عالم 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

AECS AECS

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. علي حينون

أ. د. توفيق ياسين

أ. د. نزار مير علي

أ. د. نجم الدين الشرابي

أ. د. زهير قطان

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

لعنة دنا الفراعنة 5

مقـــالات

أمل جديد في مكافحة سرطان الدماغ 10

الخلايا الجذعية تقدم المدد إلى الأورام الدماغية المميتة، وأن استهداف تلك الخلايا المتهمة المراوغة قد يفضي إلى الشفاء.

إلكترونيات في المقاس النانوي بأنصاف نواقل مركبات عناصر عمودي الجدول الدوري III و V 18

قد تكون خواص النقل الإلكتروني البارزة لهذه المواد مرتكز تطوير أولى الترانزستورات المنطقية في المقاس النانوي.

إرث فوكوشيما من الخوف 28

أدى أسوأ حادث نووي شهدته اليابان حتى الآن، إلى نزوح أكثر من 100000 شخص.

أخبار علمية

- هل يوجد مأزق في أوزون القطب الشمالي؟ 33
- لنعط العقاقير المُعدِّلة للذاكرة الفرصة لاستخدامها 35
- سطح الذهب الغامض 37
- أنماط الحياة 39
- مستقبل الطاقة وفق استطلاع لشركة شيل 41
- جان ماري لين، حماسة عقلانيّة 43
- مثبتات تسبّب عدم استقرار 45
- العبور النفقي عبر سلك نانوي 47

نافذة على عناصر الجدول الدوري:

الهدروجين 49

ورقات علمية

- منهجية مركبة لتقنيتي التوأمية الزلزالية وآلية البؤرة التراكمية لتمييز النطاقات النشطة زلزالياً في سورية 57
- قياس خلاصة الزيت العطري لأوراق نبات الآس البري السوري ومضادات الأكسدة لمكوناتها باستخدام تقنية التألق الكيميائي الضوئي 57
- دراسة المسحوق للمركب الراسيمي 5-(3RS،2RS)-أمينو-3-[4-(3-ميثوكسي فينيل) بيبيرازين-1-إيل]- 1، 2، 3، 4-رباعي هيدرونفتالين-2-أول 58
- دراسة فخاريات أثرية سورية بجمع تطبيق التألق الحراري للتأريخ، والتحليل بالتفلور بالأشعة السينية والتحليل الإحصائي المتعدد المتغيرات 58
- استمثال مردود إصدارات الهليوم وليمان في البلازما المحرقية المنخفضة الطاقة العاملة مع الأرغون 59
- دراسة تحرر الكلوروأمفينيكول عبر هلامات من البولي فينيل الكحول والأكريل أميد باستخدام تقنية التحليل بالأشعة السينية المتحرضة عن جسيمات مسرعة (PIXE) 59

تقارير علمية

- التوصيف الجزيئي لطرز الوردة الدمشقية (Rosa damascena Mill.) في بعض المناطق السورية وعلاقتها بنوعية الزيت العطري 60
- أتمتة جهاز البلازما المحرقي عبر نظام GPIB 60
- المقاومة الجهازية المحفزة عند الشعير بواسطة سلالة البكتيريا غير الممرضة Pseudomonas putida BTP1 ضد الفطر Cochliobolus sativus 61
- الأنماط الاهتزازية للسيلكون المسامي الأميلاز 61
- دراسة تأثير حركية الماء في بعض الأوساط المسامية على انتقال العناصر 61
- المعالجة الإشعاعية للمياه الناتجة من عصر الزيتون (الجفت) للتخلص من الملوثات العضوية 62
- الحلول الرياضية لمعادلات المعدّل لليزر نيوديميوم المضخوخ بديود ليزري والمزود بمفتاح جودة منفعل وقافل للأنماط بوساطة الماص المستقطب القابل للإشباع :YAG CR4+ 62
- معادلة حالة المادة النووية وعدم انضغاطيتها في نظرية الحقل الهادروني النسبوي والمتعلق بالكثافة 63
- دراسة خواص التحسس للغازات والرطوبة للأفلام الرقيقة السليكونية الكربونتريدية المهدرجة من بلازما (N_2 + HMDSN ($C_6H_{19}Si_2N$)) المتولدة في منظومة بلازما المهبط المجوف الراديوية 63

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.

لعنة
دنا الفراعنة

يزعم بعض الباحثين أنهم حلّلوا دنا (DNA) من مومياءات مصرية. ويقول آخرون إن ذلك مستحيل. هل يمكن لطرائق السلسلة الحديثة أن تجسر الهوة؟

الكلمات المفتاحية: *دنا من مومياءات مصرية، طرائق السلسلة الحديثة، تحليل الدنا، توت عنخ آمون.*

Key words: DNA from Egyption mummies, new sequencing methods, DNA analysis, Tutankhamun.

تبدأ الكاميرات بالتحرك عندما يتفحص خبيرا الدنا القديم، كارستين بوش C. Pusch وألبرت زينك A. Zink، صفاً من القمم الملونة على شاشة حاسوبهما. إنها حالة ترقب مثير. «يا الله!» يهمس بوش، تصبح الكلمات غير مفهومة بسبب قناعه الجراحي. بعدئذ تصافحت الأيادي وترافق ذلك

هيئة الطاقة الذرية السورية

مع الضحك وتصفيق زملائهم المصريين. لهما كلّ الحق لأن يكونا سعيدين بنفسيهما. بعد شهور من العمل المضني، أخيرا أنهيا تحاليل الدنا من مومياء الملك توت عنخ آمون التي عمرها 3300 سنة.

عُرض هذا العمل على قناة الاكتشاف الوثائقية Discovery Channel العام الماضي تحت اسم فك رموز الملك توت، ونشر في مجلة الزمالة الطبية الأمريكية (JAMA). كان تحليلهما لتوت عنخ آمون وعشرة من أقاربه هو الأخير في سلسلة دراسات تتعرض لتحليل دنا المومياءات المصرية القديمة. من الظاهر أنه يكشف علاقات القرابة الأسرية بين المومياءات إضافة إلى المصائب التي لحقت بهم مثل السل والملاريا، ويبدو أن العمل يقدم تبصراً غير مسبوق عن حياة المصريين القدماء وصحتهم ويمهد لعصر جديد من «علم الآثار والثقافة المصرية القديمة الجزيئي molecular Egyptology»، باستثناء أن نصف الباحثين في هذا المجال يعترض على كل كلمة منه.

> «المومياءات التي وجدت في قبر الملك توت عنخ آمون هي في قلب الجدال حول تحاليل الدنا»

ادخل إلى عالم دنا المصريين القدماء وسوف يطلب منك أن تختار بين حقيقتين بديلتين: الأولى تكون فيها تحاليل الدنا عملاً روتينياً والأخرى تكون فيها مستحيلة. يقول توم غيلبرت T. Gilbert الذي يترأس مجموعتي عمل بحثيتان في مركز الوراثة الجيولوجية في كوبنهاجن، وهو أحد أهم مخابر الدنا القديم في العالم: «إن مجال الدنا القديم مقسوم بشكل مطلق إلى نصفين».

إن كلا الجانبين غير قادرين على حلّ خلافاتهما، فهما ينشران في مجلات مختلفة، ويحضران مؤتمرات مختلفة ويشيران إلى بعضهما كـ «مؤمنين» و «مشكّكين» عندما لا يتجاهلان بعضهما بعضا. أزكت دراسة توت عنخ آمون التوترات القائمة منذ زمن بعيد بين المعسكرين، حيث يزعم المشككون أنه في هذه الدراسة، كما في معظم الدراسات الأخرى، يمكن أن تفسر النتائج بالتلوث. لكن تقنيات السلسلة من الجيل التالي يمكن لها قريباً أن تحلّ الخلاف لمرة واحدة وإلى الأبد، حيث تجعلها أسهل لسلسلة الدنا القديم المتحلّل. ولكن حتى الآن يقول زنك: «إنها مثل شيء ديني. إذا تمت مراجعة أوراقنا العلمية من قبل إحدى المجموعات الأخرى، ستحصل على تعليقات مثل –لا أعتقد أن ذلك ممكن– وهذا يصعب مجادلته».

صعود وهبوط

ابتدأ عدم التوافق منذ بزوغ أبحاث الدنا القديم. في الثمانينيات، قام طالب دكتوراه شاب يدعى سفانتي بابو بعمل من وراء ظهر مشرفه العلمي في جامعة أوبسالا في السويد ادعى فيه بأنه قام بعمل لم يظن أحد آخر غيره أنه كان ممكناً: نسل دنا نووي من مومياء مصرية عمرها 2400 سنة. سرعان ما لاحظ الباحثون أنه يمكنهم استعمال تقنية جديدة تُدعى التفاعل السلسلي للبوليميراز (PCR) لتضخيم مقادير ضئيلة من الدنا من عيّنات قديمة، بما يشمل حشرات حفظت في العنبر (الكهرمان) وحتى ديناصورات عمرها 80 مليون سنة.

بعدها جاء السقوط. تبين أن الـ PCR حسّاس للتلوث في معظم الأوقات، وأنه ذو مخاطر بشكل خاص عند العمل على مقادير ضئيلة من دنا قديم ومكسّر، وأن أثراً فقط من دنا حديث –من عالِم الآثار الذي يتعامل مع العينة– قد يخرّب النتيجة. دنا الـ «ديناصور» يعود للإنسان المعاصر كما كانت نسيلة بابو الرائدة. عندما بدأ الباحثون اتباع إجراءات تحفظية صارمة، بما يشمل تكرار النتائج في مخابر مستقلة، فإن محاولات الحصول على دنا من المومياءات المصرية لاقت نجاحاً ضئيلاً.

يقول المشكّكون إن هذا ليس مفاجئاً. يتكسّر الدنا عبر الزمن، في معدل يزداد مع درجة الحرارة. بعد آلاف السنين في طقس مصر الحار، يقولون إنه من غير المرجح بشدة أن تحتوي المومياءات على شدف دنا كبيرة بما يكفي لتتضخم بالـ PCR. يقول بابو، الذي يعمل الآن في مركز ماكس بلانك لعلم الإنسان التطوري في لايبزغ ورائد في المجال: «حالة الحفظ في معظم المومياءات المصرية سيئة بشكل واضح». ذهب باحث الدنا القديم فرانكو رولو F. Rollo من جامعة كاميرينو، في إيطاليا حتى الآن لاختبار الزمن الممكن ليبقى فيه حفظ دنا المومياء بحالة جيدة. اختبر سلسلة من شدف نبات البردي من أعمار مختلفة ومحفوظة في شروط مشابهة للمومياءات. قدر أن شدف الدنا الكبيرة بما يكفي لكي يحددها الـ PCR – حوالي 90 زوجاً قاعدياً بالطول– سوف تختفي بعد حوالي 600 سنة.

وخلال ذلك نشر الباحثون المنافسون سيلاً ثابتاً من المقالات عن استخلاص الدنا من المومياءات المصرية تعود إلى حتى 5000 سنة من العمر. اختبر زنك وزملاؤه مئات المومياءات وزعم أنه كشف دنا من طيف من البكتيريا تشمل بكتيريا السل Mycobacterium tuberculosis والدفتيريا Corynebacterium diphtheria والإيشيريشية القولونية Escherichia coli إضافة إلى الطفيليات المسؤولة عن الملاريا والليشمانيا.

في دراسة عالية المستوى أجريت عام 2010، ذكر فريق بقيادة عالمة الأحياء الدقيقة هيلين دونغو H. Donoghue من كلية جامعة لندن أنهم وجدوا دنا من عصية السل M. tuberculosis في مومياء الدكتور غرانفيلي – المسمّاة على اسم الطبيب أوغسطس غرانفيلي A. Granville، وهو أول شخص يتجسّس على مومياء في العام 1825.

على الأقل في حالة السل (TB)، فإن دونغو لا تتفق بشدة مع الفكرة التي مفادها أن الدنا لا يستطيع أن يحافظ على حاله في المومياءات المصرية. وتجادل بأن البكتيريا العصوية مثل M. tuberculosis لها جدران خلوية غنية بالشحوم التي تتحلّل ببطء وتحمي الدنا. تَدَّعي دونغو أنها أكدت في حالات عديدة وجود البكتيريوم من خلال كشف هذه الشحوم بشكل مباشر، وتقول إن الضوابط الشديدة لمنع التلوث التي تتطلبها مخابر الدنا القديم ليست بذات الأهمية للدنا الميكروبي القديم كما هي بالنسبة للدنا البشري. وبالنهاية، تقول إن مخابر التشخيص الحديثة تكشف عصية السل بشكل روتيني باستخدام الـ PCR –مما يقترح أن الاختبار ليس حسّاساً للتلوث كما يخشى المشكّكون. ومن وجهة نظر دونغو «بعض المحاذير التي يتكلمون عنها تتجاوز بكثير كلّ مخابر التشخيص في البلد».

المشكّكون غير متأثرين. فبدون وضع ضوابط قاسية جداً، من المستحيل إظهار أي تسلسلات ميكروبية من الدنا القديم وليس من ميكروبات حديثة كما يقول جيلبرت. «كيف تعرف أن لديك عصية سل وليس أية عصية أخرى ذات تسلسل دنا مشابه؟» يعتقد هو ومشكّكون آخرون أن كلّ هذه الأبحاث تعتمد على تفكير متفائل.

تعبت المجموعتان الآن من المجادلة. يقول إيان بارنز I. Barnes، عالم أحفوريات جزيئي في رويال هالاوي، جامعة لندن، والذي يعمل على دنا من الحيوانات القديمة ومنها الماموث: «يتم التعامل مع الموضوع الآن بتجاهل بعضهما بعضاً»، ويضيف: «هناك الكثير من الأموات حولنا وأنت لست مجبراً بأن تدخل إلى حيّز الآخرين».

عالم الآثار زاهي حواس مع جدة الملك توت والكثير من الصحافة.

جدل ملكي

ولكن بعد دراسة JAMA على توت عنخ آمون وعائلته، فقد أُعيد الجدل بقوة. وتُعدُّ الدراسات على الدنا البشري من المومياءات المصرية أكثرها تناقضاً. أحد الأسباب هو النمط العالي من المطالبات. والسبب الآخر هو أن التلوث بالدنا البشري الحديث يصعب جداً كشفه، لأن التركيب الوراثي هو تقريباً مطابق تماماً لذلك الموجود في المومياءات البشرية. وفوق ذلك كله إن الوصول المحدود للعيّنات يجعل من الصعب التحقق من أي دعوى في مخابر مستقلة. بعد أكثر من قرن من نزف النفائس الثمينة إلى خارج البلد إلى متاحف ومجموعات خاصة في كلّ العالم، فرضت السلطات المصرية حظراً على أخذ عيّنات آثار من مصر. معظم الباحثين غير المصريين الذين يريدون دراسة المومياءات يقتصر عملهم على المعروض في المتاحف خارج مصر.

ابتدأ مشروع توت عنخ آمون بفريق مصري جنّده عالم الآثار زاهي حواس، المسؤول المصري الأرفع عن الآثار. كانت الدراسة الأولى التي تتناول الدنا القديم على المومياءات الملكية، وافتقر البلد الخبرات الضرورية. لذلك طلب حواس من زنك، الباحث المرموق في مركز EURAC للمومياءات والإنسان الجليدي في بولزانو بإيطاليا، وبوش من جامعة توبينغين بألمانيا أن يعملا بوصفهما استشاريين. صمّم الثنائي الدراسة وأشرفا عليها، وشمل ذلك بناء مختبرين مخصّصين لذلك في القاهرة. وتمّت تغطية نفقاتهما جزئياً من قبل قناة الاكتشاف Discovery Channel التي عرضت المشروع.

نفى الباحثون أن إشراك التلفزيون وَضَعَهم تحت ضغط زائد للوصول إلى نتائج مثيرة. ولكن العمل بمواجهة الكاميرات جعل التحدي في المشروع أقسى. يقول بوش: «كلّ مرة أتوا فيها للتصوير، كان علينا أن نغلق المختبر لمدة أسبوع للتنظيف». وبالنهاية كان على طاقم التلفزيون أن يرحل ويُعاد إنشاء مكان المختبر.

بالنهاية، بدا أن المشروع كان بمثابة نجاح كبير، ولاقت نتائجه اهتماماً صحفياً كبيراً. ادّعى الباحثون أنهم كشفوا دنا من طفيل الملاريا Plasmodium falciparum في العديد من المومياءات بما يشمل توت عنخ آمون، دلالةً على أن الإصابة ساهمت في موتهم، وقالوا إنهم حصلوا على شدف من دنا بشري من كل مومياء مختبرة، واستخدموا البيانات لإنشاء شجرة قرابة لخمسة أجيال من أسرة توت عنخ آمون، بدءاً من أبوي جديه إلى الجسدين الصغيرين اللذين وجدا في قبره واللذين حُدِّدا على أنهما طفلاه الحديثي الولادة.

كل هذه القصة لم تؤد سوى إلى رفع حواجب النصف الآخر من المجتمع. «إنني مشكك جداً»، يقول إيسك فيليرسليف E. W.llerslev، مدير مركز كوبنهاجن للوراثة الجيولوجية، والذي شارك برسالة إلى مجلة JAMA تخالف النتائج. ما يثير اهتمامه بشكل رئيس، ويشاركه بذلك آخرون، هو الطريقة المستخدمة لتحليل الدنا. بدلاً من استخلاص سلسلة الدنا، استخدم الفريق تقنية تُدعى البصمة الوراثية، والتي تتضمن قياس حجم منتجات الدنا المضخّمة في جهاز الـ PCR، يقول الناقدون إنها نادراً ما تستخدم في دراسات الدنا القديم، لأنه بدون بيانات السلسلة يكون صعباً بشكل خاص التأكد من عدم وجود تلوث. وفي مومياء تمّ التعامل معها كثيراً، مثل تلك الخاصة بتوت عنخ آمون، يقول الناقدون، إن التلوث يكون واسع الانتشار.

عظام الخلاف

قام فريق توت عنخ آمون بالكثير من الضوابط، وشمل ذلك تكرار الاختبارات من قبل فرق بحثية مختلفة في مخبرين ومقارنة بصمات دنا المومياء في الفريقين البحثيين لضبط التلوث وكشفه. وأضاف زنك وبوش أن العينات أخذت من داخل عظام المومياءات، بحيث يجب ألّا يكون التلوث قد وصل للدنا بحسب قولهما.

يعتقد زنك وبوش أن عملية التحنيط بنزع الماء تحمي الدنا من التحلّل في القبر الحار، وهذا الذي تحتاجه الآلية

يُعتقد أن الأجساد الصغيرة المدفونة مع توت عنخ آمون تعود لأطفاله الحديثي الولادة.

الرئيسة لتحلّل الدنا والمسماة نزع البيورين. جفّف المحنطون المصريون الأجسام بالناترون وهو خليط يحدث طبيعياً من الأملاح مباشرة بعد الموت. يقول زنك «عرف المصريون بالحقيقة كيف يحفظون الجسم»، «لقد تخلصوا من الماء بسرعة كبيرة». كما جرى تنعيم توت عنخ آمون بمواد التحنيط والمراهم التي يُعتقد أنها تحتوي على مكونات مثل البيتيومين والزيوت النباتية وشمع النحل، ويعتقد بوش أنها أعطت الدنا مزيداً من الحماية من الآثار الضارة للماء. لم يكن حواس منغمساً بشكل مباشر في أبحاث الدنا، ولكنه أيّد استنتاجات الفريق قائلا: "يبدو أن الدنا في المومياءات المصرية يحافظ على وضعه بشكل جيد".

يقول ديفيد لامبارت D. Lambert، الباحث في الدنا القديم وعالم البيولوجيا التطورية في جامعة غريفيث في ناثان، كوينزلاند: «هناك العديد من الأشياء الصحيحة في الورقة العلمية»، وهو يلمح إلى أن فريق توت عنخ آمون لم يكن قادراً على تضخيم مؤشرات الصبغي Y من مومياءات الإناث والذي يتناقض مع التلوث من علماء الآثار المعاصرين الذين يكونون ذكوراً بشكل عام. في عمل غير منشور، يقول لامبارت أنه ضخّم دنا من طائر أبو منجل محنط وهو طائر مقدس في مصر القديمة، ويقول: «نحن واثقون أن طرائق الدنا التقليدية للـ PCR تعمل بشكل جيد مع بعض المواد التي لدينا».

لكن المرتابين يشكّكون بأنه لم يبقَ دنا بشكلٍ كافٍ في توت عنخ آمون لتكون النتائج حقيقية. إنهم يقولون إن الجسد المحنط سيمتص بسرعة أية رطوبة موجودة في الجو وخاصة إلى داخل

العظام المسامية. عندما فتح عالِم الآثار البريطاني لأول مرة أكفان توت عنخ آمون في عام 1925، ذكر أنها تضررت بالرطوبة. ولكن من الصعب لأي شخص كان أن يكرّر عمل الدنا دون السماح له بالوصول للعينات.

تركت دراسة توت عنخ آمون هذا المجال مقسماً أكثر من أي وقت مضى، مع إحباط واضح لدى الطرفين. يقول بوش: «لا أفهم قسوة الناس، هذا عمل رائد». ويقول: «إنه يتشارك مع زنك في أنهما يسلسلان الدنا من الميتوكوندريا وصبغيات Y العائدة للمومياءات، ويخططان لنشر النتائج».

ولكن الآن وبعد سنوات من النزاع، فإن الخطوات السريعة في تقانة السلسلة بدأت في تغيير اللعبة. تستطيع أحدث تقنية أن تقرأ شدفاً أقصر بكثير –بسهولة حتى 30 زوجاً من القواعد التي يمكن أن توجد في مومياء مصرية عمرها 2000 سنة. يقول غيلبرت: «هذا يمكن أن يدفع بزمن المحافظة على الدنا لمسافة بعيدة إلى الوراء»، ويضيف: «نستطيع أن نحصل الآن على جينومات الأشياء التي كتبنا عنها في الماضي». وبشكل حاسم، فإن سرعة التقنيات تجعل سلسلة عيّنة ما عدة مرات أسهل بكثير، وأن تجزم بعدم وجود تلوث بالتحقق من أنماط خصائص تخرب الدنا القديم.

> «لا أفهم قسوة الناس، فهذا عمل رائد»

مكّنت هذه التقنيات فيليريسليف وغيلبرت وزملاءهما عام 2011 من نشر سلسلة الجينوم الكامل لإنسان جليدي من غرينلاند عمره حوالي 4000 سنة. وخلال أسابيع، نشر فريق بقيادة بابو جينوماً لإنسان ناندرثال عمره 38000 سنة وشبيه إنسان غير معروف مسبقاً من جنوب سيبيريا. في هذه الأثناء فإن فريق زنك قاب قوسين من نشر جينوم الإنسان الجليدي أوتسي.

