية تأخذ شكل أي سطح وترتبط به ارتباطاً متيناً تقريباً، مما يمكّنها من التكدّس stacked بعضها فوق بعض أو فوق مادة مضيفة لتعطي أنظمة هجينة غير اعتيادية لا يمكن التوصل لها عبر تقنيات حني الرقاقات أو التطبّق. ومثل هذا التكدّس يقود إلى سلوك غير عادي إلكتروني وكهرميكانيكي وكهرحراري وضوئي إلكتروني وضوئي ميكانيكي وفوتوني.

تنتج العينات ذات السمك الرقيق جداً فيزياء البعدين 2D للحصر الكمومي، وصولاً إلى رقٍّ بسيط وحيد الطبقة، مع ما تتضمنه من خواص نقل إلكترونية. يظهر الشكل (1b) مثالاً عن انفصام عصابة الناقلية عند وادي النهاية الصغرى للسليكون، لتعطي عصابات فرعية تابعة لسمك الرقّ النانوي، وذلك في اتجاهين مختلفين. يبيّن الرسم على اليمين كيف تؤثر خشونة



1 خواص فيزيائية متفرّدة للرقوق النانوية

(a) *رقوق نانوية تمتلك درجة عالية استثنائية من قابليتها للّيّ، كما هو موضح في صورة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM). إذ إن الصلادة الالتوائية لرقٍّ نانوي سُمْكه 2nm من السليكون أصغر بـ 10^{15} مرة من صلادته الجسمية المقابلة لسمك قدره 200µm، كما هو موضّح بالمنحني الأحمر من البيان (الخط المتقطع للسمك 2nm). والخواص الميكانيكية المرافقة لهذا تسمح للرقوق النانوية بالارتباط لأي سطح تقريباً. إذ يتناقص هنا معدّل تحرير الطاقة المرافق لانفتاح الوجوه المتقابلة بين الرقّ النانوي والركازات الداعمة له تناقصاً خطياً مع السمك. ويمثل الخط الأزرق حسابات لرقّ نانوي سليكوني مرتبط بغلالة من البولي أميد في درجة حرارة الغرفة، وذلك بعد تسخّينه حتى درجة الحرارة 300°C.*

(b) *تقود آثار الحصر الإلكترونية لرقوق نانوية من السليكون إلى انفصام وديان عصابة النقل (Δ) من أجل الاتجاه (001) (على اليسار) مع قضيب خطأ يقابل انحرافاً معيارياً واحداً. تؤثر هنا خشونة السطح (δ) تأثيراً قوياً على كثافة الحالات (DOS) الثنائية البعد (2D) (على اليمين) وتشير a.u. إلى أن الواحدة اختيارية.*

(c) *يوفّر الحصر الفونوني في الرقوق النانوية فرصاً لمنابلة تدفق الجريان الحراري، وذلك بأمثلة معامل الأداء في الكهرحراريات. تبيّن الصورة رقاً نانوياً معلقاً من السليكون (سُمْكه 22nm، السهم الأحمر) مثقّب بصفيف من الثقوب النانوية (تقع أقطارها بين قرابة 10 و15nm، وبدور يقارب 35nm) تبعثر الفوتونات، مما يحيّد النقل الحراري. تقارن المعطيات مثل هذه التراكيب مع صفيفات من أسلاك نانوية (عرضها 28nm وسُمْكها NWA 20nm)، ورقوق منمّطة تنميطاً خشناً (EBM) (على شكل شبك مربع دوره 385nm وسُمْكه 22nm) وكذلك مع رقوق نانوية منتظمة (TF سُمْك كلٍّ منها 25nm) مع قضيب خطأ انحراف معياري واحد.*

(d) *يسمح الحصر الفوتوني في الرقوق النانوية تشغيل ليزرات منخفضة العتبة. تبيّن صورة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بلورة فوتونية مؤلفة من صفيف من الثقوب النانوية (بدور يقارب 500nm) في رقٍّ من GaInAsP (سُمْكه 245nm) والذي صمّم ليقمع معدل الإصدارات التلقائية، ويقود الضوء في الوقت نفسه باتجاه الأنماط الشاقولية. يبيّن المخطط قياسات (ممثلة بالرموز) لمردود الإصدار، مستنظماً بنسبته إلى حالة عدم وجود ثقوب نانوية، وذلك كتابع لنسبة دور الصفيفة (a) إلى طول موجة الإصدار (λ). تشير النتائج إلى حدوث تعزيز في مجال قيم معيّن من النسبة a/λ. وتلتقط حسابات سرع إعادة الالتحام السطحية vs (الخط المستمر) هذا المنحى. تقابل المنطقة الزرقاء موقع فرجة العصابة الفوتونية.*

الرق النانوي في كثافة حالات هذه الرقوق النانوية المحصورة كمومياً. وتظهر ظاهرة مرتبطة بها إنها الحساسية العالية لنقل الشحنة نحو السطح اعتماداً على شروطه الكيميائية، والتي تعدّل هي أيضاً البنية العصابية المحلية. وتناقش فيما يتبع أمثلة أخرى عن آثار الأبعاد في الخواص الإلكترونية، وذلك في مقاطع تتناول الاصطناع والتطبيقات. كما يؤثر السمك الصغير للرقوق النانوية أيضاً على سلوك الفونونات والفوتونات تأثيراً شديداً. ويمكن استعمال الفونونات لزيادة معاملات أداء مفتاحية (مثل المعامل ZT) في الكهرحراريات. فرقوق نانوية تحتوي صفيفاً من الثقوب النانوية (الشكل:1c) أبعادها العرضية أقل من طول

المسار الحر الوسطي للفونونات الحرارية (الذي يقارب 300nm) وبسماكات تقارب هذه القيمة أو أقل تنتج آثار ارتداد قوية تحيّد النقل الحراري، دون إنقاص المقاومة الكهربائية الصفيحية للرقوق، وذلك بسبب قصر المسارات الحرة الوسطية للإلكترونات والثقوب إذا ما قورنت بمسارات الفونونات (فهي تقع بين 1 نانومتر و10 نانومتر في حالة التطعيم العالي المستوى). وتشير قياسات مجراة على رقوق نانوية معينة ذات ثقوب إلى ناقليات حرارية لها أصغر بما يقارب 80 مرة قيمها للسليكون الجسمي، وتعزيز في المعامل ZT بمضروب يقارب 50 مرة نظيره في الرقوق غير المثقّبة. ويمكن استعمال الآثار المرتبطة بالحصر على صعيد المفاهيم لصالح الإلكترونيات الضوئية. إذ نجد من الأمثلة المبكرة على ذلك الليزرات التي تستعمل رقوقاً نانوية تعتمد البلورات الفوتونية لمنع الإصدار التلقائي منقصة إياه لحدّ 94% وكذلك لقيادة الإصدار المفضّل باتجاه الأنماط الشاقولية، مما سمح بتحسين مردود الخرج بمضروب يقارب الخمسة (الشكل: 1d). يبلغ سُمْك الرقوق النانوية في مثل هذه الأنظمة نموذجياً أجزاء من طول الموجة المصدرة لضمان سلوك أحادي النمط. فيلتقط في (الشكل: 1d) قياسات ونمذجات لهذه الآثار ويبيّن كذلك تأكيداً للدور الهام لإعادة الالتحام عند السطح للرقوق النانوية، كما سيناقش فيما يلي عند الحديث عن تطبيقات ذات علاقة.

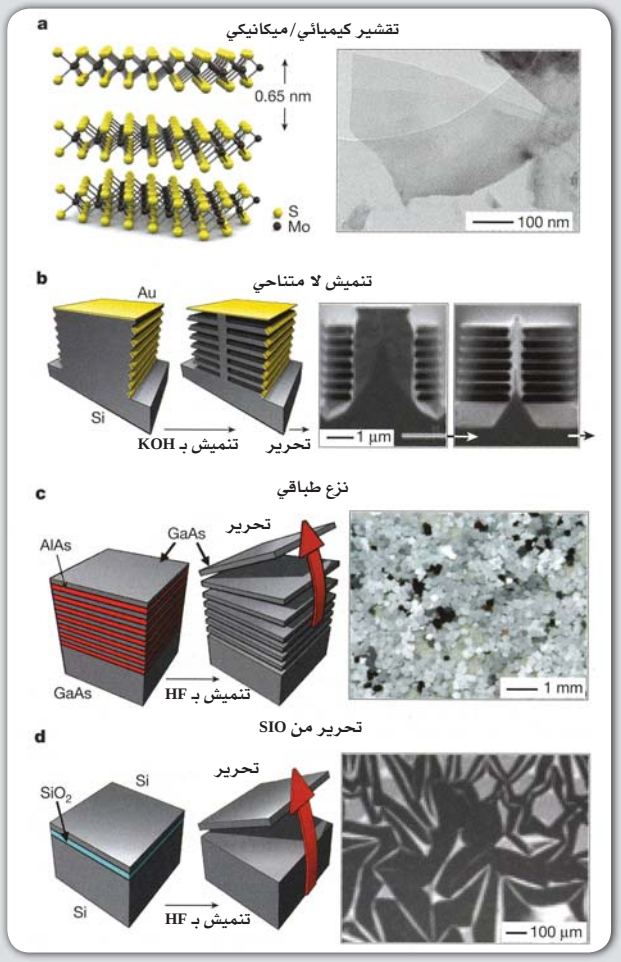
تقبع التحديات المشتركة لكل الجهود البحثية على الرقوق النانوية في تطوير وتحسين طرائق اصطناعها بغية الحصول على أبعاد دقيقة ونوعية عالية من المادة؛ وذلك لهندسة سمات بنيوية أو لتوزيع معين من الانفعالات للحصول على خواص نقل غير عادية لشحنات أو فوتونات أوفونونات؛ أو لتوضيع وربط رقوق نانوية، مع التأكيد على إمكان التحكّم في خواص السطح/السطح البيني وكذلك التحكم في انتقال الشحنة عبر السطوح البينية المرتبطة؛ ولتحوير أشكال الرقوق النانوية لعناصر غير مستوية مثل ليزرات المجاوبات المكروية الاسطوانية، والإلكترونيات القابلة للمطّ والمتكاملة حيوياً؛ ولإنتاج عدد ضخم من الرقوق بهندسات دقيقة قابلة للتجميع في تشكيلات مرغوبة تجميعاً فعالاً وبمردودية عالية وسريعة. تسلط المقاطع التالية الضوء بأمثلة على مناحي التقدم الحديثة المختلفة ومجالات الفرص في المستقبل.

الاصطناع

يمكن اتباع مسار (وقد اتبع هذا منذ سنوات عدة) مشابه للمسار المستعمل في الحصول على الغرافين من قطع جسمية من الغرافيت، لتشكيل الرقوق النانوية وذلك بالتقشير الكيميائي أو الميكانيكي من المواد الصلبة التي تمتلك بنى طبقية طبيعية، مثل أنصاف النواقل MoS_2 و$Sr_2Nb_3O_{10}$ وGeS وGeSe. وتشير الأعمال الحديثة إلى أن آثار الحصر في رقوق نانوية وحيدة الطبقة من MoS_2 (الشكل: 2a) ستقود إلى فرجات طاقة مباشرة، خلافاً لفرجات الطاقة غير المباشرة الموجودة في العينات الجسمية. وتظهر الترانزستورات التي تتضمن هذه الرقوق حركيات تابعة لأثر الحقل أكبر من تلك المستعملة في الغرافين المشكّل على هيئة هندسات شريطية نانوية مطلوبة لإنشاء فرجة طاقة تحكم سلوك إبدالية (قطع وصل) فعالة. نتيجة لذلك فإن الرقوق النانوية المقشّرة المتناهية الرقّة تثير الاهتمام كونها بدائل للغرافين وذلك لاستعمالها مادة فعالة في إلكترونيات الجيل القادم، حيث يمكن استعمال النفقية بين العصابات لتحسين الأداء في النبائط المنخفضة الطاقة تحسيناً آخر.

مع أن التقشير يعطي عدداً ضخماً من الرقوق النانوية لأصناف معينة من أنصاف النواقل مثل MoS_2، ما تزال الحاجة قائمة لطرائق إضافية قادرة على التحكّم بأبعادها وأشكالها ولمنابلتها بغية استكمالها مع المنظومة. وتتضمن استراتيجية اصطناع تلبي هذه المتطلبات وتوسّع خيارات المواد التي تعطي رقوقاً نانوية من أنصاف نواقل جسمية ليست طبقية بالطبيعة، باستعمال منهجيات تنميش لامتناحية خاصة. على سبيل المثال، يمكن تحديد أخاديد على سطوح رقائق سليكونية وفق التوجّهات 111، ثم تنميط الجدران الجانبية بمقاوم للتنميش يكون نقطة البداية للتخلص اللامتناحي من المادة على طول الاتجاهات ‹110› باستعمال محاليل هدروكسيد البوتاسيوم. تحرّر هذه العملية (الشكل: 2b) مكادس طبقية، مع تغيرات طفيفة فيها، عدداً من الرقوق النانوية شبيهة بالترتيب الجسمي. ومن الجوانب المشجعة لطريقة التصنيع هذه إمكان تعريف الأبعاد العرضية للرقوق النانوية بالحفر الضوئي، وكذلك مواقعها المكانية فوق سطح الرقاقة، مما يجعلها منسجمة مع طرائق التكامل الموصوفة لاحقاً. ويمكن لدورات من الأكسدة الحرارية والتنميش إنقاص السمك وتحييد السطوح البينية.

تبدأ الطرائق التي توفّر سطوحاً ناعمة نعومة ذرّية وتعزيزات تحكم في الأبعاد على مساحات واسعة بالنمو الطباقي لتكوين تجمعات متعددة الطبقات قابلة للتحرير. على سبيل المثال، تعطي مكادس من أفلام زرنيخيد الغاليوم GaAs المفصولة بأفلام من زرنيخيد الغاليوم والألمنيوم AlGaAs عدداً كبيراً من الرقوق النانوية بالإزالة الانتقائية لمادة AlGaAs بحمض فلور الماء. تزوّد هذه العملية مميزات مفضلة من حيث الكلفة والإنتاج مقارنة بمقاربات أخرى تحرّر طبقات مفردة فقط، بسبب استعمال فعال لمنظومة النمو الطباقي والركائز الداعمة. يبيّن الشكل (2c) توضيحاً للعملية وصورة للرقوق النانوية المتحررة المرسبة التي تشكلت بصبّها من محلول معلّق. ويمكن أن تعطي متعددات طبقات مماثلة، مأخوذة من مكدس واحد، رقوقاً طباقية متعددة الوظائف للاستعمال في



2 أمثلة من مسارات اصطناع رقوق نانوية لا عضوية وحيدة البلورة نصف ناقلة

(a) *البنية الذرّية لمادة MoS_2، توضح تشكيلها الطبقي. يعطي تقشيرها الكيميائي أو الميكانيكي رقوقاً نانوية وحيدة الطبقة (سُمْكها 0.65nm) كما تظهره صورة المجهر الإلكتروني النافذ على اليمين.*

(b) *عملية توليد مكادس متعددة الطبقات من الرقوق النانوية السليكونية من رقاقة جسمية بالتنميش اللامتناحي. تسمح ملامح تنميط المادة المقاومة للتنميش (الذهب) المنقوشة على الجدران الجانبية للأخاديد المنمشة شاقولياً بوصول المنمش الكيميائي الرطب لا متناحياً لمناطق معينة فقط من السليكون. تحرّر عملية التنميش رقوقاً نانوية (سُمْك كلٍّ منها قرابة 100nm) كما هو مبين في صورتين متتاليتين بالمجهر الإلكتروني الماسح لمقطعين عرضيين في زمنين مختلفين على اليمين.*

(c) *تجميع طباقي متعدد الطبقات من مادة GaAs ومن مادة AlAs منمّى على رقاقة GaAs. .سيقود تنميش شاقولي عبر سُمْك المكدس ثم غمر البنية في حمض فلور الماء إلى زوال انتقائي لطبقات AlAs. ويحرّر القطع السفلي الكامل بالتنميش عدداً كبيراً من رقوق نانوية لمادة GaAs. تظهر صورة المجهر الإلكتروني الماسح تجمعاً من رقوق GaAs تشكلت بهذه العملية.*

(d) *تحرير رق نانوي سليكوني من رقاقة مادة SOI. يؤدي التنميش الشاقولي عبر طبقة السليكون السطحية إلى تعرّض طبقة SiO_2 التي تحتها، مما يسمح بإزالتها بواسطة التنميش بحمض فلور الماء. تبيّن الصورة الضوئية على اليمين رقاً نانوياً سليكونياً مجعّداً لكنه وحيد البلورة كاملاً (سُمْكه قرابة 50nm) تشكّل بهذه الطريقة وبالإمكان نقله إلى مضيف جديد، حيث سيسوّى ويرتبط به.*

الإلكترونيات الراديوية، وفي الكواشف الفوتونية (الضوئية) ومصدرات الضوء وفي الخلايا الشمسية. ويمكن إنماء طبقات طباقية للتحييد مباشرة لتشكل جزءاً مكملاً من الرق النانوي. وبالإمكان أيضاً الحصول على بنى متعددة المواد، مثل مادة GaAs تحتوي نقاطاً كمومية مرتبة ذاتياً من زرنيخيد الإنديوم InAs مزروعة لتعطي مصدرات ضوء، وذلك لتطبيقات في الإلكترونيات الضوئية (البصرية). يمكن أن تكون الهندسات الرقيقة للرقوق النانوية مهمة في هذه الأنواع من التصنيع الطباقي لأنها تتجنب حدوث الانخلاعات التي تحدث في الأفلام الثخينة عندما يتجاوز سُمْكها قيمة حرجة لتشكّل العيوب في الطبقات المجهدة. يضاف إلى ذلك، احتمالات استعمال عدد أكبر من مواد مختلفة نتيجة استعمال ركازات نمو للرقوق النانوية، حيث يمكن الاستفادة من ثوابت الشبكة المعدّلة أو التناظرات الإجهادية التي لا يمكن التوصّل لها في الحالة الجسمية، كما هو موصوف أدناه.

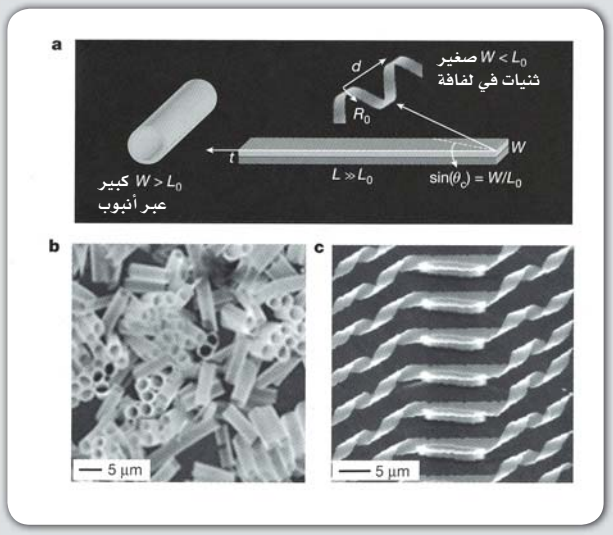
يستعمل مخطط متمم، يتجنب متطلبات النمو الطباقي تماماً، المواد الطبقية المشكلة بربط الرقاقة متبوعة بالصقل أو الكسر المتحكم به. يبدأ أكثر الأمثلة شيوعاً من طبقة رقيقة من السليكون فوق أكسيد السليكون SiO_2 المدعوم بركازة سليكون، المعروف باسم السليكون فوق عازل (Silicon On Insulator: SOI). وإن تنميش طبقة الأكسيد المدفونة بحمض فلور الماء يحرر طبقة السليكون العلوية على هيئة رق نانوي (الشكل: 2d). يمكن استعمال التركيبة المتاحة تجارياً SOI للحصول على رقوق نانوية من السليكون يصل سُمْكها حتى 20nm. وبالإمكان إنقاص السمك بالتنميش والأكسدة حتى سُمْك أصغر من 2nm، وبانتظام أفضل من 0.3nm). وتتضمن الأمثلة الأخرى ذات البنى المماثلة لبنية SOI من مواد الزمرة الرابعة في الجدول الدوري، مثل الجرمانيوم فوق عازل والسليكون المجهد فوق عازل والسليكون مع الجرمانيوم (SiGe) فوق عازل، إضافة إلى أنصاف النواقل المركبة III–V وتراكيب عديدة أخرى.

هندسة الانفعالات والمعماريات النانوية الثلاثية الأبعاد، 3D

إن من المظاهر الخاضعة للجدل في اصطناع الرقوق النانوية إمكان تعديل بنائها بعمليات الحفر الضوئي (الشكل: 1cو d) أو بإدخال توزع انفعالات مكانية. وتوفر الإمكانية الأخيرة وعداً جيداً لإنتاج وتحقيق خواص فيزيائية جديدة. تسمح الخواص الميكانيكية المميزة للرقوق النانوية بالتحكم بهندسة الانفعالات (انظر المناقشة أعلاه و الشكل: 1a). يغيّر الانفعال ثابت الشبكة فيولّد خواص جديدة مقارنة بجزء المادة غير المنفعلة ذات التركيب الكيميائي نفسه. وإن إمكان تغيير الانفعال، في القيمة، والاتجاه، والامتداد، والدورية والتناظر و/أو طبيعته، يسمح بتوليف الخواص الذاتية متوافقة لدرجة تعدّلها تعديلاً ملحوظاً، بما في ذلك البنية الإلكترونية العصابية وحركية حاملات الشحنة ونقل الذرّات وبنية العيوب الذرّية والترتيب الذاتي للنقاط الكمومية والمقاومية الكهرضغطية وظواهر أخرى أكثر تعقيداً مثل الآثار الكهربائية–الضوئية.

يمكن إدخال الانفعال الشبكي بإنماء طباقي هجين من مواد ذات ثوابت شبكية مختلفة. على سبيل المثال، نجد في المادة الثلاثية الطبقة Si/SiGe/Si المنماة على SOI، أن طبقة المادة SiGe منفعلة انفعالاً انضغاطياً وطبقة السليكون غير منفعلة. وعند تحرير هذه البنية الثلاثية الطبقة، تشارك طبقة المادة SiGe انفعالها مع طبقات السليكون بانفعالات مرنة تصل قيمتها حتى 1%. ويمكن أن تسبب انفعالات كهذه تغيرات هامة في البنية العصابية للسليكون، مثل تحسين أداء الترانزستورات المصنعة فوق بوليميرات مرنة، وإذا طبقت محلياً ودورياً ستشكل عنصراً إلكترونياً وحيداً من شبيكات فائقة هجينة. ويمكن استعمال هذه المشاركة الانفعالية المرنة مع معالجة مناسبة لإنتاج أنصاف نواقل خاصة خالية من العيوب لا يمكن تحقيقها بطرائق أخرى، وكذلك بالاستفادة من التناظرات البلورية المختلفة لمركبات البنى الطبقية المنفعلة، يمكن تصنيع مواد جديدة كلياً ذات خواص تناظرية بلورية لا توجد في الحالة الجسمية والتي لا يمكن إيجادها بالإنماء الطباقي لوحده.

ويمكن إدخال الانفعال أيضاً بطريقة ميكانيكية. مرة ثانية، نجد أن الخواص الميكانيكية المميزة للرقوق النانوية قاطعة في التوصل إلى خواص مبتكرة. على سبيل المثال، أصبح بالإمكان حديثاً، وبسبب انزياح وديان عصابة النقل بمقادير مختلفة باختلاف الانفعال، مطّ رقوق نانوية من الجرمانيوم مطاً ثنائي المحور كافياً ليغيّر الجرمانيوم من نصف ناقل ذي فرجة غير مباشرة إلى نصف ناقل ذي فرجة مباشرة. يسمح هذا التحول باستعمال الجرمانيوم ضمن المنابع الضوئية، وبالتالي تحقيق رؤية عناصر الزمرة IV–نصف الناقلة متكاملة مع الإلكترونيات والبصريات.