حُفظت جميع هذه العينات تحت الظروف الباردة، ولكن فيليريسليف يستخدم بشكل مؤكد تقنيات الجيل التالي لاستخلاص الدنا من مومياءات متنوعة من أمريكا الجنوبية، بعضها حفظ في شروط أكثر حرارة. يقول فيليريسليف: «بعضها يعمل بشكل أكيد» ولكنه يضيف أنه يجد تغايرات هائلة في الحصول على الدنا من عيّنات مأخوذة من أماكن مختلفة بدرجات الحرارة، وهذا سبب محتمل لتناقض النتائج التي نجمت عن المومياءات المصرية. ومع تناقص كلفة السلسلة بشكل كبير، يعمل الباحثون بجد لتجريب هذه التقنيات على المومياءات المصرية.

يفاوض زنك وبوش الآن على المسار السياسي المعقّد للوصول لاستخدام تقنيات الجيل التالي على توت عنخ آمون وأقاربه. يقول زنك: «نود القيام بذلك، لأنه وبشكل مطلق ذو معنى. لكن المشكلة أن تقوم به في مصر». مع عدم السماح بأخذ عيّنات خارج البلد، يجب عليهم أخذ أجهزة السلسلة للقاهرة، وهذا عرض مكلف. وهناك خوف، يقول زنك: «يمكن أن ينجم عن مثل هذا العمل كشف معلومات حساسة سياسياً عن الأصل الوراثي للفراعنة، وفيما إذا كان أي من أنسالهم يعيش اليوم. هذا يشير مباشرة إلى تاريخهم».

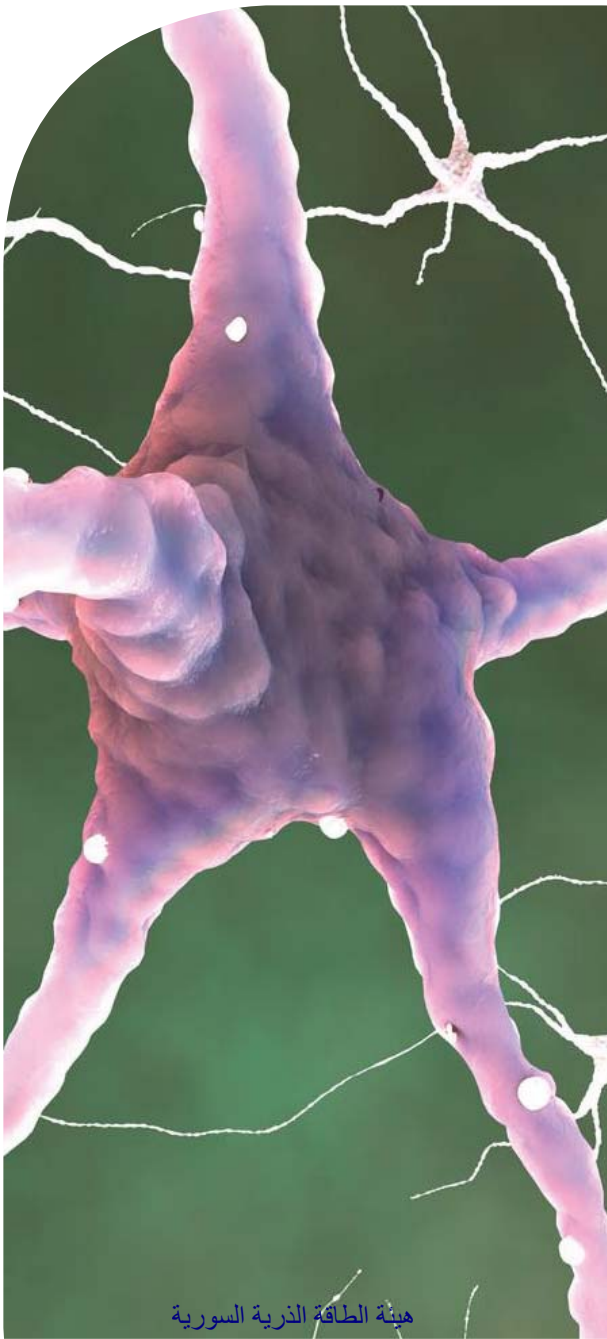
وبالرغم من ذلك، فإن زنك متفائل بأن الجيل التالي من السلسلة سيساعد بترميم هذا المجال المنقسم. ويقول: «أعتقد أنه قد حان الوقت لتوحيد الأطراف المختلفة والتوقف عن مجادلة كلٍّ منهم الآخر» ويضيف: «مع قدوم الجيل التالي من السلسلة، لا يستطيع الناس القول فقط أنا لا أحب ذلك. يجب أن يناقش الناس العمل استناداً إلى البيانات ذاتها». ويوافق فيليريسليف على ذلك ويقدم غصن زيتون نادر، بقوله: «أعتقد بأننا سوف نجد أن المؤمنين كانوا غير مشكّكين أبداً، ولكن المشككين ربما كانوا محافظين كثيراً».

جو مارشنت هو مؤلف كتاب: *حل غموض الحاسوب الأول في العالم Decoding the Heavens*.

نُشر هذا المقال في مجلة ***Nature, Vol 472, 28 April 2011***، ترجمة د. **نزار ميرعلي**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

أمل جديد في مكافحة سرطان الدماغ

تقترح الدراسات أن الخلايا الجذعية stem cells تقدم المدد إلى الأورام الدماغية المميتة، وأن استهداف تلك الخلايا المتهمة المراوغة قد يفضي إلى الشفاء.

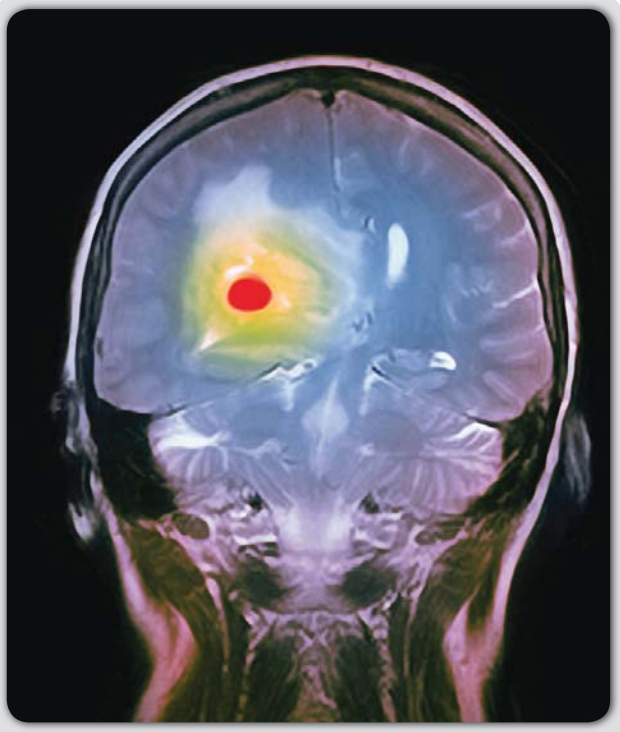


هيئة الطاقة الذرية السورية

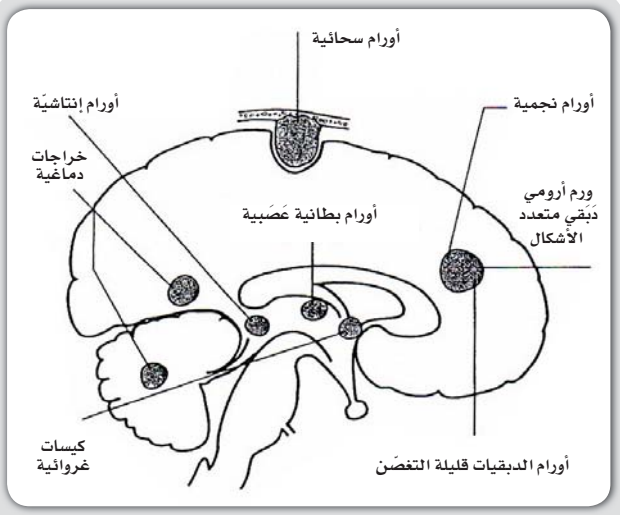
الكلمات المفتاحية: خلايا جذعية، أورام دماغية، بروتين *CD133*، ورم أرومة دبقية.

Key words: stem cells, brain tumors, protin CD133, glioblastoma.

في شهر أيار/مايو من العام 2006 استيقظ دوايين بيرغ DWayne Berg في قسم إسعاف في سياتل، وفي ذراعه خط وريدي مفتوح وفريق من الأطباء والممرضات يعمل على إنعاشه. وآخر شيء استطاع هذا المدير العام البالغ من العمر 42 سنة أن يتذكره هو أنه كان يجري على البساط المتحرك في قاعة الرياضة. أصيب بيرغ بنوبة اختلاج seizure وسقط من فوق جهاز الرياضة، وعلى الرغم من أن السقوط لم يسبب له الأذى، فقد طلب الأطباء تفريسة (تصويراً ماسحاً) بالرنين المغنطيسي (بالتجاوب المغنطيسي) MRI scan لدماغه لعلهم يعثرون على سبب الاختلاج.



بإمكان الخلايا الجذعية stem cells تفسير سبب فشل طرق المعالجة والذي يكمن في استهداف هذه المعالجات الخلايا الخطأ.



الأورام فوق الخيمة للجملة العصبية المركزية بما فيها أورام الخلية الدبقية (الدبقومات). تشكل الأورام النجمية 20% من الدبقومات، وهي حميدة نسيجياً. في حين تشكل أورام الخلية الدبقية القليلة التغصنات 5% من الأورام الدبقية وهي تنمو ببطء وتعتبر حميدة نسبياً. أما ورم الأرومة الدبقية المتعدد الأشكال فيشكل 55% من كافة الدبقومات، وهو ورم خلية نجمية خبيث وقاتل بسرعة. (المترجم).

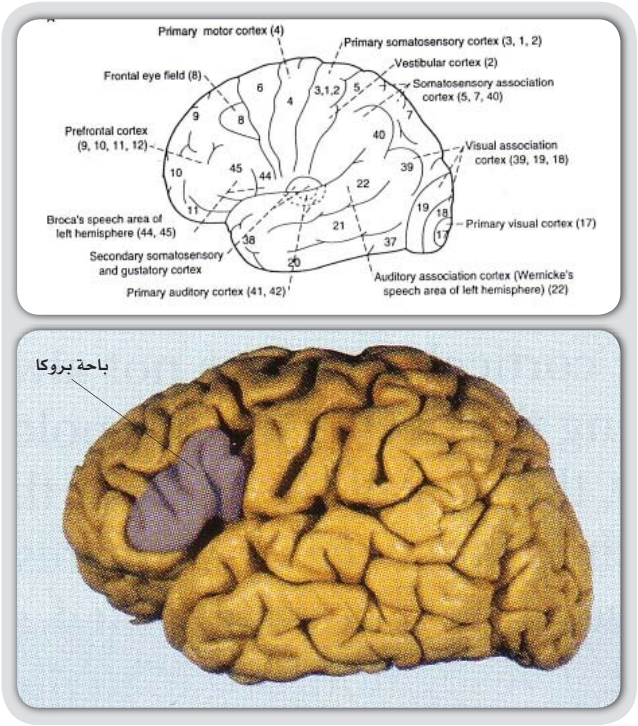
أجرى الأطباء ذلك التصوير، إلا أن النتيجة لم تكن سارة: فقد أظهرت التفريسة كتلة كبيرة في الفص الجبهي الأيسر والذي ثبت أنه ورم دبقي (دبقوم) خبيث malignant glioma، وهو سرطان دماغي قاتل بصورة قاطعة على الأغلب. خضع بيرغ لمعالجة معيارية: عملية جراحية لإزالة الورم تبعتها معالجة كيماوية chemotherapy وتشعيع radiation لاستئصال أي خلية سرطانية قد تكون باقية.

في الوقت الحالي عاد بيرغ إلى استئناف برنامج لياقته دون أية علامة على نكس الورم. لكن وكما يعتقد لابد للورم أن يعود، وعندما تقع الواقعة فلن تقدم المعالجات الحالية سوى فرصة ضئيلة للشفاء. يتم تشخيص ورم دبقي خبيث عند أكثر من 25.000 أميركي سنوياً، حسب المكتب المركزي لتسجيل أورام الدماغ في الولايات المتحدة. وحوالي 60–70% من تلك السرطانات تشاهد بشكلها الأشد فتكاً ألا وهو ورم الأرومة الدبقية (الأرموم الدبقي) glioblastoma، وهو النوع الذي قضى على حياة عضو مجلس الشيوخ عن ولاية ماساشوستس إدوارد كينيدي Edward Kennedy في آب/أغسطس من العام 2009 بعد 15 شهراً من تشخيص إصابته بالداء. ومثلما حصل مع بيرغ، فقد كانت نوبة اختلاج أولى علامات الاضطراب عند كينيدي، وبالطبع تلقى كينيدي هو الآخر أحسن العلاجات التي توصل إليها الطب. كان بيرغ مصاباً بنوع أقل عدوانية يدعى ورم الخلية الدبقية القليلة التغصنات oligodendroglioma. أما الأنماط الشائعة الأخرى فتشتمل على أورام الخلية النجمية astrocytoma وأورام الخلية النجمية القليلة الأشعة (أو قليلة التغصنات) oli-goastrocytomas، وقد اشتقت التسميات من خلايا دماغية طبيعية تسمى الخلايا القليلة التغصنات oligodendrocytes والخلايا النجمية astrocytes تشبه الخلايا الموجودة في تلك الأورام. يسير التقدم على صعيد تطوير علاجات جديدة للسرطانات الدماغية بوقع بطيء وبصعوبة بالغة. على مدى 30 سنة الماضية، توصل الطب إلى شفاء بعض ابيضاضات الدم leukemias واللمفومات (أورام الخلايا اللمفاوية) lymphoma وحقق انخفاضاً في معدلات الموت جراء سرطان الثدي والموثة (البروستات) والكولون من خلال اكتشاف تلك السرطانات وعلاجها في مرحلة مبكرة. ومع ذلك لم توافق هيئة الغذاء والدواء الأميركية سوى على ثلاثة أدوية جديدة لعلاج سرطان الدماغ على مدى الـ 35 سنة الماضية، وهذه الأدوية تطيل أعمار المرضى بضعة أشهر ليس إلا. وعلى الرغم من مرور عقود من الأبحاث، إلا أن توقع حياة (أو بقيا) امرئ مشخص لديه ورم الأرومة الدبقية لا يزال بحدود 12-14 شهراً، تقريباً مثلما كان عليه الوضع منذ قرن.

غير أن المشهد ربما يغدو مشرقاً عما قريب. إذ تغير فهمنا كثيراً عن كيفية ظهور الأورام الدماغية من خلال بحث جديد يركز على جمهرة صغيرة من الخلايا الجذعية المجددة للأورام. أدى اكتشاف هذه الخلايا وتحديد مزاياها إلى بث أمل جديد في أن تلك السرطانات القاتلة يمكن علاجها بنجاح ومن المرجح عن طريق أدوية تباع حالياً في الصيدليات.

صلة مفقودة

تهدف المعالجات الراهنة لسرطان الدماغ إلى تخليص الجسم من أكبر عدد ممكن من الخلايا الورمية. عندما يكون الظرف مناسباً، فأولى الخطوات هي الاستئصال الجراحي لكافة الأنسجة التي يمكن الوصول إليها. غالباً ما تتطلب أمثال هذه العمليات الجراحية «المحجمة أو المنقصة للحجم» «debulking operations» قطع أنسجة قريبة من مناطق دماغية مهمة التي في حال تضررها تفضي بالمريض إلى عجز شديد. في حالة بيرغ، كان الورم على مقربة من مركز النطق في دماغه، أي باحة بروكا[1] Broca's area. بقي بيرغ واعياً أثناء خضوعه للعمل الجراحي بحيث تمكنت أنا وبقية فريقه الجراحي من التحدث إليه وتحديد فيما إذا كنا قد انتهكنا هذه المنطقة. نجحت استراتيجيتنا، إلا أن التورم (الانتفاخ) الناجم عن الجراحة أبقى بيرغ عاجزاً عن الكلام لأسبوعين، ومن ثم عاد إليه نطقه ببطء على مدى أشهر عدة. تُستتبع الجراحة عادة بالمعالجة الكيماوية والتشعيع اللذين يستهدفان الخلايا السرطانية السريعة الانقسام. تؤدي هذه المعالجات إلى إبطاء نمو الورم وفي بعض الحالات تُقلص حجم الورم أو تُزيله من خلال إشعال فتيل الموت الخلوي cell death. بيد أن معظم السرطانات تنكس –في بعض الأحيان بعد مرور سنوات– وقد اكتسبت مقاومة على العلاج. منذ زمن طويل ونكس السرطان يشكل لغزاً غامضاً. اعتاد العلماء على الاعتقاد أن الأورام تتألف من مجموعة متجانسة إلى حدٍّ كبير من الخلايا الآخذة بالتضاعف. وكنتيجة لهذا الاعتقاد، تمّ تصميم المعالجات المعيارية للسرطان لتستهدف تلك الخلايا وتقتلها. إلا أن الباحثين في الوقت الحالي يعتقدون أن هذا المبدأ ربما يكون خاطئاً بشكل مثير، وهو يشرح بطريقة ما سر النكس.



بدأت القصة في منتصف تسعينيات القرن الماضي، عندما وضع عالم الوراثيات الجزيئية جون ديك John Dick من جامعة تورنتو وزملاؤه ملاحظة مذهلة: قسماً ضئيلاً فقط من خلايا ابيضاض الدم في دم مريض كان قادراً على بذر (زرع) ابيضاض دم جديد عندما ازدُرعت تلك الخلايا في حيوان آخر. أما البقية فقد تكاثرت في أنبوب اختبار لكنها لم تتمكن من تجديد غالبية الخلايا الابيضاضية. وقد صارت الأقلية المجددة تعرف باسم الخلايا الجذعية السرطانية. ومنذ ذلك الحين تم العثور على خلايا جذعية سرطانية في شتى الأورام الصلبة solid tumors بما فيها أورام الجلد (الميلانوم أو القتاموم melanoma) والثدي والمبيض والبنكرياس (المعثكلة) والكبد والبروستات والكولون والرأس والعنق. وعلى غرار الخلايا الجذعية الطبيعية التي تساعد على صيانة الأنسجة السليمة، فبإمكان الخلايا الجذعية السرطانية أن تضاعف نفسها وأن تظل إلى الأبد على قيد الحياة. والأكثر من ذلك، فبمقدور الخلايا الجذعية السرطانية –كما هو حال الخلايا الجذعية الطبيعية– أن تغدو ناضجة فتتحول إلى مختلف أنماط الخلايا، وفي هذه الحالة، تنشأ الأنماط الخلوية في ورم بدلاً من نشوئها في نسيج سليم. إحدى النظريات تقول إن الخلايا الجذعية السرطانية تعتبر خلايا جذعية «فاسدة». ووفقاً لهذه النظرية، فالأذية الوراثية الحاصلة في الخلايا الجذعية السليمة (أو الخلايا السلفية التي تكون أكثر تطوراً بقليل من الخلايا الجذعية) تترك لها بعض الصفات التكاثرية القياسية إلا أنها تؤدي بها إلى إنتاج ذرية خبيثة بدلاً من نتاج سليم.

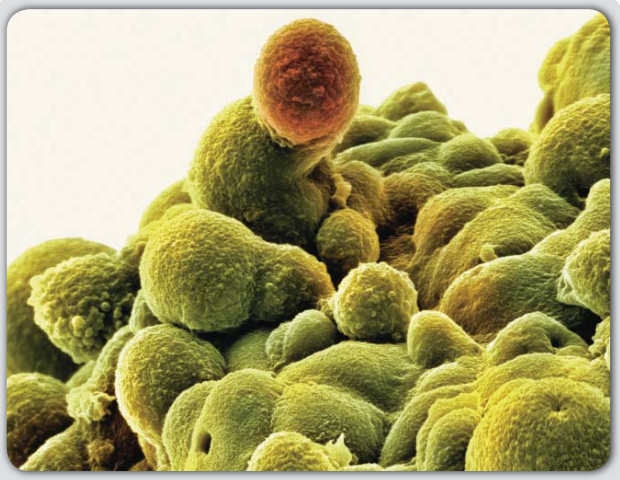
[1] **باحة بروكا** *(أو باحة الكلام لبروكا Broca's speech area): وهي المنطقتان 44 و 45 حسب خريطة برودمان، تتوضع في القسم الخلفي من التلفيف الجبهي السفلي في نصف الكرة المخية المسيطر. تؤدي إصابتها إلى حبسة تعبيرية غير طليقة expressive nonfuent aphasia (حبسة بروكا) وفيها يستطيع المريض أن يفهم كلاً من العبارات المكتوبة والكلمات المحكية لكنه لا يستطيع أن يتلفظ الكلمات على نحو سوي ويعجز عن التعبير السليم كتابة أيضاً. وعادة ما تترافق حبسة بروكا مع ضعف الجهة المقابلة للوجه والطرف العلوي لأن الإصابة غالباً ما تمتد إلى الشريط الحركي. (المترجم).*

حقائق سريعة : هجوم الورم

- *يشخص دبقوم خبيث عند أكثر من 25.000 أمريكي كل سنة. حوالي 60-70% من هذه السرطانات تشاهد بأشد أشكالها فتكاً أي الورم الأرومي الدبقي (الأرموم الدبقي) glioblastoma، وهو النوع الذي أنهى حياة عضو مجلس الشيوخ عن ولاية ماساشوستس إدوارد كينيدي في آب/آغسطس من العام 2009 بعد 15 شهراً من تشخيص إصابته بالداء.*
- *وعلى الرغم من أن العلوم الطبية حققت تقدماً ملحوظاً في علاج العديد من السرطانات الأخرى، إلا أن هيئة الدواء والغذاء الأمريكية لم توافق سوى على ثلاثة أدوية لعلاج سرطان الدماغ في الـ 35 سنة الماضية، وهذه الأدوية المجازة لا تطيل فترة البقيا سوى بضعة أشهر. لا يزال توقع البقيا لمريض مصاب بورم الأرومة الدبقية glioblastoma يتراوح بين 12-14 شهراً، تقريباً مثلما كان عليه الوضع قبل قرن من الزمان.*
- *أدى اكتشاف جمهرة صغيرة من الخلايا الجذعية المجددة للورم ضمن الأورام الدماغية وتحديد مزايا هذه الخلايا إلى بث أمل جديد بأنه من الممكن علاج هذه السرطانات القاتلة بنجاح، ومن المرجح من خلال أدوية موجودة حالياً في رفوف الصيدليات.*

يعتقد العديد من الباحثين أن الخلايا الجذعية تشكل نسغ الحياة للسرطان، فتقدم المدد للكتلة الورمية وتنشىء ملايين الخلايا الخبيثة الجديدة. رد على ذلك، فهذه الخلايا الجذعية تشترك مع الخلايا السليمة بصفات تجعلها مقاومة بشدة للمعالجات السرطانية المعيارية، وبالتالي فإن الخلايا الجذعية السرطانية تقدم لنا تفسيراً عن سبب الفشل الذريع الذي تفضي إليه المعالجات السرطانية المعيارية: فهذه المعالجات تستهدف الخلايا الخطأ.