3 رقوق نانوية نصف ناقلة وحيدة البلورة لا عضوية في تشكيلات غير مستوية

(a) *لفُ وتجعيد رق نانوي ثنائي الطبقة منفعل، يوضح ذلك الوسطاء الهندسية التي تحدّد التضاريس السطحية: فيحدّد $L_0 = 2\pi R_0$ طول محيط الأنبوب الذي قد يتشكل؛ أما L وW فهما طول الشريط وعرضه، على الترتيب، وt سُمْكه. إن θ_c الزاوية الحرجة لتشكل الوشيعة وليس لتشكل أنبوب. تشير الأسهم إلى اتجاهات الطي.*

(b) *صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح SEM لتجمع من الرقوق النانوية من GaAs مع بنى مغروزة من الآبار الكمومية. وتتشكل الهيئات الأنبوبية بعد تحررها من الركازة، نتيجة وجود انفعال في الطبقات الطباقية.*

(c) *صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح SEM لصفيف من بنى لولبية محرّرة جزئياً تشكلت برقوق نانوية من / (SiGe (10 nm Si (7nm)/Cr(20nm) وتبقى مرتبطة عند مراكزها بالرقاقة السليكونية.*

ومن التبعات المرتبطة بالتحكّم في الانفعال إمكان هندسة الرقوق النانوية لتعطي أشكالاً ثلاثية الأبعاد، 3D، مما يسمح بتشكيل النبيطة وخواصها التي لم تكن ممكنة الحصول عليها من المواد الجسمية. وتتضمن الاحتمالات الحصول على أنابيب تستطيع أن تؤدي دور منصات نمو للخلايا الفعالة، وتجاويف أسطوانية مكروية تخدم خدمة قنوات موائع ومحسّات ضوئية، وبنى متداخلة مزرّرة تستجيب استجابة مرنة لانفعالات كبيرة يمكن استعمالها في الإلكترونيات القابلة للمطّ. كما يمكن باتباع هندسة انفعالات مناسبة في منظومات يوجد فيها تدرجات انفعال عمودية على الطبقات، الحصول على أنابيب ولوالب وحلقات ومعماريات

أخرى ثلاثية الأبعاد. وفي حالة ثوابت المرونة المتناحية، يمكن حساب سلوك الحني واللف والتجعيد باستعمال صيغة تيموشنكو Timoshenko التقليدية. وفي هذه الحالة، يميل شريط رق نانوي ثنائي الطبقة منفعل إلى الالتفاف (على طول الاتجاه الطويل) ليشكل أنبوباً عندما يكون الشريط عريضاً أو إلى حلقة عندما يكون الشريط ضيقاً. غير أن شريطاً طويلاً ضيقاً قد يشكل وشيعة، نتيجة وجود حدود قصية تؤثر في جعل الطاقة المرنة في نهاية صغرى. يوضح الشكل (3a) هذه الشروط. إذ سيتشكل أنبوب إذا كان عرض الشريط، W، كبيراً مقارنة بنصف قطر الانحناء المحدّد بانفعال الطبقة الثنائية، الذي يرتبط بطول محيط الأنبوب، L_0. وعند تجاوز زاوية حرجة، θ_c، تتعيّن بالعلاقة: $W/L_0=\sin\theta_c$، سيلتفّ شريط رق نانوي منفعل ليشكل وشيعة نصف قطرها R_0، الذي يرتبط كذلك بنصف قطر الانحناء المحدّد بانفعال الطبقة الثنائية أيضاً. ويمكن أن تتشكل أشكال أكثر تنوعاً عندما يكون للمادة اتجاهات لينة وأخرى قاسية. يظهر الشكل (3b) أنابيب ملتفة من رقوق نانوية من GaAs مزروعة فيها آبار كمومية، التي تتمتع بتطبيقات غير عادية كمجاوبات ضوئية. ويبيّن الشكل (3c) لوالب تأخذ شكل شريطة من رقوق نانوية مصنوعة من SiGe. إذ تبقى المناطق المركزية مسطحة بسبب تماسكها مع الركازة تحتها. ويسمح التنميط بالحفر الحجري تشكيل معماريات صعبة تؤدي إلى إعطاء فرص تصميم جديدة للنبائط الإلكترونية نصف الناقلة، كما هو موصوف في فقرة التطبيقات أدناه.

رقوق نانوية عضوية

يجعل التنوع الكيميائي والخواص الفريدة للرقوق النانوية العضوية منها مواد جذابة متممة للرقوق اللاعضوية الموصوفة آنفاً. يزود الغرافين أفضل الأمثلة الموجودة التي تفرض نفسها بسبب خواصه المفضلة الميكانيكية والحرارية ونقل الشحنة، وكذلك بسبب فرص تصنيع نبائط متنوعة غير متوفرة في الغرافيت الجسمي. نشطت هذه المشاهدات العمل لاستكشاف خواص كربونات ثنائية البعد متآصلة، مثل الكربون الهجين من sp وsp^2 (الغرافاين graphyne والغرافايدان graphdiyne) ذات سماكات مشابهة بمقاس المستوى الجزيئي. يتوقّع، من الناحية النظرية، لرقوق نانوية من هذه المواد ومواد مماثلة كثيرة التنوع بنيوياً وتركيبياً أن توفر فرجات طاقة وحركيات ومميزات إلكترونية أخرى مختلفة تماماً عن الغرافين. على سبيل المثال، تقترح الحسابات أن يكون للغرافايدان حركية كبيرة تقارب $105cm\ V^{-1}s^{-1}$ وفرجة طاقة تقارب 0.5 eV، مما يجعل هذا النوع من الرقوق النانوية جذاباً للترانزستورات نصف الناقلة عالية السرعة وذات مردودية استطاعة جيدة، حيث لا يمكن استعمال رقوق نانوية من الغرافين غير المنمط بسبب طبيعتها الذاتية نصف المعدنية.

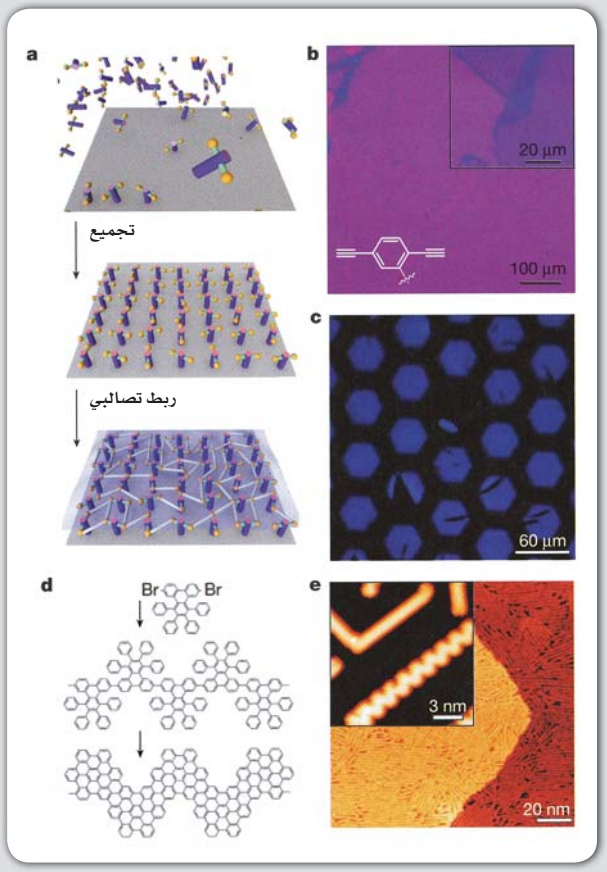
يبقى بناء روابط كربون–كربون ثنائية البعد، 2D، في شبكات مرتبة من مواد غير الغرافين تحدّياً متقدماً في الكيمياء. إذ تقع الصعوبات في تشييد روابط بالدقة اللازمة في منظومات عالية الكتلة الجزيئية التي تتطلّب الانحلالية وتجنب الميل إلى التجمع الركامي. نتيجة لذلك، تحدّ التقنيات الحالية الجسمية والتصنيع الكيميائي من طور المحلول تشكيل رقوق نانوية عضوية بأبعاد عرضية بالكاد تزيد عن النظام الجزيئي. ويتضمن المخطط البديل تجميع قوالب بناء جزيئية عند السطوح البينية، على هيئة طبقات وحيدة مجمعة ذاتياً (SAMs) أو على هيئة أفلام من نوع أفلام لانغمويـر–بلودغت، لتزوّد أفلام بادئات مستوية لرقوق نانوية تتشكل بتفاعلات كيميائية بين مركّباتها الجزيئية. يوضح الشكل (4a) العملية الأولى، ويبين الشكل (4b) مثالاً عن 2،5 – ديالكينيلبنزن المستبدل المجمع ذاتياً SAM على السيليكا، وقد ربطت ربطاً تصالبياً بتفاعلات إبدال ألكينية لتعطي رقاً نانوياً من الكربون العالي الترافق (ملاءة متينة سُمْكها سُمْك طبقة واحدة)، قادرة على التحرر والانتقال إلى رقاقة سليكون لجعل التكامل مع مركبات فعالة إلكترونياً قائماً. خلافاً لذلك، يمكن تحقيق الربط التصالبي وعمليات التجميع الذاتي بقذفها بإلكترونات منخفضة الطاقة. تشكل هذه العملية في حالة الثيولات النترولية على الذهب حاملاً كثيفاً بربط تصالبي عند المقاطع الأرايل (aryl) ويستدعي إرجاع استبدالات نتروية عند نهاية السلسلة زمراً أمينية. ويعطي فصلها عن الذهب رقاً نانوياً يحمل زمر الثيول على أحد الوجوه وزمر الأمينات على الوجه الآخر، مع استعمال كامن لنبائط تتطلب سطوحاً بينية إلكترونية تختلف عند الوجه العلوي عما هي عليه عند الوجه السفلي. يتوضع رق نانوي فوق شبكة داعمة، في الشكل (4c)؛ وتنشأ الألوان من علامات متفلورة من الجانب الأميني. يسمح هذا الاصطناع أيضاً بالتنميط بإعطاء جرعة إلكترونات معدّلة مكانياً، ترتبط ارتباطاً واضحاً باستعمالها في تصنيع النبائط. ويعطي التحلل الحراري رقوقاً نانوية معدنية لها ناقليات كهربائية مشابهة لتلك الموجودة في أشكال الكربون الغرافيتية، مع إمكان تطبيقها مباشرة على هيئة شبكات ناقلة في المجهرية الإلكترونية النافذة.

مع وجود تقارير تفيد إمكان الحصول بتقنيتي لانغمويـر–بلودغت وSAM على رقوق نانوية جهرية بأشكال مختلفة، فإن غياب الترابط طويل المدى في التشكيلات المرتبطة يخرّب انتقال الشحنة المميز لها. ويمكن تناول هذا التحدي بتفاعلات بين سطحية مقولبة بركازات وحيدة البلورة. توضح أعمال حديثة قابلية تحقيق هذه الفكرة في حالة الرقوق النانوية الشبيهة بالغرافين، بأسلوب يبدو أنه قابل للتمديد إلى رقوق نانوية عضوية أخرى. يبيّن الشكل (4d

e) شرائط غرافين بهيئة رتب عسكرية مصنعة على وجه بلورة الذهب (111) بطريقة التكاثف التحللي الحراري والقلب السيكلو ديهايروجينتك (cyclodehydogenetic conversion) للبادئات الجزيئية (6,11–dibromo–1,2,3,4–tetraphenyltriphenylene)، تصطف هذه الشرائط على خط وتتجمع وفق اتجاه تجاعيد إعادة البنية على هيئة خطوط متباعدة ومتقاربة على التوالي باتجاه وجه ركازة الذهب (111). وقد أعطت مقاربات مماثلة أصناف هامة من الطبقات البلورية الوحيدة نتيجة تجمعات جزيئات حمض–1,4 benzenediboronic، المتشابكة مع روابط B–O–B المشطورة من البوريكسين boroxine moiety. وتشير نتائج حديثة إمكان استعمال أساسات عضوية تساهمية للاصطناع باستعمال الغرافين ركازة قالبية. وبجهد إضافي، يمكن أن يكون لهذه الأنواع من الكيمياء مقدرة كامنة لتعطي أصناف الرقوق النانوية الوحيدة البلورة العضوية المتناولة في هذه المقالة.

تجميع طبقات وحيدة ومتعددة

تستفيد الدراسات العلمية الممنهجة من تقنيات موثوقة لمكاملة الرقوق النانوية مع النبيطة أو البنية المختبرة، وهذا ما تتطلبه أيضاً تطبيقات هندسية. يمكن تجميع المواد المنتجة من الاصطناع الجسمي أو من التقشير بالجملة من الأجسام الصلبة أو من سطوح جاهزة مباشرة عبر عمليات تبدأ من معلقات رقوق نانوية في موائع، حيث تفضي أشكال مكيفة من النبذ العالي، والترشيح الغشائي والكروموتوغرافية إلى طرائق فصل الرقوق واختيار حجمها وتنقيتها. ويمكن أن تعطي تقنيات لانغمويـر–بلودغت والترسيب المتحكّم به تجمعات من أفلام رقيقة على هيئة طبقة وحيدة أو متعددة الطبقات. ويمكن نقل المرسّبات إلى ركائز مرغوبة للمكاملة مع نبائط على شكل أفلام رقيقة. ويمكن تعزيز مستويات التحكّم في مثل هذه العمليات المعتمدة على المحاليل عبر تنميط السطح تنميطاً وظيفياً يتحكم في جريان المائع



4 رقوق نانوية من الكربون المترافق واصطناعها باستعمال طرائق بين سطحية.

(a) *مقاربة الاصطناع اعتماداً على الربط التصالبي لطبقات أحادية متجمعة ذاتياً SAM.*

(b) *صورة ضوئية مكروية لـرقٍ نانوي من كربون عالي الترافق مصنع بالربط التصالبي لطبقات أحادية متجمعة ذاتياً من 2.5- substituted dialkylbenzene بتفاعل إبدال الألكين وموجودة فوق ركازة من SiO_2/Si. تظهر منطقة متجعدة من الرق النانوي في المنظر المكبر أعلى يمين الشكل. وتظهر البنية الكيميائية للمونومر أسفل يسار الشكل.*

(c) *صورة لانتقال الطاقة التجاوبي المتفلور لرق نانوي "جانوس Janus" (بالأزرق) معلّق فوق بنية شبكة سداسية داعمة (بالأسود). تكوّن هذا الرق النانوي الذي يحتوي بعض التمزقات والعيوب، نتيجة تعريض طبقة أحادية متجمعة ذاتياً SAM من 4'--1.1'-nitro biphenyl-4-thiol لإلكترونات طاقتها 100eV وكثافة شحنة 50 $mC\ cm^{-2}$.*

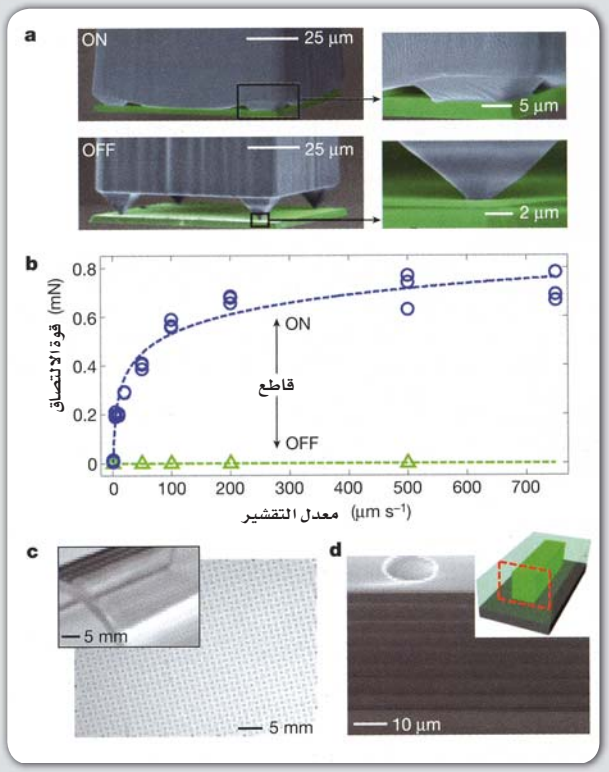
(d) *اصطناع كيميائي لغرافين على هيئة رتبة عسكرية ذي بنية شريطية موجود فوق الوجه (111) من بلورة الذهب، تكوّن بتكاثف تحللٍ حراري وسيكلو ديهايروجينك (cyclodehydogenetic conversion) للبادئ (6.11-dibromo – 1.2.3.4-tetraphenyltriphenylene).*

(e) *صورتان بالمجهر النفقي الماسح الداخلية بتكبير عالٍ والرئيسة بتكبير منخفض لشريطين من الغرافين أحدهما مستقيم والآخر على هيئة شريطة – رتبة عسكرية (chevron) فوق الوجه (111) من بلورة الذهب مصنعان بالطريقة المذكورة في (d).*

والخاصة الشعرية أو بالشكل المتمم لقيادة وضع الرقوق النانوية إفرادياً، باستعمال مخططات طورت أصلاً للأسلاك النانوية/ وللأنابيب النانوية ولدارات متكاملة ذات المقاس الصغير. غير أن الطبيعة العشوائية الذاتية لعمليات التجميع الذاتي المقاد تفرض حدوداً على كمية المنتجات وعلى دقة تموضعها.

بالمقابل، إن الرقوق النانوية المتشكلة عند السطوح البينية التي تصنع بإمكان التحرر المتحكّم به قابلة للمنابلة باستعمال تقنيات تجميع قطعية، مع نتاج عالٍ ودقة متناهية في الموضع والاتجاه والعرض. وإن مثل هذه المقدرات ضرورية وأساسية من أجل تطبيقات واعدة مستقبلاً في الإلكترونيات، بسبب متطلبات مكاملة الرقوق النانوية في مواضع معينة من منظومات أضخم ذات دقة من مرتبة أجزاء المكرومتر. وتستغل أفضل المقاربات المتطورة تطوراً حسناً أشكال الطباعة المختلفة باستعمال أختام مرنة طرية تسمح منابلة الرقوق النانوية دون تعريضها لمستويات حرجة من الانفعالات التي قد تؤدي إلى تخريب بنيوي. يظهر الشكل (5a)، مثالاً متقدماً لختم مبني (بالأزرق) مصمم ليسمح بتلاصق قابل للتعديل بالضغط لحالتين، حالة تلاصق قوي (ON) وحالة تلاصق ضعيف (OFF)، وذلك لتسهيل الاستعادة والطباعة، على الترتيب؛ وفي هذا المثال "يحبّر" الختم بصفيحة من السليكون (بالأخضر). (تسمح "حوامل" أفلام مؤقتة من المُظهر (الفوتوريزيست) منابلة الرقوق النانوية ذات السماكات الصغيرة بصورة اختيارية). توضح المعطيات في الشكل (5b) إمكانية التبديل هذه، حيث يكون للآثار الهندسية واللدنة اللزجة أدوار مهمة في ذلك. ويمكن للطباعة بدورة واحدة أو دورات عدة أن تجعل الرقوق النانوية تشغل مساحات ضيقة أو واسعة من ركازات مستوية أو منحنية وعند أي مستوي من التغطية بدءاً من شغل طبقة أحادية كاملة وحتى توزعات متفرقة منتظمة أو غير منتظمة. يبيّن الشكل (5c) مجموعة مرتبة من رقوق GaAs طبعت على صفيحة منبسطة من الزجاج وعلى ركازة محنية من البلاستيك، ابتداءاً من صفيف مزدحم متحرر عن رقاقة GaAs وباستعمال تقنية مشابهة للتي وردت في الشكل (2c). تشير أعمال حديثة إلى إمكان طباعة رقوق نانوية قابلة للف (الشكل: 3b) باستعمال أختام طرية.

يمكن استعمال هذه الطرائق وطرائق مشابهة تعتمد على الأختام الصلبة أو على شرائط قابلة للتحرير مع الرقوق النانوية اللاعضوية والعضوية لتعطي تشكيلات متباينة بما فيها هندسات "جسر" معلق و"رأس طبل" لمجاوبات في منظومات كهربائية ميكانيكية مكروية، ولعارضات واسعة المساحة مسطحة أو لملاءات مستمرة من العارضات ولبناء مواد هجينة غير عادية. يظهر الشكل (5d)، مثالاً عن الاحتمال الأخير، مراكماً من ثماني رقوق نانوية سليكونية، تفصلها عن بعضها أفلام بوليميرية شفافة، وذلك لتطبيق في البصريات



5 إعمال أختام مرنة (elastomeric) لتجميع قطعي من رقوق نانوية، مع أمثلة لصفيفات متفرقة مطبوعة ولتجمعات متعددة الطبقات.

(a) *صور مجهر إلكتروني ماسح SEM ملونة لعمود وحيد من ختم مرن (بالأزرق) يستعمل مظاهر انتعاشات هرمية لينة لتعطي التصاقاً قوياً في حالة الضغط (الحالة ON) وارتباطاً ضعيفاً في حالة التراجع (الحالة OFF). يسمح التحكّم بالضغط المطبق إبدالاً عكوساً بين الحالتين.*

(b) *قوة الالتصاق المقيسة في الحالتين ON وOFF تابعة لمعدّل التقشير. وتقود آثار لدنة في المادة المرنة إلى زيادة مطردة في الالتصاق مع المعدل وتظهر آثار واضحة في الحالة ON. وإن الخطوط المتقطعة هي وهمية لقيادة العين.*

(c) *صفيفات متفرقة من رقوق GaAs (المربعات السوداء الصغيرة) تجمعت بالطباعة على صفيحة زجاجية (الصورة الرئيسية) ثم لملاءة محنية من البلاستيك (الصورة الداخلية).*

(d) *صورة SEM لمقطع عرضي مؤلف من ركام من ثماني طبقات رقوق نانوية من السليكون (سُمْك كلٍّ منها قرابة 340nm) مفصولة بطبقات شفافة من بوليمير. الصورة الداخلية، مخطط أولي يعين المقطع الموضّح في الصورة الرئيسية (الصندوق الأحمر).*

الإلكترونية متعددة الطبقات حيث تدعم هذه الطبقات صفيفاً من الأدلّة الموجية لتسيير حزمة بالتحكّم في الطور. وتوجد الآن أدوات مؤتمتة بالكامل لتجميع هذه البنى وبنى مرتبطة بها، وبمعدل طباعة يصل حتى ملايين من الرقوق النانوية في الساعة، أو أكثر، وفقاً لأحجامها وتوضعاتها للعرض. ويمكن الوصول إلى معدل إنتاج يقارب 100% ودقة توضيع أفضل من مكرومتر في حالة رقوق نانوية سُمْكها قريب من السمك الذرّي، الذي يعود إلى رقوق نانوية من طبقة جزيئية واحدة، ولمساحات من مرتبة السنتمترات المربعة أو أكبر.

تطبيقات في الإلكترونيات وفي الإلكترونيات الضوئية

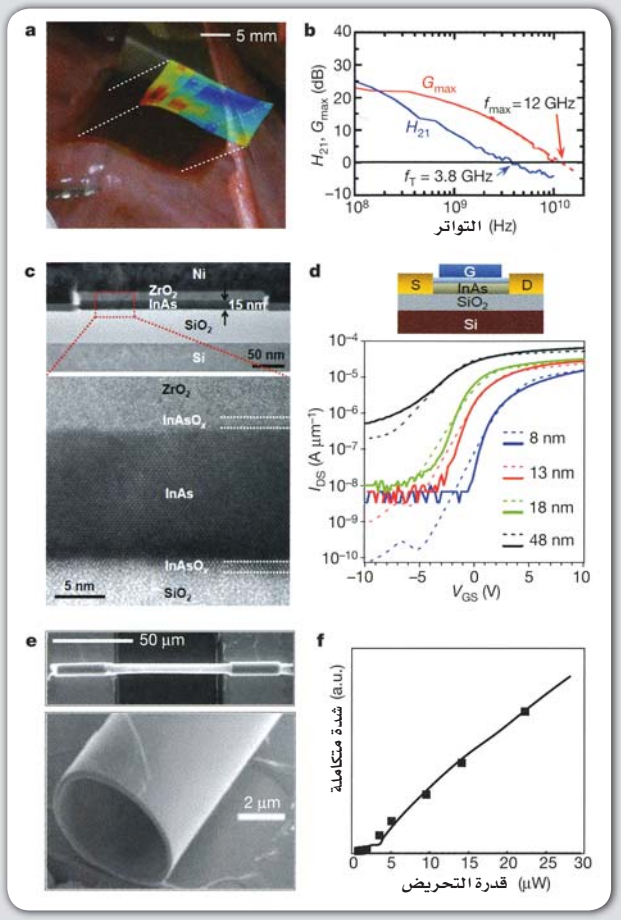
توفر تقنيات اصطناع وتجميع الرقوق النانوية المذكورة سابقاً مقترنة بالآثار الميكانيكية المتفردة بها وآثار الحصر الكمومي، إمكانات متفرقة مختلفة في الإلكترونيات. وإن أكثر المجالات المعتنى بها هي التطبيقات التي لا يمكن تناولها بتقانات أخرى للجسم الصلب الجرمي أو من الأفلام الرقيقة أو من المواد النانوية. وقد نشرت نبائط إيضاحية متقدمة من هذا النوع، ربما يكون أهمها في مجال الإلكترونيات المرنة والقابلة للمطّ. وتخدم الرقوق النانوية من السليكون، أو من GaAs أو من GaN في هذه الحالات خدمة مادة فعالة فوق ركازات من البلاستيك أو المطاط وتشكل في توضعات ميكانيكية وفي معماريات نانوية ثلاثية الأبعاد لتسمح بالحني أو المطّ أو الطي أو اللي وأنماط متطلبات أخرى من التشوه دون تحريض تخريب أو فتق في المادة.

تتضمن تقانة رقوق نانوية بازغة تستفيد من هذه السمات كلها اقتراناً حميماً للإلكترونيات مع النسج الحيوية بطرائق غير ممكنة بدونها. يظهر الشكل (6a) مثالاً من هذا النوع لنبيطة مكاملة حيوياً، يوجد فيها فلم رقيق مرن يدعم صفيفاً مترابطاً بينياً مكوّناً من 288 إلكتروداً محسّاً مضخماً ترابطاً تعددياً. تتضمن المنظومة أكثر من 2000 ترانزيستور من رقوق سليكون نانوية فوق ملاءة رقيقة من البوليميد مصوغة صوغاً مضاداً للماء وينفصل إلى طبقات غير متلفة على سطح شغافي (يبيّن هنا نموذجاً حيوانياً خنزيرياً)، كما في اللف الساراني SARAN. تنجز النبيطة مسحاً زمنياً ومكانياً للفيزيولوجيا الكهربائية بمستويات سرعة وميْز غير مسبوقين لأغراض تشخيصية في نهج الجراحة لمعالجة سوء النظم وأشكال أخرى من أمراض القلب. تظهر الصورة الداخلية الملونة في الشكل (6a) معطيات نموذجية. ويمكن لعناصر متعلقة بها أن تخدم خدمة أدوات جراحة متقدمة أو نبائط معالجة، وليس فقط في أمراض القلب بل أيضاً في علم الأعصاب وفي مجالات أخرى.

تتعزّز خواص الأداء المفتاحية في ترانزستورات الرقوق النانوية بوجود طبقات من أكسيد السليكون التي تعدّل سطوح السليكون لتسهّل نقل الشحنة. نتيجة لذلك، يكون لمثل هذه الدارات أداء يقارن بـأداء مشابهاتها من منظومات SIO، مع تيارات خرج مستنظمة وسرعات إبدالٍ تفوق مثيلاتها من منظومات معتمدة على أنصاف النواقل العضوية أو على أفلام من نقاط كمومية أو على أسلاك نانوية. ويمكن لبعض هذه الرقوق النانوية تزويدنا بمسار باتجاه إلكترونيات تواترات راديوية بلاستيكية. يبيّن الشكل (6b) عمل ترانزستورات من رقوق نانوية سليكونية على ملاءة من البولي إثيلين تيرفثالات عند تواتر من مرتبة الغيغاهرتز. يزوّد هذا النوع من التقانة منصة إلكترونيات بتواتر راديـوي ذات أهمية ليس بخواصها الميكانيكية غير العادية بل أيضاً بمقدرتها الكامنة بديلاً للمنظومات المألوفة، التي تتطلب رقاقات نصف ناقلة كركائز.

تتجاوز نبائط الرقوق النانوية المبينة في الشكل (6a وb) شروط عدم التوافق في المعالجة والتنمية بين المواد الفعالة عالية درجة الحرارة وركازات منخفضة درجة الحرارة، وذلك بالاستفادة من الميكانيك الموضح في الشكل (6a). تبدو ميزة حسنة مرتبطة بهذا في الإلكترونيات السائدة في حالات يصعب مكاملة النمو الهجين الطباقي أو الربط بالرقاقة بسبب عدم التوافق في ثوابت الشبكة البلورية أو بسبب عدم توافق معاملات التمدد الحرارية، على الترتيب. على سبيل المثال، يمكن ربط رقوق نانوية سليكونية مباشرة بركازات جرمانيوم وبالعكس، مع سطوح بينية ضيقة وناقلية كهربائية عالية عبر السطح البيني، وكان يعدّ تحقيق هذا تحدياً كبيراً بتقنيات ربط تقليدية مع الرقاقة. تمكن هذه المقدرات المتفردة تحضير نبائط إلكترونية ضوئية من الزمرة IV ونبائط نفقية كمومية حيث يكون فيها نقل الشحنة عبر السطح البيني أساسياً.

على المستوى نفسه من الأهمية في الدارات المتكاملة الرقمية، التي لا تتطلب نموذجياً نقلاً عبر السطح البيني، يوجد إمكان وصل رق نانوي من نصف ناقل مركب مع رقاقات سليكونية وصولاً حتى مستوى النبائط الفردية. حيث يمكن أن تساعد الحركيات العالية والناقليات الكهربائية في الرقوق النانوية من InAs، على سبيل المثال، تجاوز المحدوديات الأساسية في السرعة وفي مردودية الطاقة لترانزستورات سليكونية. يبيّن الشكل (6c) صورة مقطع عرضي بالمجهر الإلكتروني النافذ لترانزستور شُكّل من رق نانوي مصنع من مادة InAs مطبوع على رقاقة سليكونية باستعمال تقنيات وصفت في المقطع السابق وربطت ميكانيكياً كما في الشكل (1a). ويوضح الشكل (6d) الترانزستور تخطيطياً كما يعطي مميزات الجهد والتيار له. وتسمح آثار الحصر الكمومي الشديدة بزيادة عدة مراتب في معدلات التبديل مقارنة بالنبائط الجسمية، عن طريق الاقتران الكهراكدي المحسّن للبوابة بصورة رئيسة، ونقصان في التيارات العظمى الناجمة عن الانتقال من نقل ثلاثي الأبعاد إلى نقل ثنائي الأبعاد. يظهر الشكل (6d) ميلاً يتعلق



6 رقوق نانوية تعمل عمل مواد فعالة إلكترونياً وإلكترونياً ضوئياً بطريقة غير عادية

(a) إلكترونيات متكاملة حيوياً لتخطيط قلب كهربائي وظيفي عالي المَيْز في نموذج شغاف حيوان، مع قابلية تطبيقه على الإنسان. تتكون النبيطة من قرابة ثلاثمئة موقع قياس مستقل بعضها عن بعض، مع دارات تضخيم محلية ومازجات تستعمل بمجملها أكثر من 2000 ترانزستور رق نانوي من السليكون ضمن حماية ضد الماء على ملاءة من البوليميد. وتزود الصورة الداخلية الملونة تخطيطاً نموذجياً جمع باستعمال هذه النبيطة.

(b) ربح التيار من أجل الإشارة الصغيرة (H_{21}) وربح الاستطاعة (G_{max}) تابعان للتواتر لترانزستورات رقوق نانوية سليكونية عالية السرعة فوق ركازة من البلاستيك. تبيّن النتائج أن التواترات الحدّية هي قرابة 3.8GHz لربح التيار (f_T) و12 GHz لربح الاستطاعة (f_{max}). تقابل الخطوط المستمرة والمتقطعة حالة ربح الاستطاعة المقيسة والمحاكاة، على الترتيب.

(c) صور مقطع عرضي بواسطة مجهر إلكتروني نافذ لترانزستور يستعمل رقاً نانوياً من InAs متكاملاً تكاملاً هجيناً مع رقاقة سليكون مؤكسد، وذلك بتكبير متوسط (في الأعلى) وبتكبير عالٍ (في الأسفل).

(d) تيار المنبع والمصرف (I_{DS})) مقيس (الخط المستمر) ومحاكى (الخط المتقطّع) مستنظم على العرض تابعاً لجهد المنبع والبوابة (V_{GS})) لترانزستورات الشكل (c) مع سماكات رقوق نانوية من InAs تساوي 48nm، 18، 13، 8 يظهر أعلى البيان مقطع عرضي تخطيطي لترانزستور.

(e) صور بالمجهر الإلكتروني الماسح SEM لليزر بمجاوبة مكروية أسطوانية مع رق نانوي (سُمْكه قرابة 50nm، مع طبقتين من النقاط الكمومية، المصنوعة من InGaAs/GaAs، وشبيه شكلي من $In_{0.18}Ga_{0.82}As$ يعمل عمل بئر كمومي)، وذلك بتكبيرين: التكبير المنخفض (في الأعلى) والتكبير العالي (في الأسفل).

(f) شدة الخرج المكاملة تابعة لاستطاعة التحريض (لإصدار ضوء ليزر HeNe عند طول الموجة 632.8nm) لإصدار في نمط تجاوبي ضوئي بطول موجة 240.7nm 1.

بزيادة سُمْك الرق النانوي من 8 nm إلى 48 nm. وإن الطبقات بين السطحية من $InAsO_x$ المنماة حرارياً فوق الرقوق النانوية من InAs قبل مكاملة النبيطة، ذات أهمية كبيرة لإنقاص كثافات المصائد بين السطحية.

يمكن استعمال الرقوق النانوية المعدلة أيضاً لتحقيق هندسة نبائط مختلفة كلياً. على سبيل المثال، يظهر الشكل (6e) ليزراً ذا مجاوبة مكروية أسطوانية شكّل بالدحرجة المحرضة إجهادياً لرق نانوي مصنع من مادة InGaAs/GaAs مزروع فيها نقاط كمومية مرتبة ذاتياً كوسط ربح. وبما أنها شكّلت وهي في حالة معلّقة، تعطي الأنابيب مجاوبة ذات اقتران ممتاز مع منطقة شدة الحقل العظمى ومنطقة الربح. وينجم صغر التبعثر الضوئي وإعادة الاتحاد المخفضة عند العيوب السطحية عن السطوح الناعمة المنماة طباقياً وعن آثار الحصر الكمومي لحوامل الشحنة، على الترتيب. ويظهر بيان الشكل (6f) المميزات المقيسة لليزر المجاوبة المكروية. تمثل تصميمات النبائط اللامستوية بديلاً مثيراً للاهتمام للمجاوبات المكروية الأوسع اكتشافاً المعتمدة على البلورات الفوتونية وعلى الأقراص المكروية وعلى الأعمدة المكروية وهندسات أخرى. وتستكشف أيضاً هذه المعماريات النانوية ثلاثية الأبعاد وغيرها التي سمحت بها الرقوق النانوية بغية استعمالها في نبائط خزن الطاقة، والمحسّات، وعناصر أخرى.

خلاصات ونظرة للمستقبل

تـزوّد مجموعة القدرات الحالية المطورة حديثاً لاصطناع مواد رقوق نانوية وتجميعها، إذا ما أخذت مع الأهمية المضاعفة والمجالات المستهدفة للتطبيقات حافزاً ممتازاً لفعاليات متوسعة في هذا الحقل البازغ سريعاً. وإن المواضيع الممكنة لدراسات أساسية عديدة، تتضمن دراسات في الفيزياء والكيمياء وفي خواص النقل عند السطوح البينية الهجينة والمركمات المطبوعة للرقوق النانوية؛ وكذلك لظواهر تظهر عند الهندسات الرقيقة جداً حيث للحصر الكمومي ولآثار النفاد عند السطوح البينية وللتعديلات الجزيئية الممكنة أهمية؛ وكذلك للمميزات الحرارية والفونونية المعدّلة والتي تحكم جريان الحرارة في تشكيلات الرقوق النانوية؛ وأخيراً هندسة الانفعال للتعديل المكاني في خواص فجوة الطاقة.

إن أفضل المجالات الواعدة في العمل الهندسي هو الحصول على منظومات ذات سمات تشغيلية لا يمكن تحقيقها باستعمال مقاربات قائمة. إذ تتضمن الممارسة الإجمالية الحالية لمكاملة نبيطة تحرير رقـوق نانوية من مصدر الركـازة، يتبعه تجميع ووصـلات بينية داخلية نهائية. ويختلف هذا التتابع عن الميل السائد في الإلكترونيات التقليدية اختلافاً كبيراً، حيث تنتج نبائط إفرادية بأعلى مستوى ممكن من الوصلات الداخلية على رقاقة نصف ناقل ثم تقطع وتجمع بخطوة تعليب طرفية. وإن التحديات الهندسية وميزان الكلفة المرافقة لمقاربة الرقوق النانوية هي موضوعات هامة للبحث والتطوير عند التصنيع. وقد تتضمن عملية أمثلة مزيج من استراتيجيات يتم فيها، على سبيل المثال، تحقيق مستوى عالٍ من المكاملة على الرقوق النانوية قبل تحريرها وتجميعها، اعتماداً على تفاصيل التطبيق المستهدف.

وإن تقنيات الاصطناع ذات أهمية مركزية في جميع الفعاليات مستقبلاً. وتوجد حاجة إلى أفكار جديدة لتوسيع مجال الرقوق النانوية العضوية تتجاوز تلك المحققة بالطرائق المعروفة في التقشير والتنميش والطباقية والربط. وهي مثل أنواع المواد النانوية الأخرى، تبرز فيها أهمية الخواص التضاريسية والكيميائية لسطوح الرقوق النانوية. يمكن في بعض الحالات، تبني التقانات الموجودة لتعديل السطح بغية إيجاد بنى رقوق نانوية متعددة الطبقات، مثل $SiO_2/Si/SiO_2$، تُغرَّزُ فيها سطوح بينية مهمة وسطوح بينية تعزلها عن الوسط الخارجي. وفي حالات أخرى، يمكن تعريض هذه السطوح تعريضاً مناسباً للقيام بوظائف تخدم تطبيقات معينة كما في حالة المحسّات. إن التقدّم في مثل هذه المواضيع والمواضيع المتعلقة بها سيسهّل الوصول إلى تطبيقات تتضمن ولا تقتصر على مجالات الإلكترونيات والإلكترونيات الضوئية، مثل النبائط الكهربائية الميكانيكية النانوية، والبنى الفوتونية البلازمونية، وعناصر حصاد الطاقة الميكانيكية والحرارية، ومحسّات الضغط على المستوى المكروي والنانوي، ونبائط جريان مائعية مكروية ونانوية، ومحسّات جزيئية، ومصافي جزيئية، وهياكل لزرع الخلايا وغيرها. إن اصطناع رقوق نانوية عضوية مفيدة وظيفياً هو تحدٍّ دائم في الكيمياء، غير أنه يبدو الآن إمكان تناوله بتجميع بين سطحي وربط تصالبي إلى ركازات بلورية وحيدة. وقد يقود، في جميع أصناف المواد، فهم فيزياء النقل في الرقوق النانوية المشكّلة والموظفة كيميائياً بالكامل والمهندسة انفعالياً إلى ظهور خواص إضافية تقع أبعد مما يمكن تحقيقه بطرائق أخرى.

تبدو فرص تطبيقات منظومات مكاملة حيوياً واعدة على وجه الخصوص، حيث يمكن لمواد رقوق نانوية عديدة ولبنى منها أن تنضم في علبٍ تقيم وتحافظ على سطوح بينية لصيقة تحريكية مع الجسم. وفي مثل هذه الحالات، يمكن للرقوق النانوية العضوية واللاعضوية أن تعمل معاً، حيث تقوم الأولى عند السطح البيني الحيوي بوظيفة المحس، فتتبادل المواد وتشيّد قابلية توافق حيوي، في حين تقوم الثانية، المتوضعة بصورة منفصلة، بأغراض تفعيل ومعالجة معطيات وإرسالها وكذلك بتزويد الطاقة. وستكون قابلية هندسة استجابات "رخوة" لينة مرنة وتشكيلات ثلاثية الأبعاد منحنية من الرقوق النانوية مع معماريات نانوية مثلى فوق ركازات "شبيهة بالنسج" ذات أهمية بالغة في تحقيق متطلبات بعدية وميكانيكية تفرضها القيود البيولوجية. إن فهم الميكانيك النانوي لهذه التراكيب الرخوة القاسية الهجينة، حيث يمكن أن تختلف ثوابت المرونة بمعامل يقارب المليون أو أكثر، سيكون ضرورياً ليسمح بمواءمة مع النسج. إذ وضّحت أعمال حديثة متقدمة، على سبيل المثال، إمكان تشكيل إلكترونيات رقوق نانوية ذات خواص جلدية كما للبشرة. قد يكون الهدف النهائي الحصول على منظومات معتمدة على رقوق نانوية من صنع الإنسان تزودنا بوظائف مكاملة وبدون خروم كوظائف المنظومات الحية، أي ذات قدرة كامنة تنافس مثيلاتها من الرقوق النانوية الطبيعية التي نصادفها في علوم الحياة. تجعل مشاركة العلوم الأساسية الشيقة والاحتمالات الهندسية المتنوعة الخلاقة والنواتج ذات المقدرات الكامنة القوية المؤثرة معاً حقل أبحاث الرقوق النانوية مجالاً خصباً للدراسة مستقبلاً.

نُشر هذا المقال في مجلة ***Nature Vol 477, 1 September 2011***، ترجمة **د. فوزي عوض**، عضو هيئة التحرير.

- ج. أ. روجرز، قسم علوم المواد وهندستها، جامعة إيلينوي، أوربانا، إيلينوي *U.S.A 61801*.
- م. ج. ليغالي، جامعة ويسكونسون –ماديسون، ماديسون، وسكنسون *U.S.A 53706*.
- ر. ج. نازو، قسم الكيمياء ،جامعة إيلينوي، أوربانا، إيلينوي *U.S.A 61801*.

أخبار علمية

المعضلة الكمومية الكبرى

تبقى الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية، بعد خمسة وعشرين عاماً على اكتشافها، بدون تفسير مقنع. وتوضِّح آخر الدراسات على مخطط الأطوار الإلكتروني لمركبات أكسيد النحاس لماذا الأمر كذلك.

منذ بضع سنوات، أَلقيتُ محاضرة في ورشة العمل الصيفية التي أقامتها مؤسسة العلوم الوطنية لمدرّسي الفيزياء في المدارس الثانوية. كان عنوان الموضوع الذي حاضرت فيه "الناقلية الفائقة"، وكان معي روبرت لافلين Robert Laughlin، أحد المدربين المساعدين. ظهر في الجزء الأعلى من أول شريحة جهاز إسقاط بوب العبارة المخربَشَة، "نظرية كل شيء" وفَكَّرت، "آه، أيها الصبي، هانحن مع النموذج المعياري للفيزياء الجسيمية – من جديد". ولكنه بدلاً من ذلك، كَتَبَ تحت العنوان معادلة شرودينغر لأجسام عديدة، لتشمل جميع التآثرات بين الإلكترونات والنوى، وبذلك احتوت على فيزياء وكيمياء المادة العادية والنجمية بأكملها، بمجرد إدخال سبين الإلكترون.

وبطبيعة الحال فإن البلاء يكمن دوماً في التفاصيل، والمطلوب في هذه الحالة هو عملية جمع هائلة على إحداثيات الجسيمات وذلك للوصول إلى مقياس ما وليكن عدد أفوغادرو. وينجم عن عملية الجمع هذه حياة، ومناخ، وهاتف ذكي... وناقلية فائقة عند درجات حرارة عالية (T_C عالية). وقد بذلت مجموعتا بحث[1]، الأولى مؤلفة من جين وآخرين Jin *et al.* والثانية مؤلفة من هِيْ وآخرين He *et al.*، كل جهد ممكن لتوضيح الأصل المجهري للناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية بصورة وصفية. وهم يقومون بذلك عن طريق محاولتهم اكتشاف ألغاز مخطط الأطوار الإلكتروني لمواد معروفة مثل بِروفْسكيتات أكسيد النحاس. وضمن هذا المخطط الطوري (الشكل 1) تكمن حالات كمومية عديدة، تتميز بـ "نقطة حرجة كمومية" واحدة أو أكثر، في تماثل تقريبي للنقاط الحرجة التقليدية التي تميز الفصل بين الحالات الغازية والسائلة والصلبة للمادة الجهرية. أما كيف تسهم أو تتنافس الأطوار المختلفة في مخطط الأطوار الإلكتروني في توليد حالة النقل الفائق الناتجة فتشكل ما أسميته المعضلة الكمومية الكبيرة.

إن فيزياء أحاديات أكسيد "المعادن الانتقالية–3d"، مثل أحادي أكسيد النحاس، مدهشة. وحسب نظرية عصائب الطاقة التقليدية، يجب أن تكون كل هذه المركبات معادن. ولكنها ليست كذلك: إنها شكل من أشكال اللاناقل non–conductor يسمى عازل موت ذا المغنطيسية الحديدية المضادة، تكون فيه الكاتيونات المتجاورة (ذرات المعدن) محتوية على سبين واحد معاكس أو أكثر. كان هذا هو المعضلة الكمومية الكبيرة لجيلي، التي اتضحت شكلياً على يد جون هوبارد John Hubbard.

بل إن الأمور لتبدو أكثر اهتماماً عند النظر إلى ما يحدث لعصائب الطاقة العائدة للمادة نحاس–أكسجين لو أن هذه المادة طُعِّمت بمصدر "شائب" خارجي يعطي إلكترونات ذات شحنة سالبة تضاف إلى عصائب الطاقة، أو يعطي ثقوباً ذات شحنة موجبة تطرح منها. لقد جرب الباحثون هذه الطريقة مع مركَّبات لأكاسيد معادن انتقالية، لكنهم لم يجدوا شيئاً. وبعدئذ وجد جورج بيدنورز وألِكْس موللِر صدفة طبقات من أكسيد النحاس لانتانيوم المطعَّم بالباريوم فاكتشفا ناقلية فائقة عند درجات حرارة T_C عالية. إن وجود الباريوم أدخل ثقوباً في عصائب أكسيد النحاس، فحطم نظام المغنطيسية الحديدية المضادة البعيد المدى وخلق إما

[1] *Jin et al. Nature 476, 73-79 (2011)*، *He, R.U. et al. Science 331, 1579-1583 (2011)*

ناقلية طبيعية أو ناقلية فائقة، تبعاً لدرجة الحرارة وتركيز حاملات الشحنة. كما اكتُشِف سلوك مماثل أيضاً فيما بعد عندما استُعملت كاتيونات مانحة للإلكترونات. وكما أشار فيل أندرسون في عام 1986 وبشكل مقنع، بمجرد أن حظيت اكتشافات بيدنورز ومولر بصدى واسع، إلى أنه "ليس صدفة أن المادة الأصلية المضيفة المسؤولة عن الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية كانت عازلاً ذا مغنطيسية حديدية مضادة".

إن الضجة التي صاحبت النواقل الفائقة ذات الدرجة العالية من الحرارة والتي أحدثها علم المواد الحديث، قد أنتجت في أثناء ذلك وفرة من المخططات الطورية لدرجة الحرارة مقابل كثافة الشحنة الموضعية (التي أوجدها التطعيم و/أو الضغط)، والممثلة بالشكل 1. توجد سمة مشتركة في هذه المخططات وهي الخط $T = 0$ ، المرسوم كدالة لكثافة الشحنة الموضعية، والذي يبدأ عند قيم منخفضة تصف عازلاً ذا مغنطيسية حديدية مضادة ويصل في النهاية إلى نقطة حرجة كمومية، تظهر بعدها الناقلية.

إن آخر الجهود الهادفة لتحسين هذه الأوصاف النوعية نشرتها مجموعتا البحث السابقتان. ركزت مجموعة جين على أكاسيد النحاس المطعمة بالإلكترونات، في حين تناولت مجموعة "هِيْ" نظراءها المطعمة بالثقوب. ومهما يكن، فإن كلا المجموعتين تناولت موضوعها من وجهة نظر مختلفة عن الأخرى ووصلتا إلى وجهتي نظر مختلفتين إلى حد ما.

منذ فترة طويلة والتكهنات قائمة بأن بعضاً من بقية النظام المغنطيسي يتخلف عندما تُطَعّم أكاسيد النحاس الناشئة إلى حالة النقل أو النقل الفائق– أحب أن أسمي هذه البقايا الذواكر المولَعة للمغنطيسية الحديدية المضادة fond memories of antiferromagnetism. ومن حيث المبدأ، يمكن كشف مثل هذه الذواكر تجريبياً وقد تكون مربوطة بظاهرة تعرف بالفرجة الزائفة pseudogap. أعلن عن هذه الفرجة الزائفة، التي يتجلى وجودها بتشوهات في تجارب الإصدار الضوئي، عدد من مجموعات البحث، وبخاصة في أكاسيد النحاس المطعمة بالثقوب. وهي تتميز بدرجة حرارة انتقال بعد الدرجة التي تنبثق عندها الحالة شبه المعدنية metallic–like state، وتقع في أعلى منطقة من النقل الفائق التي هي على شكل قبة في مخطط الأطوار (الشكل 1). لكن القضية المركزية هي فيما إذا كان للفرجة الزائفة دور تنافسي أو دور تعاوني في إحداث ناقلية فائقة عند درجة T_c عالية. يدّعي "هِيْ" وآخرون أن لها دوراً تعاونياً، مشيرين إلى أن طاقة الفرجة الزائفة تصل إلى طاقة فرجة الناقل الفائق، لدى تقارب الاثنين في درجة الحرارة نحو ذروة القبة الفائقة النقل.

بخصوص أكاسيد النحاس المُطَعَّمة بالإلكترونات، فإن حالة وضع حدود لطور الفرجة الزائفة هي أقل وضوحاً مما هي في المواد المطعمة بالثقوب. وعليه، فإن جين وآخرين ركزوا على المظهر المشترك في كلتا الجملتين، ألا وهو كون المقاومة في حالة النقل العادي تظهر تبعية لدرجة الحرارة تحت تربيعية أو شبه خطية شوهدت في مناطق واسعة لكثافة الشحنة الموضعية فوق قبة النقل الفائق. إنني أتذكر سماعي ملاحظة فيل أندرسون بأن التبعية الخطية لمقاومة حالة النقل العادي على درجة الحرارة كانت عادية مثل ظهور الناقلية الفائقة. هذه التبعية على درجة الحرارة في المعادن العادية تكون وفق العلاقة T^2 .