إلا أن قلة من العلماء –ولسنوات بعد اكتشاف الخلايا الجذعية السرطانية– اعتقدت أن تلك الخلايا تؤدي دوراً ما في سرطان الدماغ. تصيب معظم السرطانات –مثل سرطانات الثدي والرئة



في ورم ما تكون جمهرة قليلة من الخلايا فقط –كما تظهر واحدة منها باللون الوردي– قادرة على تجديد السرطان في حيوان آخر. القسم المجدد عبارة عن خلايا جذعية سرطانية.

والكولون– أنسجة حيوية يشيع فيها حدوث التكاثر الخلوي، لذلك تحمس علماء الأحياء للفكرة التي تقول بأن الهدف من وجود الخلايا الجذعية هو سد النقص الحاصل في تلك الأنسجة. وفي المقابل، اعتبر الدماغ مختلفاً عن تلك الأنسجة: إذ افترض أن الدماغ عضو جامد يفتقر إلى خلايا نامية منقسمة ولا يحوي سوى النذر اليسير من الخلايا الجذعية. إلا أنه كان ثمة دليل بأن أدمغة الحيوانات لا تتسم بذلك الجمود. في أواخر ثمانينيات القرن الماضي وجد عالما الأعصاب ستيفن غولدمان Steven Goldman (يعمل حالياً في جامعة روشستر) وفرناندو نوتبوم Fernando Nottebohm من جامعة روكفيلر أن بإمكان خلايا في دماغ طائر الكناري البالغ تشكيل خلايا دماغية جديدة، وبمقدورها الهجرة عبر الدماغ والنضوج متحولة إلى أنماط خلوية خاصة. افترض هذان العالمان أن بوسع تلك الخلايا الانخراط في التعلم (والذي يتجلى فعلياً في بعض الحالات). ومن ثم حدد باحثون آخرون خلايا مشابهة في أدمغة القوارض البالغة وفي أدمغة القرود البالغة. وبعد ذلك، بيّن عالم الأعصاب فريد غايج Fred Gage من معهد سالك للدراسات البيولوجية في لاجولا، كاليفورنيا، وزملاؤه أنهم اكتشفوا خلايا مماثلة في أدمغة بشر بالغين، الأمر الذي أظهر للمرة الأولى أن بمقدور الدماغ البشري البالغ إنتاج نسيج جديد طوال الحياة.

وأخيراً في العام 2003، أفاد جراح الأعصاب بيتر ديركس Peter Dirks من جامعة تورنتو وزملاؤه عن اكتشاف خلايا جذعية سرطانية في الأورام الدماغية البشرية. فحص الباحثون نسيجاً ورمياً دماغياً بشرياً بحثاً عن خلايا تحمل بروتيناً على سطحها يسمى CD133، والذي يوجد على سطح الخلايا الجذعية العصبية الطبيعية. لا يتوقف الأمر عند حدّ أن الخلايا التي تظهر هذا

الواسم توجد في الأورام، وإنما بإمكان هذه الخلايا التضاعف والتكاثر والتمايز (أي تتطور إلى أنماط نسيجية ناضجة) إلى درجة كبيرة كما تفعل الخلايا الجذعية السوية. أضف إلى ذلك، أن الخلايا الجذعية التي قامت بنسخ نفسها وجدت في أغلب الحالات عند مرضى مصابين بأورام دماغية عدوانية.

ومنذ ذلك الاكتشاف، حصل العلماء على المزيد من المعلومات حول مزايا الخلايا الجذعية في الأورام الدماغية. تشكل هذه الخلايا حوالي 3% فقط من الخلايا في ورم دماغي وتبدي سلوكاً مغايراً تماماً للخلايا الورمية الأخرى: فهي لا تتكاثر بسرعة، وتعتبر ساكنة نسبياً. لكن عند ازدراع أعداد قليلة من هذه الخلايا في دماغ فأر، فإنها تستطيع تشكيل ورم غالباً ما يكون مطابقاً للأصل تماماً. وبالفعل، أوضح ديركس وزملاؤه في العام 2004 أن استحداث ورم دماغي عند فأر لا يتطلب سوى 100 خلية جذعية سرطانية، مقارنة مع مليون خلية عادية يتطلبها هذا الاستحداث عادة.

قد يقدم اكتشاف الخلايا الجذعية في الدماغ تفسيراً للعديد من الألغاز المتعلقة بالدبقومات، مثلاً: في أي مكان تظهر هذه الدبقومات في الدماغ؟ وكيف تنتشر؟ ولماذا هناك صعوبة بالغة في علاجها؟ تنشأ معظم الدبقومات –على سبيل المثال– من مناطق تستوطن فيها الخلايا الجذعية العصبية لاسيما منطقة في قاعدة الدماغ تسمى المنطقة تحت البطينية من البطينين الجانبيين subventricular zone of the lateral ventricles. كما أن الدبقومات غالباً ما تنتشر من خلال انتقالها على طول سبل المادة البيضاء White matter tracts (وهي حزم من الألياف العصبية) والتي تربط بين مناطق مختلفة من الدماغ؛ وهذه السبل هي الطرق ذاتها التي تسلكها الخلايا الجذعية وذريتها. وإن قدرة هذه الخلايا الجذعية الورمية الدماغية على الهجرة والانتشار تفسر لماذا لا تتمكن الجراحة لوحدها من شفاء الدبقومات الخبيثة: لأن الكثير من الخلايا تفلت من مشرط الجراح بكل بساطة.

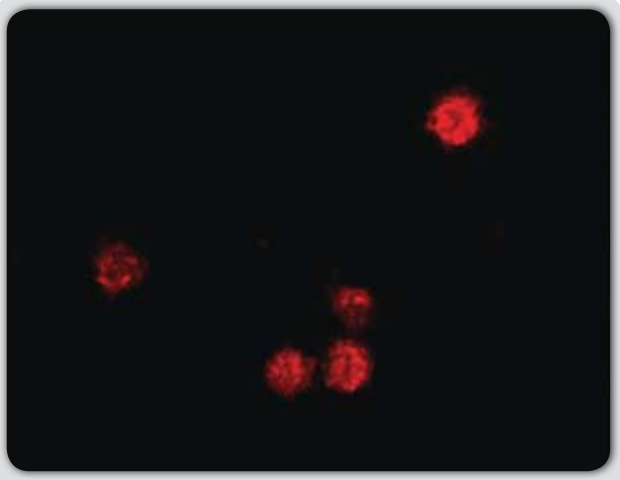
والأكثر من ذلك، فربما توضح الخصائصُ الأخرى للخلايا الجذعية السرطانية سببَ عدم استجابة الدبقومات الخبيثة للمعالجة المعيارية والتشعيع. بادئ ذي بدء، غالباً ما يكون تواتر انقسام الخلايا الجذعية الورمية أقل بكثير من تواتر انقسام معظم الخلايا السرطانية. وبالتالي فإنها أقل تأثراً بالعديد من أدوية المعالجة الكيماوية التي تعمل مباشرة على تخريب عملية الانقسام الخلوي باستهدافها الآلة الجزيئية للخلية، مما يؤدي إلى قدح شرارة الموت الخلوي، كما أنها أقل تأثراً بالتشعيع، الذي يفضل قتل الخلايا السريعة الانقسام من خلال تخريب الدنا DNA الخاص بها.

يستهدف العلاج الكيماوي والتشعيع الخلايا السرطانية الآخذة بالانقسام مثل هذه الخلية. إلا أن الخلايا الجذعية الورمية لا تتضاعف بسرعة، الأمر الذي يجعلها أقل حساسية بكثير لتلك المعالجات القياسية.

ثانياً، تشير البيانات إلى أن خلايا الدبقومات الحاملة للواسم الحيوي CD133 تقاوم بشدة تأثيرات المعالجة الكيماوية والتشعيع. على سبيل المثال، أظهر جراح الأعصاب جون س. يو John S. Yu وزملاؤه في المركز الطبي سيدار سيناي في لوس أنجلوس في دراسة منشورة في العام 2006 أن الخلايا الحاملة لـ CD133 تقوم بإشعال مورثة تشفر بروتيناً يعمل على ضخ عقاقير المعالجة الكيماوية خارج الخلية. كما أن هذه الخلايا تنتج بروتينات تساعد على إصلاح التلف الذي لحق بالدنا نتيجة المعالجة الكيماوية، وتحول دون الانتحار الخلوي. وفي غضون ذلك، أفادت مجموعة ترأسها عالم الأعصاب جيرمي ريش Jeremy Rich –الذي كان يعمل في حينها في جامعة ديوك– في العام 2006 أنه عندما تتعرض الخلايا الدبقومية glioma cells الحاملة لـ CD133 للتشعيع فبإمكانها تفعيل نظام خاص قادر على إصلاح تلف الدنا المحرض بالأشعة، وبناءً على ذلك، بوسع هذه الخلايا أن تشرع بالإصلاح بكفاءة أكبر من الغالبية العظمى من الخلايا الدبقومية. بالتالي، وعلى الرغم من قدرة المعالجات بالأدوية الكيماوية والتشعيع على قتل الخلايا المتكاثرة التي تشكل معظم قوام الورم، إلا أنها تخلف وراءها بقية –لم يمسسها سوء– قادرة على تجديد الكتلة المميتة.

استهداف العدو

ومع ذلك، فإن اكتشاف الخلايا الجذعية الورمية الدماغية يبث الأمل في نفوس ضحايا سرطان الدماغ، لأنه يشير إلى أن الاستراتيجيات العلاجية التي تستهدف على نحو خاص تلك الخلايا ربما تقضي على السرطان وتحول دون نكسه. إحدى



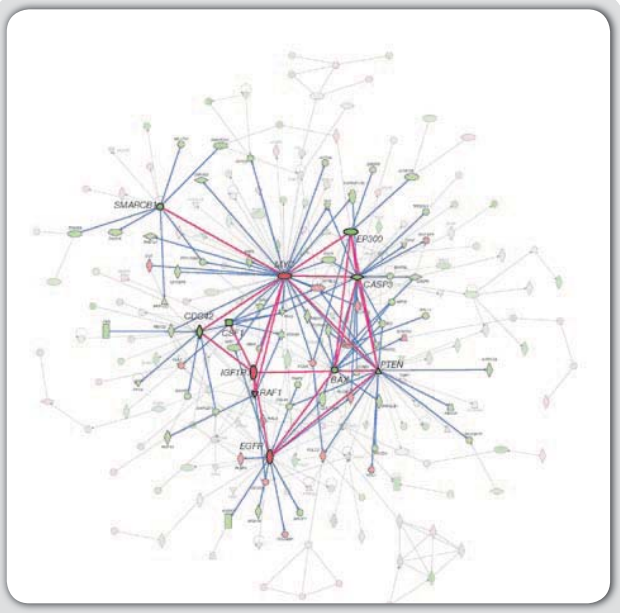
تحمل الخلايا الجذعية الورمية الدماغية بروتيناً على سطحها يسمى CD133 (اللون الأحمر) والذي يغيب عند الخلايا الجذعية الأخرى، ويمكن للعلماء استخدام هذا البروتين لعزل هذه الخلايا.

التحديات الأولى هي في إيجاد أفضل الطرق لعزل الخلايا الجذعية السرطانية في الدماغ. لاتزال الواسمات الجزيئية الموجودة على الخلية –والتي تتضمن جزيئات الدنا والرنا (الحمض الريبي النووي) RNA والبروتينات المميزة– تُعدُّ محددات صعبة المنال. ليست كل الخلايا الدبقومية التي تعرض CD133 هي خلايا جذعية سرطانية دماغية، وما كل الخلايا الجذعية السرطانية الدماغية تحمل هذا الواسم. وبالتالي فإن محاولات نزع فتيل تلك القنابل الخلوية الموقوتة ربما تخفق في إبطال بعضها. من الأهمية بمكان تمييز الخلايا الجذعية الورمية الدماغية عن الخلايا الجذعية الطبيعية من أجل تصميم معالجات تستأصل الأولى وتعف عن الثانية التي تعتبر حاسمة من أجل التجديد والإصلاح ولربما من أجل التعلم في الدماغ. فمثلاً، ربما يوظف الأطباء الأضداد وحيدة النسيلة monoclonal antibodies –وهي بروتينات لها شكل حرف Y تساعد على تدمير الجراثيم والفيروسات الغازية– التي تستهدف واسمات حيوية سطحية تتفرد بها الخلايا الجذعية السرطانية الدماغية. كما تبيّن مثل هذه العلامات الجزيئية فيما إذا كان أحد السرطانات الدماغية أشد أو أقل ضراوة وأي الأدوية هي أكثر احتمالاً لكي تستأصله. كما أنه –بعد العلاج– ربما تجعل الاختبارات التي تستقصي وجود واسمات حيوية محددة في الدم أو السائل الشوكي spinal fluid من الممكن كشف نكس السرطان قبل أن يأخذ وقته للنمو والكبر.

يسعى الباحثون أيضاً إلى فهم التغيرات الجزيئية التي تحوّل الخلايا السليمة إلى سرطان دماغي. ربما تفضي جهودهم إلى إيجاد أدوية تقي من حدوث السرطانات، أو تقلص حجمها أو توقف انتشارها. ولكي تغدو الخلية خلية سرطانية يتحتم عليها أن تكابد أذية وراثية تؤدي إلى تبدل البروتينات في سبيل أو أكثر من السبل الجزيئية التي تتحكم بنمو الخلية وسلوكها. غالباً ما يتداخل (يتفاعل) أحد السبل المعطوبة مع العمليات الأخرى، مما يؤدي إلى المزيد من العثرات، ولربما تتغير تلك التفاعلات مع نمو الورم أو عند استجابته للعلاج. بإمكان مقاربة جديدة تسمى البيولوجيا الجهازية (بيولوجيا الأجهزة) تبسيط مثل هذا التعقيد. تدمج بيولوجيا الأجهزة تقنية يمكنها إجراء تحليل سريع لفعالية آلاف المورثات في نسيج ورمي مع حواسيب متطورة جداً تستطيع تمييز نماذج بين مورثات مختلة وبروتينات شاذة وسبل مضطربة ومن ثم ربط تلك النماذج مع المعلومات السريرية كالمعالجة ونمط الورم.

في العام 2009 قام عالم الأورام العصبية ماركوس بريدل Makus Bredel –الذي يدير برنامج الأبحاث في معهد أورام الدماغ في جامعة نورثويسترن– وزملاؤه باستعمال مقاربة بيولوجيا الأجهزة لإماطة اللثام عن شبكة من المورثات التي يبدو أنها تؤدي دوراً مهماً في الدبقوم الخبيث. في تحليل لدبقومات مأخوذة من مرضى بلغ عددهم 501، حدد هؤلاء العلماء المورثات الأكثر شيوعاً والشذوذات الوراثية الأكثر تواتراً بين الخلايا السرطانية، بالإضافة إلى نماذجها التعبيرية. وقد تبيّن لهم أن الكثير من المورثات الأشد فعالية متورطة في جهاز معقد من سبل التأشير المتداخلة التي تعلم الخلية متى تبدأ النمو ومتى تتوقف عن ذلك. وعرفوا لاحقاً أن نماذج محددة من الفعالية المورثية في تلك الشبكات المتداخلة كانت مترافقة مع تطاول أو قصر بقاء المريض على قيد الحياة. كما أنهم حددوا ما أطلقوا عليه اسم المورثات «المحورية» «hub genes» والتي بدت كأنها عناصر أساسية في تلك الشبكات، الأمر الذي يتيح أهدافاً محتملة للأدوية المستقبلية. ومازالت هناك جهود أكبر تبذل لاستجلاء التشريح الجزيئي للسرطان الدماغي وذلك في معهد ألين لعلوم الدماغ في سياتل حيث يعمل الباحثون على تصميم خريطة وراثية ثلاثية الأبعاد لتلك الأورام [انظر المؤطر].

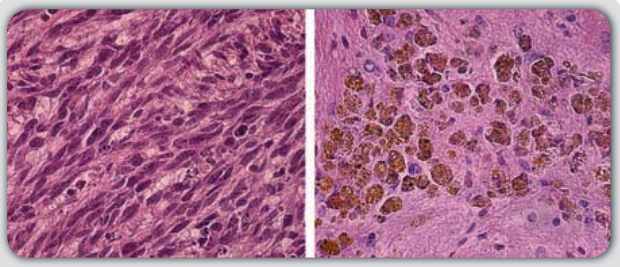
يعمل باحثون آخرون على إيجاد عقاقير تعدل من سمية الخلايا الجذعية الورمية الدماغية من خلال تلطيف عدوانيتها وتحويلها إلى شكل أقل خطورة. على سبيل المثال، في إحدى الدراسات المنشورة عام 2006، قام عالم البيولوجيا الخلوية أنجيلو فيسكوفي Angelo Vescovi من جامعة ميلان – بيكوكا في إيطاليا وزملاؤه بدراسة الأثر الذي أحدثه عامل نمو يسمى بروتين وراثة الشكلياء العظمي bone morphogenetic protein (BMP) على خلايا الأرموم



علاقات قاتلة: *قام الباحثون من خلال تحليل أنسجة مأخوذة من أورام دماغية مستأصلة بكشف النقاب عن شبكة معقدة تضم 214 مورثة تؤدي دوراً على ما يبدو في سرطان الدماغ. ضمن هذا النموذج من العلاقات هناك ما يسمى بالمورثات المحورية (الوردي المحمر) يبدو أنها تتبوأ مكانة مركزية خاصة بالنسبة للعمليات المرضية، وبالتالي فمن المرجح أن تكون أهدافاً ناجعة للأدوية المضادة للسرطان.*

الدبقي. في الدماغ الطبيعي، يقوم بروتين BMP بتوجيه الخلايا للتمايز والنضوج والتخصص. بيّن فريق فيسكوفي في الدراسة التي أجراها أن الـ BMP أحدث تأثيراً مشابهاً على الخلايا الجذعية للأرموم الدبقي البشري، مما أدى إلى تخليها عن التصرف كأنها خلايا جذعية لتصبح بذلك أقل شراسة. في تجارب أنابيب الاختبار، قلص الـ BMP عدد الخلايا الجذعية ضمن الورم. كما أنه منع الخلايا السرطانية من النمو والتحول إلى ورم عندما زرعت فيما بعد في دماغ فأر. وقد أمكن من خلال إعطاء الـ BMP بعد ازدراع أرموم دبقي داخل دماغ فأر كبح نمو الورم وإنقاذ حياة الفأر.

يقوم بعض الباحثين متخذين سبيلاً مغايراً باستهداف المخابئ الوعائية التي تترعرع في كنفها الخلايا الجذعية الورمية الدماغية. وكما هو حال الخلايا الجذعية العصبية، فمن الواضح أن الخلايا الجذعية السرطانية الدماغية تفضل أن تقيم في مناطق غزيرة التروية الدموية، وإحدى هذه المواقع هي المنطقة تحت البطينية على مقربة أسفل الدماغ. ولكي تبقى الخلايا الجذعية السرطانية الدماغية على قيد الحياة في المناطق الدماغية التي تقل فيها التروية الدموية فإنها تعمل على إطلاق عوامل نمو تحرض نمو الأوعية الدموية.



إن تعريض الخلايا الجذعية السرطانية الدماغية (في اليسار) إلى عامل نمو يسمى بروتين وراثة الشكلياء العظمي يجعل شكلها يبدو أكثر نضجاً وأقل خطراً (في اليمين).

يُعالَج بعضُ مرضى الأورام الدماغية حالياً بأدوية مضادة للسرطان قادرة على لجم عوامل النمو من أجل تثبيط هذا النمو. تمّت الموافقة على استعمال أحد الأدوية وهو بفاسيزوماب beva-cizumab (أفاستين Avastin) –الذي استعمل لمعالجة سرطانات أخرى على مدى سنوات عديدة– لعلاج الأرموم الدبقي. ولسوء الحظ، وعلى الرغم من أن الأورام على ما يبدو غالباً ما تنكمش استجابة للأفاستين، إلا أنه لا مفر من عودتها ونموها ثانية.

معالجات من رفوف الصيدليات!

تلمح المعطيات الجديدة الآسرة إلى أن العقاقير المستعملة لعلاج اضطرابات نفسية شائعة محددة قد تكون فعالة أيضاً في مواجهة الأورام الدماغية من خلال استهدافها –مرة أخرى– الخلايا الجذعية الورمية الدماغية. في دراسة منشورة في العام 2009، صمم ديركس وزملاؤه مزارع للخلايا الجذعية العصبية الدبقومية، واختبروا عليها فعالية شتى الأدوية. وجد الباحثون في مسح تجريبي لـ 450 دواءً مجازاً أن 23 دواء يستعمل لعلاج أمراض عقلية مثل الاكتئاب والقلق والفصام تسبَّبت في موت الخلايا الجذعية الدبقومية.