يعزو جين وآخرون هذه التبعية الخطية لدرجة الحرارة إلى تبعثر "ترجُّح سبين spin fluctuation" الحاملات، وخمنوا بأن هذا التبعثر مسؤول أيضاً عن آلية تزاوج الحاملات carrier pairing التي تشكل أساس الناقلية الفائقة في أكاسيد النحاس الطبقية (ذات الطبقات). كما أشاروا إلى سلوك مشابه في أملاح بيتشغارد العضوية الطبقية، وهي مركبات يمكن تغيير كثافة الشحنة الموضعية فيها بتطبيق ضغط سائل سكوني hydrostatic pressure، بدلاً من تطعيم مباشر. نتج من هذا السلوك حالة نقل فائق عند ضغط قدره 10 كيلو بار وحتى درجة حرارة حرجة T_c تساوي 1.2 كلفن، وكانت تبعية المقاومة لدرجة الحرارة في حالة النقل العادي وعند درجات حرارة أعلى تحت تربيعية.

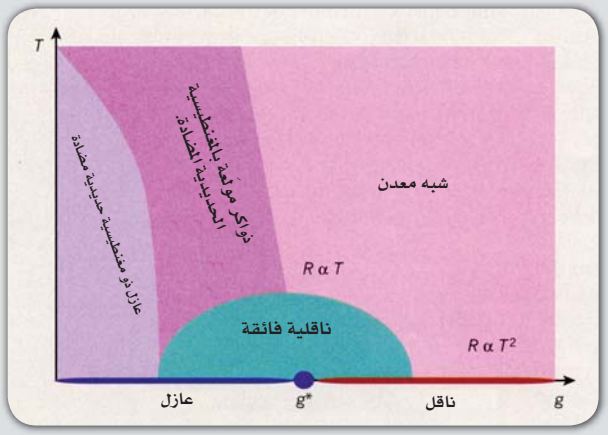
لذا، فهناك بالتأكيد أدلة ظرفية بأن درجة الحرارة الحرجة العالية T_c تحدثها ترجّحات السبين، ولكن هل هي مقنعة؟ أو بعبارة أخرى، يبدو أنه توجد "بندقية يخرج منها الدخان" هنا، ولكن ماذا كان ذاك الذي ضغط على الزناد؟ ما هو بالضبط ترجح السبين؟ يمكن للمرء أن يفكر بأنه ينبغي أن يوجد نموذج على المستوى المجهري يمكن للمرء أن يحسب من خلاله معامل التناسب في صيغة درجة الحرارة الخطية التي لخصها جين وآخرون. على كل حال، وبالرجوع إلى قائمة المراجع في ورَقَتَيْ "هِيْ" وجين تبين عدم وجود مصدر لمثل هذا النموذج، ولا التصفح في العديد من الكتابات الحديثة على النواقل الفائقة غير التقليدية دلّ على أنها احتوت على ذلك. إن ما يفتقر إليه الإطار النظري للناقلية الفائقة في أكاسيد النحاس ذات الطبقات في الوقت الحاضر هو مكافئ لأداة إلياشبِرْغ–ماكميلان، الذي يمكن استعماله لتعيين "post–dict" درجة حرارة الانتقال لنواقل فائقة بسيطة عند T_c منخفضة باستعمال تآثر إلكترون–اهتزاز شبيكة (تآثر إلكترون– فونون). يمكن إجراء هذا الحساب مباشرة من أجل الألمنيوم أو النيوبيوم، على سبيل المثال، باستعمال طريقة حاسوبية تعرف بالنظرية الدالية للكثافة density functional

theory، ولكن يمكن استعمال المنهجية نفسها، من حيث المبدأ، لمعاملة تبعثر ترجّح السبين.

وبالإشارة إلى الاقتران إلكترون– فونون، يجب أن أؤكد أنَّ معظم أكاسيد النحاس الطبقية، إن لم تكن كلها، تظهر مفعول النظير isotope effect[2]. ويحدث هذا عندما يُستبدَل بأحد العناصر عنصر آخر أثقل أو أخف منه، يحتوي في نواته على عدد مختلف من النترونات. هذا الإحلال يغير "شدة" التآثر إلكترون– فونون، ويسبب انزياحاً في T_c . إضافة إلى ذلك، فقد أظهرت نماذج انعراج النترونات شذوذات بالقرب من T_c ، في تلك الحالات التي كانت تقاس فيها. إن كلا هذين المفعولين يقترحان بقوة أن الفونونات متورطة بطريقة ما مهما يكن ما تطبقه فيزياء تزاوج الحاملات على النواقل الفائقة ذوات درجة الحرارة T_c العالية.

لنعد إلى أحاديات أكسيد المعادن الانتقالية –3*d*. فمعظم المعادن الأثقل (المنغنيز، الحديد، الكوبالت، النيكل، النحاس، التوتياء) يمكن أن نجدها في "لافلين كل شيء everything laughlin"على شكل ملح صخري مكعبي. والاستثناء الوحيد هو أحادي أكسيد النحاس، الذي يظهر كفلز التيلوريت، والذي كان قد أزال البنية البلورية. طَبَّقْتُ النظريةَ الدالية للكثافة كي أتقصّى استقرارية أحادي أكسيد النحاس "الملح الصخري المكعبي"، ووجدته غير مستقر نهائياً، ويعاني بسهولة من تَشَوّهٍ أحادي المحور. إن عدم استقرار كهذا ينتج من الرابطة نحاس– أكسجين المتردية كثيراً، فيعكس في الواقع تآثراً قوياً بين الإلكترون والفونون، أكبر بكثير مما هو موجود في أحاديات أكاسيد المعادن الانتقالية الأخرى. وما هذا إلا نوع من التآثر، الذي افترضه في الأصل ألكس موللر Alex Müller، واستنتج أنه قد يؤدي إلى ناقلية فائقة عند درجة حرارة عالية بصورة غير عادية في أكاسيد النحاس. فهل كان على صواب، بعد كل هذا؟

إذن، هل تنبثق الناقلية الفائقة بـ T_c عالية بسبب "اهتزازات الشبيكة البلورية" أو "السبينات النشطة"؟ وهل تتنافس هذه التأثيرات أم تتضافر؟ إنني أظن أنها الأخيرة. وفي نهاية المطاف ينبغي للمرء أن ينظر إلى أبعد من أساليب المصطلحات والحجج الحالية القائمة على التشابه، والانتقال إلى صياغة لتزاوج الحاملات عند درجة T_c عالية يمكن استخدامها لحساب T_c استناداً إلى مبادئ أولية من قريب أو من بعيد، مثلما يمكن عمله اليوم من أجل نواقل فائقة ذات درجة T_c منخفضة. نشرت حديثاً ورقة من قبل لي تاكون Le Tacon وزملائه، تحاول وضع نموذج حسابي لتزاوج تحدثه ترجّحات السبين spin–fluctuation–mediated pairing، يقدم بداية مشجعة. وفي هذا السياق، قد يكون من المناسب أن أقتبس رداً على ملاحظات ديفيد ميرمين، عندما كان يستفسر في كلية الفيزياء حين كان طالباً في الدراسات العليا بجامعة هارفرد، حول غرابة اللغز الكمومي الأول ألا وهو التشابك. فكان الجواب بكل بساطة "اخْرسْ واحسِبْ" لا أكثر.

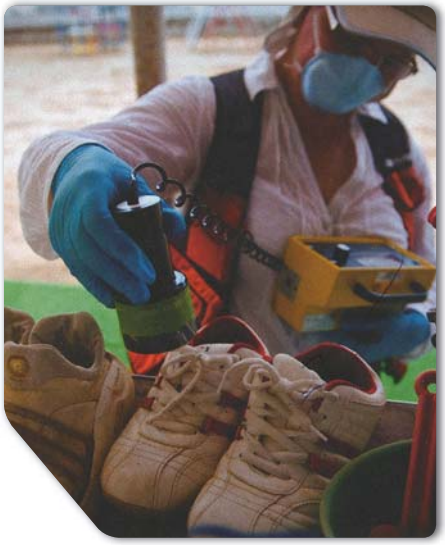


مخطط الأطوار الإلكتروني العام للنواقل الفائقة من أكسيد النحاس

يبين المخطط الأطوار الرئيسة الملاحظةَ كدالة لدرجة الحرارة (T) وكثافة الشحنة المحلية (g)، التي أدخلت إما عن طريق التطعيم أو الضغط: وهذه الأطوار هي من اليسار إلى اليمين، عازل ذو مغنطيسية حديدية مضادة، وحالة تبدأ الحاملات منها بالحركة ولكن "تتذكر بحنان" أصلها حديدي المغنطيسية المضادة (وهذا هو الموضع الذي توجد فيه ظاهرة الفرجة الزائفة)، وطور شبه معدن مقاومته (R) تتغير بصورة خطية إلى تربيعية مع درجة الحرارة عندما تتزايد g. تقع هذه الأطوار فوق "قبة فائقة النقل" تبقى حدودها عرضة للنقاش وتُعدُّ حيوية لفهم أصل الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية. عند درجة حرارة الصفر، وعندما تزداد g وتصل إلى "نقطة حرجة كمومية" (g^*)، تتوقف أكاسيد النحاس عن أن تكون عوازل وتصبح نواقل. تحاول الدراسات التي قام بها جين وآخرون وأيضاً هي وآخرون أن تقدم فهماً عميقاً للوصول إلى معرفة أفضل لمخطط الأطوار هذا.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 476, 4 August 2011.***، ترجمة **د. محمد قعقع**، رئاسة هيئة التحرير.

مفعول النظير هو تغير درجة حرارة انتقال نظائر عنصر فائق النقل بشكل يتناسب مع عكس الجذر التربيعي للكتلة الذرية. المترجم.



تأثيرات فوكوشيما ما تزال غامضة

الفوضى والبيروقراطية تعوّقان تقييم الأزمة النووية. بقلم ديفيد سيرانوسكي في طوكيو وجوف برومفيل من لندن.

تحظى المدارس في مدينة فوكوشيما بأولوية قصوى في بذل جهود إزالة الآثار

في السابع والعشرين من تموز/يوليو، بدأ تاتسوهيكو كوداما TatsuhikO Kodama إفادته أمام البرلمان الياباني بما كان يعرفه. وبصوت راسخ وواضح قال: "إن مركز النظائر المشعة الذي يترأسه في جامعة طوكيو قد كشف مستويات مرتفعة من الإشعاع في الأيام التي أعقبت انهيار المفاعلات الثلاثة في محطة الطاقة النووية في فوكوشيما دايتشي Fukushima Daiichi". ولكن عندما تعلّق الأمر بما لم يكن معروفاً، فقد انتابه الغضب، وقال بصوت مرتفع: "لا يوجد تقرير نهائي من شركة طوكيو للطاقة الكهربائية أو من الحكومة يحدّد تماماً كمية المواد المشعة التي انطلقت من فوكوشيما".

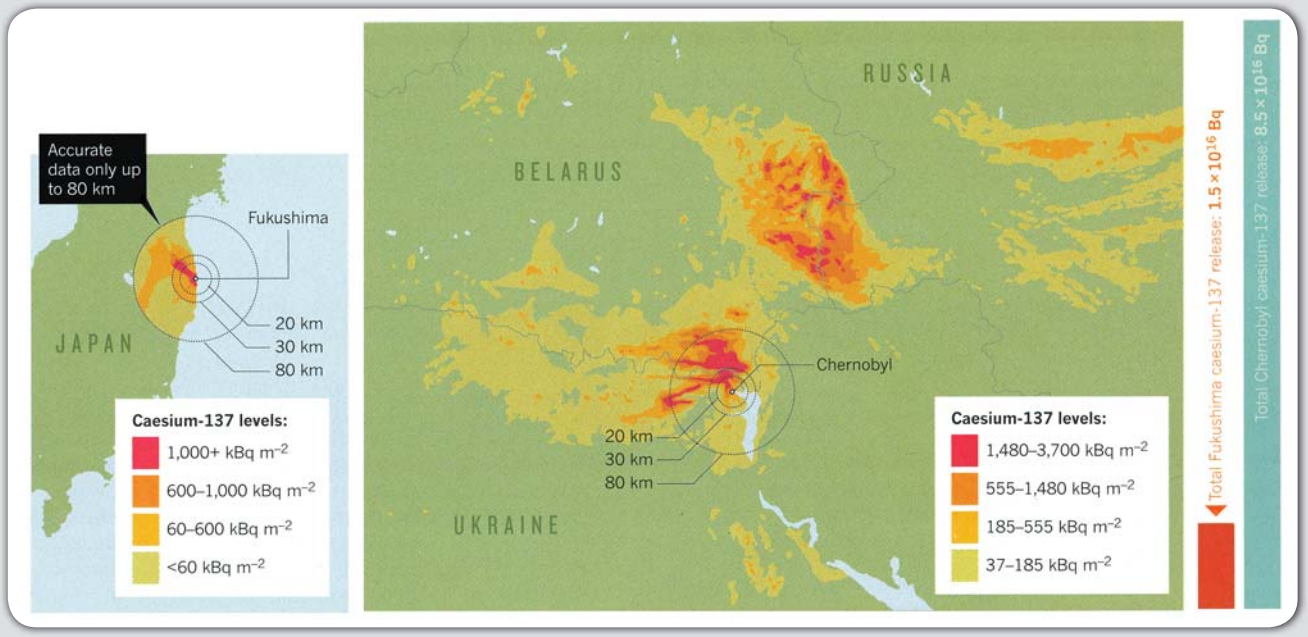
وُضع حديث كوداما الملتهب على موقع اليو تيوب في أواخر تموز/يوليو، وتلقى 600000 تعليق، مما جعله واحداً من أكثر اليابانيين المنتقِدين للحكومة، غير أنه ليس وحيداً. فبعد ستة أشهر تقريباً من الزلزال والتسونامي اللذين سببا الانهيارات، قال باحثون آخرون أنهم لا يزالون يفتقدون إلى معطيات حاسمة لفهم الكارثة، ووجدوا أن المعوقات والبيرقراطية تعطل الجهود الرامية إلى جمع المزيد من المعطيات. ويُحذّر بعض الباحثين من أن غياب التنسيق الجيد سيؤجل إزالة الآثار، وسيضيّع فرصة قياس تأثيرات أسوأ حادث نووي في عقود عديدة. فقد أصبح كوداما وقلّة من العلماء اليابانيين محبطين لدرجة أنهم بدؤوا بحملة شعبية من أجل جمع المعلومات وتسريع عملية التنظيف.

منذ وقوع الكارثة، بدأت كل من شركة طوكيو للطاقة الكهربائية والحكومة اليابانية حملتهما بإجراء القياسات الإشعاعية، ولكن فقط مؤخراً بدأت تتكشف الصورة الكاملة من تداعيات فوكوشيما. ففي نهاية شهر آب/أغسطس، أصدرت وزارة العلوم خريطة تبين التلوث حول المحطة ضمن دائرة نصف قطرها 100 كيلومتر. وبينت دراسة 2200 موقع في قطاع يمتد مسافة تقارب 35 كيلومتراً شمال غربي المحطة أنّ مستويات التلوث بالسيزيوم-137 تزيد على 1000 كيلو بكريل في المتر المربع. (بعد كارثة تشرنوبيل عام 1986 في أوكرانيا، قامت السلطات السوفياتية بإخلاء دائم لمنطقة زاد فيها الإشعاع على 1480 كيلو بكريل في المتر المربع. أما في اليابان، فقد تجاوز قطاع الإشعاع العالي منطقة الإجلاء القسري الأصلية، بل امتدّ إلى منطقة تتجاوز منطقة الإخلاء المزمع تحقيقها والتي لم يحدث إخلاؤها التام حتى الآن).

تقديرات التعرّض

نشرت وكالة الأمان الصناعي والنووي اليابانية تقديرات جديدة لمجموع الإشعاع الصادر عن الحادث، معتمدة على نماذج تجمع بين القياسات وما تم التعرف عليه من آثار تدمير للمفاعلات. تشير أحدث الأرقام المقدمة للوكالة الدولية للطاقة الذرية في حزيران/يونيو إلى أن مجموع ما حمله الهواء من السيزيوم-137 يصل إلى 17% مما صدر عن مفاعل تشرنوبيل (انظر الخريطة). في حين تقدر الحكومة أن مجموع الإشعاع الصادر يساوي 7.7 x 10^{17} بكريل، أي بين 5 و6% مما صدر عن مفاعل تشرنوبيل.

يقول جيرالد كيرشنر GERALD KIRCHNER، وهو فيزيائي يعمل في المكتب الفدرالي الألماني للوقاية الإشعاعية في برلين: "ما زالت هناك أسئلة أكثر من الأجوبة المتوفرة". إن مستويات الإشعاع العالية تجعل القياس المباشر للأضرار التي لحقت بقلب المفاعل



مقارنات حول السقط النووي

تظهر المعطيات الجديدة من فوكوشيما سويات للسيزيوم-137 تقارب تلك التي حدثت في تشرنوبل، ولكن في مناطق أصغر بكثير .

المدمَّر أمراً مستحيلاً. ربما يكون الارتياب الأهم محصوراً تماماً بكمية الإشعاع الذي صدر في الأيام العشر الأولى بعد الحادث، عندما تعذر تنفيذ القياسات بسبب أضرار المحطة. إن تلك البيانات، وبالاقتران مع معلومات الأرصاد الجوية، تسمح للعلماء بنمذجة السحابة الإشعاعية ووضع تنبؤات أفضل فيما يخص التعرض البشري، وهذا ما يقوله كيرشنر.

تشير قياسات عديدة إلى أن بعض الذين تمّ إجلاؤهم تلقى جرعة عالية على نحو غير عادي. وبعد خمسة أيام من بدء الأزمة، قام شينجي توكونامي SHNJI TOKONAMI، خبير الصحة الإشعاعية في جامعة هيروزاكي، ومعاونوه برحلة مسارها عدة مئات الكيلومترات من هيروزاكي إلى مدينة فوكوشيما، نفذوا خلالها قياسات إشعاعية على طول المسار. تشير النتائج إلى أن الذين تم إخلاؤهم من نامي NAMIE، وهي مدينة تبعد حوالي 9 كيلومترات إلى الشمال من المحطة، قد تلقوا ما لا يقل عن 68 ملّي سيفرت من الإشعاع خلال مغادرتهم المدينة، وهو أكثر بثلاث مرات من الحدّ السنوي الذي تقره الحكومة (HTTP://DX.DOI.ORG/IO.1038/ SREP00087).

ما تزال الجرعة آمنة، هذا ما يقوله توكونامي. وتضيف جيري توماس Gerry Thomas، خبيرة الصحة الإشعاعية في الكلية الملكية بلندن، أن التعرضات الإشعاعية من فوكوشيما كانت أقل بكثير من تلك التي نجمت عن تشرنوبيل. وتقول: "شخصياً، لا أعتقد أننا سنرى أي تأثيرات صحية ناتجة من الإشعاع، غير أننا نتوقع رؤية تأثيرات على الحالة النفسية للسكان".

لكن كوداما يقول أن سكان نامي ومدن أخرى ضمن المنطقة التي تمّ إخلاؤها كان يمكن أن تتم حمايتهم بشكل أفضل لو أَفرجت الحكومة عن نماذجها المتعلقة بالسحابة الإشعاعية بشكل مبكر. لقد قال الموظفون الرسميون أنهم حجبوا التقديرات لأن البيانات التي اعتمدت عليها هذه التقديرات كانت شحيحة.

مواقع ساخنة

ثمة تساؤلات عديدة مازالت بدون أجوبة حول الإشعاع الحالي في البيئة. فيقول تيموثي موسوو Timothy Mousseau، عالم البيئة في جامعة جنوب كارولينا بكولومبيا الذي سافر مؤخراً إلى منطقة فوكوشيما للقيام بمسوحات بيئية: "إن التضاريس المحيطة بـ فوكوشيما ذات مرتفعات شديدة الانحدارات، كما أن مياه الأمطار جرفت السقط الإشعاعي إلى بقع ساخنة". ويضيف كين بوسلر Ken Buesseler، وهو مختص في علم المحيطات من معهد الأبحاث البحرية في Woods Hole في ماساشوستس. تستمر المحطة الموجودة على ساحل المحيط الهادئ بنشر نكليدات مشعة ضمن المياه. وأثناء رحلة بحرية في منتصف تموز/يوليو، التقط فريقه إشعاعاً منخفض المستوى في نقطة تبعد أكثر من 600 كيلو متر عن المحطة. ففي بعض الأحيان يمكن للتيارات المحيطية أن تركّز

السقط الإشعاعي في بقع ساخنة مثل تلك التي تحدث على الأرض، مما يجعل التأثير على الحياة البحرية صعب القياس.

يقول بعض الباحثين إن جمع مزيد من البيانات هو نضال بحدّ ذاته. ويقول توكونامي إن الموظفين الرسميين المحليين المرهقين غير راغبين بالسماح لفريقه بالدخول إلى المنطقة خشية تحميلهم عبئاً إضافياً في المستقبل. ويضيف بوسلر وموسوو أن البيروقراطية اليابانية الشهيرة تُصعّب على الباحثين الغرباء إجراء دراساتهم. كما يشكل الجانب المالي صعوبة إضافية. ولاستكمال رحلته، استعان بوسلر بمؤسسة غوردون وبيتي مور للحصول على منحة مقدارها 3.5 مليون دولار أمريكي. كما استعان موسوو بشركة تقانة حيوية لدعم رحلته مالياً.

لقد تنامى الإحباط لدى بعض العلماء اليابانيين نتيجة الاستجابة الرسمية البطيئة لدرجة أنهم اشتركوا مع المواطنين من أجل جمع البيانات وإزالة التلوث. ويقول شين أيدا Shin Aida، وهو عالم حاسوب في جامعة تويوهاشي للتكنولوجيا: "نظراً لإمكانية التغير الكبير في مستويات الإشعاع عبر مسافات قصيرة، فقد كانت الخرائط الحكومية الأخيرة رديئة لدرجة أنه لا يمكن استخدامها عملياً من قبل السكان المحليين". فيقترح أيدا محاولة لرسم خرائط أكثر تفصيلاً عن طريق "الاستشعار التشاركي participatory sensing". وعن طريق نظير لنظير في الموقع 311Help (http://31Ihelp.com). خطّط أيدا للوصول إلى أشخاص يجمعون العينات من منازلهم أو مزارعهم ويرسلونها إلى مركز قياسات إشعاعية، حيث يتم إسقاط النتائج على خريطة.

قام كوداما، في الوقت نفسه، بإسداء المشورة للمقيمين في ميناميزوما، وهي مدينة ساحلية تقع في منطقة الإخلاء القسري. خصصت ميناميزوما مبلغ 12.5 مليون دولار للتعامل مع السقط النووي، وفي الأول من أيلول/سبتمبر افتتحت مكتباً لتنسيق الجهود. وقال واحد من كبار المسؤولين، يوشياكي يوكوتا Yoshiaki Yokota، وهو عضو المجلس المحلي للمدرسة: "إننا بحاجة إلى معرفة أكثر الطرائق كفاءة وفعالية لتخفيض الخطر". إن المهمة الأولى هي جمع التربة ودفنها في المدارس. فتعلّم المقيمون دمج التربة أولاً في رقائق من الفينيل أُضيف إليها الزيوليت الذي سيربط السيزيوم ويحول دون تسرّبه إلى المياه الجوفية.

في منطقة أبعد في الشمال الغربي، في مدينة دات، توجهت جهود إزالة التلوث بدءاً من المدارس وحتى مزارع الخوخ القريبة. وفي الحادي والثلاثين من آب/أغسطس، بدأ قرابة 15 متخصصاً قشط السنتمتر العلوي من تربة المزارع بالاستعانة بمغرفة أو آلات قشط، مستدركين إلحاق الضرر بجذور أشجار الخوخ، آملين من ذلك تخفيض الإشعاع بما يكفي لإنتاج الفواكه القابلة للتسويق في العام القادم.

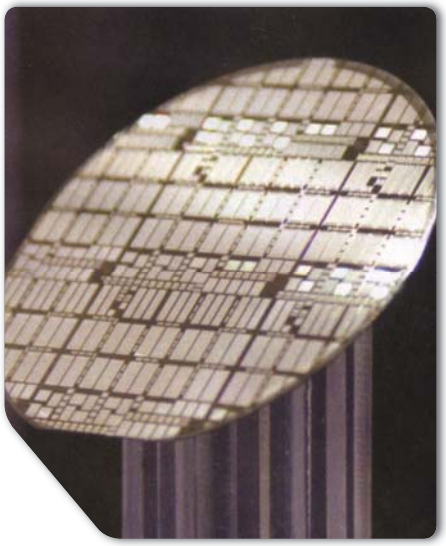
بعد بداية بطيئة، أطلقت الحكومة المركزية مشروعين رائدين لإزالة السقط النووي في المنطقة. يركز أحد هذين المشروعين على المناطق المشابهة لـ ميناميزوما، حيث يقل الإشعاع الوسطي السنوي عن 20 ملّي سيفرت لكن بوجود بعض البقع الساخنة. والمشروع الثاني سينظر إلى 12 موقعاً لإشعاعٍ يزيد على 20 ملّي سيفرت سنوياً.