كافة هذه العقاقير تحصر أو تبدل انتقال أو استقبال النواقل العصبية neurotransmitters (وهي مواد تنقل المعلومات بين العصبونات)، ومن المرجح أن تلك الآلية هي المسؤولة عن سميتها للأورام الدماغية. خلال تطور الدماغ، تحتاج الخلايا الجذعية العصبية الطبيعية إلى إشارات كيميائية محددة من مجاوراتها كي تتحول إلى خلايا جهازية عصبية ناضجة. وعلى غرار ذلك، تعتمد الخلايا الجذعية الورمية الدماغية على وارد كيماوي كي تبقى حية

الناقل العصبي neurotransmitter: *هو مادة كيماوية متحررة من نهاية عصبية تقوم بتفعيل مستقبلات بعد مشبكية و/أو قبل مشبكية. (المترجم).*

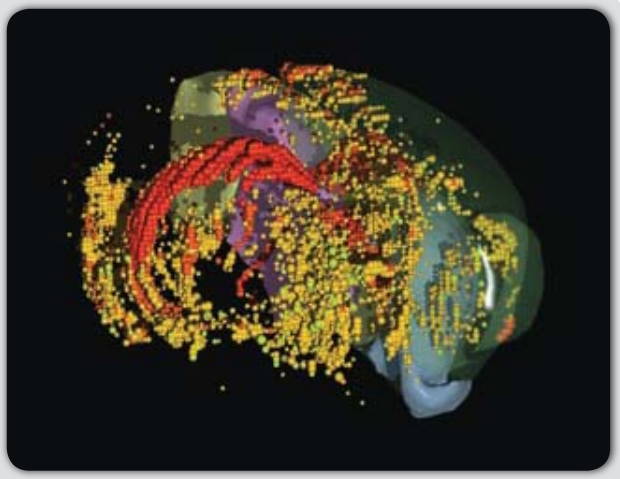
رسم خارطة سرطان الدماغ

في مسعى إضافي لتحديد المورثات الأساسية المنخرطة في نمو الدماغ، سيقوم الباحثون في سياتل قريباً بتصميم خريطة مفصلة لتلك الأورام تشير إلى كيفية تباين الفعالية المورثية في كل كتلة ورمية. في هذه المحاولة التي تسمى مشروع أطلس ورم الأرومة الدبقية الجامعي، يقوم الأطباء في المركز الطبي السويدي في سياتل بجمع عينات ورمية من 64 مريضاً خاضعين للجراحة لاستئصال الشكل الأشد فتكاً من الورم الدماغي أي الأرموم الدبقي. في حين سيقوم الباحثون في معهد سياتل لعلوم الدماغ بتقطيع عينات الأورام إلى شرائح رقيقة لفحصها مجهرياً، ومن ثم سيعملون مستخدمين عملية تسمى التهجين في المكان in situ hybridization على رسم خريطة على كل شريحة لفعالية 1.000 مورثة أساسية معروف أنها تؤدي دوراً ما في الأرموم الدبقي. سيستعمل العلماء هذه البيانات لتصميم أطلس رقمي ثلاثي الأبعاد للأورام يظهر أي المورثات استعملت لصنع البروتينات في مناطقها المختلفة. هكذا ينبغي أن تكشف خريطة الآلة الجزيئية الأكثر نشاطاً في المناطق السريعة النمو لتلك الأورام. من المرجح أن تكون المورثات النشطة في تلك المقاطع –مقارنة مع تلك المورثات التي يتم التعبير عنها أساساً في الأجزاء الأبطأ نمواً– أهدافاً ناجعة لأدوية جديدة.

وتنمو. وبالتالي ربما تتفاعل مثل تلك الأدوية المعدلة العصبية مع رسائل جزيئية التي تحتاجها الخلايا الجذعية الورمية الدماغية كي تتضاعف وتنضج.

ما يزال اختبار تلك الأدوية المعدلة العصبية في مراحله المبكرة جداً. حالياً يبذل مجهود كبير لتحديد أي من تلك المركبات هي التي تحمل أكبر بارقة أمل من خلال استقصائها في مكافحة الخلايا الورمية في الدراسات المختبرية. إلا أنه حالما يتم تحديد الأدوية الأكثر رجاءً وأملاً فستنطلق التجارب السريرية بوتيرة لا بأس بها لأن العديد من هذه الأدوية سبق أن اختبر من أجل سلامتها وأجازتها الـ FDA لاستعمالها في غايات أخرى.

هل يحتمل أن يعالج دواء مضاد للاكتئاب سرطاناً دماغياً؟ سيتوق دوايين بيرغ بشدة لمعرفة الجواب. عادة ما يستغرق تطوير دواء جديد عقوداً من الزمن، وهو وقت لا يتوفر عند بيرغ ومرضى السرطان الدماغي الآخرين. إن الأمل المعقود على محاربة دائهم من خلال الأدوية المتاحة يشكل إغراءً متوافراً بين أيدينا. كما أن المعالجات الجديدة الأخرى التي تستهدف الخلايا الجذعية السرطانية الدماغية تبقى غير مجازة. فالتجارب السريرية التي تستقصي العديد من تلك الأدوية هي فقط في سبيلها لأن ترى النور. لكن، وللمرة الأولى وخلال وقت طويل، فإن فهمنا عن سرطان الدماغ يقدم لكل من المرضى والأطباء قدراً لا بأس به من الأمل.



تبدي هذه الصورة المأخوذة من أطلس دماغ الفأر –وهو مشروع تابع لمعهد ألين لعلوم الدماغ في سياتل– مورثة مفردة في ثلاثة أبعاد عبر مخيخ القارض. (تدل الألوان على مستوى فعالية المورثة، حيث يشير اللون الأحمر إلى مستويات نشاط عالية). يقوم الباحثون في معهد ألين حالياً بتصميم خرائط ثلاثية الأبعاد للتعبير المورثي في الدماغ البشري وضمن الأورام الدماغية البشرية.

غريغوري فولتز *Gregory Foltz* *هو جراح أعصاب ومدير مركز بن وكاثرين أيفي لمعالجة الأورام الدماغية المتقدمة في معهد علم الأعصاب السويدي في سياتل. تشتمل اهتماماته البحثية العلوم الجينومية وعلم الأورام العصبي، مع تركيزه على تطوير معالجات جديدة للأورام الدماغية الخبيثة.*

› *نُشر هذا المقال في مجلة* ***العلوم العقلية الأمريكية، آذار/مارس، نيسان/أبريل عام 2010****، ترجمة* **د. إبراهيم حاج باكير**.

الكترونيات في المقاس النانوي بأنصاف نواقل مركبات عناصر عمودي الجدول الدوري III وV

استمرت تغذية الارتفاع الأسّي في مقدرة الإلكترونيات، ولمدة خمسين عاماً، بالاعتماد على زيادة كثافة الترانزستورات المتتامة المصنوعة من تركيبة معدن–أكسيد–نصف ناقل (CMOS) وعلى تحسينات في أدائها المنطقي. غير أن إنقاص مقاس ترانزستورات السليكون وصل نهايته الآن، مما ينذر بنهاية ثورة الإلكترونيات المكروية. ويوجّه الانتباه الآن إلى عائلة من المواد تأخذ موقع السليكون بصورة حسنة لتتناول هذه المسألة: هي مركبات أنصاف نواقل مجموعتي عمودي الجدول الدوري III وV. قد تكون خواص النقل الإلكتروني البارزة لهذه المواد مرتكز تطوير أولى الترانزستورات المنطقية في المقاس النانوي.

الكلمات المفتاحية: إلكترونيات في المقاس النانوي، أنصاف نواقل مركبات من العمودين III وV في الجدول الدوري.

Key words: nanometre-scaleelectronics, III–V compound semiconductors.

يمكن وصف ثورة الإلكترونيات المكروية وصفاً جيداً بالشعار "الأصغر هو الأفضل". والخاصية الفريدة لترانزستور أثر الحقل السليكوني ذي التركيبة معدن–أكسيد–نصف ناقل (MOSFET)، الذي هو حصان عمل صناعة الإلكترونيات، هي أن ميزاته المنطقية تتحسن مع نقصان أبعادها. لكن عندما نأتي إلى عمليات منطقية فإن الترانزستور يعمل عمل قاطعة، وتكون أهم خاصتين تصفانه، بعد بصمته، هما سرعة التبديل وطاقة التبديل. لأن ترانزستورات الـ MOSFET تناقصت أبعادها متبعة قانون تناقص هندسي، وتزايدت سرعة التبديل وكثافة الترانزستورات تزايداً أسّياً، في حين تناقصت طاقة التبديل تناقصاً مماثلاً. إن هذا التصغير في السلَّم) (أو الترقّي) scaling "الثلاثي الفوائد" لترانزستورات MOSFET هو الذي غذّى ثورة الإلكترونيات المكروية.

تعتمد الدارات المنطقية الحديثة على زوج من الترانزستورات متتامة الخواص. تدعى عادة ترانزستورات MOSFET من النوع–n ومن النوع–p (أو ببساطة يرمز لزوج الترانزستورات بالرمزين NMOS وPMOS). ويعرف الزوج معاً بالترانزستورات المتتامة معدن–أكسيد–نصف ناقل أو ترانزستورات CMOS، وكانت هي العائلة المسيطرة في الدارات المنطقية بسبب بساطتها ومميزاتها الفريدة ذات الاستطاعة المنخفضة التي أتاحت تصنيع دارات عالية الكثافة جداً.

حديثاً، دخل تصغير قياس (ترقّي) scaling ترانزستورات MOSFET طوراً يتصف «بالترقّي المقيّد بالاستطاعة» لأن كثافة الاستطاعة المبدّدة في جذاذة إلكترونية منطقية قارب 100 Wcm–2. ولا يمكن زيادة كثافة الاستطاعة أكثر من ذلك دون فرض تكاليف إضافية على الترزيم وعلى التبريد مما يجعل الجذاذة غير عملية لمعظم التطبيقات. يتطلب التقدم باتجاه تكثيف الترانزستورات إنقاص كمون التشغيل، لكن هذا سيكون على حساب سرعة التبديل. وإن هذه المسألة هي التي جعلت، جزئياً، كمون التشغيل لترانزستورات CMOS يستقر عند قاع 1 V لبعض الوقت؛ وبالتالي لا يمكن بدون اختزالات إضافية إتاحة الاستمرار بالترقّي.

إن أحد الحلول الممكنة هو إدخال مادة قناة جديدة تسير فيها حوامل الشحنة بسرعة أكبر مما هي عليه في السليكون. وستسمح هذه الميزة بإنقاص الكمون دون فقدان جودة الأداء. ولهذا السبب تحول الانتباه إلى أنصاف نواقل مركبات العمودين III–V.

تتكون أنصاف نواقل المركبات III–V، مثل GaAs وAlAs و InAs وInP وخلائطها الثلاثية والرباعية، من عناصر العمودين III وV في الجدول الدوري. تمتلك بعض هذه المركبات خواص ضوئية وإلكترونية فريدة. وقد جعلت قابلية إصدارها للضوء وكشفه بمردود جيد إمكانية استعمالها في الليزرات والديودات المصدرة للضوء والكواشف في الاتصالات الضوئية أمراً شائعاً، وكذلك في الأدوات وفي المحسّات. تبدي بعض هذه المركبات، وبالأخصGaAs وInGaAs وInAs، خواص نقل إلكتروني بارزة. وإن الترانزستورات المصنعة من هذه المواد هي في قلب المنظومات الإلكترونية العالية السرعة والتواتر. في الواقع، توجد صناعة ضخمة ومكتملة تصنع دارات متكاملة من المركبات III–V وبأعداد ضخمة لتطبيقات كثيرة التنوع تبدأ من الهواتف الذكية، والمحطات الخلوية، ومنظومات الألياف الضوئية، وشبكات الاتصال المحلية اللاسلكية، والاتصالات الساتلية، والرادار، والفلك الراديوي وتنتهي بمنظومات الدفاع. كان استعمال الأدوات المحمولة باليد الواسع الانتشار حالياً وما يتضمنه ذلك من استهلاك للمعطيات بمثابة نعمة لصناعة الدارات المتكاملة من المركبات III–V التي توصف الآن بالتصنيع العالي الأتمتة الإنتاج الدقيق والضخم، وكذلك بإنتاج جذاذات واسعة المساحة وأدوات معقدة ووسائل تصميم دارات، مع وثوقية مشهود لها للأداة، إضافة إلى منظومات بيئية صناعية منافسة. ولا توجد أية عائلة أخرى من المواد قيد الدراسة الحالية تحل مكان القناة السليكونية في ترانزستورات MOSFET لها هذا القدر من قائمة السجايا البارزة مثلها.

تعدّ، اليوم، تقانة CMOS من مجموعتي الجدول الدوري III–V جزءاً رئيساً من تيار أبحاث أنصاف النواقل. وقد اعتُرف حديثاً بدورها مستقبلاً في خريطة طريق أنصاف النواقل العالمية.

سأقوم هنا بعرض الخطوط العريضة لحالة تقانة III–V CMOS وسأناقش أخطر المسائل المتبقية الواجب تجاوزها، كما سألخص التقدم الحاصل في هذا المجال.

مبرّرات استعمال المركبات III-V

جاءت قضية تقانة III–V CMOS، غالباً، من لفت الانتباه لحركية الإلكترونات العالية غير العادية في مركبات معينة من III–V (الشكل 1). فحركية الإلكترونات في مركب InGaAs أو في مركب InAs أعلى بأكثر من عشر مرات مما هي عليه في السليكون عند كثافة صفيحية (sheet density) متقاربة بينهما. ويدخل في الغالب أيضاً استجابة ترانزستورات III–V البارزة للتواتر. على سبيل المثال، إن تواتري القطع لربح التيار ولربح الاستطاعة لترانزستورات InGaAs عالية الحركية الإلكترونية (HEMT) – وهو

تصميم ترانزستور يستحق الإشادة به في حدّ ذاته – يتجاوزا 600GHz و1THz على الترتيب. ومع كل ما تعنيه هذه السجايا الحسنة فإن مثل هذه الحوارات لا تتناول حقاً ما يهم عمل ترانزستور منطقي.

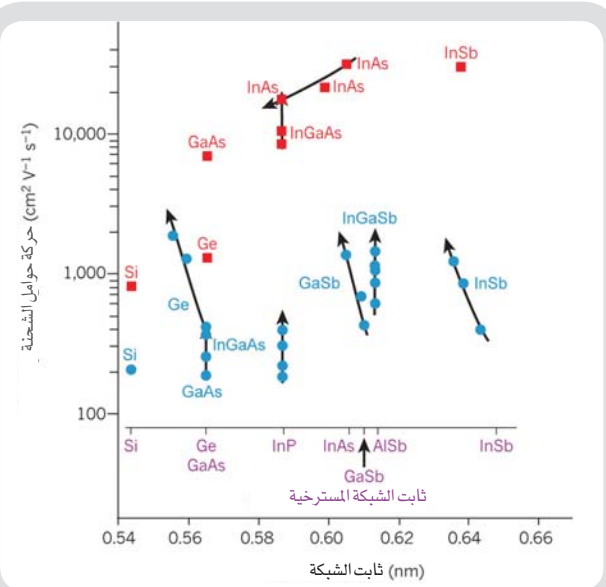
يعمل الترانزستور المنطقي كقاطعة تتقلب بين حالة «وصل ON» وحالة «فصل off». ويفضّل من أجل تبديل سريع تيار عمل عالٍ (I_{ON}). ولكي نحدّ من استهلاك الاستطاعة في حالة التأهب، يجب تقليل تيار الوقوف (I_{OFF}) قدر ما أمكن ذلك. وإنه استناداً إلى التيارين I_{ON} وI_{OFF} تختبر صلاحية ترانزستور ما ليكون ترانزستور منطق أم لا.

ففي حالة ترانزستور NMOS عند الإشباع، يتعين I_{ON} بحاصل ضرب كثافة الإلكترونات الصفيحية في سرعة حقن الإلكترون، v_{inj}، عند «المنبع الافتراضي»، وهو موقع في القناة له أعلى حاجز طاقة في عصابة النقل. ويشكل هذا عنق الزجاجة لجريان الإلكترونات.

يمكننا تلمس أثر سرعة الحقن في ترانزستورات (III–V) المستقبلية بفحص ترانزستورات:HEMT من المركبات V وIII. ففي هذا الخصوص، تزودنا HEMT بمنظومة نموذجية ممتازة لدراسة جوانب مهمة في ترانزستورات III–V MOSFET المستقبلية.

أظهرت قياسات v_{inj} لترانزستورات HEMT المصنوعة من InGaAs وInAs قيماً قاربت 4×10^{7}cm s^{-1} عند كمون 0.5 V (الشكل 2). وقد اختيرت هذه القيمة للكمون لمقارنة خيارات التقانة المستقبلية لأنها تسبب تخفيضاً ملموساً في الاستطاعة المبددة مقارنة بالتغذية الحالية ذات 1 V. يظهر في الشكل (2) أن سرعة الحقن v_{inj} لترانزستورات HEMT المصنوعة من InGaAs وInAs أكبر بمرتين من ترانزستورات MOSFET السليكونية عند قيمة أقل من نصف الكمون المطبق. وتصبح سرعة الحقن في حالة أدوات أقصر من قرابة 50 nm، مستقلة عن طول البوابة. وتشير محاكيات مونتي كارلو إلى أن النقل الإلكتروني عبر القناة سيصبح قذفياً ballistic، أي بدون تصادمات تُذكر. وتتعين سرعة الحقن في هذه الحالة بالبنية العصابية لمادة القناة (الشكل 2)، فتتزايد سرعة الحقن مع زيادة تركيب InAs في القناة نتيجة امتلاكه كتلة فعالة أخفض من غيرها من المركبات.

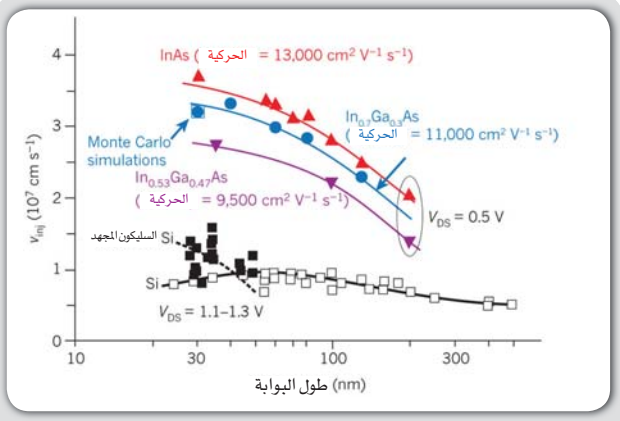
تؤثر كثافة الحوامل الصفيحية أيضاً في التيار I_{ON}. فقد أثير قلق يتلخص بما يمكن لحدود الكتلة الفعالة أن تفرضه على أعظم قيمة لكثافة الإلكترونات التي يمكن الحصول عليها. إذ



الشكل (1): حركية الإلكترون وحركية الثقب لأنصاف نواقل مركبات مجموعة العناصر V وIII.

يُظهر الشكل أعلى حركية للإلكترونات (بالأحمر) وللثقوب (بالأزرق) عند درجة حرارة الغرفة في الطبقات المقلوبة الكثافة وفي الآبار الكمومية التابعة لثابت شبيكة نصف الناقل الواقعية (الطول الجانبي لخلية وحدة مكعبة في بلورة نصف الناقل). وتعطى قيم الحركيات بغض النظر عن كثافة الحوامل الصفيحية. ومن أجل طبقات مسترخية، لا تخضع لانفعال، تكون قيمة ثابت الشبيكة هي قيمتها الطبيعية، كما تظهر على المقياس. أما من أجل طبقات متشاكلة تشاكلاً تقريبياً، تكون ذات انفعال تام على ركازة ذات ثابت شبيكة مختلف، عندئذ يكون ثابت الشبيكة هو ثابت شبيكة الركازة. نتيجة لذلك، يمكن أن تظهر نقاط معلمة بالعلامة نفسها في مواقع مختلفة في الشكل. وقد أشير إلى وقع انفعال ثنائي المحور بسهم يمثل الانفعال الثنائي الضاغط المتزايد. توجد فجوة عريضة بين حركيتي الإلكترون والثقب في مركبات أنصاف النواقل III-V مهما كانت قيمة ثابت الشبيكة، ويأخذ الانفعال الثنائي المحور الضاغط دوراً كبيراً في بناء جسر يتجاوز هذه الفجوة.

تفضي قياسات حديثة على ترانزستورات HEMT المصنوعة من InGaAs وInAs إلى أن الكتلة الفعالة للإلكترون أكبر بكثير من قيمتها الجسمية (الجرمية). وقد فسّر ذلك بأنه نتيجة الابتعاد الكبير عن كون عصابة النقل تكافؤية في هذه المواد، خاصة إذا ما قُرن ذلك بتكمية الإلكترون نتيجة رقّة القناة والإجهاد الضغطي الثنائي المحور نتيجة عدم التوافق الشبيكي مع مادة الركازة InP.



الشكل (2): سرعة حقن الإلكترونات في ترانزستورات III-V HEMT.

تظهر سرعة حقن الإلكترونات Vinj لترانزستورات HEMT قناتها مصنوعة من تركيبات مختلفة من InGaAs وInAs ولترانزستورات MOSFET ذات قناة سليكونية تكون تغيراتها تبعاً لطول البوابة. أخذت قياسات III-V HEMT عند فرق كمون بين المنبع والمصب (V_{ds}) يساوي 0.5 V ولترانزستورات MOSFET السليكونية ما بين 1.1-1.3V. ورغم هذا الاختلاف بالكمون، فإن سرعة الحقن في قنوات InGaAs أكبر بمرتين مما هي عليه للسليكونية. ويشير ميل إشباع سرعة الحقن في قنوات InGaAs إلى حدوث النقل الإلكتروني القذفي (الخالي من التصادمات)، وقد أكدت ذلك محاكيات مونتي كارلو القذفية التي تقع فوق النقاط التجريبية تماماً.

يؤدي تشارك سرعة حقن Vinj عالية وكثافة حالات مقبولة للقناة إلى الوصول إلى ترانزستورات أثر حقل FET»بآبار كمومية» مصنوعة من InGaAs وInAs قادرة على إعطاء تيار I_{on} متميز عند كمون تغذية، V_{DD}، منخفض، وهو الذي يعدّ من الأمور الأساسية عند تصنيع ترانزستورات CMOS المستقبلية.

غير أن أهمية تيار الفصل I_{OFF} كأهمية تيار الوصل I_{ON}. وفي نبائط الآبار الكمومية التي لا تحتوي على وصلات بين المنبع والمصب، كما في ترانزستورات HEMT، تتعين I_{OFF} بتأرجح ما تحت العتبة،S، الذي يعطي قيمة لحدّة انخفاض تيار المصب تحت العتبة. ففي ترانزستورات HEMT المصنوعة من InGaAs وInAs تحصر الطبيعة الكمومية للقناة حركة الإلكترونات عملياً لتؤدي إلى سلوك حادّ تحت العتبة مقارنة بترانزستورات MOSFET السليكونية. وكلما رقّت القناة اقترب تأرجح تحت العتبة من قيمته المثالية 60 mV~ لكل عشرة (أي أن التيار يزداد بمضروب العشرة لكل 60 mV زيادة في كمون البوابة) عند درجة حرارة الغرفة.

إلا أن ترقيق القناة لا يخلو من مآخذ معيقة، لأن التبعثر يميل إلى الزيادة وبالتالي يحطّ من النقل. وقد أكّدت قياسات الحركية هذا الأمر. فعندما أنقص ثخن القناة لترانزستور HEMT InAs من 10 nm إلى 5 nm، انحطت قيمة حركية الإلكترون من 13 000 $cm^2V^{-1}s^{-1}$~ إلى 10000 $cm^2V^{-1}s^{-1}$~. مع ذلك فإن تأثر سرعة الحقن في حالة ترانزستورات قصيرة طول البوابة كان أخفض بكثير. ويعدّ هذا منطقياً بسبب توقع النقل القذفي في حالة الترانزستورات القصيرة بما يكفي. إن لمعمارية البئر الكمومي الرقيق مقدرة الارتقاء حتى أبعادٍ صغيرة جداً.

إن من أهداف الارتقاء المهمة جعل تيار الوصل I_{ON} أعظمياً مع الإبقاء على قيمة مقبولة لتيار الفصل I_{OFF}. ويجب أخذ قيمتي التيارين في الحسبان عند مناقشة ملاءمة تقنيات نبائط مختلفة لتطبيقات منطقية. وهناك طريقة بسيطة للقيام بذلك، وهي تعيين قيمة I_{ON} التي يمكن الحصول عليها لقيمة محددة من تيار الفصل I_{OFF} عند قيمة معينة للكمون V_{DD}. ويمكن تعريف هذا المقدار بما لا يدع مجالاً للشك لأية نبيطة ذات مميزات مقبولة حتى لو لم يكن لها كمون عتبة V_T «صحيحاً»، كما هي الحالة غالباً في النبائط التجريبية. إن القيمة المعيارية للتيار I_{OFF} للنبائط المنطقية العالية الأداء هي 100 nA μm^{-1}. يظهر الشكل (3) قيم I_{ON} لنبائط مختلفة عند هذه القيمة للتيار I_{OFF} وعند كمون V_{DD} يساوي 0.5 V. وهو يتضمن ترانزستورات InAs HEMT من مختبرنا، إضافة إلى ترانزستورات CMOS سليكونية تجارية عند 0.5 V. كما يظهر أيضاً توقعات لترانزستورات CMOS المستقبلية المعتمدة على خارطة الطريق لأنصاف النواقل. يشير الشكل (3) إلى أنه عندما يوازن الأداء وآثار القناة القصيرة توازناً مناسباً ستتفوق ترانزستورات InAs FET تفوّقاً واضحاً في أدائها مقارنة بترانزستورات MOSFET السليكونية التي لها أطوال بوابات مماثلة. ويكون الفرق أكثر إثارة عند ما نأخذ بوجود مقاومية منبع تقارب 230 Ωμm لترانزستورات MOSFET السليكونية، مقارنة بقيمة 80 Ωμm لترانزستورات InAs FET. وإذا ما أمكن تجاوز هذا المأزق فمن المتوقع أن يتجاوز مستقبلاً أداء تقانة FET بالآبار الكمومية المصنوعة من InAs أداء التقانات الأخرى.

ومما يدعم المميزات الكهربائية الطاغية لترانزستورات FET المصنعة من العمودين III وV تقانة تنمية بنيوية متغايرة بدقة طبقة

ذرية واحدة مع إمكان تصنيع سطوح بينية مرآوية. إذ إن النمو بالحزمة الجزيئية الطباقي (MBE)، والنمو الطباقي من طور بخار المواد العضوية المعدنية (MOVPE) هما في قلب صناعة "هندسة فجوة الطاقة" bandgap engineering للبنى المتغايرة من المواد III–v. وقد يكون أفضل شاهد درامي لهاتين التقانتين قيمة حركية الإلكترون البالغة 36 مليون $cm^2V^{-1}s^{-1}$ التي أمكن الحصول عليها عند درجات حرارة منخفضة لمنظومة AlGaAs/GaAs. وهذه أفضل بنية صنعية بهذا الكمال بالمطلق.

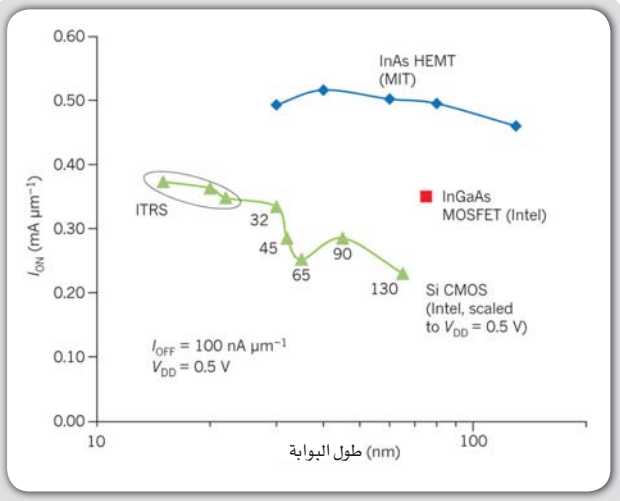
ساعدت ترانزستورات III–V HEMT في دعم قضية تقانة III–V CMOS المقدمة. إذ إنها بحدّ ذاتها غير ملائمة للاستعمال في العمليات المنطقية بسبب تيار تسريب البوابة العالي. مع ذلك، فقد زودتنا ترانزستورات HEMT بسمات تصميمية قيّمة للحصول مستقبلاً على ترانزستورات III–V MOSFET، بما في ذلك تصميم عديم الوصلة (junction less) لبئر كموني رقيق غير مطعّم غني بمادة InAs يمتد تحت الجزء المطعّم للنبيطة الذي وضع فوقه منطقتا المنبع والمصرف.

مسائل حساسة

إن الموانع التي تواجه دخول مادة قناة جديدة في تقانات ترانزستورات CMOS ضخمة. ففي الوقت الذي تصبح التقانة جاهزة للانتشار، سيحتاج طول بوابة الترانزستور ليكون أقصر من 10 nm. ومما يزيد التحدي تعقيداً، ستحتاج تقانة مُعَرْقِلَة، مثل تقانة تضمين المُركّبات III–V، إلى تقديم أداء أفضل بكثير (أفضل بما لا يقل عن 30–50%) من خيار السليكون البديل. كما يجب أن تكون واعدة أيضاً بإعطاء أكثر من جيل مترَقٍّ في المستقبل. ويجب تلبية كل هذا مع تصنيع مربح ووثوقية غير مسبوقة. وقبل حدوث ذلك يجب تناول مسائل حساسة عديدة. وهي ما سنناقشه هنا.

مكدس البوابة

يقع مكدس البوابة في قلب صناعة ترانزستور MOSFET (الشكل 4). فهو يتكون من بوابة معدنية، وحاجز عازل ذي سماحية كهربائية عالية (high–k) وقناة نصف ناقلة. ويجب أن يكون العازل خالياً من شحنات مأسورة ومن عيوب أخرى، وسطح بيني ناعم مع اختلالات بينية نادرة قليلة، واستقرارية عالية. وإنه من عجائب تقانة السليكون وجود أكسيد أصيل منه، SiO_2، يلبي جميع هذه المتطلبات. ولا يوجد مثل هذه الأكاسيد الأصيلة لمركبات III–V. في الواقع، يؤدي تعرض سطح من مادة III–V للأكسجين إلى «تثبيت مستوي–فرمي» مما لا يسمح بتعديل الكمون الكهراكدي داخل نصف الناقل. يجعل ذلك



الشكل (3): قيم عالية لتيار «الوصل» <ON> في ترانزستورات مركبات III-V عالية الحركية الإلكترونية HEMT:

يظهر الشكل تغيرات التيار I_{ON} في حالة الوصل<ON> مع تغيرات طول البوابة لترانزستورات InAs HEMT ولترانزستورات سليكونية MOSFET عند الكمون 0.5V في حالة تيار فصل <OFF> ثابت يساوي 100 nA μm^{-1}. تقابل بيانات السليكون الكمون 0.5V وقد حصل عليها من نماذج لتجارب منشورة عند كمونات أعلى من ذلك. وتمثل نقاط المعطيات المعلّمة بـ ITRS توقعات ارتقاء مستقبلية وفق خريطة طريق تقانة أنصاف النواقل العالمية. يقابل المربع الأحمر ترانزستور InGaAs MOSFET؛ وإن حقيقة تجاوز أدائه الجاهزة الآن أداء ترانزستورات سليكونية MOSFET عند 0.5V من الأمور المشجعة. ترمز MIT إلى نتائج معهد ماساشوتس للتقانة.

من المستحيل استعماله في ترانزستور MOSFET. إذ إن أكسدة مركب InGaAs، وهو أكثر مركبات III–V التي جرى تحسينها، تخلق قائمة عيوب غنية من أكسيدي الغاليوم والزرنيخ مع أكاسيدها المنقوصة، إضافة إلى الزرنيخ العنصري، ومتثاني الزرنيخ (As–As dimer) وروابط متدلية من الغاليوم من بين عيوب أخرى. ترافق تلك العيوب كثافة حالات بينية عالية تمنع التعديل الفعال لمستوي فرمي السطحي. وبسبب صعوبة تجنب الأكسدة السطحية، أدّت المحاولات الأولى لتصنيع ترانزستور GaAs MOSFET إلى نبائط فقيرة الأداء ومنخفضة الاستقرارية.

تبين عام 1995، لدى توضيع الأكسيد Ga_2O_3 فوق GaAs توضيعاً محلياً في الجهاز in situ، أن هذا يعطي سطحاً بينياً يقترب من جودة سطح المنظومة AlGaAs/GaAs. أدى ذلك إلى

جعل تصنيع ترانزستورات GaAs MOSFET ذوات قناة–n وذوات قناة–p كلتيهما ممكناً، وقاد إلى الاعتقاد بأن إمكان الحصول على سطوح بينية بين مواد عازلة/ ومركبات III–V ذوات مستويات فرمي غير مثبَّتة ممكن بالفعل.

اتخذت الخطوة الرئيسية في التقدم عام 2003 عندما اتضح إمكان تصنيع ترانزستور GaAs MOSFET باستعمال أكسيد الأمنيوم Al_2O_3 الموضّع بتقنية توضيع الطبقات الذرية atomic layer deposition (ALD). إن تقنية توضيع الطبقات الذرية هي تقنية غير محلية ex situ ومتماسكة وقابلة للترقّي بصورة جيدة وتستعمل في صناعة السليكون الحديثة استعمالاً واسعاً، لذلك فإن الحصول على سطح بيني oxide/III–V عالي الجودة بتقنية ALD يفتح الباب عريضاً لصناعة ترانزستورات III–V MOSFET. لم تكن هذه النتيجة متوقعة لأن سطح GaAs الأولي كان معرّضاً للهواء. لم تلبث دراسات بالمجهر الإلكتروني النافذ (TEM) وبمطيافية إصدار الإلكترونات بالأشعة السينية (XPS) أن بينت "نوعاً من عملية تنظيف" تحدث خلال عملية التوضيع الذري ALD مما يحذف قسماً كبيراً من سطوح الأكاسيد. ويحدث هذا في المراحل المبكرة جداً من التوضيع الذري وفي التعريض اللاحق لمؤكسدات التوضيع الذري لا تعود أكاسيد III–V إلى النمو. قاد استعمال تقنية توضيع الطبقات الذرية بعدها مباشرة إلى تصنيع ترانزستورات MOSFET لمركبات III–V أخرى مثل InGaAs وInAs وInP.

ينمو تقدم في المميزات الكهربائية لترانزستورات III–V MOSFET نتيجة إنقاص كثافة الحالات البينية، D_{it}. وكما يشير اسمها فهي حالات إلكترونية بينية تنشأ من انقطاعات بنية الترابط المثالية لنصف الناقل عند سطحه البيني مع العازل. وهي تؤثر في أداء عمل النبيطة بطرائق عدة. إذ تزيد الحالات البينية تحت حافة عصابة النقل من تأرجحات ما تحت العتبة، في حين تصطاد هذه الحالات، عندما تكون داخل عصابة النقل، الإلكترونات. وينقص كلا الأثرين من التيار I_{ON} من أجل قيمة محددة للتيار I_{OFF}. ويمكن للحالات البينية أيضاً أن تزيح كمون العتبة وتحطّ من حركية القناة وتكون مصدراً لعدم الاستقرار.

يمكن اكتساب تبصر في منشأ الحالات البينية عن طريق محاكيات تعتمد نظرية الكثافة الدالّية (DFT) density functional theory، التي تسمح ببناء نماذج تفصيلية للارتباط لسطوح بينية من oxide/III–V ثم حساب كثافة الحالات عبر البنية العصابية. يكون سطح GaAs المعاد بناؤه خالياً من حالات العيوب. وعندما يؤكسد السطح، تظهر حالات بينية نتيجة الروابط As–As وروابط As المتدلية وشواغر Ga وربما روابط Ga–O وروابط As–O. ومن المثير للاهتمام، أن سطوح GaO التي جرى تعديل انفعالها تبدو نظيفة تماماً من أية حالات في فجوة العصابة، وهذا ينسجم مع ما تظهره مستويات فرمي غير المثبّتة في منظومة Ga_2O_3/GaAs.

ووفق حسابات نظرية الكثافة الدالية (DFT) تظهر عيوب بين سطحية متعددة عند توضيع أحد العازلين HfO_2 أو Al_2O_3، الشائعين في عملية التوضيع الذري لأن لهما ثابتي عزل عاليين (high –k)، فوق GaAs. وقد يكون المتثاني As–As هو الأكثر وفرة، وهو بنية رابطة يجب ألاّ توجد في حالة سطح بيني مثالي وهو يتصف بحالة قريبة من منتصف فجوة الطاقة. فتجريبياً تبين تقنية XPS بقاء المتثاني As–As عند السطح البيني عابراً المراحل المبكرة من تنمية الطبقات الذرية ALD. والعيب البارز الثاني هو رابطة الغاليوم المتدلية، حيث تضعه حسابات الكثافة الدالية قريباً من حافة عصابة النقل. إن كثافة هذه العيوب العالية ومواقعها في البنية العصابية منسجمة مع التجارب، مما يجعل أمل الحصول على ترانزستورات GaAs MOSFET عالية النوعية معتمدة على الأكاسيد في تقنية توضيع الطبقات الذرية ALD مثار مساءلة.

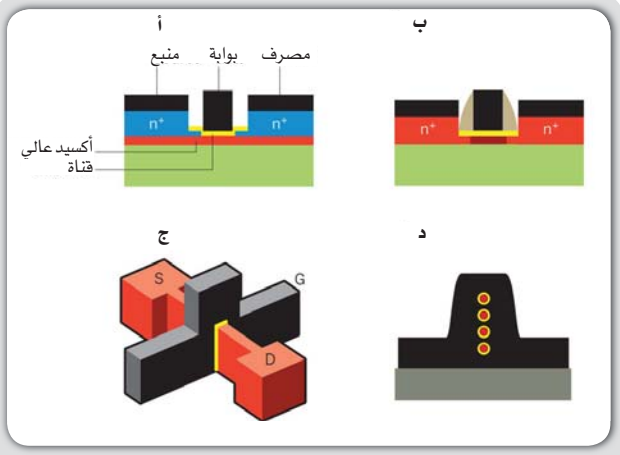
توجد طرائق مختلفة لمعالجة هذه المسألة. الأولى منها هندسة سطح بيني قبل التوضيع بمعالجات منظفة، أو استعمال طبقات بينية، أو استعمال التوضيع الكيميائي، أو معالجات بعد التوضيع، أو استعمال عوازل بديلة. أما الثانية فتتطلب تغيير اتجاه السطح البلوري. إذ إن أكثر الاتجاهات شيوعاً هو الاتجاه (100)، لكن بعض النتائج بيّنت سلوكاً أفضل، لبعض نبائط تعتمد مادة GaAs، للسطح ذي الاتجاه (111) (والوضع نفسه في حالة InGaAs وفي حالة InP). ويمكن تفسير ذلك اعتماداً على نظرية الكثافة الدالية DFT لأن رابطة بنية GaAs/العازل العالي–k عند السطح البيني يفتقد حالات المتثاني As–As.

وتعتمد المقاربة الثالثة على استعمال مركبات تحتوي على الإنديوم. إذ تتحسّن مميزات نبائط MOSFET تحسناً كبيراً عند زيادة النسبة المولية من InAs في قناة مصنوعة من InGaAs. وكذلك أعطت الطريقة نتائج جيدة في حالة InP. إذ تتنبأ نظرية الكثافة الدالية DFT لهذه المواد وجود حالات بينية مرافقة لمتثاني (dimers) عناصر العمود–V ولروابط متدلية لعناصر العمود–III تقع عميقة داخل عصابة النقل.

ويؤخذ في الاعتبار حركية الإلكترونات في القناة كأمر منفصل في بنى عازل ذي K عالية/MOS المكونة من مركب من III–V. فالحالة المثالية لمَكْدَس بوابة، من وجهة نظر الترقّي، هو نبيطة

بقناة سطحية حيث يقع الأكسيد مباشرة فوق القناة. غير أن المشكلة عندئذ تردّي الحركية تردياً شديداً نتيجة خشونة السطح البيني والتبعثر الكولوني المرافق للحالات البينية، إضافة إلى التبعثر الفونوني البعيد في الأكسيد العالي–k. ففي حالة بنى MOS من مادة InGaAs بمكاديس بوابة مترقّية عند تراكيز حوامل شحنة صفيحية واقعية يصعب الحصول على قيمة تتجاوز القيمة $1000\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ للحركية.

قد يكون أحد حلول هذه المسألة هو في نبيطة القناة المطمورة buried– channel. توضع، وفق هذه المقاربة، طبقة رقيقة من نصف ناقل عريض فجوة الطاقة بين القناة والأكسيد. فيخفّف ذلك من تأثير خشونة السطح البيني ويقلل التبعثر الكولوني عن السطح البيني المشحون كهربائياً ويقلل كذلك من حالات الأكسيد الجسمية المشحونة، والتبعثر الفونوني البعيد الناتج من فونونات الأكسيد. لقد أعطى كل ذلك حركية أعلى مما كانت عليه بدون ذلك. غير أن هذه المقاربة تبقى صالحة حتى قيمة ثخن لا تتعارض مع آثار القناة القصيرة العاملة في حواجز الكمون للمركب أكسيد/نصف ناقل لتبقيها رقيقة جداً. إذ يجعل ذلك، في الوقت الحاضر، قيمة حركية الإلكترون لقنوات مصنوعة من InGaAs محدودة ضمن المجال $1000–3000\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$. وإن أثر تردّي هذه الحركية حتى هذا المستوى على سرعة الحقن لنبائط قصيرة جداً غير معروف حالياً.



الشكل (4): قناة أحد ترانزستورات مفعول الحقل MOSEFT المستقبلية باستعمال نصف ناقل من مركبات III-V

أ) بئر كمومي MOSEFT منمّش بين منبع ومصرف. ب) بئر كمومي بين منبع ومصرف أعيدت تنميته، ج) ترانزستور مفعول الحقل ذي عازل FinFET، حيث يتحكم في شحنة القناة كهراكدياً عن طريق بوابة ملتفة حول ثلاثة جوانب لقناة رقيقة جداً. د) ترانزستور مفعول الحقل MOSFET بسلك نانوي ذي «بوابة محيطة به إحاطة تامة» «Gate-all-around»، له صفيف من أسلاك نانوية رفيعة جداً تلفّها بوابة. تشير S إلى المنبع، وG إلى البوابة، و D إلى المصرف.

إن أفضل ترانزستورات III–V MOSFET أمكن الحصول عليها حتى الآن، مصنعة من بنى InGaAs مطمورة القناة ومزودة بطبقة حاجز كمون من InP باستعمال تقنية التوضيع الذري ALD وعازل من TiSiO. إذ تظهر نبيطة طول بوابتها 75 nm تركيباً ملفتاً للنظر من تيار سواقة ومميزات تحت عتبة ممتازة، كما يظهر في الشكل (3). وهذا الترانزستور هو الوحيد الذي أعرفه والذي تخوّله مزاياه للظهور بهذا المظهر. ويلاحظ أن أداءه يتجاوز أداء ترانزستورات مصنعة وفق آخر ما توصّلت إليه تقانة MOSFET السليكونية.

تصميم ترانزستور ذاتي الرصف

يكون استعمال مركبات III–V في تقانة ترانزستورات CMOS ذا جدوى إذا سمح فقط بترقيات إضافية للترانزستور وزوّدنا بـأداء أفضل من أداء أية خيارات أخرى. ويكمن تحدي صنع ترانزستورات صغيرة في مسألتين. الأولى، ضرورة الإبقاء على كمال كهراكدي كافٍ. ويعني هذا تمكين البوابة من تطبيق درجة عالية من التحكم الكهراكدي على كثافة الإلكترونات في القناة أكبر مما تطبقه على المصرف، مما يستدعي امتلاك القناة نسبة باعيّة هندسية عالية. والتحدي الثاني هو إبقاء الوسعية الطفيلية منخفضة وكذلك المقاومة الطفيلية بين أجزاء البنية المختلفة.

من المتوقع ألاّ تختلف الوسعية الطفيلية لترانزستور III–V مترقٍّ عن ترانزستور MOSFET السليكوني اختلافاً كبيراً. إذ تمتلك مركبات المجموعة III–V سماحية كهربائية أكبر قليلاً مما هي للسليكون (أعلى بقرابة 10% في حالة GaAs)، غير أن لهذا الاختلاف تأثيراً ضعيفاً بسبب كون الوسعية الطفيلية للتخوم المرافقة لجدران البوابة تصبح سريعاً هي المهيمنة مع استمرار التدرج بالتصغير في الحجم.

أما المقاومة الطفيلية فيجب توفير عناية مهمة أكبر لها. إذ ستتطلب ترانزستورات أجيال المستقبل مقاومة للمنبع أخفض من $50\ \mu\Omega$. في حين تمتلك آخر ترانزستورات InGaAs HEMT تطوراً في مقاومة منبع تقع بين $150–250\ \mu\Omega$. وإن الفجوة أعرض مما تبدو لأن ترانزستورات InGaAs HEMT تظهر تماسات أكبر

نسبياً (من مرتبة بضعة مكرومترات). وقد أبانت النمذجة أنه عندما تكون أبعاد التماس بمقاسات موافقة توافقاً مناسباً، تكون مقاومة التماس أكبر بمرتبتين من القيمة المطلوبة. فكيف يمكن حلّ هذه المسألة؟

يحتاج الحلّ إلى مكوّنات عديدة. الأول، تحتاج بنية الأداة أن تكون مرصوفة ذاتياً. ويعني هذا وضع التماسات دون أن يتطلب ذلك رصفاً ضوئياً باتجاه البوابة، كما هو شائع في ترانزستورات HEMT. إذ يسمح الرصف الذاتي لأن تكون المسافة بين البوابة والتماس بضعة نانومترات فقط. فقد أظهرت ترانزستورات InGaAs HEMT المسددة ذاتياً نتائج واعدة.

ويتطلب ذلك أيضاً مقاومة تماس أومية منخفضة جداً. من حيث الأساسيات، يجب ألاّ تكون هذه إعاقة لمادة InGaAs بالمقارنة مع السليكون. إذ إن تطعيم InGaAs بمستويات تطعيم مساوية لتطعيم السليكون (مستوي تطعيم النوع –n– المفضل) يمكن أن تصل بسهولة نصف مرتبة $10^{19}\ cm^{-3}$ مع حركية إلكترونية تتجاوز $1000\ cm^2V^{-1}s^{-1}$ في درجة حرارة الغرفة. يعطي هذا المستوي من التطعيم مقاومة تتفوق على مقاومة السليكون المطعم بالزرنيخ، As، وبمستويات تطعيم عند وسط مرتبة $10^{20}\ cm^{-3}$ مع حركية تقارب عُشر ما سبق. واستبان أن للتماسات الأومية بمواد نارية مع n^+– InGaAs مقاوميات تماس تقارب $1–2\ \Omega\mu m^2$ وذلك باستعمال معادن مختلفة. وتقارب هذه القيم قيم أفضل تماسات n^+–Si وهي ضمن المجال المطلوب لنبائط مُترقّية بالكامل.