يأمل الباحثون في أن تنتهي الفوضى المفاجئة التي أعقبت الأزمة إلى تشكل عاجل لصورة أكثر وضوحاً حول التداعيات والخسائر. وتعمل "لجنة الأمم المتحدة العلمية" المعنية بتأثيرات الإشعاع الذري The United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)، التي أجرت دراسات عديدة بعد كارثة تشرنوبيل، بالتشارك مع الموظفين الرسميين اليابانيين لجمع رزمة البيانات التي تجمعت منذ بدء الأزمة. كما تقوم هذه اللجنة أيضاً بدراسة التأثيرات البيئية للحادث والتعرّضات التي يخضع لها العمال والذين تمّ إجلاؤهم، بهدف إنجاز تقرير مؤقت بحلول الصيف القادم.

يقول موسوو، الذي عمل بشكل مكثف على كارثة تشرنوبيل: "تشكل عملية إزالة السقط النووي أولوية قصوى، لكن فوكوشيما تشكل فرصة فريدة للبحث أيضاً، وذلك لأن السرية السوفياتية غيبت نافذة حاسمة في دراسة الأزمة الأوكرانية". ويقول أيضاً: "تتيح لنا اليابان فرصة حقيقية للحفر في جحر الخفافيش، والحصول على فهم عملي عميق".

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 477, 8 September 2011***. ترجمة **د. عادل حرفوش**، رئيس هيئة التحرير.

تقارب الألماس والسليكون



يمكن للحواسيب الكمومية المعتمدة على الألماس أن تعمل بالفعل في درجة حرارة الغرفة بمساعدة ربط ضوئي، لكن تركيبها (بناءها) يمثّل تحدّياً. وربما يكون كربيد السليكون، المُستَخدَم على نطاق واسع في الإلكترونيات، حلاً للمعضلة.

رُقاقة كربيد السليكون: *إن عرض كويهل ومساعديه بتّات كمومية سبينية في كربيد السليكون –تُستعمل على نطاق واسع لإنتاج النبائط الإلكترونية، كما هو الحال في هذه الرقاقة– يمنح فرصة مثيرة لتطبيق تقنيات صناعية وتجارية للحصول على حواسيب كمومية باستعمال هذه التقنية على نطاق واسع في الأيام القادمة.*

تقدّم الحواسيب الكمومية بشكل مثير إمكانية الحصول على حواسيب تقليدية خارقة الأداء من أجل إنجاز مهام صعبة مثل حلّ الكودات –إذ إن سرعات المعالجة سترتفع غالباً بشكل أسّي مع عدد البتّات الكمومية من المعلومات المتضمَّنة. وقد ولّدت البتّات الكمومية المعتمدة على الألماس إثارة بسبب أن الزمن الممكن لاحتفاظها بحالتها المنطقية (زمن الترابط الكمومي) هو أطول بكثير من الزمن الذي تستغرقه لتنفيذ عمليات البتّات الكمومية، حتى في درجة حرارة الغرفة. وعلاوة على ذلك، فإنه يمكن قراءة البتّات الكمومية بوسائل ضوئية، مما يسمح لها بالاندماج عملياً مع منظومات الاتصال الكمومية الفوتونية. ومع ذلك، ما تزال صناعة هذه الحواسيب مكلفة وفي مراحلها الأولى، أي أن إمكانية التوسّع باتجاه معالج كمومي واسع الانتشار يستعمل الألماس تبقى أمراً غير مؤكّد.

يصف كويهل Koehl ومجموعته البتّات الكمومية في كربيد السليكون التي تمتلك على نحو رائع خواص مماثلة للبتّات الكمومية المعتمدة على الألماس. ونظراً لأن كربيد السليكون يُعدُّ نصف ناقل ويُستعمل على نطاق واسع في الإلكترونيات العالية الاستطاعة، فإن هذه النتيجة تدعم التوجهات نحو التوسع للوصول إلى منظومات كبيرة.

إن كربيد السليكون هو عبارة عن مركّب من السليكون والكربون اللذين يوجدان في العديد من البنى البلّورية المختلفة، أو الأنماط المتعددة؛ وهو يوجد في أغلب الأحيان بشكل صلب، مثل كربورندم carborundum (مادة ساحجة). ويرجع الاستعمال الواسع لكربيد السليكون في الإلكترونيات العالية الاستطاعة (انظر الشكل 1) إلى ناقليته (موصليته) الحرارية العالية، ومقدرته على مقاومة (تحمّل) الحقول الكهربائية العالية قبل أن يتحطّم، وكثافة التيار العظمى التي يسمح بمرورها. وتنتج الخاصّيتان الأخيرتان من فرجته العُصابية الكبيرة التي تقدَّر بـ 3 إلكترون فولط تقريباً، مقارنة مع الفرجة العُصابية للسليكون التي تقدَّر بـ 1 إلكترون فولط (والفرجة العُصابية هي الطاقة اللازمة لتوليد إلكترونات النقل "التوصيل" في المادة).

درس كويهل ومجموعته أنماطاً متعددةً من كربيد السليكون تعُرف بالصيغة 4H-SiC، والتي لها عدد من العيوب التي تحدث بشكل طبيعي وتُعرف باسم ثنائيات الفراغ divacancies. تتمثّل هذه العيوب في ذرّة سليكون مفقودة مجاورة لذرّة كربون مفقودة في البلّورة. وتتشارك هذه العيوب بشكل كبير مع عيب في الألماس يُدعى مركز الفراغ النتروجيني nitrogen-vacancy center، الذي يتشكّل عندما تتوضّع شائبة النتروجين مجاورةً لذرّة كربون مفقودة في الشبيكة الألماسية. يشكّل كلا النمطين من العيب منظومة متعددة الإلكترون تمتلك عزماً زاوياً كلياً (أو سبيناً) يمكن استعماله كبتّة كمومية. وقد أظهر الباحثون أن الأنماط المتعددة من ثنائي فراغ كربيد السليكون silicon carbide divacancy يمكن أن تسلك سلوك بتّات كمومية قابلة للربط ضوئياً، مع بعض مستويات تمتلك أزمنة ترابط طويلة في درجة حرارة الغرفة، تماماً مثل تلك المتوفرة في الألماس.

ويُعدُّ أيّ إلكترون وحيد في حقل مغنطيسي ساكن بمثابة بتّة كمومية مثالية، لأن توجّهه السبيني (وعزمه المغنطيسي الصغير جداً المقابل) يصطف إما بشكل موازٍ أو مضاد التوازي مع الحقل، وهو بذلك يكوّد (يرمّز) حالتين منطقيتين هما "0" أو "1" لبتتين كموميتين تُستعملان في الحوسبة. وتُعدُّ البتّة الكمومية الخالية النتروجين

الألماسية أكثر تعقيداً بعض الشيء، مع إلكترونات عديدة منضمة إلى عيب البلّورة لتشكّل سبيناً كلياً يوافق القيمة 1 (في واحدات h، وهي قيمة ثابت بلانك المخفّضة). تقود هذه القيمة إلى ثلاث حالات سبينية ممكنة في حقل مغنطيسي (0 أو ±1)، لكن اثنتين من هذه الحالات الثلاث يمكن اختيارها لتشكّل الحالات المنطقية للبتّة الكمومية. وإن الفراغات الثنائية في كربيد السليكون معروفة أيضاً بأنها تشكّل حالات متعددة الإلكترون مع سبين يوافق القيمة 1 يمكن أن يُعالج ضوئياً، ويبيّن بالتالي أن إمكانية الحصول على بتّات كمومية سبينية متشابهة في هذه المادة كانت فرصة مثيرة.

وفي تجربتهم، قاس كويهل ومجموعته السبين في الفراغات الثنائية في كربيد السليكون المعروف بـ 4H-SiC باستعمال تقنية ضوئية –التألق الضوئي– تُستعمل أيضاً لقياس البتّات الكمومية في الفراغ النتروجيني الألماسي. تتضمن التقنية توجيه ليزر على عيّنة وجمع الضوء المتفلور الصادر. وتتعلّق فلورة الفراغات الثنائية في كربيد السليكون، أي الحاصلة في الفراغ النتروجيني الألماسي، بحالتهما السبينية، وبالتالي فإنه من الممكن قراءة الحالة الكمومية الضوئية للبتّات. واستعان المؤلفون بعد ذلك بتقنية أخرى تُستعمل للتحكم بالبتّات الكمومية في الفراغ النتروجيني الألماسي: فبتطبيق حقل مغنطيسي مهتزّ عند تواترات موجية مكروية، أجرى الباحثون رنيناً سبينياً إلكترونياً، يهتز فيه السبين الثنائي الفراغ بين حالتيه المنطقيتين لبتّاته الكمومية. ويطابق هذا النمط من التحكم إنجاز عملية كتابة كمومية.

تشكّل البتّات الكمومية السبينية حالة خاصة بالنسبة لنبائط الحالة الصلبة، لأنها تخضع فقط لشوش ناجم عن ضجيج كهربائي بيئي، مما يؤدي إلى أزمنة ترابط طويلة. وتكون الحالة أفضل بالنسبة للبتّات الكمومية المعتمدة على عناصر من المجموعة IV من الجدول الدوري، مثل الكربون والسليكون والجرمانيوم ومركّباتها، بما في ذلك كربيد السليكون، لأنها تمتلك خلفية منخفضة من السبينات النووية التي يمكن أن تحطّم الترابط، وفي بعض الحالات يمكن أن تُنقّى لإزالة سبينات الخلفية بالكامل تقريباً. ويُعدُّ ذلك أحد الأسباب التي تفسّر لماذا جذبت مشاريع الحوسبة الكمومية المعتمدة على السبين والتي تستعمل مواد المجموعة IV كثيراً من الاهتمام.

وبالإضافة إلى ذلك، يبدو جلياً بالنسبة للألماس –وكذلك الأمر بالنسبة لكربيد السليكون حالياً– أن الاهتزازات الحرارية المخفّضة التي تحدث في هذه المواد الصلبة والقاسية جداً تعني أن حالات البتّات الكمومية يمكن أن تمتلك أزمنة ترابط طويلة (100 مكرو ثانية تقريباً أو أكثر)، حتى في درجة حرارة الغرفة. تتطلّب معظم تقانات البتّات الكمومية الأخرى درجات حرارة منخفضة جداً للاحتفاظ بمعلومات البتّات الكمومية كاملة غير منقوصة، مما يشكّل عائقاً في المستقبل بما في ذلك المعالجات الكمومية النقّالة (المحمولة). ومع ذلك، من المحتمل جداً أن الحواسيب الكمومية الأولى ستكون خادمات (مخدّمات) ثابتة ويمكن الولوج إليها من بُعد، وبالتالي فإن درجة حرارة التشغيل الخاصة بها ربما تكون أقلّ في هذا الصدد، على الأقل لبعض الوقت. ولعلّ الأكثر أهمية في المستقبل بالنسبة للبتّات الكمومية في كربيد السليكون يتمثّل في قدرتها على إصدار ضوء عند أطوال موجية يمكنها أن تُنقل باستعمال البنى التحتية للاتصالات الحديثة، مانحة بذلك رؤية طويلة الأمد لربط حواسيب كمومية بحالتها الصلبة ضمن شبكة كمومية آمنة.

مع ذلك، وقبل أن تكون مثل هذه الأحلام الكبيرة قابلة للتحقّق، فإنه سيكون من الضروري بناء معالج كمومي يمكن أن يشغّل حاسوباً تقليدياً بأداءٍ عالٍ –وذلك سيحتاج بالتأكيد بعض الجهد. وفي جذاذات المعالج المكروي الحديث، فإن قليلاً من المعلومات تُخزّن وتُعالج باستعمال ترانزستورات معتمدة على السليكون، ويُقدّر حجم كلٍّ منها بأقل من 100 نانومتر، ويُحشر ما يقارب بليون منها داخل سنتمتر مربع واحد من السليكون. ومع أن المعالج الكمومي لن يتطلّب بتّات كمومية كثيرة مثل المعالج التقليدي لمواجهة (لمعالجة) المشكلة نفسها، إلا أنه ما يزال يتطلّب عدداً كبيراً، وربما بالآلاف، لتشغيل خوارزميات صعبة، مثل حلّ الكود، تتضمن تحليل أرقام كبيرة جداً. ولذلك، يجب أن تكون أية تقانة للبتّات الكمومية المهمّة قابلة للتصنيع بطريقة متينة ودقيقة. وتتجلّى إحدى مزايا كربيد السليكون الذي يتفوق بها على الألماس في دمجه دارات تمتلك ترانزستورات عديدة تُصنع بشكل دوري (اعتيادي) في هذه المادة.

ورغم أن البتّات الكمومية لكربيد السليكون تمنح فرصاً مغرية للحوسبة الكمومية، إلا أنه ما تزال هناك بعض التحديات التي تواجه هذه التقانة الجديدة. أولاً، إن عمليات البتّات الكمومية قُدّمت بتقرير من قبل كويهل ومساعديه الذين عملوا على مجموعة كبيرة من البتّات الكمومية، ولذلك فإن الخطوة التالية ستكون بإظهار إمكانية التحكّم وقياس البتة الكمومية المفردة. والأكثر أهمية من ذلك أن هذه التقانات يجب تطويرها لهندسة آلاف البتّات الكمومية الثنائية الفراغ القابلة للتوجيه بشكل فردي، بدلاً من مجرد التعرّف على العيوب التي تقع عرضياً. وستكون الهندسة بحاجة أيضاً لتشكيل أزواج من البتّات الكمومية المتجاورة بصورة موثوقة وذلك لتمكين عمليات بتتين كموميتين مسيطر عليها –وهو مطلب حيوي آخر للحوسبة الكمومية. وإذا أمكن مواجهة هذه التحدّيات، فإن كربيد السليكون يمكن أن يصبح مرشّحاً جديّاً للحوسبة الكمومية على نطاق واسع.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 479, 3 November 2011***،
ترجمة **حسان بقلة**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

نفايات العقاقير تؤذي الأسماك

تلوث المخلفات المطروحة من المصانع الصيدلانية الأنهار في ثلاث قارات.

***أسماك جادجيون** في المجرى المائي السفلي لمحطة معالجة مياه عادمة تمتلك بطوناً منتفخة (متورّمة) إضافة إلى شذوذات أخرى.*

يلام المستهلكون الذين قاموا برمي موانع الحمل غير المرغوبة في المصارف المائية، لأنهم بتصرفهم هذا قد قدّموا للأسماك قدراً من تلك الموانع يفوق القدر اللازم لهم أنفسهم. يمكن أيضاً للعقاقير المطروحة من قبل المرضى (عن طريق التغوط مثلاً) أن تلوّث الأنهار، حتى بعد مرورها في منشآت معالجة المياه العادمة.

ولكن يتزايد الدليل على أن المياه المتدفقة القادمة من المعامل الصيدلانية يمكنها أيضاً أن تحمل العقاقير إلى الأنهار. افترض العديد من علماء السمّية البيئية أن معايير جودة الماء، إلى جانب رغبة المصانع في تجنب هدر المواد الصيدلانية الثمينة، سيقلّل حجم المركّبات الفعّالة حيوياً المنطلقة من المعامل إلى المياه العادمة، وفي النهاية إلى الأنهار.

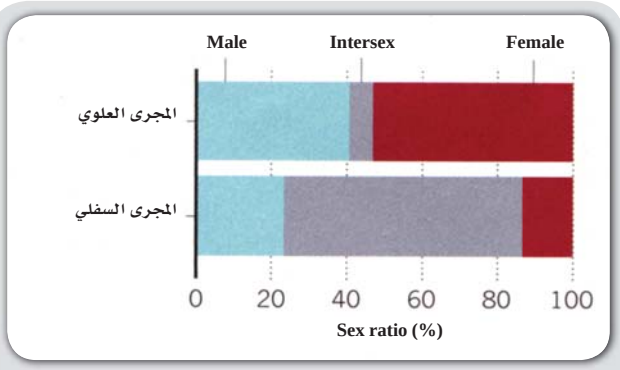
تفترض مجموعة من الدراسات خلاف ذلك. ففي العام 2009، على سبيل المثال، أشار باحثون إلى مستويات عالية جداً من مكوّنات صيدلانية في مياه متدفقة معالجة قادمة من محطة تعالج المياه العادمة من المصانع قرب حيدر آباد، في الهند. اكتشف في العام التالي أمر مشابه في محطتين لمعالجة المياه العادمة في نيويورك، تستقبل كل منهما مخلفات من محطات إنتاج للعقاقير.

يقدّم الباحثون الآن أول دليل لمشاكل مشابهة في أوربّة، وقد ربطوها بالتعطل الجنسي في تجمعات الأسماك الطبيعية التي وجدت في نهر دور Dore في فرنسا. يقول باتريك فيليبس Patrick Phillips، وهو رئيس برنامج تقييم جودة المياه الوطنية في المسح الجيولوجي للولايات المتحدة الأمريكية في توري في نيويورك، ومؤلف رئيسي في دراسة للولايات المتحدة: "يعتقد الناس أن هذا لا يمكن أن يحدث في بلد يمتلك معايير بيئية عالية وتطبيقات إنتاجية". ويضيف فيليبس: "تظهر الأدلة من الولايات المتحدة، والآن من فرنسا، أن الحالة ليست كذلك".

يعزّز الاكتشاف الدعوات المطالبة بمراقبة فعّالة أكثر للصناعة. ليس لدى الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوربّي والمملكة المتحدة وفرنسا تشريعات تقيّد تراكيز المواد الصيدلانية المطروحة إلى البيئة المائية في المياه العادمة المحلية أو في المياه المتدفقة من المنشآت الإنتاجية. يقول جواكيم لارسن Joakim Larsson، وهو عالم عقاقير في جامعة غوثينبرغ في السويد، وباحث في إحدى الدراسات الهندية: "يعتقد الناس أن طرح العقاقير هو أمر مشّرع له، لكنه ليس كذلك".

بحثت الدراسة الفرنسية صحة أسماك جادجيون gudgeon في نهر بجوار منشأة قريبة من فترولاي Vetrolaye التي تعود ملكيتها لشركة سانوفي Sanofi الصيدلانية المتعددة الجنسيات، التي تنتج مركّبات ستروئيدية. وقد كلفت بذلك وزارة البيئة الفرنسية بعد أن أشار صيادو الأسماك إلى أسماك شاذة في تلك المنطقة.

في اتجاه المجرى السفلي للنهر من المصنع، وجد الباحثون أن الأسماك تمتلك بمعدل وسطي يبلغ 60%، وفي حالة واحدة بلغ 80%، خصائص جنسية ذكرية وأنثوية معاً. ووجدت في اتجاه المجرى العلوي للنهر أسماك مخنّثة شكّلت فقط 5% من تجمعات الأسماك.



البحث السمكي

الأسماك في المجرى السفلي في مصنع صيدلاني فرنسي تظهر خصائص كلا الجنسين أكثر بكثير مما تظهره الأسماك في المجرى العلوي.

امتلكت الأسماك الذكور التي تعيش في المجرى السفلي لمياه المصنع مستويات من الفيتيلوجينين في الدم أعلى بشكل واضح مما هي عند الأسماك الذكور في المجرى العلوي، والفيتيلوجينين هو بروتين يوجد عادة في البيض.

"هذه مشكلة حقيقية"، يقول ويلفريد سانشيز Wilfried San-cheZ، وهو عالم سمّية بيئية في المعهد الوطني الفرنسي من أجل البيئة الصناعية والمخاطر، وباحث رئيس في الدراسة. قد لا يمنع الشذوذ الجنسي في أسماك جادجيون هذه الأسماك من التوالد فقط، ولكنه يسبب أيضاً مشاكل مؤثرة في أنواع أخرى، وتخفيض في تجمعات الأسماك يمكن أن يكون له عواقب أكبر على المنظومة البيئية للنهر.

المتهمون الأساسيون

حدّد سانشيز وزملاؤه، في نتائجهم التي لم تنشر بعد، هوية الملوثات الصيدلانية الأساسية في النهر وهي الديكساميثازن (وهو مضاد التهاب ومسكّن مناعي)، والسبيرونولاكتون (دواء مدر للبول يحجب أيضاً تأثيرات الهرمونات الجنسية الذكرية)، والكانرينون، وهو مدر بولي أيضاً. قيست جميع هذه الملوثات عند تراكيز حوالي 10 مكروغرام في اللتر، وهي "عالية جداً" بالنسبة للمواد الفعّالة حيوياً، بحسب قول سانشيز. إن الكيفية التي انتهت بها هذه المركّبات إلى الأنهار تُعدُّ غامضة.

أشار إيان ويذرهيد Ian Weatherhead، مدير الاتصالات في شركة سانوفي، إلى أنه نظراً لكون "ما من تأثير قد تمّت ملاحظته عند أنواع أسماك أخرى" فإنه من الصعب أن نكون متأكدين من كيفية انتشار المشكلة. ويقول أيضاً إن المصنع يتعامل بالتعاون مع هيئات رقابية، وباحثين وجمعيات بيئية للمساعدة في تحديد هوية سبب الاضطراب، والذي "من المحتمل أنه متعدد العوامل".

يقول بعض العلماء وصانعي السياسة أن هناك حاجة لتشريعات أوسع. تأخذ الوكالة الأوربية الآن بعين الاعتبار ما إذا ستضع قيوداً على مقدار ضئيل من العقاقير الموجودة بشكل شائع في المجاري المائية، بما فيها العقار المضاد للالتهاب الإيبوبروفين ومركّب الإتينيل إستراديول المانع للحمل. تتوقع الوكالة أنها ستنشر قرارها في الخريف كجزء من التحسينات المقترحة بخصوص توجيه هيكلية الماء، الذي يسيطر على تلوث الماء. يمكن للتحسينات، على سبيل المثال، أن تطلب عمليات تنظيف شاملة أكثر في محطات معالجة المياه العادمة.

لم يعيّن العلماء حدوداً آمنة من أجل مواد صيدلانية عديدة في البيئة المائية، أو كيفية انتشار المشكلة، معرقلين بذلك جهود المشرعين، هذا ما تقوله سوزان جوبلينغ Susan Jobling، عالمة السمية البيئية المائية في جامعة برونيل في لندن، ويوافقها لارسن بقوله "نحن لا نعرف المدى الذي تحدث إليه، ويضيف: "لقد قيست مواقع إنتاجية قليلة جداً".

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 476, 18 August 2011***. ترجمة **علي غانم**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تداخل الموجة والمادة أصبح جلياً

تتولّد أنماط التداخل عندما يمر ضوء من منبع نقطي من خلال شقين متوازيين. فالإلكترونات الصادرة عن جزيئات ثنائية الذرّة تنتج أنماطاً متماثلة، لكن هذه الظاهرة لم يكن بالإمكان رؤيتها بشكل مباشر حتى الآن.

جاء في إجراءات الأكاديمية الوطنية للعلوم، أن كانتون Canton وآخرين أعلنوا عن ملاحظة مباشرة لأنماط التداخل في أطياف إلكترونات تولّدت عندما شُعّت جزيئات ثنائية الذرّة بالضوء فوق البنفسجي. تقدم هذه الأنماط أول برهان واضح على مثل تلك الجزيئات يمكن أن تسلك سلوك مصدرات ثنائية المركز للموجات الإلكترونية.

إن السؤال عما إذا كان الضوء يتألف من جسيمات أم من موجات قد نوقش على مدى قرون. ومع أن كريستيان هويغينز Christiaan Huygens كان قد اقترح في عام 1678 أن الضوء يتألف من موجات، لكن الفوتون بشكل عام ظل يُعدُّ جسيماً إلى أن جاء توماس يونغ Thomas Young وذكر تجربته التقليدية ذات الشقّين في عام 1803. أضاء يونغ لوحة تحتوي على شقّين متوازيين بمنبع ضوئي نقطي، لاحظ أن الضوء النافذ من خلال الشقّين قد شكّل نمط تداخل، أي سلسلة من العُصابات المظلمة والمضيئة، على الشاشة وراء اللوحة. إن هذه التجربة أثبتت وبشكل واضح طبيعة موجة الضوء. تخيل الإرباك آنذاك عندما أثبت أرثر كومبتون Arther Compton أيضاً وبشكل صريح الطبيعة الجسيمية للضوء في عام 1923، في دراساته لتبعثر الفوتونات العالية الطاقة.

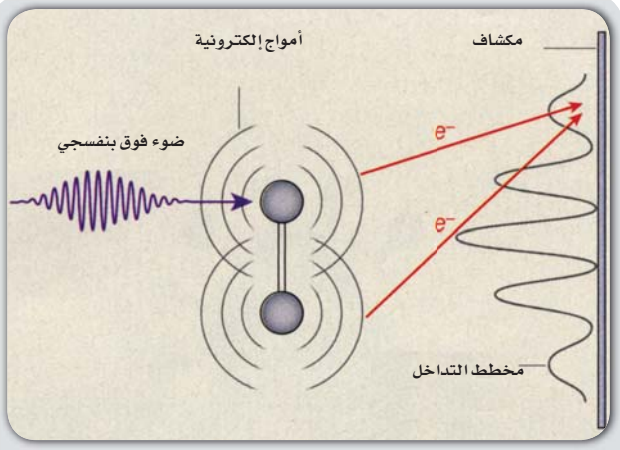
فُسرت النتائج المتناقضة ليونغ وكومبتون بموجب مثنوية الضوء جسيم– موجة. هذه المثنوية هي في قلب ميكانيك الكم، وتُعدُّ واحدة من الانحرافات المفاهيمية البارزة في هذا المجال من مجالات الفيزياء التقليدية. وفي الحقيقة، إن مثنوية جسيم– موجة ليست مقصورة على الفوتونات، إنها خاصية أساسية لكل الأجسام الكمومية بما فيها المادة، كما تم إثباته في عام 1961 من خلال تجارب الشق المزدوج المتضمن الإلكترونات بدلاً من الفوتونات.