إن الهم الأعظم الخاص بترانزستورات III–V مترقّية هو الوصول إلى كمال كهراكدي كافٍ. ويتعلق هذا بتحكّم البوابة بشحنة القناة تحكماً دقيقاً، وهذا بدوره متطلب مفتاحي للحصول على تأرجح تحت عتبة حاد. ففي تصميم بئر كمومي مستوي، يتطلب الأمر قناة رقيقة جداً وحاجز بوابة عالي الرقّة.

يظهر في الشكل (4) تصميمان مقترحان لبئر كمومي مستوي. فيبين في الجزء (4أ) معمارية أداة ذات منطقتي منبع ومصرف نمّيتا فوق البنية الأصلية المتغايرة البنية مع تراجع بسيط فيها لتفسح المجال لبوابة مرصوفة ذاتياً. ففي هذا التصميم، يمتد البئر الكمومي تحت المنبع والمصرف، ليحافظ على نقل عالي الحركية خارج الأداة. وإن الحسنة الثانية تشكل السطح البيني عازل/III–V متأخراً نسبياً في العملية، مما يزودنا بمرونة عملياتية عالية. وإن لترانزستور InGaAs MOSFET الموضح في الشكل (3) بنية تشبه هذه البنية.

يظهر في الشكل (4 ب) تصميم ممكن آخر للأداة. وفي هذه المعمارية، يتشكل مكدس البوابة مبكراً في العملية. وباستعمال البوابة قناعاً، تزال القناة بالتنميش من الجزء الخارجي للبنية المتغايرة، ثم تنمّى منطقتا المنبع والمصرف تنمية طباقية بطريقة الرصف الذاتي. وقد يكون من الحسنات الكامنة لهذه المقاربة مقدرة إدخال انفعال وحيد المحور في القناة. لقد صنّعت نبائط نماذج أولية مُبدية مميزات كهربائية واعدة.

توجد بنى نبائط بديلة في حال فشل التصميم المستوي في تحقيق المتطلبات. فقد أعلنت إنتل Intel حديثاً استعمال ترانزستور مفعول حقل ثلاثي البوابة trigate FET في جيل CMOS ذي 22–nm. وإن ترانزستور البوابة الثلاثية، الذي يعرف أيضاً بالرمز FinFET، هو في الحقيقة ترانزستور MOSFET يمكن التحكم في شحنة قناته كهراكدياً عن طريق بوابة ملفوفة حول ثلاثة جوانب قناة رقيقة جداً. أعطت هذه المقاربة تحكماً كهراكدياً أفضل مما سبق، كما أدّت إلى إمكانية أفضل في قابلية التدرّج نحو الأصغر. وقد أبانت نبائط مشابهة معتمدة مركبات III–V (الشكل 4 ج) حالياً آثار محسنة للقناة القصيرة مقارنة بالتصميمات المستوية. وما يوجب إيلائه عناية مهمة في هذا الصدد، التخريب الحاصل نتيجة التنميش الجاف، الذي يصعب التخلص منه بالإحماء في أنصاف النواقل المركبة.

ويتوقع الحصول على كمال كهراكدي أعلى مما سبق وترقّي كامن باستعمال ترانزستورات مفعول الحقل ذات الأسلاك النانوية nanowire FET الشكل (4 د). تتألف هذه الترانزستورات من صفيف أسلاك نانوية رفيعة وقصيرة جداً مع بوابة ملفوفة حولها. وقد درست ترانزستورات مفعول حقل FET بأسلاك نانوية سليكونية لبعض الوقت وهي بمثابة تقانة CMOS بديلة بحدّ ذاتها. وقد اتضح إمكان عملها بأسلاك مركبات III–V بوضعيتي ترانزستورات أسلاك نانوية أفقية وشاقولية وبمميزات ملفتة في منظومة المركب InAs.

ترانزستور MOSFET من النوع –P

تتطلب دارات CMOS المنطقية نوعي الترانزستورات NMOS و PMOS كليهما مع أداء منسجم بينهما. يعتمد أداء ترانزستورات PMOS على الثقوب التي تميل لتكون متدنية الأداء مقارنة بأداء ترانزستورات NMOSلكون حركية الثقوب أخفض عموماً مما هي للإلكترونات. وقد تعلّم مصممو الدارات العمل مع ترانزستور PMOS سليكوني له كثافة تيار تساوي ثلث كثافة تيار ترانزستور

NMOS. وبالتالي على تقانة مستقبلية تعتمد III–V CMOS استهداف الوصول لفارق أداء ليس أسوأ من ذلك.

مع أن حركية الثقوب لا تقود إلا إلى دليل ضعيف لانتقاء مواد قناة مناسبة من النوع–P، فإن عدم التوازن الضخم بين حركيتي الإلكترون والثقب في المركبات III–V يطرح مسألة جدية، كما يبين الشكل (1). فهو يمثل أعلى قيم حركيتي الإلكترون والثقب عند درجة حرارة الغرفة اللتين أمكن التوصل لهما حتى الآن للطبقات العكسية الكثافة أو للآبار الكمومية لأنصاف نواقل مختلفة وتغيراتها بتغير ثابت الشبيكة المتغايرة (الذي هو ثابت الشبيكة الفعلي، تمييزاً له عن ثابت الشبيكة المسترخية). وتأتي هذه الحركيات نموذجياً عن طريق قناة البنية المتغايرة المدفونة (مثل HEMT) وعند تراكيز حوامل منخفضة نسبياً.

يبين الشكل (1) عدم وجود أي نصف ناقل حركية الإلكترون فيه تفوق $5000\ cm^2\ V^{-1}s^{-1}$ وحركية ثقب تتجاوز $1500\ cm^2\ V^{-1}s^{-1}$. ففي معظم الحالات تكون حركية الثقب أخفض كثيراً من حركية الإلكترون. وحتى لا يوجد أي زوج من المواد لهما ثابتي شبيكة متماثلين تقع حركيتهما في هذين المجالين. ربما يكون الأقرب لتحقيق ذلك مادة GaAs لترانزستور NMOS ومادة Ge لترانزستور PMOS، غير أنني قد ناقشت صعوبة الحصول على سطح بيني للمادتين: مادة ذات k العالية/GaAs عن طريق تقانة التوضيع الذري ALD.

والخلاصة يبدو إذاً أنه لا مناص لتقانة III–V CMOS المستقبلية من أن تعتمد في تصنيع ترانزستورات NMOS و PMOS على مواد مختلفة لها ثوابت شبيكة مختلفة. ويتضمن هذا مسائل مهمة عند مكاملتهما معاً على الركازة نفسها، كما سيناقش أدناه.

يمكن زيادة حركية الثقب بإدخال انفعالٍ ضغطي ثنائي المحور. ويمكن إنجاز ذلك عبر تنمية شبه متشاكلة فوق مادة ذات ثابت شبيكة أصغر مما هو عليه فيهما. يوضح الشكل (1) هذا بالأسهم التي تشير إلى انفعال ضغطي ثنائي المحور متزايد. ويمكن أن يكون الكسب عالياً جداً. إذ بيّنت قياسات منشورة وصول حركية الثقب قرابة $2000\ cm^2\ V^{-1}s^{-1}$ في الجرمانيوم المنفعل ضغطياً، وقيمة تقارب $1500\ cm^2\ V^{-1}s^{-1}$ في InGaSb، وأكبر من $1300\ cm^2\ V^{-1}s^{-1}$ في مادة GaSb، وتزيد عن القيمة $1200\ cm^2\ V^{-1}s^{-1}$ في مادة InSb المنفعلة. وإن هذه المواد هي أكثر المواد الواعدة حالياً لصناعة ترانزستورات PMOS.

يوجد طرائق أخرى لتحسين حركية الثقب. ففي السليكون والجرمانيوم يزيد الانفعال الضغطي الأحادي المحور من حركية الثقب. وحديثاً قلّص الانفعال أحادي المحور الفارق بين أداء ترانزستورات PMOS وترانزستورات NMOS في ترانزستور أثر الحقل MOSFET من النوع–n. ويعِد الانفعال الأحادي المحور أيضاً بمقاربة مفيدة في مركبات III–V. وإن نتيجة ملفتة حديثة قالت إن تركيب انفعال الأحادي المحور مع انفعالٍ ثنائي المحور يؤدي إلى كسب لا خطيٍّ في الحركية.

وقد ظهرت حالياً عروض لترانزستورات PMOS مصنوعة من المواد GaAs، وInGaAs، وGaSb، وInGaSb. إن معظم المسائل السابقة التي نوقشت بخصوص ترانزستورات NMOS تنطبق أيضاً على ترانزستورات PMOS، لكن تطويرها متأخر عن الأولى. وفي الوقت الحاضر، يبدو أنه لا يوجد أي ترانزستور PMOS مصنوع من المركبات III–V له أداء أحسن من أداء نبيطة الجرمانيوم، التي هي تقانة بالغة أكثر تقدماً بكثير من الأولى. لهذا السبب، فإنه في الوقت الحاضر يعتمد المتنافسون الرئيسيون في تقانة III–V CMOS على تقانة أساسها الجرمانيوم.

المكاملة المشتركة بين ترانزستورات PMOS و NMOS فوق السليكون

ربما يحتاج التقدم في الصناعة أكثر ما يحتاج إلى مكاملة ترانزستورات PMOS وNMOS، مصنوعة من المركباتIII–V، موجودة جنباً إلى جنب فوق ركازة من السليكون. إذ يملي الاقتصاد استعمال رقاقات سليكونية لسببين على الأقل. الأول، إن الحاجة ماسّة لرقاقة واسعة لتحقيق بنية مقتصدة رئيسية وفق قانون مور. وقد يكون، من الاهتمامات الإضافية، الاستعمال الفعال للمعدات التي ستكون في موضعها المناسب، عند تحرك التقانة الجديدة باتجاه تطويرات متقدمة.

وإن تصنيع بنى متغايرة من مركبات III–V فوق السليكون تحت الاختبار الوقت قصير. فقد غذى هذا الاهتمام مكاملة النبائط البصرية مع دارات CMOS المنطقية، والخلايا الشمسية المتعددة الوصلات، ومكاملة دارات CMOS المتغايرة مع نبائط إلكترونية من المركبات III–V من بين تطبيقات أخرى. إذ تفرض ترانزستورات III–V CMOS بعض المتطلبات الفريدة للمكاملة المتغايرة. أحدها الحاجة إلى بنية واقية رقيقة جداً تحوّل قيمة ثابت شبيكة السليكون إلى القيمة المرغوبة. ويكون لثخن الطبقة الواقية أهمية ملموسة لأسباب اقتصادية، لأن المدد الزمنية الطويلة تحدّ من خرج

العملية، وكذلك لأسباب حرارية لأنه يجب تبديد الحرارة الناتجة في الترانزستور تبديداً فعّالاً. تصنع معظم الطبقات الواقية من مركبات ثلاثية من أنصاف النواقل، مثل InAlAs أو AlGaAs التي لها ناقلية حرارية ضعيفة.

صنّعت ترانزستورات InGaAs MOSFET ذات ثابت شبيكة مساوٍ لثابت شبيكة InP فوق السليكون بالتنضيد بالحزم الجزيئية MBE باستعمال تركيبة من GaAs/graded–InAlAs ثخانتها 1.5 µm طبقة واقية. وقد اتضح صلاحية استعمال طبقات واقية أرقّ من ذلك في حالة InGaAs HEMT فوق السليكون. وقد استعملت أيضاً تقنية التوضيع من البخار MOVPE وهي تقنية أقرب للصناعة من الأولى. وحصل على نتائج ممتازة باستعمال تركيبة من InP/InAlAs طبقة واقية ثخنها قرابة 1µm.

كما استعملت مقاربة منفصلة تماماً لمكاملة المركبات III–V فوق السليكون وذلك بنقل طبقة نبيطة III–V بكاملها فوق ركازة سليكونية مغطاة بعازل رقيق. تشبه هذه الطريقة طريقة صناعة سليكونية جيدة السند لوضع سليكون فوق عازل silicon–on–insulator(SOI). إذ تسمح مقاربة المركبات III–V فوق عازل بتدخل هندسة الانفعالات على طبقة النبيطة المنقولة. وإن التحدي أمام جميع تقنيات نقل الطبقات هو الارتقاء نحو رقاقات أكبر فأكبر.

ويوجد تقنية "مكاملة– متغايرة" سليكونية أخرى هي تقنية الاصطياد وفق النسبة الباعية (ART) aspect ratio trapping. تعتمد هذه الطريقة نمواً انتقائياً لمادة غير متوافقة الثوابت الشبيكية داخل أخاديد ذات نسبة باعية عالية وأبعاد من مرتبة ما تحت المكرومتر. تقوم الأخاديد باصطياد الانخلاعات المضفورة فتنتج طبقات نبائط عالية الجودة. وقد نميت أفلام من Ge، وGaAs، و InP باستعمال هذه التقنية (ART). وعندما تتآزر هذه العملية مع نمو عرضي تنضيدي مفرط epitaxial lateral overgroWth (ELO) يمكن التوصل إلى أفلام منتظمة عالية النوعية. وقد أمكن تصنيع ترانزستورات GaAs MOSFET باستعمال ART–ELO، ذات مميزات كهربائية مقاربة للترانزستورات المصنعة فوق ركائز GaAs.

مع أننا بانتظار دراسات تفصيلية للتحكم بالعيوب، يبدو من المتاح حالياً تصنيع بنى طبقية من المركبات III–V فوق السليكون عالية النوعية وبأسلوب قابلٍ للتدرّج. وإن أضخم التحديات هو في تحضير ركازة هجينة لتقبل ترانزستورات PMOS و NMOSقابلة لتضمين جزر من مادتين مختلفتين لهما ثوابت شبيكية مختلفة ومتوضعة جنباً إلى جنب بأقل تراكب معطية سطحاً مستوياً. وهذه مسالة حساسة يبدو أنها لم تحظ بانتباه كافٍ.

ما ذا بعد؟

إن قانون مور ليس قانوناً فيزيائياً بمعنى يشبه قانون غاوص أو قانون نيوتن في الحركة. فهو لا يصف الطبيعة. فقد صيغ قانون مور نتيجة ملاحظات التزايد الأسّي لكثافة الترانزستورات في الأيام المبكرة للإلكترونيات التكاملية، لكنه بقي صالحاً لمدة خمسين سنة. كانت رؤية مور العميقة الفعلية فهم الاقتصاديات وراء الإلكترونيات المكروية. وكان الدافع ليس تقليص حجم الترانزستور فقط، ولكن إنقاص كلفة صناعة الترانزستور أيضاً. وإن تدرّجية بصمة الترانزستور تجعل هذا ممكناً، ولكن فقط حتى نقطة معينة تبدأ بعدها زيادة التعقيد أكْلَ ناتج العطاء الصناعي. يدور قانون مور بمجمله حول الاقتصاديات والإبداعات الإنسانية، وإن الإلكترونيات التكاملية السليكونية مظاهر دراماتية للروح الإنسانية. غير أنه لا يوجد ما يجعل السليكون فريداً. ففي المستقبل غير البعيد قد لا يكون لتقليص ترانزستورات السليكون معنى اقتصادي أكثر مما هي عليه الآن. عندها يمكن لمركبات III–V أن تصبح المفتاح للاستمرار وفق قانون مور. لقد قمت هنا بمراجعة بعض أكبر التحديات التقنية الضاغطة الواعدة التي نحتاج التغلب عليها لجعل حدوث هذا ممكناً، كما ناقشت بعض الفتوحات المتقدمة التي أنجزت حتى الآن.

ج. أ. دل ألامو Jesus A.del Alamo

مختبرات مكروسيستم تكنولوجيز، Microsystems Technology Laboratories، معهد ماساشوسيتس للتقانة، كامبردج، ماساشوستس02139، الولايات المتحدة الأمركية USA.

نُشر هذا المقال في ***Nature, vol 479, 17 November 2011***
ترجمة **د. فوزي عوض**، *هيئة الطاقة الذرية السورية.*

إرث فوكوشيما من الخوف

أدى أسوأ حادث نووي شهدته اليابان حتى الآن، إلى نزوح أكثر من 100000 شخص، ويمكن الآن للكثيرين منهم أن يعودوا إلى منازلهم بأمان، غير أن عدم الثقة بالحكومة، يطيل منفاهم.

الكلمات المفتاحية: تنظيف البيئة، محطة فوكوشيما النووية، حادثة فوكوشيما .

Key words: *environmental clean-up, fukushima nuclear plant, fukushima accident.*

ينهمك يوشي تاو بتجريف المخلفات من قرية إيتات الصغيرة التي تبعد حوالي 40 كيلومتر عن محطة فوكوشيما دايشي النووية المدمرة.

بكل تأكيد، يختلف هذا عن عمله اليومي، فتاو لديه خلفية في فيزياء الطاقة العالية ويعلم الطلاب حول نظم أمان المعلومات في جامعة لوغاكوين في طوكيو. ولكن في هذا الصباح المشمس من شهر شباط، انضم ومجموعة من المتطوعين إلى المزارعين المحليين لإزالة بضعة السنتيمترات العلوية من التربة المشعة في حقول الأرز، ويقول: «عندما تتجمد التربة يمكن إزالتها بسهولة على شكل ألواح». وتغمر التربة المزالة، في زاوية من الحقل في حفرة مبطنة بأوراق ماصة، ثم يكمل: «عندما يعود الربيع يذوب الجليد ولكن يُمتص السيزيوم المشع وبالتالي يمكننا حمايته من التسرب».

يطلق المتطوعون، ومعظمهم من الباحثين، على أنفسهم وبشكل غير رسمي اسم فوكوشيما سايزي- نوفاي (والذي يعني جمعية إحياء فوكوشيما) وهم مجهزون بعداد وميض يوديد الصوديوم وعداد غايغر، مُحمَّلَيْن على سيارة ومرتبطين مع نظام تحديد المواقع العالمي GPS. في أكثر المجتمعات المتقدمة فنياً على مستوى العالم، تستطيع مجموعة واحدة فقط قادرة ومتخصصة أن تملك وسائل للتعامل مع إزالة النشاط الإشعاعي.

ولكن هناك وجهٌ مظلمٌ لجهود تاو؛ فإنه هناك لأنه هو وبعض الآخرين قد فقدوا الثقة بحكومتهم. فيقول تاو: «فمنذ الحادي عشر من آذار، لم يعد الناس يثقون بالعلماء الذين تلقوا تمويلاً من الحكومة»، ويزيد على ذلك: «إنهم يثقون بالناس الذين يعملون بدون تمويل حكومي، وهم الذين يعملون معهم».

بعد مرور عام على بداية أزمة اليابان النووية، يقول العلماء الذين اتصلت معهم مجلة Nature، أن هناك فهماً متيناً مسنداً بالأدلة حول وقوع الحادث، وأن مخاطر المفاعلات التي ما تزال قائمة هي تحت السيطرة. كما يمكن أن تؤدي النتائج إلى قرارات صائبة حول الصحة العامة وتنظيف البيئة واسترداد الاقتصاد (انظر التداعيات).

لكنّ المراقبين الخارجيين وبعض النقاد في اليابان، ما زالوا يشعرون بقلق متزايد من أن فقد الثقة الشعبية بالإضافة إلى يأس السياسيين من إعادة اكتسابها، قد يقوض القرارات العقلانية المأخوذة حول عمليات التنظيف وإعادة التوطين. ويبقى على المحك مستقبل أكثر من مئة ألف مقيم، رحلوا عن المنطقة حول المحطة ومليارات الدولارات التي أنفقت في النشاطات الاقتصادية في أنحاء المنطقة.

نصها

بدأت الأزمة في الحادي عشر من آذار عام 2011، عندما بعث الزلزال الذي حصل في قاع الهادي وبلغت شدته 9، جداراً هائلاً من الماء، يتدحرج باتجاه الشاطئ الياباني. انطفأت المفاعلات الثلاثة المشغلة في فوكوشيما دايشي بشكل أوتوماتيكي خلال برهة من الهزة، غير أنه بعد 41 دقيقة، اندفع تسونامي خلال دفاعات المحطة وأُغرقت أبنية المفاعل. أغرق الماء مولدات الطوارئ، جاعلاً المحطة بدون طاقة لعمل أنظمة التبريد، في حين استمر التفكك الإشعاعي بتسخين القلب. صارع العاملون في غرفة التحكم لتشغيل تجهيزات حاسمة باستعمال الأبيال وبطاريات السيارات المنزوعة من المركبات القريبة. وخلال الأيام اللاحقة انهار آخر نظام طوارئ، وانصهرت المفاعلات الثلاثة، وأدت العملية إلى تحرير غاز الهدروجين الذي ولّد انفجاراً في أبنية المفاعل، وبدأ انطلاق تيار من المواد الكيميائية المشعة الطيارة في الهواء والماء مثل اليود-131 والسيزيوم-137.

عندما انفجرت الوحدة الرابعة في محطة تشرنوبل للطاقة الذرية عام 1986، فرضت الحكومة السوفياتية تعتيماً مشدداً على المعلومات، بينما كاد يكون الموقف في حالة فوكوشيما، أكثر اختلافاً: إذ بدأت الحكومة خلال الـ 24 ساعة الأولى، بتقديم القراءات الإشعاعية. وفي الأيام والأسابيع اللاحقة انهال سيل من المعلومات المثقلة بالمعطيات من الباحثين الجامعيين والجهات العسكرية والمراقبين الدوليين وممثلي الحكومة الأمريكية والمواطنين المهتمين مثل السيد تاو.

يقول مالكولم كريك، سكرتير لجنة الأمم المتحدة العلمية والمعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) في فيينا «لقد حصلنا تقريباً على أكثر مما نريد» وبناءً على طلب من الأمم المتحدة، قضت اللجنة الأشهر الستة الماضية محاولةً معرفة مصدر البيانات ومكان المعايرة وكيفيتها، وستقوم اللجنة بإيصال نتائجها الأولية في أيار، ويؤكد كريك بأنهم سيكونون قادرين على أن يقدموا الكثير حول كمية النشاط الإشعاعي المنطلقة ووجهتها ومقدار تلقي كل من العاملين وعموم الناس منها.

سويات الجرعة

يقول وولفغانغ فايس، الفيزيائي في المكتب الاتحادي الألماني للحماية من الإشعاع في ميونخ، ورئيس اللجنة العلمية، «من الواضح أن عمليات الإخلاء السريع والمسح الدقيق، حمى سكان فوكوشيما من الأذى». وكانت قد اقترحت تحليلات مبكرة وغير رسمية، جرت من قبل زملائه، أن لا أحد من عموم الناس قد تلقى جرعة إشعاعية خطيرة.