في هذه التجارب شوهدت أنماط تداخل مماثلة لتلك التي يولّدها الضوء، مبرهنةً بذلك أن الإلكترونات لها خواص موجية. ومنذ ذلك الحين، أظهرت تجارب الشق المزدوج الصفة الموجية للأجسام الكمومية المتزايدة في الكبر، متضمنة الفلّيرين والباكيبول buckyballs وجزيئات عضوية ضخمة. هناك تجارب لتوسيع الانعراج بالشقّين لمركّبات جهرية حقيقية، بما فيها كائنات حية، هي قيد الدراسة.

إن الأساس الذي تقوم عليه جميع تجارب الشقّين هو مبدأ هايزنبرغ في الارتياب، والذي يحدد الدقة التي يمكن بها أن يقاس موضع الأجسام الكمومية واندفاعها. وللحصول على نماذج التداخل، يجب أن يُعرف الاندفا ع بشكل دقيق بحيث يكون موضع الجسم الكمومي غير متوضع بأكثر من عرض الشق. وفي مثل هذه الظروف، يُقال عن الأجسام الكمومية بأنها مترابطة. وفي حال فقدان اللاتوضع، يحدث عندها عدم الترابط وبالتالي تختفي أنماط التداخل. هل من الممكن تحديد أي شق سيمر الجسيم منه بدون فقدان نماذج التداخل؟ سؤال مطروح منذ زمن بعيد وسيبقى على الدوام يشكل موضوعاً للبحث والجدل.

بالإضافة إلى الترابط المبني على الارتياب، فإن آلية أخرى يمكن أن تُحدث الظاهرة نفسها: التراكب (الانضمام) المترابط للأجسام الكمومية الصادرة عن مواضع منفصلة مكانياً، والمشار إليها غالباً بالشق المزدوج الجزيئي (الشكل 1). مثال على ذلك يحدث عندما تُصدر جزيئات ثنائية الذرّة متجانسة النواة، كالنتروجين (N_2) إلكترونات استجابة لتشعيعها بالضوء (وهي عملية معروفة بإصدار الإلكترونات الفوتونية). هذا ويمكن أن يتم إصدار الإلكترونات بشكل مترابط من كلا الذرّتين من هذه الجزيئات بطريقة تكون فيها الموجات الإلكترونية إما متفقة في الطور أو مختلفة في الطور. لذلك يجب على هذه الأنظمة أن تبدي سلوكاً تداخلياً مكافئاً للسلوك الذي يُرى في تجارب الشقّين النظامية، وهو تشابه شوهد للمرة الأولى من قبل هاورد كوهن Howard Cohen وأوكو فانو Ugo Fano في عام 1966. ولقد اقترحا دالة موجية لوصف الإصدار المترابط من كلا الموقعين الذريين، والتي توقعت مقاطع عرضية جزئية مهتزة لإصدار الإلكترونات الفوتونية (إن المقطع العرضي يعتبر مقياساً لاحتمال حدوث الإصدار الكهرضوئي).

عندما نشر كوهين وفانو Fano نتائج بحثهما، وجدا دليلاً ضعيفاً على اهتزازات التداخل المتوقعة، مع أن ورقتهما العلمية



الشقّ المضاعف الجزيئي

عندما تشعّ بالضوء فوق البنفسجي، تصدر الجزيئات الثنائية الذرّة الإلكترونات (e^-)، مولّدة موجات إلكترونية في عملية تُعرف بإصدار الإلكترون الفوتوني. هذا ويتم إصدار الموجات من إحدى الذرّتين الاثنتين الموجودتين في الجزيء، ويمكن أن تكون متفقة في الطور أو بالضبط على تخالف في الطور بعضها مع بعض. ولذلك يتولّد نمط تداخل الأمواج الإلكترونية والتي يمكن، من حيث المبدأ، ملاحظتها بالكاشف المناسب. لكن أنماط التداخل محجوبة بتأثيرات أخرى لم يتم كشفها بشكل مباشر. هذا وقد درس كانتون وآخرون أطياف الإلكترون الفوتوني للجزيئات الثنائية الذرّة باستخدام تقنية تأخذ بالحسبان اهتزاز الجزيئات، وهي طريقة سمحت لهم بملاحظة أنماط تداخل بشكل مباشر.

تضمّنت منحنيين بيانيين رُسمت فيهما المقاطع العرضية التي حُصل عليها تجريبياً بدلالة طاقة الإشعاع الوارد للتأيين الفوتوني التكافؤي للنتروجين والأكسجين (التأيين الفوتوني التكافؤي هو إصدار للإلكترونات الضوئية من الطبقة الخارجية في الذرّة). هذا وقد أظهر المنحنيان البيانيان اهتزازات واضحة، حيث تم اعتبارها أول إشارة دالة على المفعول الذي تنبأ به كوهين وفانو. لقد تطلب هذا الموضوع 35 سنة أخرى قبل أن يُبرهَن التداخل ذو المركزين بشكل واضح بالنسبة للهدروجين، وتطلب أكثر من ذلك لإثباته بالنسبة للنتروجين.

لكن هذه التقارير عرّفت تأثير التأين الفوتوني للإلكترونات الداخلية في الجزيئات الثنائية الذرة المتجانسة النواة بدلاً من إلكترونات التكافؤ كما ذكر كوهين وفانو. بالإضافة إلى ذلك، استخدموا تقنيات لم تسمح بالمشاهدة المباشرة للتداخلات مما استلزم معايرة البيانات التي أثارت ارتياباً في النتائج، لذا بقي تحديان: أحدهما إيجاد طريقة لمراقبة اهتزازات التداخل بشكل مباشر، والحصول على البرهان بأن التأين الضوئي التكافؤي يمكن أن ينتج عنه سلوك تداخلي.

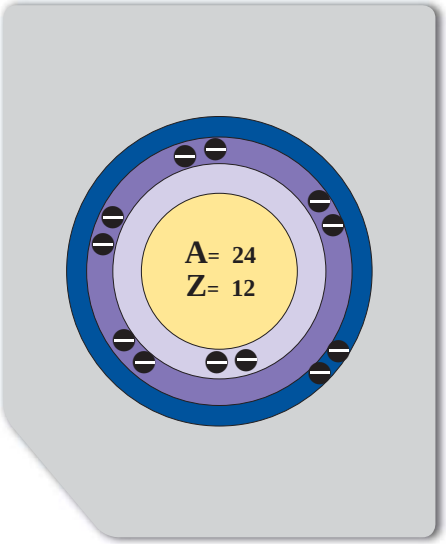
هذا وقد أنجز كانتون وآخرون كلاً من الهدفين، فبالحصول على أطياف بتأين ضوئي ذات ميْز (فصل) ناتج عن اهتزاز للجزيئات الثنائية الذرّة، ألغوا ارتيابات المعايرة التي كانت مصدر إزعاج لتجارب تأين الإلكترونات الداخلية السابقة. بالإضافة إلى ذلك، فإن طريقتهم سمحت لهم بالتحقق من التأين الفوتوني التكافؤي للنتروجين (N_2) والهدروجين (H_2). إن البيانات الخاصة بالهدروجين تُعدُّ مفيدة بشكل خاص، لأن هذا الجزيء يُعدُّ النظام القياسي المرجعي المنمَذج في معظم الدراسات النظرية في التأين الفوتوني.

إن أكثر نتيجة غير متوقعة لدراسة كانتون وزملائه هي ملاحظتهم لاهتزازات كوهين وفانو للجزيئات الثنائية الذرّة اللامتجانسة النواة مثل أول أكسيد الكربون (CO). وفي هذه الجزيئات تتموضع الإلكترونات الداخلية بالكامل في إحدى الذرّتين، وبالتالي لا يمكن حدوث اهتزازات كوهين وفانو. وبدلاً من ذلك، فإن تبعثر الإلكترون المقذوف بالموقع الذرّي الآخر يسبب نوعاً مختلفاً من الاهتزازات، وترددها ضعف تردد اهتزازات كوهين وفانو.

لكن المدارات التكافؤية لأول أكسيد الكربون (CO) غير متوضعة بشكل طبيعي، وفي حال كان هذا اللاتوضع كبيراً بما فيه الكفاية لتغطية كلتا الذرّتين في الجزيء، فإن إصدار الإلكترونات عندها يمكن أن يصبح مترابطاً. إن الملاحظة غير العادية لكانتون وزملائه لاهتزازات كوهين وفانو في أول أكسيد الكربون CO يمكن توضيحها بالتأين الفوتوني التكافؤي المترابط. وتكشف هذه النتائج أن المدارات اللامتوضعة يمكن أن تعمل بوصفها مصدراً لتداخل ذي مركزين اثنين، مشابه لتجربة شقّي يونغ التي يكون للشقّين فيها عرضان مختلفان. ولقد لوحظ أيضاً تداخل من مركزين اثنين في توليد عالي التوافق –وهي ظاهرة تصدر فيها الجزيئات التي تتعرض لحقول ليزرية قوية أشعة سينية ذات طاقة منخفضة. وإضافة إلى ذلك، يمكن اعتبار الفلّرين كشقّين جزيئيين ثلاثيي الأبعاد، مظهراً سلوك انبعاثات فوتونية مشابهة لتلك الجزيئات الثنائية الذرّة وذات البعد الواحد. وبعرض كل ذلك معاً، فإن الإصدار المترابط من مركزين يظهر بكونه موضوعاً مثيراً للبحث مع العديد من النتائج غير المتوقعة التي ماتزال تنتظر الكشف عنها، وإمكانيات عظيمة للتطبيقات المستقبلية مثل الحوسبة الكمومية.

نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature,Vol 474, 30 June 2011*. ترجمة ***نسرين شحادة***، *هيئة الطاقة الذرّية السورية*.

المغنيزيوم



الرمز:	Mg
العدد الذرّي:	12
الكتلة الذرّية النسبية:	(6)24.3050
درجة انصهاره:	650 °C
درجة غليانه:	1091 °C
الكثافة:	1.738 g·cm^{-3}
حالات الأكسدة:	2, 1

المغنيزيوم هو عنصر كيميائي رمزه Mg، وعدده الذري 12، وحالة أكسدته الشائعة +2. إنه معدن ترابي قلوي، ويعدُّ العنصر الثامن من حيث الوفرة في القشرة الأرضية والتاسع في كامل الكتلة الكونية المعروفة. يعدُّ المغنيزيوم العنصر الرابع الأكثر شيوعاً في مجمل كوكب الأرض (بعد الحديد والأكسجين والسليكون)، مكوناً 13% من كتلة الكوكب وجزءاً كبيراً من المعطف الأرضي. تعود الوفرة النسبية للمغنيزيوم إلى حقيقة أنه تشكل بسهولة في نجوم الانفجار الأعظم بفعل إضافات متتالية لثلاث نوى من الهليوم إلى الكربون (الذي بدوره تشكل من ثلاث نوى للهليوم). ونظراً إلى الانحلالية العالية لأيونات المغنيزيوم في الماء، فهو العنصر الثالث الأكثر وفرة المنحل في مياه البحر.

لا يوجد المغنيزيوم (المعدني) الحر بشكل طبيعي في الأرض، وذلك كونه شديد الفعالية (إذ يكتسي طبقة رقيقة من الأكسيد فور تشكله). يشتعل المعدن الحر معطياً ضوءاً أبيضَ لمّاعاً مميزاً، مما يجعله مادة مفيدة في الإشارات الضوئية.

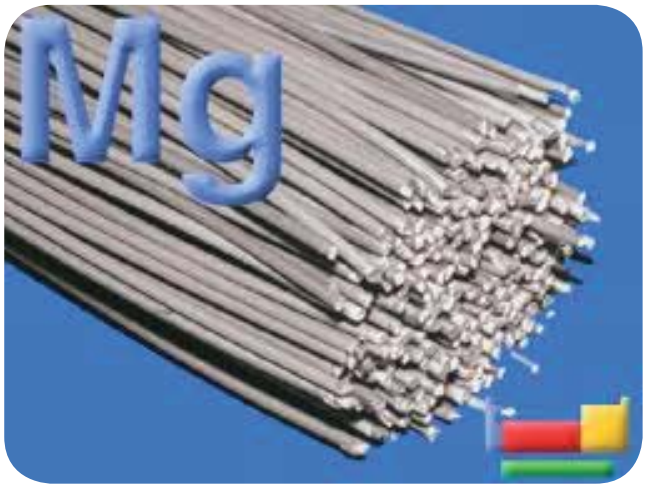
يتم الحصول على المعدن حالياً بوساطة التحلّل الكهربائي لأملاح المغنيزيوم الموجودة في مياه البحر. وتجارياً، يكون الاستعمال الرئيس للمعدن على هيئة خليطة من المغنيزيوم والألمنيوم، وتسمى هذه الخليطة في بعض الأحيان "ماغناليوم magnalium" أو "ماغنيليوم magnelium". ونظراً إلى كونه أقل كثافة من الألمنيوم، فيعزى سعر الخليطة إلى خفتها النسبية وقوتها.

تتمتع أيونات المغنيزيوم بطعم حامضي، وفي حالة تراكيزها المنخفضة تساعد في الحصول على حموضة طبيعية للمياه المعدنية العذبة. يعدُّ المغنيزيوم العنصر الحادي عشر كتلياً من حيث وفرته في الجسم البشري، وأيوناته أساسية في جميع الخلايا الحية، حيث إنها تؤدي دوراً رئيساً في معالجة المركبات الحيوية المهمة المتعددة الفسفات مثل ATP وDNA وRNA. وتحتاج مئات الأنزيمات إلى أيونات المغنيزيوم لتأدية وظيفتها. كما أن الأيون المعدني للمغنيزيوم يقع في مركز الكلوروفيل، وهو مضاف شائع في الأسمدة. تستعمل مركبات المغنيزيوم طبياً بوصفها مليّنة للأمعاء ومضادة للحموضة، وكذلك في العديد من الحالات التي يهدف استعمالها إلى إحداث استقرار التحريض العصبي غير السوي ومعالجة تشنج الأوعية الدموية.

أصله وخصائصه

الخصائص الفيزيائية والكيميائية

يتمتع المغنيزيوم المعدني بقوة واضحة، وهو أبيض فضي وخفيف الوزن (ثلثي كثافة الألمنيوم). ينخفض لمعانه لدى تعرضه للهواء، وبخلاف المعادن القلوية، لا يحتاج تخزينه لبيئة خالية من الأكسجين، نظراً لأن المغنيزيوم محمي بطبقة من الأكسيد رقيقة وكتومة تماماً وتصعب إزالتها. ومثل الكالسيوم الذي يتلوه في مجموعته بالجدول الدوري، يتفاعل المغنيزيوم مع الماء في درجة الحرارة الطبيعية، ولو أنه يتفاعل ببطء أكثر بكثير من الكالسيوم. وعند غمره بالماء، سيبدأ تشكل فقاعات من الهدروجين على سطح المعدن، وسيكون التفاعل أسرع بارتفاع درجات الحرارة (انظر التدابير الوقائية). يمكن تسخير تفاعل المغنيزيوم مع الماء لإنتاج الطاقة وتشغيل محرك يعتمد على المغنيزيوم. كما يتفاعل المغنيزيوم بشكل ناشر للحرارة مع غالبية الأحماض، مثل حمض كلور الماء (HCl). وكما هو الحال مع الألمنيوم والزنك ومعادن أخرى عديدة، فإن تفاعله مع كلور الماء يعطي كلوريد المعدن ويطلق الهدروجين الغازي.



والمغنيزيوم هو معدن شديد القابلية للاشتعال، غير أن اشتعاله يسهل عندما يكون على هيئة مسحوق أو شرائح رقيقة، ويقابل ذلك صعوبة في الاشتعال عندما يكون كتلة صلبة. وبعد اشتعاله في الهواء يكون من الصعب إطفاؤه، لأنه قابل للاشتعال مع النتروجين (مشكلاً نتريد المغنيزيوم)، ومع ثنائي أكسيد الكربون (مشكلاً أكسيد المغنيزيوم والكربون) ومع الماء (مشكلاً أكسيد المغنيزيوم والهدروجين). وقد استُغلت هذه الخاصية في الأسلحة التي استعملت لإحراق المدن خلال الحرب العالمية الثانية، واقتصرت عمليات الدفاع المدني على دفن الكتلة المشتعلة تحت الرمال الجافة وعزلها عن الهواء الجوي. وعند اشتعاله في الهواء، ينتج المغنيزيوم شعلة بيضاء ناصعة تشتمل على كمية من الأشعة فوق البنفسجية القصيرة الأمواج. وهكذا فقد استعملت بودرة المغنيزيوم بوصفها مصدراً للإضاءة في المراحل الأولى للتصوير الفوتوغرافي. ولاحقاً استعمل شريط المغنزيوم في المصابيح الوماضة. كما استعملت مساحيق المغنيزيوم في صنع الألعاب النارية والمشاعل البحرية اللازمة لإحداث إنارة ساطعة. يمكن أن تصل درجات حرارة المغنيزيوم وخلائطه إلى 3100 درجة مئوية، كما يمكن استعمال المغنيزيوم بوصفه مصدراً لاشتعال مساحيق الألمنيوم وأكاسيد الحديد الصعبة الاشتعال.

تكون مركبات المغنيزيوم بلورات بيضاء اللون عادة، وغالبيتها منحلة في الماء معطية أيون المغنيزيوم Mg^{2+} الحامضي الطعم. تساهم الكميات الصغيرة من أيون المغنيزيوم المنحل في منح المياه الطبيعية طعماً حامضياً. أما الكميات الكبيرة منه فتستعمل بوصفها ملينا أيونياً، وغالباً ما تستعمل سلفات المغنيزيوم لهذا الغرض.

نظائره

يوجد للمغنيزيوم ثلاثة نظائر مستقرة:

الأول هو ^{24}Mg، نسبته 78.99% ويحتوي على 12 نتروناً. والثاني هو ^{25}Mg، نسبته 10% ويحتوي على 13 نتروناً. والثالث هو ^{26}Mg، نسبته 11.01% ويحتوي على 14 نتروناً. أما النظير ^{28}Mg فهو نظير مشع وقد صنع في الفترة ما بين خمسينيات وستينيات القرن الماضي في محطات نووية عديدة لاستعماله في تجارب علمية. ولهذا النظير عمر نصف قصير نسبياً (12 ساعة) وهكذا فقد ارتهن استعماله بزمن الشحن.

طُبِّق النظير ^{26}Mg في مجال الجيولوجيا النظيرية، شبيهاً بالألمنيوم. فالنظير ^{26}Mg هو وليد مشع للألمنيوم-26، ذو عمر نصف مقداره 717000 سنة. وقد لوحظت إغناءات كبيرة للمغنيزيوم-26 المستقر في المحتوى المركز من الكالسيوم والألمنيوم في بعض أحجار النيازك الكربونية. تعود الوفرة الشاذة للمغنيزيوم-26 إلى تفكك أصله ^{26}Al في هذه الأحجار. لذلك، من المحتم أن النيزك قد تشكل في السديم الشمسي قبل أن يتفكك الـ ^{26}Al. وهكذا، فإن هذه الشظايا النيزكية هي من بين الأشياء الأقدم في المنظومة الشمسية واحتفظت بمعلومات حول تاريخها المبكر.

جرت العادة أن ترسم نسبة قيمة مغنيزيوم-26/مغنيزيوم-24 إلى قيمة ألمنيوم/مغنيزيوم. ففي رسم لتأريخ الزمن عن طريق النظائر ترسم النسبة ألمنيوم/مغنيزيوم باستعمال ألمنيوم-27/مغنيزيوم-24. لا يشير ميل الخط البياني إلى أي أهمية عمرية، إنما يشير إلى نسبة ألمنيوم-26/ألمنيوم-27 في العينة عند زمن انفصال المنظومات عن مصدرها المشترك.

تشكله

تنتج النظائر المستقرة للمغنيزيوم في النجوم، وتتشكل من اندماج الهليوم مع النيون، وفق ما يسمى عملية ألفا alpha process. تتطلب عملية النشوء وجود درجات حرارة تتجاوز 600 ميغا كلفن وكتل أكبر بمرات ثلاث من كتلة الشمس.

ظهوره

مع أن ظهور المغنيزيوم اتضح في أكثر من 60 فلزاً، إلا أن أهميته التجارية ترتبط فقط بالدولوميت والمغنيزيت والبريسيت والكارناليت والتالك والأوليفين. تشير إحصاءات العام 2010 إلى إنتاجه بالأطنان في البلدان التالية: 650000 في الصين و40000 في روسيا و30000 في فلسطين المحتلة و20000 في كازاخستان و16000 في البرازيل و2000 في أوكرانيا و2000 في صربيا.

يعدُّ الكاتيون Mg^{2+} الكاتيون الثاني الأكثر وفرة في مياه البحار (إذ يشكل حوالي 12% من وفرة الصوديوم فيها)، مما يجعل مياه البحر والمياه المالحة مصدراً تجارياً جذاباً للمغنيزيوم. ولاستخلاص المغنيزيوم تضاف ماءات الكاليوم إلى مياه البحر لتشكيل راسب من ماءات المغنيزيوم.

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 + CaCl_2$$

وماءات المغنيزيوم غير حلولة في الماء لذا يمكن استخلاصها بالفلترة، ومن ثم معالجتها بحمض كلور الماء للحصول على كلوريد المغنيزيوم المركز.

$$Mg(OH)_2 + 2\ HCl \rightarrow MgCl_2 + 2\ H_2O$$

ونحصل على المغنيزيوم عبر تحلّل كهربائي لكلوريد المغنيزيوم. ففي التحلّل الكهربائي، يتم منح أيون Mg^{2+} زوجاً إلكترونياً عند الكاتود لإرجاع الأيون إلى مغنيزيوم معدني:

$$Mg^{2+} + 2\ e^- \rightarrow Mg$$

وعند الأنود تتم أكسدة كل زوج من الأيون Cl^- ليتحول إلى كلور غازي، مع تحرير زوج إلكتروني لتكتمل الدورة:

$$2\ Cl^- \rightarrow Cl_2\ (g) + 2\ e^-$$

كانت الولايات المتحدة حتى عام 1995 المصدر الأول للمغنيزيوم بنسبة 45% من الإنتاج العالمي. أما اليوم فمساهمتها انحدرت إلى 7%. وفي العام 2005 تصدرت الصين قائمة الموردين بنسبة 60% من السوق العالمي، علماً أن إنتاجها للمغنيزيوم لم يتجاوز 4% في العام 1995. وبخلاف طريقة التحلّل الكهربائي الموصوفة في ما سبق، اعتمدت الصين على طريقة مختلفة تماماً للحصول على المعدن من فلزاته، وهي طريقة بيدجيون السيليسية الحرارية silicothermic Pedgeon process (إرجاع الأكسيد عند درجات حرارة عالية وبوجود السليكون).

تاريخه

يعود الاسم مغنيزيوم إلى كلمة يونانية تشير إلى منطقة في تيسالي اسمها ماغنيزيا. يعدُّ المغنيزيوم العنصر السابع في القشرة الأرضية من حيث كتلته. فقد وجد بكميات كبيرة في المغنيزيت والدولوميت وفي فلزات أخرى، وفي المياه المعدنية، حيث يكون أيون المغنيزيوم منحلاً في الماء. في العام 1681 حاول مربي حيوانات إنكليزي في منطقة إبسوم Epsom تقديم ماء بئر موجود هناك لأبقاره. رفضت الأبقار شرب المياه بسبب طعمها الحامضي، لكن المزارع لاحظ أن المياه قد تشفي الحكة والطفح الجلدي. فعرفت المادة بملح إبسوم، وانتشرت سمعتها. فجرى التعرف عليها بوصفها سلفات المغنيزيوم المائية، $MgSO_4$.

أُنتج المعدن للمرة الأولى عام 1808 في إنكلترا من قبل هيمفري ديفي Humphry Davy مستعملاً التحلّل الكهربائي لخليط من الماغنيزيا وأكسيد الزئبق.

تطبيقاته

بوصفه معدناً

يعدُّ المغنيزيوم العنصر الثالث الشائع الاستعمال بشكله المعدني بعد الحديد والألنيوم. تتدرج استعمالاته الأساسية بدءاً من استعماله مكوناً في خلائط الألنيوم وخلائط الزنك وحتى إزالة الكبريت أثناء تصنيع الحديد والفولاذ وإنتاج التيتانيوم.

وفي شكله الأكثر نقاوة يمكن مقارنته مع الألنيوم، فهو متين وخفيف، أي أنه يستعمل كجزء في مراحل تطبيقات صناعية عديدة عند الحاجة لأحجام كبيرة، بما في ذلك دخوله مكوناً في صناعة النقل، وخاصة في صناعة مكونات الدواليب والمحركات لدرجة أنه أصبح منافساً للألنيوم.

والحقل الثاني لتطبيقات المغنيزيوم يتضمن التجهيزات الإلكترونية. وبسبب وزنه الخفيف وقوة خصائصه الميكانيكية والكهربائية يستعمل المغنيزيوم بشكل واسع في صناعة الهواتف المحمولة والحواسيب المحمولة وكاميرات التصوير ومكونات كهربائية أخرى.

تاريخياً، كان المغنيزيوم واحداً من المعادن الأساسية في الصناعة الجوية، وقد استعمل باكراً في صناعة الطائرات الألمانية قبل بداية الحرب العالمية الأولى، وبشكل واسع جداً أثناء الحرب العالمية الثانية. ابتكر الألمان الاسم إلكترون من أجل خليطة المغنيزيوم. وبقي المصطلح مستعملاً حتى الوقت الحاضر. وبسبب المخاطر الملاحظة فيما يخص الأجزاء المصنعة من المغنيزيوم في حوادث الحرائق، فقد انحصر بشكل كبير استعمال المغنيزيوم في الصناعة الجوية التجارية ضمن المكونات العائدة للمحركات.

وفي الوقت الحاضر يعود تزايد استعمال خلائط المغنيزيوم في المركبات الفضائية إلى تزايد أهمية الوقود والحاجة إلى تخفيض الوزن. تتم المتابعة في تطوير خلائط المغنيزيوم واختبارها، وخاصة فيما يتعلق بالإلكترون 21 (Electron 21)، الذي تجاوز بنجاح اختبارات معمّقة لصلاحية المحركات والمكونات الداخلية والخارجية للمحطات الفضائية.

سلة استعمالات المعدن

نظراً لإتاحية المغنيزيوم وعدم سميته نسبياً، يخضع المغنيزيوم لاستعمالات متنوعة:

المغنيزيوم قابل للاشتعال، ويحترق عند درجة الحرارة 3100 مئوية تقريباً، كما تحترق أشرطة المغنيزيوم ذاتياً في الهواء عند الدرجة 630 مئوية تقريباً. يصدر المغنيزيوم عند احتراقه ضوءاً أبيضَ كثيفاً وساطعاً. توفر درجة حرارة الاشتعال العالية للمغنيزيوم أداة مفيدة لبدء نيران الطوارئ أثناء استعمال الألعاب النارية. هناك استعمالات أخرى تتضمن الوميض الصادر أثناء التصوير الفوتوغرافي والانفجارات والعروض المثيرة وغير ذلك.

- يستعمل على هيئة خراطة أو أشرطة عند تحضير كواشف غرينيار، وهي كواشف مفيدة في الصناعات العضوية.
- يستعمل بصفة عامل مضاف في الصواريخ التقليدية وفي إنتاج العجينة الغرافيتية في سبائك الحديد.

- يستعمل بصفته عامل إرجاع عند استخلاص اليورانيوم ومعادن أخرى من أملاحها.
- يستعمل بصفته أنود غلفاني لحماية الخزانات تحت الأرضية وخطوط الأنابيب والبنى المخفية وسخانات المياه.
- يخلط مع الزنك من أجل إنتاج رقائق تستعمل بوصفها صفائح طباعة ضوئية، وتستعمل في جدران البطاريات الجافة ومواد التسقيف.
- وبصفته معدناً، يستعمل بشكل رئيس في إضافات خلائط الألمنيوم لصناعة علب الشراب.

مركباته الكيميائية

يعدُّ أيون المغنيزيوم ضرورياً لكافة أشكال الحياة، وتستعمل أملاحه بشكل شائع في الأغذية المتنوعة والأسمدة وأوساط الزراعة البيولوجية.

تستعمل مركبات المغنيزيوم، خاصة أكسيد المغنيزيوم (MgO)، في المواد المقاومة للصهر في خطوط الحراقات لإنتاج الحديد والفولاذ والمعادن غير الحديدية والزجاج والإسمنت. كما يستعمل أكسيد المغنيزيوم ومركبات أخرى للمغنيزيوم في الصناعات الزراعية والكيميائية ومواد البناء.

يتفاعل المغنيزيوم مع هاليد الألكيل معطياً كاشف غرينيار الذي يعد أداة مفيدة جداً في تحضير الكحولات.

استعمالات موضعية وتزيينية

- تستعمل سلفات المغنيزيوم، بحالة انضمامها إلى سبعة جزيئات مائية مشكلة أملاح الإبسوم، بصفتها ملينة للأمعاء وسماداً شديد الانحلال.
- تستعمل ماءات المغنيزيوم المعلقة بالماء بصفتها مكوناً في حليب مضادات الأحماض المغنيزية والمليانات.
- يستعمل كل من كلوريد المغنيزيوم وأكسيده وغليكوناته ومالاته وأوروتاته وسيتراته في أغذية فموية.
- تستعمل بورات المغنيزيوم وساليسيلاته وسلفاته بصفتها مضادات تعفن.
- يستعمل بروميد المغنيزيوم بصفته عقار مسكن لطيف.
- تستعمل كربونات المغنيزيوم في مواد تتحمل الحرارة مثل القرميد ومواد الحراقات.
- تستعمل بودرة كربونات المغنيزيوم من قبل رياضيي ألعاب الخفة لتحسين تثبتهم على عوارض الأجهزة الرياضية.
- تستعمل ستيرات المغنيزيوم magnesium stearate على هيئة بودرة بيضاء ذات خصائص تزليقية في التقانة الصيدلانية لتصنيع أنواع عديدة من الأقراص بغية تجنب التصاق الأقراص بالتجهيزات أثناء عملية ضغط الأقراص.
- يستعمل سلفيت المغنيزيوم في تصنيع الورق.
- تستعمل فسفات المغنيزيوم لمنع احتراق الخشب المستخدم في البناء.
- يستعمل سداسي فلوريد سليكات المغنيزيوم لحماية الأقمشة من العث.

دوره الحيوي

نظراً للتفاعل المهم بين الفسفات وأيون المغنيزيوم، تعدُّ أيونات المغنيزيوم ضرورية لكيمياء الحمض النووي الأساسي في الحياة، كما أنها ضرورية لجميع الخلايا في كافة المتعضيات الحية المعروفة. إن وجود أيونات المغنيزيوم ضروري لأكثر من 300 أنزيم محفّز، بما في ذلك كافة الأنزيمات المستعملة للـ ATP أو المصنعة له، أو تلك المستعملة للواحدات البنيوية للأحماض النووية المصنِّعة للـ DNA والـ RNA.

يتفرد النبات باستعمال إضافي للمغنيزيوم تكون فيه الكلوروفيلات عبارة عن مصائد يحتل مركزها عنصر المغنيزيوم. ويؤدي نقص المغنيزيوم في النبات إلى تأخر موسم اصفرار الأوراق، وخاصة الأوراق القديمة، ويمكن تصحيح الوضع بإضافة أملاح إبسوم إلى التربة.

يعدُّ المغنيزيوم مكوناً حاسماً في الغذاء البشري الصحي، ونادراً ما يحدث عوز المغنيزيوم لدى البشر، وفي حال حدوثه يترافق بوجود عدد من الأمراض مثل السكري وترقق العظام. يحتوي الجسم البشري لدى البالغين حوالي 24 غراماً من المغنيزيوم، حيث يتركز 60% في العمود الفقري و39% ضمن الخلايا و1% خارج الخلايا.

يكون المغنيزيوم خارج الخلايا مرتبطاً بالبوتاسيوم الموجود خارج الخلايا أيضاً. يجري امتصاص المغنيزيوم في المسار الهضمي. وفي جسم الإنسان، يبدو أن المغنيزيوم يُسهِّل امتصاص الكالسيوم. وقد يؤدي انخفاض امتصاص البروتين أو ازدياده إلى انخفاض امتصاص المغنيزيوم، وانخفاض امتصاص عوامل أخرى مثل الفسفات والفيتات، كما أن الدسم تؤثر في عملية امتصاص المغنيزيوم. يخرج المغنيزيوم الممتص عن طريق البول، في حين يخرج المغنيزيوم الداخل عن طريق الفم عبر البراز. يمكن تقييم حالة المغنيزيوم بشكل تقريبي من خلال قياس تراكيزه في مصل الدم وفي الكريات الحمراء والبول والبراز، لكن اختبارات المغنيزيوم المحمول ضمن الأوردة تبدو الأكثر صحة وقابلية للتطبيق لدى البشر. ففي هذه الاختبارات يحقن المغنيزيوم في الأوردة، ويشير احتفاظ الأوردة بـ 20% منه أو أكثر إلى وجود النقص.

تشكل البهارات والمكسرات والحبوب والقهوة وشراب الكاكاو والشاي مصادر غنية بالمغنيزيوم. وتكون أوراق الخضار مثل السبانخ غنية أيضاً بالمغنيزيوم بسبب احتوائها على الكلوروفيل. ربما تعود الملاحظات الحديثة التي تشير إلى نقص المغنيزيوم في

الدول الغربية مقارنة بالأجيال السابقة فيها إلى الأغذية المعالجة والأسمدة الحديثة التي لا تحوي المغنيزيوم.

هناك العديد من الوصفات الغذائية للتزود بالمغنيزيوم، نذكر منها أكسيد المغنيزيوم الشائع الاستعمال بسبب محتواه الكبير وزنياً. كما أشير إلى سترات المغنيزيوم الأكثر توافراً حيوياً من الأكسيد أو من شيلات الحمض الأميني.

يرشح المغنيزيوم الزائد في الدم بسهولة عبر الكليتين، ولهذا السبب فإنه من الصعب حصول زيادة من المغنيزيوم نتيجة المصادر الغذائية لوحدها. ومع ذلك، يمكن حصول الزيادة المفرطة من المغنيزيوم لدى البشر بشكل خاص عند القصور في وظيفة الكلية. وقد يؤدي تناول الكحول المفرط إلى عوز في المغنيزيوم.

كشف المغنيزيوم في السوائل الحيوية

يمكن قياس تراكيز المغنيزيوم في مصل الدم لمراقبة الفعالية والأمان لدى الأشخاص المعالجين من إدمان المخدرات، وذلك للتحقق من التشخيص لدى ضحايا التسمم الممكن أو لتقييم التحقيقات القضائية في حالة التركيز المفرط.

المغنيزيوم لمعالجة الاكتئاب

ثمة أقاويل تفيد بأن عوز المغنيزيوم يمكن أن يؤدي إلى الاكتئاب. لقد وجد أن تركيز المغنيزيوم في سائل العمود الفقري يكون ضعيفاً في حالة الاكتئاب المعنّد ولدى المرضى الذين حاولوا الانتحار. كما وجد أن كميات قليلة نسبياً من كلوريد المغنيزيوم تكون فعالة في معالجة السكري لدى كبار السن.

تحذيرات وقائية

يقود معدن المغنيزيوم وخلائطه إلى انفجارات خطرة، فهي شديدة الاشتعال في حالتها النقية عندما تكون منصهرة أو على شكل بودرة. يتفاعل معدن المغنيزيوم المشتعل أو المنصهر بشكل عنيف مع الماء، وعند استعمال بودرة المغنيزيوم يجب وضع النظارات الواقية، لأن الضوء الأبيض الساطع الناتج من احتراق المغنيزيوم يحتوي ضوءاً فوق بنفسجي بإمكانه إحداث تخريب دائم لحدقة العين.

بإمكان المغنيزيوم إرجاع الماء إلى هدروجين غازي قابل للاشتعال:

$$Mg\ (s) + 2\ H_2O\ (l) \rightarrow Mg(OH)_2\ (s) + H_2\ (g)$$

ونتيجة لذلك لا يمكن استعمال الماء لإطفاء حرائق المغنيزيوم، إذ يقوم الهدروجين الناتج بتأجيج الحريق. يعدُّ الرمل الجاف عامل تخميد فعّالاً، غير أنه قابل للاستعمال فقط بسويات نسبية وعلى سطوح منبسطة.

يتفاعل المغنيزيوم أيضاً مع ثنائي أكسيد الكربون مشكلاً أكسيد المغنيزيوم والكربون:

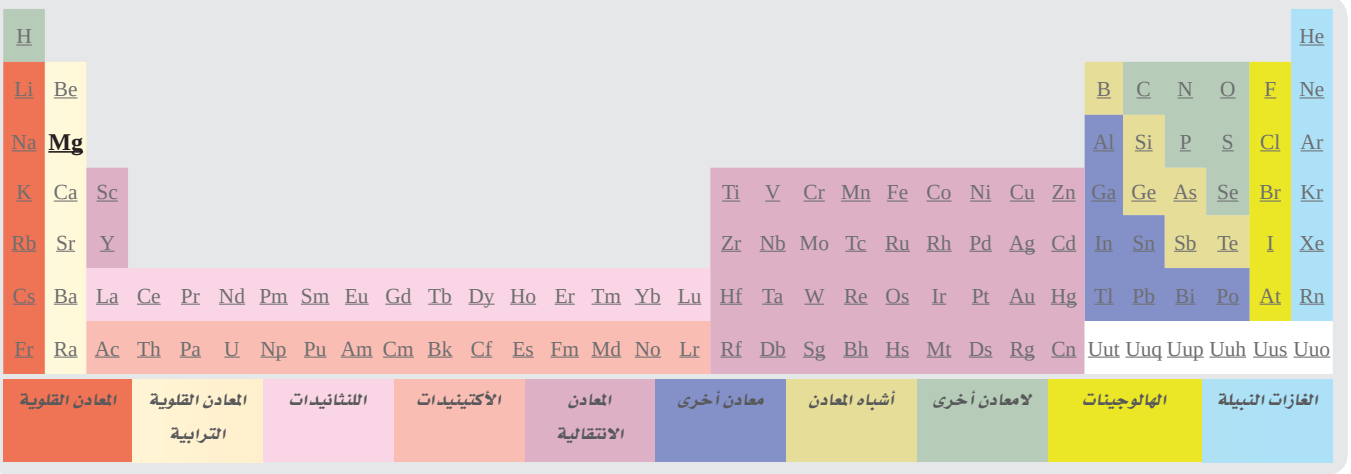
$$2\ Mg\ (s) + CO_2 \rightarrow 2\ MgO\ (s) + C\ (s)$$

لذا، لا يمكن استعمال ثنائي أكسيد الكربون أيضاً من أجل إخماد حرائق المغنيزيوم.

تخمّد حرائق المغنيزيوم عادة باستعمال مطافئ الحريق الكيميائية الجافة ذات النمط D، أو باستعمال الرمل لتغطية النيران.

إعداد: **د. عادل حرفوش**، رئيس هيئة التحرير.

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه



ورقات علمية

تحديد معدل ارتشاح النظير ^{134}Cs من منابع مشعة منخفضة النشاط الإشعاعي ومصلبة ضمن الإسمنت البورتلاندي والإسمنت ألبورتلاندي الممزوج مع حبيبات الدولوميت وبودرة البوزولان

Determination of the leaching late of ^{134}Cs from the immobilized low-level radioactive sources in the cement and cement mixed with dolomite grains and with natural pozzolan powder

د. إسماعيل شعبان، نسيم عاصي، قسم الهندسة النووية

ملخص

حددت قيمة معدل ارتشاح النظير ^{134}Cs من منابع مشعة منخفضة النشاط الإشعاعي مصلبة ضمن الإسمنت البورتلاندي حيث بلغت قيمته 4.481×10^{-4} g/cm².day. وقد لوحظ زيادة وانخفاض في قيمة معدل ارتشاح النظير ^{134}Cs إلى القيم التالية:

7.373×10^{-4} g/cm².day و3.495×10^{-4} g/cm².day عند مزج الإسمنت مع حبيبات الدولوميت وبودرة البوزولان بنسبة 1% وزناً و12.340×10^{-4} g/cm².day و3.215×10^{-5} g/cm².day عند المزج بنسبة 3% وزناً على الترتيب. الزيادة والانخفاض في معدل الارتشاح ناتج من تفاعلات تفكك الدلتة ما بين حبيبات الدولوميت والقلويات المتشكلة في الإسمنت من جهة ومن جهة أخرى ناتج من تفاعل البوزولان مع هيدروكسيد الكالسيوم المتشكل في الخرسانة. انخفضت قيمة معدل الارتشاح عند استخدام اللاتكس بنسبة 8.80% و8.20% من أجل الإسمنت الممزوج مع حبيبات الدولوميت وبودرة البوزولان على الترتيب. تساعد هذه النتائج في تحسين مواصفات الخرسانة المستخدمة في خزن النفايات المشعة المنخفضة النشاط الإشعاعي والتخلص منها.

الكلمات المفتاحية: معدل الارتشاح، البوزولان، الدولوميت، اللاتكس والإسمنت.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: *Nuclear Energy 2011*.

الحالة المبيضية عند نعاج العواس السوري ذي الالية خلال مراحل تناسلية ومعاملات هرمونية مختلفة بوساطة منظار جوف البطن وتراكيز هرمون البروجستيرون

Ovarian status in fat-tailed syrian awassi ewes during different reproductive stages and hormonal treatments monitored by laparoscopy and progesterone concentrations

د. معتز زرقاوي وأحمد سكوتي، قسم الزراعة

ملخص

أجريت دراسة على سبع نعاج عواس سوري خضعت لثلاث معاملات: (1) خارج الموسم التناسلي بدون تطبيق أي معاملة (مجموعة O + UT)، (2) خارج الموسم التناسلي مع المعاملة بإسفنجات مهبلية (FGA) فقط (مجموعة O + FGA) ، و(3) داخل الموسم التناسلي مع المعاملة بإسفنجات مهبلية مترافقة مع هرمون مصل دم الفرس الحامل ((eCG) مجموعة I + FGA + eCG). رُصدت معايير النشاط المبيضي في كل مبيض بوساطة تقنية منظار جوف البطن. قُدّرت تراكيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم بتقنية المقايسة المناعية الإشعاعية. كانت أقطار الجريبات المبيضية وعددها أعلى معنوياً ($p<0.05$) عند النعاج المعاملة بالإسفنجات المهبلية. بلغ متوسط أقطار المبايض 1.24، و1.46، و1.55 سم للنعاج في المجموعات O + UT، وO + FGA، وI + FGA + eCG، على التوالي، ولم توجد فروقات معنوية ($p>0.05$) بين قطري المبيضين الأيمن والأيسر ضمن المجموعة الواحدة. كان متوسط أعداد الجريبات ذات الأقطار > 3 مم و3–5 مم و5.8 و0.37، 10.6 و1.4، و9.9 و1.9 جريب للنعاج في المجموعات O + UT، وO + FGA، وI + FGA + eCG، على التوالي. بخلاف المجموعتين الأخيرتين، لم توجد جريبات زادت أقطارها عن 4 مم في مبايض النعاج في المجموعة O + UT؛ لكن وُجدت جريبات زادت أقطارها عن 5 مم فقط في مبايض بعض نعاج مجموعة I + FGA + eCG. لم يلاحظ وجود أي جسم أصفر (CL) في مبايض نعاج مجموعة O + UT. تكونت أجسام صفراء نشيطة في مبايض نعاج مجموعتي O + FGA و I + FGA + eCG. أنتجت المجموعة الأخيرة بشكل معنوي أعداداً

أكبر، وأحجاماً أضخم، وأعماراً أطول للأجسام الصفراء (الأعداد: 1.6 مقابل 2.4؛ الأقطار: 8.1 مقابل 8.8 مم، والأعمار: 10.7 مقابل 13.0 يوماً، على التوالي). وبشكل مشابه، كان متوسط تركيز هرمون البروجستيرون خلال الطور اللوتيئيني أعلى معنوياً ($p<0.05$) في المجموعة الأخيرة منه في المجموعة الأولى (20.79 مقابل 10.23 نانو مول/ل، على التوالي). لم تحدث التصاقات بالجلد في الأعضاء المدروسة، أو أي حالة نفوق عند النعاج نتيجة الاستخدام المتكرر للمنظار. وعليه، يمكن أن تُطبّق تقنية تنظير جوف البطن بشكل آمن ومتكرر على النعجة ذاتها دون وجود مشاكل صحية.

الكلمات المفتاحية: مبيض، جسم أصفر، منظار تجويف البطن، بروجستيرون، نعجة عواس سوري.

• نُشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Applied Animal Research*.

استقصاء مضاعفة توائر بداخل تجويف الديود الليزري البضي InGaAs/GaAs ذي مفتاح الكسب

Investigation of the itracavity frequency doubling of gain-swiched InGaAs/GaAs pulsed diode laser

د. بشار عبد الغني ومصطفى حمادي، قسم الخدمات العلمية

ملخص

جرى عرض نموذج رياضي لوصف الإصدار الديناميكي لمضاعفة تواتر (IFD) بداخل التجويف لمفتاح الكسب في الديود الليزري *InGaAs/GaAs/KTP* المؤلف من مقطعين. يُضخّ أحد المقطعين كهربائياً ليزوّد قطاع الكسب، بينما لم يجر ضخ المقطع الآخر (توتر انحياز عكسي) ليؤدّي دور الماص القابل للإشباع. اختزلت المسألة الفيزيائية الثلاثية الأبعاد لنموذج ذي بعد واحد باستخدام التقريب الكظوم، الذي يسمح بفصل التابع الموجي. يسمح النموذج المقترح في هذا العمل بدراسة تأثير تغيّر وسطاء داخل الديود الليزري *InGaAs/GaAs/KTP* على مميزات الخرج النبضية. جرى حل النموذج المقترح عددياً باستعمال طريقة رونج–كوتا من المرتبة الرابعة. تعكس الحسابات العددية تأثير تغيير تيار الكسب المطبق وتيار الانحياز القابل للإشباع على مميزات نبضة الخرج الليزري. تُظهر النتائج المحسوبة وجود انسجام جيد مع النتائج التجريبية المتوافرة في المراجع.

الكلمات المفتاحية: مضاعفة تواتر، مفتاح الكسب، مقطعين، InGaAs/GaAs، الديود الليزري.

• نُشرت هذه الورقة في مجلة *Elsevier, 2011*.

متلازمة عسر تنسج نقوي ثنائية النسيلة تشرك ستة صبغيات وفقدان وحيد الصنوة لمورثة الـ RB1 – حالة نادرة

Biclonal Myelodysplastic Syndrome involving six chromosomes and monoallelic loss of RB1 - A rare case

وليد الأشقر، عبد الصمد وفا، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية
Elisabeth Kelin، مشفى جينا الجامعي، جينا، ألمانيا.
عبد المنعم جباوي، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

تمثل متلازمة عسر التنسج النقوي (MDS) مجموعة من الاضطرابات الدموية النسيلية تتميز بنقص خلوي مترق، يعكس عجز تصنيع الكريات الحمر والسلالة النقوية والعجز في نضج خلايا مولدة الصفيحات. تلاحظ الـ MDS بشكل متواتر لدى مرضى متقدمين في العمر مع وجود تبدلات صبغية كوحدانية الصبغيات 5 و/ أو 7. وقد وجدت تبدلات صبغية في 50% من حالات الـ MDS الجديدة تضمنت مورثة الرتينوبلاستوما (RB1) في الموقع Bq14.

الكلمات المفتاحية: متلازمة عسر التنسج النقوي (MDS)، ثنائي النسيلة، شذوذات صبغية، التهجين المتألق في الموضع (FISH)، تهجين متألق في الموضع عالي الدقة مثبت بالصفائح الرقيقة (aMCB)، مورثة الرتينوبلاستوما RB1.

• نُشرت هذه الورقة في مجلة: *Cytogenetics 2011 Molecular*.

كفاءة معلمات RAPD وISSR في دراسة التنوع الوراثي للنوع Arthrocnemum macrostachyum (Chenopodiaceae)

Efficiency of RAPD and ISSR markers in Assessing Genetic Variation in Arthrocnemum macrostachyum (Chenopodiaceae)

د. باسل صالح، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو تقصي التوصيف الجزيئي للطرز الوراثية للنوع A. macrostchyum المنتشرة في غرب الشاطىء السوري باستخدام تقنيتي RAPD & ISSR. أعطى تفاعل التضخيم PCR باستخدام 20 مرسّمة من RAPD وسطياً 9.25 حزمة/المرسّمة، لوحظ أكبر عدد من الحزم (17) مع المرسّمة OPG05 بينما كان أقلها عدداً (4) مع المرسّمة OPA02. تراوحت النسبة المئوية للحزم المتباينة بين 40–100% تبعاً للمرسّمة المستخدمة. من

بين 185 حزمة مختارة، كانت 160 (84.96)% متباينة. أما بالنسبة لـ ISSR، أظهرت النتائج أن استخدام 7 مرئسات من ISSR قد أعطى 88 حزمة، كان من بينها 80 (90.91%) حزمة متباينة. أعطت المرئستان $(AG)_8GTG$ & $(CA)_8RG$ المختبرتين في هذه الدراسة أعلى نسبة من الأنماط. تراوح طول القطعة لنواتج RAPD & ISSR بين 0.2–3 kb. بناءً على هذه الدراسة، من الممكن استخدام البصمة الوراثية RAPD & ISSR بوصفها أداة فعالة في دراسة التنوع الوراثي عند نبات الأشنان A. macrostchyum. أعطت كلتا التقنيتين نتائج مماثلة فيما يتعلق بعلاقة الطرز المدروسة وقد اقترح أن الطراز 2 يمثل نوعاً مختلفاً عن الطرازين الآخرين 1 & 3.