دُعمت هذه الاستنتاجات بدراسة شاملة حول صحة العموم، بدأت الصيف الماضي في جامعة فوكوشيما الطبية بميزانية تصل لـ 78.2 مليار يَنْ (958 مليون دولار أمريكي). صمم هذا المسح لمراقبة مليوني شخص من المنطقة لمدة ثلاثين عاماً، ووفقاً للتقييمات الأخيرة المحررة في 20 شباط أن 99.3% من 9747 شخصاً يعيشون في بلدات أو قرى قريبة من المحطة، تلقوا جرعات أقل من 10 ملي سيفرت (mSv) بوصفها جرعةً فعالة تراكمية، خلال الأشهر الأربعة الأولى بعد الحادث، وكانت أعلى جرعة مسجلة تساوي 23 ملي سيفرت وهي أقل بكثير من سويات التعرض الحادة التي تبلغ 100 ملي سيفرت، المرتبطة بالزيادة الطفيفة في مخاطر الإصابة بالسرطان.

وما زال الشك يعيق المسح الصحي الطموح الذي يهدف إلى تلافي التأثير الطويل الأمد لحادث فوكوشيما على السكان العاديين، ورغم الجهود الحثيثة لتعزيز هذه الدراسة بين الناس المُرحّلين، فلم تتجاوز هذه الدراسة نسبة 21% منهم، إذ يقول شيزوكو أوتاكي من منظمة شالوم اللاربحية التي تدعم اللاجئين في بلدتي ميناميوزوما وإيتات، «يرفض معظم الناس الذين قابلتهم ملء الاستبيان، إنهم لا يرون مصداقية فيما تفعله الحكومة، كما يقولون أن هذا مجرد مسح على خنازير غينيا».

يمكن إرجاع جذور انعدام الثقة، إلى الأيام المربكة التي تلت الانفجارات مباشرة، عندما قدمت السلطات سلسلة من التصريحات غير المتناسقة، وأصدرت قراءات إشعاعية، وتبيَّنَ غالباً بعدئذٍ بأنها غير صحيحة. وحين كانت النظائر المشعة تنتشر من المحطة، كانت الحكومة تضطر مراراً وتكراراً لرفع حدود الأمان الموصى بها حول التعرض الإشعاعي للمواطنين والعمال، في حين كان المفروض وفق القانون هو إخلاء الموقع حالاً. ونتيجة لذلك، يعتقد بعض اليابانيين أن الحكومة فاسدة، في حين يعتقد بعضهم الآخر بأنها غير كُفُؤة. وكان الشعور السائد كما يصفه أوتاكي «ما تقوله الحكومة يتغير بشكل دائم».

يقول آبل غونزاليس، وهو خبير الوقاية الإشعاعية في سلطة التنظيم النووي الأرجنتينية في بيونس آيرس، إن الحكومة اضطرت لرفع الحدود الآمنة لأنها بدأت بالمعايير الدولية التي لم تأخذ بالحسبان سيناريوهات الحوادث، أو حالة عمال الطوارئ الذين يحتمل أن يتلقوا جرعات أعلى. وبدون دلائل توجيهية واضحة، قامت الحكومة اليابانية بكل بساطة، برفع حدود الأمان لكي تمكن الناس من الاستمرار في العمل لإخضاع المحطة النووية للسيطرة، حسب قوله. ويكون الجانب السلبي هو أنه «عندما تجد النظام متراخياً وسط الحادث، ستفقد الثقة حالاً».

في محاولة لاستعادة ثقة مواطنيها، تخطط الحكومة لعملية تنظيف تعد من أكثر العمليات شمولية وتكلفة حتى هذا الوقت، وهي مجهود يراه بعض الخبراء على أنه غير واقعي. وأعلن في الخريف الماضي، عن خطط لتخفيض الجرع الإشعاعية إلى ما دون 1 ملي سيفرت في السنة في أكبر مساحة ممكنة من منطقة الإخلاء، ولكن هذا الهدف يرتكز على معيار دولي حول الجرعات المتلقاة خلال التشغيل العادي لمحطة نووية وليس بعد حصول حادث.

ويُنظر إلى هذا المشروع من قبل الناجين من الحوادث النووية، على أنه غاية في الطموح، وخصوصاً بالنظر إلى الأراضي الجبلية المليئة بالغابات حول فوكوشيما، حيث يقول فايس «إن أفضل ما يمكن فعله وفقاً لتشرنوبل، هو بالحقيقة أن يقلب المتر الأول من التربة رأساً على عقب» ويضيف «لكن إذا فعلت ذلك، ستقتل النظام البيئي بأكمله».

تقر الحكومة اليابانية بهذه المشكلة وقد بدأت بتجريب مجموعة متنوعة من طرائق التنظيف في فوكوشيما. بدأ المشروع التجريبي الرائد الأبرز في تشرين الثاني تحت إشراف سلطة الطاقة الذرية اليابانية، بميزانية تقدر بحدود 10.9 مليار ين ياباني. تعاقدت سلطة الطاقة الذرية اليابانية على المشروع بوصفه مشروعاً مشتركاً بقيادة ثلاث شركات بناء رئيسية هي: تايسي وأوباباشي وكاجيما. هذه الشركات تختبر تقانات مختلفة لتنظيف المواد المشعة في إحدى عشرة مدينة وبلدة وقرية، والتي لا يزال مواطنوها نازحين.

يقول شينيشي ناكاياما، نائب مدير مركز الأمان البيئي في سلطة الطاقة الذرية اليابانية في فوكوشيما: «إني مندهش من عدد الشركات التي أتت بأفكار رائدة لإزالة السيزيوم المنزوع، بالاعتماد على التقانات المتوافرة»، فعلى سبيل المثال، أعتقد أن جرف السيزيوم عن الطرقات باستخدام النفث المائي العالي الضغط، غيرَ كاف لأن الماء الملوث سينتشر بكل بساطة عبر الرصيف، غير أن المهندسين عدلوا المنظومة بأن يُسترد الماء الملوث وينقّى ويُدَّور.

أخذت مجموعات عديدة، القضايا على عاتقها، وقامت بإزالة التربة الملوثة وعمليات تنظيف أخرى بمساعدة باحثين مستقلين مثل تاو. لكن يقول فايس، «بدون وجود مراكز تصريف مركزية، تؤدي عمليات التنظيف هذه إلى خلق مشاكل نفايات مختلفة، فلا يسمح للناس بنقل النفايات، لذا فهم يضعون كل شيء في حفر في أملاكهم».

يقول أوليغ ناسفيت العالم البيئي الإشعاعي في المعهد الوطني للدراسات الاستراتيجية في كييف–أوكرانيا الذي درس تأثير حادث

تشرنوبل النووي عام 1986، يمكن لأهداف الحكومة الطموحة لإزالة التلوث، أن تؤذي المَجْلوين تحت مخاوف غير مبررة عندهم، وقد طلبت السلطات السوفياتية إخلاءً إلزامياً للقاطنين في مناطق كان فيها تعرض إشعاعي إضافي ناتج عن الحادث يزيد على 5 ملي سيفرت في السنة. وقد كافح المجلوون للتلاؤم مع نقلهم، وتعرض العديد منهم للمضايقة لأنهم أتوا من مناطق ملوثة، وبصراحة أدى ذلك إلى إيذائهم أكثر من فائدتهم.

أدى وضع حدود جرعة منخفضة إلى تضرر الاقتصاد حول فوكوشيما. وفي وقت لاحق من هذا العام، تخطط وزارة الصحة لتخفيض السوية الآمنة للسيزيوم في الخضار والحبوب والأغذية الأخرى، من 500 بكرل/كغ إلى 100 بكرل/كغ (انظر الحدود). تقول باحثة الفيزيولوجيا الإشعاعية للنبات في جامعة طوكيو، تومو كو ناكانيشي، «لا يكون الغذاء ذو النشاط الإشعاعي الأقل من 500 بكرل/كغ مؤذياً لصحة الإنسان، وإن تلك المناطق التي لم تتأثر بشكل كبير بالنظائر المشعة من فوكوشيما ربما تتجاوز حدود الجرعة الدنيا المقترحة، بسبب السقط الجوي النووي الأكثر قدماً، فعلى سبيل المثال، يحتوي الفطر المجني من مقاطعة تشيبا التي تبعد 200 كيلومتر جنوب فوكوشيما، على أكثر من 100 بكرل/كغ، ولكن تبقى الكميات النسبية للنظائر المشعة مميزة للتلوث المتبقي عن اختبارات الأسلحة النووية في خمسينيات وستينيات القرن الماضي وحادثة تشرنوبل، وليس عن فوكوشيما.

إن مقاطعة فوكوشيما هي من بين المقاطعات الأكثر إنتاجاً للأرز في اليابان، ولكن في العام الماضي، حظرت وزارة الزراعة استثمار أي زراعة تؤدي لمحاصيل تحوي أكثر من 100 بكرل/كغ من السيزيوم. أبدت ناكانيشي وزملاؤها في جامعة طوكيو اهتماماً بأن إجراءات الأمان الصارمة بشكل مفرط لن تؤدي إلى إعاقة انتعاش، القطاع الزراعي فحسب بل ستعيق أيضاً جمع البيانات العلمية، «إذ تكون الزراعة المستمرة في غاية الأهمية للتنبؤ بما سيحصل في المستقبل». إذ لا نعلم ما إذا كانت حقول الأرز، التي أنتجت سويات عالية من السيزيوم، ستنتج السويات نفسها هذا العام.

قررت الوزارة مؤخراً، مدعومة من المزارعين، بالسماح بزراعة معظم المناطق في فوكوشيما، طالما تستطيع المدن والقرى والبلدات، منع توزيع الأرز الذي يحوي على أكثر من 100 بكرل/كغ من السيزيوم. غير أن الوزارة، ستسمح بزراعة تجريبية في المناطق التي أنتجت أرزاً يحتوي على أكثر من 500 بكرل/كغ العام الماضي.

ستبدأ وزارة البيئة في شهر نيسان، برنامجاً شاملاً لإزالة التلوث على مستوى البلاد الذي هو أساس خارطة طريق مشروع الـ 990 مليار يَنْ. وتصرح الوزارة بأنها تريد من العلم أن يعزز برنامجها هذا، فيقول كونياكي ماكايا، الموظف المسؤول في مشروع خارطة طريق إزالة التلوث، «نريد تقديم خطط تفصيلية ترتكز على أساس التغذية الارتدادية للمشاريع الرائدة التي تقودها الحكومة بالإضافة إلى المعطيات العلمية الأخرى». فعلاً، قررت الوزارة تحديد أولويات مناطق التلوث المتوسط السوية، بالإضافة إلى تلك السويات العالية جداً أو المنخفضة جداً، وهي عبارة عن خطوة يراها ناسفيت، بأنها تجعل الخطة أكثر مصداقية لأنه سيجري التعامل أولاً مع المناطق التي ستستفيد أكثر من عملية إزالة التلوث.

الحدود

تريد الحكومة اليابانية أن يكون تعرض المواطنين لإشعاع فوكوشيما، أقل من نصف جرعتهم السنوية الناتجة عن المصادر الطبيعية.

ولتحقق هذا الهدف، تخطط اليابان لتعزيز حدود جرعة أكثر صرامة من أجل الغذاء والشراب.

التداعيات

وما زالت المخاطر قائمة في المفاعلات وفي البيئة

المفاعلات

في أعقاب الحادث مباشرةً، لم يستطع المشغلون أن يفعلوا إلا القليل، باستثناء ضخ ماء البحر على المفاعلات الفائقة الحرارة باستخدام محرك إطفاء كمضخة مرتجلة. واليوم وقد تحسن الوضع في المحطة بشكل جذري حيث استبدل الماء المالح بمياه عذبة ممررة عبر أنظمة تصفية لإزالة السيزيوم المشع قبل إعادة تدويرها إلى قلب المفاعلات، يبدو أن المنظومة تعمل بشكل مقبول، حيث انخفضت درجات حرارة المفاعلات الثلاثة إلى ما دون مئة درجة في نهاية السنة الماضية، مما جعل المسؤولين يعلنون بأن المحطة قد حققت «إيقافاً بارداً». لكن المخاطر لا تزال قائمة، فما زالت المحطة مستمرة بتسريب الماء، ويحذر تحليل جرى من قبل باحثين يابانيين، بأن نشاطاً زلزالياً حديثاً، قد يؤدي إلى حصول هزة أرضية تهدد المحطة.

في هذه الأثناء، طورت اليابان «اختبار إجهاد» لتقويم أمان محطاتها النووية الأخرى. ولكنّ مفاعلين فقط يعملان في الوقت الحالي من بين مفاعلات اليابان البالغ عددها 54 مفاعلاً.

البيئة

توقفت مفاعلات فوكوشيما عن إطلاق النظائر المشعة في الهواء، كما يبدو أن النشاط الإشعاعي في البحر قد تبعثر إلى مستوى مهمل. ولكن بعض المتعضيات ما زالت تراكم المواد النووية الناتجة عن المحطة.

*إذ وجد باحثون في معهد أبحاث الغابات والمنتجات الحراجية، في تسوكوبا، بعض ديدان أرض تحتوي على ما يقرب من 20000 بكرل/كغ من السيزيوم المشع، في كواشي التي تبعد حوالي 26 كم من المحطة. كما بدأ تناقص أسراب الطيور المحلية بمقدار الثلث، وفقاً للعالم البيئي الإشعاعي تيم موسيو من جامعة جنوب كارولينا – تولومبا (A.P.Møllor et al. Environ. Pollut. **164**, 36-39; 2012). ويقول كين بوسيلر، كيميائي بحار في معهد وودز هول لعلوم المحيطات في ماساشوستس، «يبدو أن البلوتونيوم والسترونثيوم يجدان طريقهما في الأسماك ومتغذيات القاع التي تعيش قرب المفاعل».*

في الوقت الراهن، ليس هناك خطة واضحة للسماح للسكان المرحَّلين، بالعودة إلى منازلهم. ورغم أن هدف الحكومة هو ضمان عدم تعرض الناس لجرعة تزيد عن 1 ملي سيفرت سنوياً عند عودتهم إلى منازلهم، فهذا ليس بقاعدة ثابتة.

في الحقيقة، يمكن للسكان المحليين، عند رغبتهم، بأن يعودوا إلى منازلهم في القرى التي تقع خارج حدود المنطقة المحظورة والمحددة بمسافة عشرين كيلومتر حول المحطة. ولكن لم يُستأنف فتح العديد من المرافق العامة مثل المدارس. ويعتقد ناسفيت أن على المواطنين أن يعودوا حتى إلى المناطق التي قد يتلقون فيها جرعات تصل إلى 20 ملي سيفرت سنوياً، ويوافق على ذلك غونزاليس، مشيراً إلى أن هناك بعض المناطق من العالم تقع فيها سويات الإشعاع الطبيعية السنوية ضمن مجال 10-100 ملي سيفرت.

لكن يعتقد السيد تاتسوهيكو كوداما، مدير مركز النظائر المشعة في جامعة طوكيو، بأن هامش الأمان ليس واضح المعالم، فيقول: «هناك تفسيرات مختلفة حول ما يجب فعله في مناطق تعرض مقداره 1-20 ملي سيفرت سنوياً»، ولذا، هو يوافق على أنه يجب على عموم الناس، في النهاية، أن يختاروا الخطوة المناسبة. ويضيف «الشيء الأكثر أهمية هو أن نحترم ما يفكر به السكان وعلينا المضي قدماً بخطط ترتكز على قراراتهم».

ويوافق على ذلك فريد ميتلر العالم الإشعاعي الذي يعمل في اللجنة العلمية للأمم المتحدة UNSCEAR، إذ يقول «عوضاً عن وضع أرقام أو حدود صارمة، يجب أن تكون المناقشة أكثر انفتاحاً. فنحن نخبر الناس ماذا هناك، ونخبرهم ما هي العواقب، ثم عليهم أن يقرروا ما إذا كانوا يقبلون المجازفة».

جورج برومفيل وايشكو فويونو.

نُشر هذا المقال في ***nature, vol 483, 8 march 2012***، ترجمة **د. توفيق ياسين**، عضو هيئة التحرير.

أخبار علمية

هل يوجد مأزق في أوزون القطب الشمالي؟

توفّر ملاحظة مستويات الأوزون المنخفضة غير العادية فوق القطب الشمالي في الشتاء الأخير دليلاً مؤكداً أن معرفتنا للكيمياء الستراتوسفيرية غير دقيقة. وإذا ما حصل مثل هذا الحادث مرة ثانية في المستقبل فإنه يشكل سؤالاً مفتوحاً.

في نهاية شهر آذار/مارس من العام 2011، تراجع سمك عمود الأوزون (O_3) فوق القطب الشمالي إلى قيم دنيا تقع بين 220 و230 واحدة دوبسون# ((Dobson units (DU)) (انظر المؤطر في الصفحة التالية). وبرغم أن هذه القيم أعلى بكثير من القيم الدنيا الملحوظة عادة في ربيع القطب الجنوبي (حوالي 100 دوبسون) منذ تسعينيات القرن الماضي، إلا أنها أقل القيم التي لوحظت في القطب الشمالي. سُجِّلت هذه القيم لمدة أسبوع فقط في نهاية آذار/مارس، لكن قيماً أقل من 250 دوبسون سُجلت خلال غالبية الشهر. ويظهر مانّي ومعاونوه (Manney, G. L. et al. Nature 478, 469-475) بأن الانخفاض الكبير الملحوظ في الأوزون فوق القطب الشمالي في آذار/مارس يشكل أول ثقب أوزون في النصف الشمالي من الكرة الأرضية.

يُدعّم الناشرون حجتهم ببيان أن كيمياء ستراتوسفير القطب الشمالي في ربيع عام 2011 كانت مشابهة تماماً للكيمياء الملحوظة عادة في القطب الجنوبي، التي تقود بشكل روتيني إلى تطور ثقب الأوزون المعروف تماماً في القطب الجنوبي. وبشكل خاص، أن وفرة حمض الآزوت (HNO_3) وحمض كلور الهدروجين (HCl) كانت ضعيفة بشكل استثنائي في آذار/مارس، وقريبة من قيم ظهرت فقط في القطب الجنوبي. وفي الوقت نفسه، ارتفعت وفرة أحادي أكسيد الكلور (ClO)، الذي يعدّ محفزاً فعّالاً في تخريب الأوزون، وذلك خلال شتاء القطب الشمالي، وبقيت عند مستوياتها العليا في آذار/مارس، أي أنها سويات قابلة للمقارنة مع تلك التي وجدت في القطب الجنوبي في أيلول/سبتمبر.

تقود المستويات العليا من مركبات الكلور المُحَفِّز، التي تحوي أنواعاً مثل ClO، إلى فقدٍ سريع لأوزون القطب الشمالي بدءاً من منتصف شباط/فبراير وحتى آذار/مارس. ومن منتصف آذار/مارس وحتى نهايته، انخفضت الوفرة إلى ما يقارب 1.5 جزء من مليون جزء حجماً عند ارتفاع قدره 20 كم. تقع هذه الوفرة عند الحدّ العلوي للقيم الملاحظة في القطب الجنوبي في أيلول/سبتمبر، غير أنها أقل بكثير من القيم التقليدية في القطب الشمالي. وفي نهاية آذار/مارس، كانت وفرة الأوزون بين 1 و1.5 جزء من مليون جزء حجماً بين الارتفاعين 15 و20 كم. ومرة أخرى، إن ذلك يشابه ما يحصل خلال ربيع القطب الجنوبي، حيث يكون الأوزون أقل بكثير مما هو بشكل طبيعي في القطب الشمالي.

غيوم باردة: يبيّن مانّي ورفاقه أن درجات حرارة ستراتوسفير القطب الشمالي كانت منخفضة بشكلٍ كاف لتشكيل غيوم ستراتوسفيرية قطبية، مثل تلك الظاهرة هنا فوق الأراضي السويدية، المتشكلة خلال معظم فترة شتاء 2010–2011. إن لهذه الغيوم دوراً حاسماً في تدمير الأوزون القطبي.

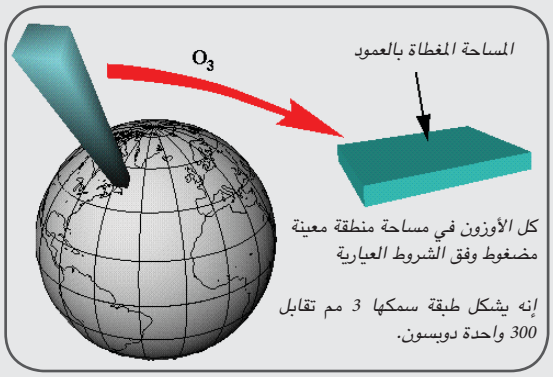
يظهر مانّي ومعاونوه أن التطور غير المعتاد لكيمياء جو القطب الشمالي يمكن أن يكون قد حدث بسبب تواصل الانخفاض في درجات حرارة الستراتوسفير stratosphere (أعلى الغلاف الجوي) بدءاً من كانون الأول/ديسمبر 2010 وحتى آذار/مارس 2011. شهدت السنوات الأخيرة: 1995–1996 و1999–2000 و2004–2005 فصول شتاء قطبية شمالية باردة بشكل استثنائي ومماثلة لشتاء 2011–2012، وكان شتاء 1996–1997 بارداً أيضاً بين آذار/مارس ونيسان/أبريل. غير أن شتاء 2010–2011 لوحده كان بارداً جداً ودام مدة أربعة أشهر، حيث بقيت درجة الحرارة الدنيا عند ارتفاع 20 كم فوق القطب الشمالي تحت (-98) مئوية منذ منتصف كانون الثاني/ديسمبر 2010 وحتى نهاية آذار/مارس 2011. تُعدُّ هذه القيمة حاسمة، وذلك لأنها تمثل عتبة لتشكل الغيوم الستراتوسفيرية القطبية (انظر الصورة في الأعلى). توفر حبيبات هذه الغيوم حواضن لتفاعلات غير متجانسة (غاز–صلب وغاز–سائل) قادرة على تنشيط الكلور عبر تحريره من خزّاناته HCl ونترات الكلور ($CLONO_2$). وفي الواقع، وثّق مانّي ومعاونوه وجوداً مكثفاً لهذه الغيوم، ويتوافق ذلك مع ملاحظاتهم حول المستويات العالية من ClO والمستويات المنخفضة من HNO وHCl. يعود السبب في ذلك إلى أن التفاعلات غير المتجانسة على حبيبات هذه الغيوم تستنزف مستويات HCl وتُخلّص الستراتوسفير من النتروجين عبر إزالة HNO من الطور الغازي.