الكلمات المفتاحية: الأشنان، التنوع الوراثي، الطراز الوراثي، تكراريات التسلسل البسيط البينية، التعددية الشكلية، التعددية الشكلية لمعلمات الـ DNA المضخمة عشوائياً.

● نُشرت هذه الورقة في مجلة: *Brazilian Archives of Biology and Technology 2011.*

السمات الهدروحرارية والأمانية للوقود UO_2 في المفاعلات المنخفضة الاستطاعة

Thermal-hydroulic and Safety aspects of UO_2 fuel for low-power reactors

د.محمد البرهوم، قسم الهندسة النووية

ملخص

يُقترَح استخدام اليورانيوم المنخفض الإغناء UO_2 (حوالي 19.75% من U^{235}) وقوداً في مفاعلات البحث المنخفضة الاستطاعة. تتم دراسة خواص اليورانيوم الهدروحرارية والديناميكية في هذه الورقة العلمية. يسلك الوقود المنخفض الإغناء سلوكاً مشابهاً لسلوك الوقود العالي الإغناء في حالة التشغيل اليومي الاعتيادي في كل من المفاعلات MNSR والمفاعلات SLOWPOKE، حيث تصل درجة حرارة الغلاف إلى 60°C. يُلاحظ أن قيمتي استطاعة المفاعل ودرجات الحرارة أثناء محاكاة حادث التصميم الأساسي تكونان أعلى في حالة الوقود العالي الإغناء في المفاعلات MNSR، حيث تصل الاستطاعة إلى 135 كيلو واط وتتخطى درجة حرارة غلاف الوقود الـ 110°C في هذه الحالة. ومع كل هذا فإنه يمكن استخدام هذا الوقود بشكل آمن في هذه المفاعلات.

الكلمات المفتاحية: مفاعلات البحث المنخفضة الاستطاعة، هدروحراريات، استطاعة، درجة حرارة، DBA، المفاعلات MNSR.

● نُشرت هذه الورقة في مجلة *Nuclear Energy, 2011.*

السلينيوم والبيئة: مصادره، أثره وطرائق تعيينه

Selenium and Environment, Sources, effects and measurement

هدى عساف، قسم الوقاية والأمان

ملخص

يعد السلينيوم من الملوثات البيئية الخطرة التي ظهر تأثيرها خاصة في الآونة الأخيرة، حيث تلوث مركباته التربة والنبات والماء وأخيراً الهواء نتيجة استعمالاته في العديد من الصناعات التي تطرح محتوياتها في البيئة. نذكر منها صناعة أنصاف النواقل وصناعة التلوين أو إزالة ألوان الزجاج وصناعة الخلايا الضوئية والشمسية وفي التصوير الفوتوغرافي ومعالجة المطاط وتقسيته وفي عمليات التشخيص الطبي. تسبب بعض مركبات السلينيوم التسمم عندما تصل إلى الإنسان أو الحيوان والنبات.

يعرض التقرير الحالي ملخصاً عن خصائص السلينيوم ومركباته الكيميائية والبيولوجية والسمية بالإضافة إلى عرض موسع لمصادره في البيئة وطرق انتقاله في النظام البيئي وطرق الكشف عنه كيميائياً.

الكلمات المفتاحية: السلينيوم، مصادره، البيئة، السمية، الطرائق التحليلية.

تأثير الري الناقص في انتاجيّة وكفاءة استعمال الماء في محصول القطن المروي بالتنقيط (*Gossypium hirsutum* L.)

Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation

د. مصدق جانات، فؤاد حسين، قسم الزراعة

ملخص

نُفذت التجربة الحقلية لتقييم استجابة محصول القطن للري الناقص في ظروف الري بالتنقيط. تضمنت التجربة أربعة مستويات ري: 50، 65، 80، و100% من ماء التربة المستنزف؛ المعاملات DI50، DI65، DI80، وFI على الترتيب. سُجلت الإنتاجية العظمى في المعاملة FI في الموسمين كليهما. بينما لوحظت القيم العظمى لكفاءة استعمال الماء (WUE) ولكفاءة استعمال ماء الري في المعاملة FI وDI80 في مؤشرات نوعية الألياف في موسم 2008. أظهرت المعاملة DI80 فوائد معنوية فيما يتعلق بتوفير ماء الري وتحقيق قيمة أفضل لـ WUE، مما يشير إلى فائدة ملموسة لتوظيف الري الناقص في ظروف شح المياه.

الكلمات المفتاحية: كفاءة استعمال الماء، نوعية الألياف، الري الناقص.

● نُشرت هذه الورقة في مجلة: *Turkish journal of Agriculture &Forestry.*

تقارير علمية

تأثير قناة ارتباط متجه الأيزو على الجزء الجهري لطاقة الارتباط النووي

Effect of the isovector coupling channel on the macroscopic part of the nuclear binding energy

د. سامي حداد، قسم الفيزياء

ملخص

يُحدد تأثير قناة ارتباط متجه الأيزو للتآثر النووي على الجزء الجهري لطاقة الارتباط النووي، وذلك باستخدام تقريب توماس فيرمي النسبوي المتعلق بالكثافة، في حساب الجزء الجهري لطاقة الارتباط النووي، ويدرس تعلق هذا التأثير بأعداد النترونات والبروتونات في النواة. تؤدي قناة ارتباط متجه الأيزو إلى ازدياد في طاقة الارتباط النووي، ويزداد هذا التأثير حدة مع ازدياد تفوق عدد النترونات على عدد البروتونات.

الكلمات المفتاحية: قناة ارتباط متجه الأيزو، الجزء الجهري لطاقة الارتباط النووي، تقريب توماس فيرمي النسبوي، نظائر الرصاص، متساويات النترون N = 126.

دراسة التركيب الكيميائي والتأثير السمي لبخار الزيت العطري المستخلص من نبات العرعر (الفصيلة السروية) ضد يرقات حشرات خنفساء خابرة الحبوب

Study of the chemical composition and the toxic effect of fumigant essential oil extracted from Juniperus foetidissima (Cupressaceae) on Larvae of the Khapra beetle (Trogoderma granarium Everts)

د. غالب طيوب، ، د. إياد غانم، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية.
عدنان عودة، قسم الكيمياء.

ملخص

هدفت الدراسة الحالية إلى تحديد المكونات الكيميائية والتأثير السمي لبخار الزيت العطري المستخلص من نبات العرعر. حدد التركيب الكيميائي للزيت العطري باستخدام جهاز الكروماتوغرافيا الغازية وجهاز مطياف الكتلة. احتوى الزيت العطري على 51.4% من المركبات أحادية التربين، حيث شكل السترونيللول المركب الأعظمي، ومركبات السيسكويتربين 42.4%.

اختبرت سمية بخار هذا الزيت ضد يرقات حشرة خابرة الحبوب (Trogoderm granarium Everts). أظهر الزيت العطري مستويات مختلفة من التأثير، حيث أدى تعريض يرقات الحشرة لبخار الزيت العطري إلى موت 98% من اليرقات عند تركيز 65 ميكروليتر/160 سم^3 هواء بعد 48 ساعة.

أبدت أبخرة الزيوت العطرية لنبات العرعر مستويات عالية من السمية، وكانت التراكيز النصفية القاتلة LC_{50} عند تعريض اليرقات لمدة 48 ساعة تساوي 26.4 ميكروليتر/ليتر هواء.

تشير النتائج المذكورة آنفاً إلى إمكانية استخدام الزيت العطري المستخلص من هذا النبات لمكافحة هذه الآفة في المخازن.

الكلمات المفتاحية: العرعر، حشرة خابرة الحبوب، التبخير السمي، GC–M.

دراسة التأثير المتبادل بين البلازما وسطوح المواد بتقنية مسبر لانغمور أثناء المعالجة البلازمية

Srudy of plasma-material surface interaction using Langmuir probe technique during plasma treatment

د. صقر سلوم، د. محمد عاقل ، قسم الفيزياء

ملخص

حاولنا في هذه الدراسة فهم التأثير المتبادل بين البلازما وسطوح المواد باستخدام مسابر لانغمور. دُرس نمطان من البلازما، الأول البلازما الكهرإيجابية في الأرغون والثاني البلازما الكهرسلبية في سداسي فلور الكبريت. دُرس في النمط الأول تأثير كل من ضغط الأرغون وحقن غاز الهليوم في منطقة البلازما البعيدة وجهد الانحياز المطبق على حامل العينات على قياسات توابع الاحتمال لطاقة الإلكترون (EEPFs) التي استخدمت للتحكم بعمليتين في البلازما البعيدة. الأولى هي رُسابة البخار الكيميائي المعزز بالبلازما البعيدة لأفلام رقيقة على السليكون من المولد الطليعي (HMDOSO). والثانية هي معالجة سطح بوليمير PMMA في بلازما الأرغون البعيدة. أما في النمط الثاني من البلازما فقد قيست كل من الكثافة ودرجة الحرارة الإلكترونيتين وكمون البلازما بتقنية مسبر لانغمور المفرد الأسطواني، وتمَّ تحديد كل من تدفق الأيونات الموجبة ونسبة الأيونات السالبة باستخدام مسبر مستوٍ ودُرست عملية تنميش السليكون في بلازما SF6.

الكلمات المفتاحية: مسبر لانغمور، سطوح المواد، بلازما أرغون، بلازما سداسي فلور الكبريت.

تقدير التكاليف الاضافية للأضرار الصحية الناجمة عن أصدارات الملوثات الهوائية لمحطات التوليد الكهربائية باستخدام منهجية SIMPACTS

Assessing the External Damage Costs on Human Health Associated with Airborne Pollutants Emission of Syrian Power Plants Using SIMPACTS Approach

د. علي حينون، السموءل المصطفى، محمد خضر سيف الدين
قسم الهندسة النووية، دائرة أمان المفاعلات ومجموعة تخطيط الطاقة

ملخص

تم في هذه الدراسة تقدير التكاليف الإضافية الخارجية المرتبطة بالضرر الصحي الناجم عن الإصدارت الغازية المنبعثة عن محطات التوليد الكهربائية في سورية باستخدام منهجية تحليل مسار الأثر Simplified Impact Pathway Approach (SIPA). وتشير النتائج إلى أن الآثار البيئية يمكن أن تتسبب بتكاليف خارجية معتبرة تضاف إلى تكاليف التوليد الاعتيادية، حيث تراوحت هذه التكاليف بين 2.5 و0.07 دولار سنت لكل كيلوواط ساعي بالنسبة للمحطات العاملة على الفيول الثقيل والغاز الطبيعي على التوالي. وتشير النتائج إلى أن التكاليف الخارجية للمحطات العاملة على الفيول الثقيل، والتي تشكل ما مقداره 25% من تكاليف التوليد الحالية، تعود بشكل أساسي إلى تأثير الكبريت الموجود بنسبة عالية في الفيول السوري. وتبين النتائج المحصلة الإيجابية التي تتمتع بها المحطات العاملة على الغاز الطبيعي كتكنولوجية نظيفة وصديقة للبيئة، مقارنةً مع المحطات العاملة على الفيول التي تبدو الضرورة ملحة لتزويدها بتقنيات وأجهزة تساعد على تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2.

الكلمات المفتاحية: منهجية تتبع مسار الأثر، برنامج SIMPACTS، تكاليف الضرر الصحي، التكاليف الخارجية.

تصميم جهاز رحلان كهربائي وتنفيذه

Design and Construction of an electrophoresis device

د. محمد بهاء الصوص، د. وليد الأشقر، قسم الفيزياء والتقانة الحيوية

ملخص

جرى في هذا العمل دراسة عملية التحكم الضوئي لإيقاف الرحلان الكهربائي، ثم بناء جهاز رحلان كهربائي مخبري يعتمد على هذه الطريقة. دُرس امتصاص العينات وملون أزرق البروموفينول فكان طول الموجة الأنسب للعمل يقع ضمن المجال 450 إلى 510 نانومتر إلا أنه، وبسبب عدم توفر ليزرات تجارية رخيصة ضمن هذا المجال، جرى استخدام الليزرات المتوفرة ذات الأطوال الموجية القريبة من 630 نانومتر. بينت التجارب نجاح عملية التحكم الضوئي بشرط استخدام تراكيز عالية من الملون بسبب ضعف امتصاصه لليزر مما قد يؤثر على عملية الرحلان الكهربائي. نتج من هذا العمل أيضاً تصنيع نسخة تجارية من جهاز الرحلان الكهربائي التقليدي لا يتضمن عملية التحكم الضوئي.

الكلمات المفتاحية: رحلان كهربائي، امتصاص ضوئي.

مقارنة نتائج القياسات بمطياف غاما المحمول بنتائج القياسات التقليدية لتعيين النكليدات المشعة في التربة

Comparison Of In-Situ Gamma Ray Spectrometry Measurements With Conventional Methods In Determination Natural And Artificial Nuclides In Soil

د. محمد سعيد المصري، أحمد وائل دبل، قسم الوقاية والأمان.

ملخص

اعتمدت تقانتان (مطيافية غاما التقليدية ومطيافية غاما المحمولة) لتعيين المواد المشعة الطبيعية والصنعية في التربة. اعتمدت التقانة الأولى على تعيين المحتوى الإشعاعي في عينات تمثيلية للتربة المدروسة بعد تحضيرها مخبرياً، في حين اعتمدت الطريقة الثانية على استخدام مطيافية غاما المحمولة في قياس إصدارات غاما في التربة مباشرة دون سحب عينات للقياس. جرت مقارنة معاملات الاعتماد التحليلية كحدود الكشف الدنيا وصحة الطريقة والتكرارية وقابلية الإعادة بالإضافة إلى تعيين ارتيابات القياس لكل من الطريقتين. أوضحت نتائج المقارنة أنه لا يمكن الاستغناء عن أي من الطريقتين في تعيين النشاط الإشعاعي في التربة حيث تتميز كل منهما بحد كشف أدنى ودرجة ارتياب تناسب مجالاً محدداً وفق تطبيق القياس.

جرى تعيين النظائر المشعة في مواقع عدة باستخدام الطريقتين وذلك بتحديد كل من البوتاسيوم 40K ونظائر سلسلة اليورانيوم 238U والسيزيوم 137Cs، بينت النتائج وجود تغيرات في معاملات التوهين الكلية بسبب اختلاف محتوى التربة من الرطوبة وينصح بتصحيح الوزن الرطب عند إجراء المقارنة ما بين المطيافية التقليدية والحقلية.

الكلمات المفتاحية: معاملات التحويل الحقلية، كاشف غاما المحمول، توزع النكليدات المشعة الطبيعية والصنعية في التربة.

استخدام تقنية الرشرشة في تحضير طبقات رقيقة من أكسيد التوتياء وتوصيفها

Applying Rf magnetron sputtering to prepare ZnO thin films and their characterization

د. معين سعد، د. عمار قسيس، قسم الفيزياء

ملخص

جرى تحضير طبقات رقيقة من أكسيد التوتياء باستخدام تقنية الرشرشة بالأمواج الراديوية المدعومة بالحقل المغنطيسي في شروط تحضير مختلفة (قيم متعددة لضغط العمل واستطاعة الأمواج الراديوية المولدة للبلازما ودرجة حرارة الركازة). كما جرى تحديد الخصائص الضوئية لهذه الطبقات عبر قياس نفوذيتها في المجال الطيفي (300–1000nm)، وجرى تحديد خصائصها الكهربائية عبر قياس مقاومتها الكهربائية. نوقشت النتائج على ضوء نموذج تورنتن المعدل الذي يصف بنية طبقات أكاسيد المعادن الرقيقة الموضعة بآلية الرشرشة.

اقترحت شروط التوضيع المناسبة لتحضير الطبقة الحاجزة i–ZnO التي تتمتع بنفوذية عالية للضوء ومقاومة كهربائية مرتفعة، والطبقة النافذة n–ZnO التي تتمتع بنفوذية عالية للضوء ومقاومة كهربائية منخفضة.

الكلمات المفتاحية: الرشرشة، الأفلام الرقيقة، ZnO، النفوذية، المقاومة الكهربائية.

حساسية بعض أصناف الكرمة المنتشرة في المنطقة الوسطى لحشرة الفيلوكسيرا

Sensitivity of some grape varieties in the med .region of Syria to grape phylloxera

د. حياة المكي، عماد إدريس، د. إبراهيم خليفة
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، البحوث الزراعية، حمص

ملخص

جرت دراسة دورة حياة السلالة المحلية لحشرة الفيلوكسيرا على بعض أصناف العنب المحلية والأصل الجذري بـ41، حيث أُخذت قطع جذرية صغيرة من هذه الأصناف المزروعة في الحقل، وأجريت الدراسة عليها. أشارت النتائج إلى وجود فروقات معنوية في النسب المئوية للمعاملات المدروسة (نسبة البقاء، عدد البيض، فترة وضع البيض، مدة التطور، عدد التدرنات، حجم المجتمع الحشري) وذلك بين معظم الأصناف المدروسة والأصل الجذري بـ41. كما بينت النتائج أن الصنفين الحفرزلي والقرواني كانا أكثر تحملاً للإصابة بفيلوكسيرا العنب المحلية. وفي الحقيقة كانت مقاومة هذين الصنفين قريبة من مقاومة الأصل الأمريكي بـ41. بينما كان الصنفان الغربي والسلموني عائلين مناسبين للإصابة بهذه الحشرة المدمرة.

الكلمات المفتاحية: فيلوكسيرا العنب، أصناف العنب المحلية، حساس، متحمل.

استخدام الكود MCNP-4C لتصميم حزمة نترونية حرارية للتصوير النتروني في مفاعل منسر

Using the MCNP-4C code for Design of the Themal Neutron Beam for Neutron Radiogpraphy at the MNSR

د. إسماعيل شعبان، قسم الهندسة النووية

ملخص

استخدم الكود MCNP-4C لتصميم ثلاث حزم نترونية حرارية في المفاعل منسر (MNSR-30 kW) لاستخدامها في التصوير بالنترونات، حيث قسم المجال الطاقي للنترونات إلى ثلاث مجموعات: $0.4eV$ الحرارية، $(0.4eV\text{-}10keV)$ فوق الحرارية والسريعة $(10eV\text{-}20keV)$، واستخدمت مواد عدة مثل Bi, Pb, Al_2O_3 وبورات بولي – إيتيلين بهدف الحصول على أعلى تدفق للنترونات الحرارية ولتخفيض شدة أشعة غاما عند خرج القناة. وبلغت القيم الوسطية لتدفق النترونات الحرارية عند خرج القناة على ارتفاع 550 سم من مركز قلب المفاعل القيم التالية: 1.436×10^5 $n/cm^2.s$ و1.843×10^5 $n/cm^2.s$، و2.845×10^5 $n/cm^2.s$ من أجل النسب L/D=125, 110, 90 على الترتيب وبقيمة وسطية لطاقة قطع الكادميوم مساوية إلى R_{cd}=2.829, 2.766, 3.191 على الترتيب. وقدرت جرعة أشعة غاما عند خرج الحزمة بالقيم التالية:

6.705×10^{-2} Rem/h، و1.275×10^{-1} Rem/h، و2.678×10^{-1} Rem/h من أجل النسب L/D=125, 110, 90 على الترتيب. ويمكن أن تزيد هذه الحزم النترونية إذا تم بناؤها من تطبيقات المفاعل منسر في سورية.

الكلمات المفتاحية: مفاعل البحث منسر، تصميم حزمة نترونية، النترونات الحرارية، مرشحات نترونية، التصوير بالنترونات NRG، الكود MCNP–4C.

كشاف أعداد مجلة عالم الذرة للعام 2011

أولاً المقالات:

العدد 131 / كانون الثاني – شباط: ص

- واضعو اللمسات الأخيرة على الجينوم البشري. 5
- الإقلاع عن الإدمان في استهلاك النفط. 10
- السنوات الأربعمئة لعلم الكواكب منذ كاليليو. 16

العدد 132 / آذار – نيسان:

- ترويض الضوء على المستوى النانوي. 5
- سائل السبينات الكمومي يبزغ من فرميونات ديراك المتعالقة في بعدين. 11
- المعالجة الإشعاعية بأيونات الكربون. 18

العدد 133 / أيار- حزيران:

- عودة المفاعلات. 5
- الاتجاهات الراهنة للكهرباء النووية في أوربة والعالم. 18
- مفاعلات البحوث مصانع النترونات. 24

العدد 134 / تموز- آب:

- الدروس الأربعة عشر المستفادة من برنامج الطاقة النووية الناجح لجمهورية كوريا الجنوبية. 5
- اختبارات الكربون الجديد. 24
- فيزياء فلكية في المختبر. 29

العدد 135 / أيلول- تشرين الأول:

- بصمة المواد النووية للتشريعات النووية. 5
- التاريخ التشريعي لصكوك الأمن النووي. 12
- أدوات تخطيط الطاقة ومنهجياته. 17
- ما وراء الغذاء مقابل الوقود. 33

العدد 136 / تشرين الثاني- كانون الأول:

- حدود الميز المكاني الحالية. 5
- الطريق إلى انعدام المقاومة الكهربائية. 12
- القراءة السريعة. 22
- من وقود اليورانيوم العالي التخصيب إلى المنخفض التخصيب العالي في مفاعلات الأبحاث. 28

ثانياً الأخبار العلمية:

العدد 131:

- أصبحت الفلورة أسهل. 29
- هل الأنابيب النانوية هي مستقبل العلاج الإشعاعي؟ 31
- أصبغة مزدوجة الغرض تقدم خيارات تصوير جديدة. 32
- قبلة الموت لخلايا السرطان. 33
- سعي الولايات المتحدة الأمريكية لإتاحة ورقات البحث العلمي مجاناً للعموم. 37
- كاتيون بتسعة أذرع. 37
- اكتشاف أسرار الحياة. 40
- عين على معالجة العمى. 42

- خيار الطاقة النووية: إلى أين؟ 44
- الصوديوم. 48
- إنشاء بنية تحتية لبرامج الطاقة النووية. 52

العدد 132: ص

- طفيلي الملاريا يظهر شاذاً. 29
- توجهات جديدة للعلم في العالم النامي. 31
- طبعات للإلكترونات تقدر بالأتوثانية. 34
- طور جديد للتصوير بالأشعة السينية. 37
- لم يتأين الهدروجين فجأة. 39
- استهداف التلاثيمية – بيتا. 41
- الفيزياء في عالم الكيميائيين. 43
- أثر الثقالة في توحيد القوى الأساسية. 45
- العلاقة بين أكسيد النتريك والميتان. 47
- النتروجين. 49

العدد 133:

- ميكروب يحصل على استجابة سامة. 35
- عالم بدون بعوض. 37
- اليورانيوم: الموارد المقدرة تكفي لأكثر من مئة عام. 42
- فوتونات مشبوكة على جذاذة. 43
- ذاكرة وصول عشوائي كمومية. 46
- ليزر فائق يطلق رصاصة خلبية. 48
- الكالسيوم. 50

العدد 134:

- الوجه الناقل لعازل. 37
- الفسفور وتفجر الهواء النقي. 39
- تبادل نووي. 41
- المخاطر الصحية لمحطة فوكوشيما النووية تفحص بدقة. 46
- المعادن ليست الحفازات الوحيدة. 48
- إيحاءات فرصة نادرة. 50
- تصدع في نموذج الخلايا الجذعية المحرضة. 52
- الفسفور. 54

العدد 135:

- مستقبل واعد للطاقات المتجددة. 38
- الوكالة النووية تواجه دعوات للإصلاح. 41
- رئيس الأمان النووي يدعو للإصلاح. 43
- اليابان تعيد النظر في سياستها الطاقية. 45
- حادثة فوكوشيما: تعلم الدروس. 46
- الأكسجين. 50

العدد 136:

- وقود حيوي من حثالة خضراء. 37
- تقنية جديدة لفحص مرض ألزهايمر. 40
- علماء الاندماج في المستقبل. 42
- المصادم البشري الكبير. 44
- من النظائر إلى النجوم. 49
- الكبريت. 52

Aalam Al-Zarra

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

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Director General of A.E.C.S.

Editors-In-Chief

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Kaaka

Members of Editing Committee

Prof. Dr. A. Haj Saeed

Prof. Dr. M. Hamo-Leila

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin

Distribution

Otaiba Moneim

Typesetting

Hanadi Kanafani

Gofran Nowruz

Artistic Layout

Bashar Masoud

Nabil Ibrahim

Mouhannad Al-baidah

Amal Kirot

Language Audit

Nawal AL-Halah

Rima Sendyan

Follow-up & coordination

Hassan Bakleh

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