هل يشكل استنزاف الأوزون عام 2011 ثقبَ أوزونٍ حقيقيٍّ في القطب الشمالي؟ رغم ما كان عليه العام 2011 من حالة غير عادية، لم يَقترب مدى فَقْد الأوزون من مدى فَقْده الذي لوحظ في القطب الجنوبي، سواء أكان القياس موضعياً أم كان وفق عمود الأوزون الكلي. ففي القطب الجنوبي، اختفى الأوزون فعلياً بين الارتفاعين 12 و24 كم، وفي بعض السنوات انخفضت قيمة عمود الأوزون إلى 100 دوبسون، وحتى أقل من ذلك. لم يُلحَظ مثل هذا الاستنزاف القاسي في القطب الشمالي. إن الحكم وفق هذه المعايير، ينبئ بأنه لم يكن هناك ثقب أوزون في القطب الشمالي في العام 2011. ومع ذلك، فإن تطور المركبات HNO_3 وHCl وClO كان مشابهاً تماماً لما هو في حالة القطب الجنوبي، ومختلفاً عمّا لوحظ في القطب الشمالي في شتاء الأعوام الأخرى. واعتماداً على هذه الاعتبارات، خَلُص مانّي ومعاونوه، بما يكفي، للقول أنه كان هناك ثقب أوزون في القطب الشمالي عام 2011.

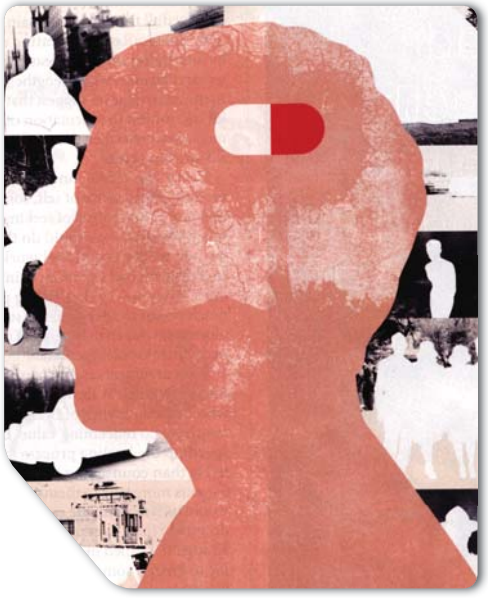
هل إن فَقْد الأوزون الملاحظ عام 2011 هو حدث استثنائي حقاً، أم أنه علينا توقع حوادث متكررة لاستنزاف أوزون القطب الشمالي بصفته نتيجة للتبدل المناخي؟ ومع أن زيادة تراكيز ثنائي أكسيد الكربون في الجو تُسخّن التروبوسفير troposphere (الطبقة السفلى من الغلاف الجوي)، غير أنها تُبرّد الستراتوسفير بشكل مفرط، وأظهرت المشاهدات أن الستراتوسفير الكوني قد تبرَّد بشكل كبير خلال الثلاثين سنة الماضية. وإضافة إلى ذلك، هناك ظهور لاقتراح أن فصول شتاء القطب الشمالي الباردة ستصبح أبرد، مع أنه لا يوجد توجهٌ مهمٌّ إحصائياً لأن درجات حرارة شتاء القطب الشمالي متغيرة بشكل كبير. لا تُنتج النماذج الشاملة للمنظومة المناخية توقعات متماسكة تتعلق بتطور درجات حرارة القطب الشمالي وبنقص الأوزون في القرن الحادي والعشرين، وإن تحسين مثل هذه التوقعات سيكون بلا شك موضوعاً مهمّاً للبحث في القريب العاجل. هناك رأي آخر هو أن وفرة أنواع الكلور والبروم المُدمّرين للأوزون في الجو تتناقص في أعقاب تبني بروتوكول مونتريال، الذي يحظر المواد التي تستنزف طبقة الأوزون، بحيث أن تأثير فصول الشتاء الباردة على أوزون الستراتوسفير سيقلُّ بمعدل ثابت في المستقبل.

كل الأشياء المعتبرة تشير إلى إمكانية تكرار ما حدث في العام 2011، ولكن ليس بشكل مرجّح. ومع ذلك، إن سلوك أوزون القطب الشمالي في العام 2011 لهوَ برهانٌ محكمٌ على أن فهمنا الأساسي لكيمياء الستراتوسفير غير دقيق، وأن نقصاً إضافياً للأوزون سيحصل في أي زمن تتوفر فيه الشروط الملائمة.

*# إن واحدة دوبسون هي أكثر الواحدات استعمالاً في أبحاث الأوزون (O_3). يظهر الشكل التالي عموداً من الهواء فوق سطح الأرض بمنطقة لابرادور في كندا، بحيث يتسع ضلعا مقطع العمود (المستطيل)، كلما زاد الارتفاع عن سطح الأرض، بميل قدره **10** درجات X **5** درجات. تُقاس كمية الأوزون في هذا العمود بسهولة باستعمال واحدة دوبسون. فإذا ما ضُغط الأوزون بكامله، الموجود في هذا العمود المرجعي، ضمن الشروط النظامية من الضغط ودرجة الحرارة (صفر مئوية وضغط جوي واحد) فإنه سيشكل طبقة سمكها **3** مم. وتُعرَّف واحدة دوبسون بأنها **0.01** مم سماكة في الشروط النظامية، وتكون طبقة الأوزون المضغوط في لابرادور عندها مساوية **300** دوبسون تقريباً (المترجم).*



نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature, Vol 478, 27 October 2011***.
ترجمة **د. عادل حرفوش**، رئيس هيئة التحرير.



لنعط العقاقير المُعدِّلة للذاكرة الفرصة لاستخدامها

من المحتمل التمكّن من إدارة التحدّيات الأخلاقية للأدوية المثبّطة للذاكرة، والمنافع الكامنة وراء ذلك كبيرة جداً.

أشارت العديد من الدراسات إلى أنه يمكن تثبيط الذاكرة بوساطة العقاقير. فمنذ أشهر مضت أشار الباحثون مثلاً إلى أن العقار ZIP يتسبّب في فقدان الجرذان المدمنة على الكوكائين المقدرةَ على تحديد الأماكن التي كانوا يحصلون منها على الكوكائين.

وقد تثبّط العقاقير الأخرى المختبرة على الإنسان الآلام العاطفية والنفسية المرتبطة بالذاكرة الخاصة بالأحداث الأليمة. وبالفعل، إن استخدام العقاقير المثبّطة للذاكرة في معالجة المدمنين، وضحايا الاعتداءات، وحوادث السيارات والكوارث الطبيعية والهجمات الإرهابية يبدو واعداً.

هناك العديد من الباحثين الذين يظهرون الحذر من هذه الإمكانية، إذ أصدر "مجلس الرئاسة الأمريكية حول الأخلاقيات" عام 2003 تقريراً سمح من خلاله بشكل عام استخدام مثل هذه العقاقير، ومنذ ذلك الوقت تزايد القلق من خلال مقالات علمية وقصص إخبارية بأن التلاعب بالذاكرة قد يتدخل في القدرة على أن يحيا المرء حياة مشرّفة وحقيقية أو أنه قد يقلّل حتى من إحساس الشخص بهويته.

تُعدُّ المخاوف المرتبطة بالتحكم بالذاكرة عن طريق العقاقير مضخّمة، وقد يكون التحكم المدروس بالذاكرة مناسباً يوماً ما، ولكن قرع أجراس الإنذار المبالغ فيه الآن حول أخلاقيات التلاعب بالذاكرة قد يوقف البحث في منع التوتر والكرب الناجم عن المعاناة عند ملايين البشر، وتأجيل البحث في هذا الموضوع قد يعيق الناس الذين أوهنتهم ذواكر مرعبة من حصولهم على الأمل الأفضل باستعادة حياتهم الطبيعة.

يجري البحث حول العديد من هذه العقاقير، مثل البروبرانولول Propranolol الذي سُمح باستخدامه من قِبَل إدارة الأغذية والدواء الأمريكية، لمعالجة فرط التوتر الشرياني. فقد يخفف استخدامه من الألم العاطفي المرتبط باستعادة تجربة مريرة عن طريق التدخل بتحرير هرمونات الكرب والإجهاد التي تقوي الذاكرة في الحالات الطبيعية. وتشير الدراسات الأولية إلى أن البروبرانولول يمكن أن يثبط تشكل الذواكر المؤلمة حتى عندما يتم تناوله بعد ساعات عديدة من حصول الحدث المؤلم.

وإذا أخذنا بالاعتبار الارتباط الوثيق بين الذاكرة والإحساس بالذات، يجادل بعض المختصّين بعلم الأخلاقيات بأنه بدلاً من السعي وراء حلٍّ يتجسّد بدواء، علينا القيام بالعمل الصعب والمجزي عاطفياً من أجل تحويل التجارب السيئة إلى إيجابية، وهم قلقون من أن إعطاء البشر قوة كبيرة بهدف تعديل تجاربهم الحياتية قد يؤدي بالنهاية لإضعاف إحساسهم بالذات وجعل حياتهم أقل قرباً من الواقع.

إن هذه البراهين غير مقنعة، حيث إن بعض الذواكر، مثل تلك التي يحملها عمال الإغاثة الذين ينظفون مسارح التدمير الشامل، قد لا تضم أي قيمة قابلة للاسترجاع يمكن الاستفادة منها.

ويمكن للعقاقير أن تسرّع من عملية الشفاء بشكل أكبر من الاستشفاء النفسي، وهذا يجعل المرضى أكثر صدقاً مع أنفسهم مما لو سيطرت تجربة مؤلمة على حياتهم. وكما وصف عالم الأمراض النفسية بيتر كرامر P. Kramer في كتابه «الإصغاء إلى

بروزاك» الصادر عام 1993، فقد أشار إلى أن بعض المرضى يقرّون بإحساسهم بذاتهم للمرة الأولى بعد تناولهم مضادات الاكتئاب.

كما أشار البعض إلى أن العقاقير المثبّطة للذاكرة قد تجعل مستخدميها أقلّ إحساساً بآلام الآخرين. مثلاً، قد يكون الجنود أكثر ميلاً للقتل إذا كانوا يظنون أنه بإمكانهم التخلص من الأثر العاطفي لأعمالهم عن طريق استخدام العقاقير، ومع ذلك فإننا نسمح للجنود باستخدام تجهيزات يتم التحكم بها عن بعد بالرغم من وجود احتمالية أن مثل هذه التجهيزات قد تجعل بعض الجنود أكثر استعداداً للقتل. وإذا كنا نسعى لتخفيف الجروح الفيزيائية الجسدية للجنود علينا أيضاً مجابهة مشكلة جروحهم ومشاكلهم العاطفية.

إن التأكيد على مباعث القلق هذه هو عبارة عن عملية انحراف غير مبرر لاستخدام الطرق الدوائية بإدارة الأذيات أو الصدمات النفسية. وفي الغالب، فإن كلّ الأخبار حول العقاقير المثبّطة للذاكرة تغوص في المواضيع الأخلاقية التي تثيرها. ومع ذلك، فإن العواقب الأخلاقية للتوجهات غير الدوائية في تثبيط الذاكرة يتم تجاهلها عموماً. مثلاً، جرى وصف طريقة غير دوائية في مساعدة أشخاص على نسيان الارتباط المكتسب بين مؤشر بصري وصدمة كهربائية في مجلة Nature العام الماضي. وبالرغم من حيازة الدراسة على تغطية إعلامية واسعة الانتشار، فقد تمّ تجاهلها تماماً من قبل علماء الأخلاقيات.

وإلى أن يميط الباحثون اللثام عن التكاليف والفعالية والآثار الجانبية لكلٍّ من التوجه الدوائي واللادوائي لتثبيط الذاكرة، يجب على المرء ألاّ يعتبر أحدهما أقلّ شأناً من الآخر.

وبعد كلّ ما ذُكر آنفاً، هناك أساس في بعض الحالات لتنظيم استخدام العقاقير بغية التحكم بالذاكرة، وخصوصاً العقاقير التي تعدّل من استدعاء الحقائق.

لنأخذ السيناريو المذكور من قبل الطبيب الأمريكي Haig.S عام 2007 الذي أخذ خزعة من مريضة يشك بأنها مصابة بالسرطان، وأرسل عيّنة من النسيج إلى طبيب تشريح مرضي في الوقت الذي كانت المريضة فيه ما تزال بغرفة العمليات. وظناً منه أن المريضة كانت تحت التخدير الكامل، أعلن طبيب التشريح المرضي تشخيصاً سيئاً عبر اتصال هاتفي.

سمعت المريضة التي كانت تحت التخدير الموضعي هذا الخبر وبدأت تصرخ: (ياإلهي أطفالي)، فقام المخدّر الواقف بجانبها بحقنها بالبروبوفول Propofol، وهو مخدّر يسبّب لبعض الناس نسيان ما حصل قبل الحقن بدقائق. وعندما استيقظت المرأة لم يكن لديها أي ذاكرة حول تشخيص مرضها. وبالرغم من أن عمل المخدّر هذا كان بنيّة سليمة، فعلى الأرجح أن للمريضة الحق باختيار أن يتم التلاعب بذاكرتها أم لا.

ولكن المنع الشامل لاستخدام مثل هذه الأدوية غير ضروري. ففي معظم الدول، تمنع القوانين الموجودة حالياً مثل هذه الاستخدامات السيئة. فمثلاً، يُعدُّ إيصال الشاهد لحالة السكر والثمالة لمنعه من تقديم شهادته عرقلة للعدالة من قبل القضاة في أمريكا، كما تُعدُّ إزالة ذاكرة شاهدٍ دوائياً للهدف نفسه جريمة.

يمكن لواضعي القوانين بسهولة إضافة ضوابط جديدة. فمثلاً، في الحالات التي تعرّض حياة البشر فيها للخطر، مثلاً كسعي شاهد وحيد على جريمة عنيفة نسيان ذواكر مؤلة، في هذه الحالة على الأطباء الاتصال بالشرطة قبل قيامهم بوصف أي أدوية مثبّطة للذاكرة.

إن خوف الباحثين من احتمال تعرّض النتائج المحتملة والمفيدة لأبحاثهم للحدّ من الاستفادة منها أو أن يتم ضبطها بشكلٍ قاسٍ قد يمنعهم من متابعة أبحاثهم على التحكم بالذاكرة، أو قد يمنع الجهات المانحة من تقديم الدعم. وعوضاً عن ذلك، يجب تشجيع الباحثين على استكشاف طرائق دوائية وغير دوائية لمساعدة الناس على تحمل الأذيات.

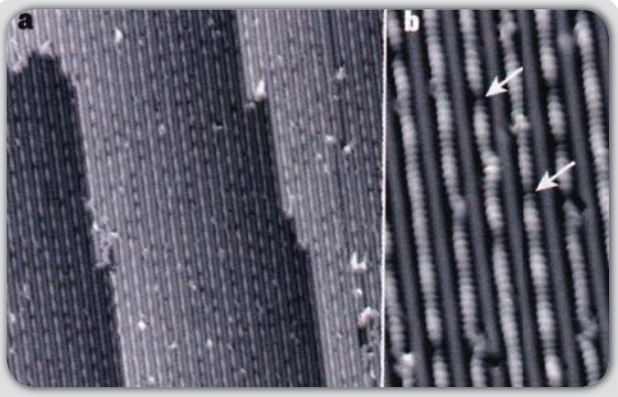
نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 476, 18 August 2011***. ترجمة **د. غسان عليا**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

سطح الذهب الغامض

الذهب ليس خاملاً كما كان يُعتقد، إذ يمكن أن يوجّه إلى اصطناع جزيئي. وفيما يلي دراسة تستخدم مجهرية المسح النفقي لتلتقط الذهب في العمل بصفته مرشداً في تشكل بوليميرات أحادية البعد من هدروكربونات مشبعة.

تستخدم تفاعلات تشكل رابطة كربون–كربون لصنع جزيئات لها خواص وبنى نوعية، كالبوليميرات مثلاً. ومن المثير على وجه الخصوص، استخدام الهدروكربونات المشبعة (الألكانات) بوصفها مواد لبدء هذه التفاعلات، لأن روابط الهدروجين–كربون القوية (C-H) في الجزيئات يجب كسرها أولاً. ويجب توفر ظروف تفاعلات صعبة لكي تفعل هذا، ولكن مثل تلك الظروف عموماً تجعل من الصعب كسر رابطة C-H النوعية، ومن ثمّ التحكم بشكل انتقائي حيث يمكن تشكل رابطة كربون–كربون في الجزيء. نشر زونغ وآخرون مقالة في Science. يعلنون فيها أن امتزاز الألكانات على سطح الذهب يغير بنية القنوات الأحادية البعد في المعدن. هذه القنوات توجه بلمرة الألكانات، لكي تتشكل روابط كربون–كربون فقط بالقرب من نهايات الجزيئات أو عليها.

ربما تبدو هذه النتيجة مفاجئة، لأنه كان يعتقد تقليدياً بأن الذهب خامل كيميائياً. وبعبارة أخرى أظهرت الأبحاث أن سطحه المعدني ليس خاملاً، وهو الآن يستخدم على أنه سطح داعم للطبقات الأحادية الذاتية التجميع من الجزيئات. إضافة إلى ذلك، يمكن خلق مراكز تفاعلات خاصة في الذهب. وعلى سبيل المثال، تقوم المراكز بربط ذرات الأكسجين بها، وهذا الأمر سهّل تطور تفاعلات محفزة للذهب لصنع روابط كربون–أكسجين وكربون–نتروجين. استخدمت تفاعلات كهذه لتحفيز تشكيل المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض بصورة انتقائية– وهي مركبات مهمّة في الصناعة الكيماوية. الفائدة من استخدام الذهب لتحريض تلك التفاعلات، حيث تكون مراكز تفاعلات غير موجودة، هي أنها أقل قدرة على كسر الروابط الكيماوية من تلك التي تستخدم عموماً معادن مُحفِّزة. هذا يعني بأن التفاعل الأولي يمكن أن يتم البدء فيه على السطح،



*الشكل **1**- البلمرة على الذهب. يعلن زونغ وآخرون أن المونوميرات من الألكانات على سطح الذهب تتفاعل بشكل انتقائي في نهايات سلسلتها لتشكل البوليميرات. a- في هذه الصورة المجهرية، سلاسل البوليميرات (خطوط مضيئة) تصطف بشكل متواز على طول قنوات في سطح الذهب. المنطقة المرئية هي مساحة 50nm× 50nm. b- هذه الصورة تظهر السلاسل بقوة تكبير أعلى. تشير الأسهم إلى الفجوات في صفوف ذرات الذهب. التي تقع تحت البوليميرات. تتشكل هذه الفجوات خلال تفاعلات البلمرة، ولكن دور الذرات المفقودة في التفاعل، إذا وجدت، غير معروف. المساحة الظاهرة هي 9nm× 13nm.*

والأنواع الكيميائية للمركبات الوسيطة المولدة ستأخذ على الأرجح مكاناً في التفاعلات الجانبية وبالتالي تمنح تحكماً ممتازاً في ما تشكُّل المنتجات.

يبين تفاعل زونغ ومعاونه استخدام تلك التأثيرات في صنع مركبات بوزنٍ جزيئيٍّ عالٍ. وبنى المؤلفون توقعات تجاربهم على مبدأين. الأول أن الألكانات ذات الوزن الجزيئي العالي تبقى مرتبطة بسطوح الذهب في درجات حرارة عالية بشكل يكفي لكسر روابط C-H. والمبدأ الثاني، حالما يتم كسر روابط C-H للألكانات لتشكيل مركبات

وسيطة من الألكيل على سطح الذهب، ستحدث إعادة تشكيل مجموعات الألكيل المجاورة، منتجة سلاسل البوليمير.

إن تمزق روابط C-H بواسطة الذهب المعدني موثّق بشكل جيد: على سبيل المثال، مجموعات البوتيل ($CH_3CH_2CH_2CH_2$)، المرتبطة بسطوح الذهب تخضع لانقسام الرابطة C-H عند درجة حرارة 280 كلفن لتشكل البوتين ($CH_3CH_2CH_2{=}CH_2$) وروابط C-H النهائية في ت– بيوتيل ثيول مرتبطة بكسر الذهب عند درجة حرارة K 490 (ت– بيوتيل ثيول هو $(CH_3)_3CSH$). إضافة إلى ذلك، ترتبط الألكانات بسطوح المعادن النفيسة بشكل أولي عبر تفاعلات فان در فالز الذي يعني بأن قوة الرابطة تزداد مع زيادة عدد ذرات الكربون في سلسلة الألكان (وأيضاً مع الوزن الجزيئي).

مع أن درجات الحرارة المطلوبة لامتزاز الألكانات على الذهب لم يتم قياسها بعد، فإنه من المعروف أن درجة الحرارة 550K مطلوبة لامتزاز الألكانات الطويلة $C_{32}H_{66}$ من الغرافيت. لأن القوى التي تربط الألكانات بالغرافيت مشابهة لتلك التي تربطها بالذهب. هذه دلالة على درجات الحرارة المطلوبة لامتزاز $C_{32}H_{66}$ على المعدن. وعليه فإن من الواضح أن الألكانات الطويلة يجب أن تبقى مرتبطة بسطح الذهب عند درجات حرارة عالية كما ينبغي لحدوث انقسام روابط C-H كما افترض زونغ وغيره.

يوجد هناك دليل لدعم المبدأ الثاني. فعند التسخين، ترتبط مجموعات الألكيل المجاورة (المشتقة من مركبات تُعرف ببروميدات الألكيل) بعضها مع بعض على سطوح الذهب لتشكل الألكانات. ومن ناحية أخرى استخدمت مجهرية المسح النفقي سابقاً لتظهر تشكل روابط كربون–كربون بين شظايا الجزيئات العضوية المعقدة والكبيرة في الذهب لإنتاج بنى سطحية مرتبة إلى حد كبير. وفي النهاية، لقد فهم المبدآن بما يكفي للتكهن بالتفاعلات التي تم الإعلان عنها من قبل المؤلفين.

لكن ربما يكون الجانب الأكثر إثارة للاهتمام في عمل زونغ وزملائه هو انتظام الألكانات الطويلة على طول قنوات سطح الذهب وإعادة تنظيم بنية السطح المرافقة التي توسع القنوات. ومن المحتمل أن يكون هذا الاصطفاف المفتاح الرئيسي للانقسام الاصطفائي المشاهد عند روابط C-H النهائية، وربما يسهل ترابط مجموعات الألكيل الناتجة. توجد سابقة لهذا الاصطفاف: يتفاعل الأستيلين (HC≡CH) مع ذرات الأكسجين المرتبطة بسطح الفضة لإنتاج وحيدات التماثر الممتزة التي تتبلمر بتلك الطريقة حيث إن روابط كربون–كربون الثلاثية تتقوقع ضمن القنوات. والذهب والفضة ينتميان إلى المجموعة نفسها في الجدول الدوري ولهما البنية السطحية نفسها. وبالتالي فإن اكتشافات زونغ ومعاونوه تضيف دليلاً جديداً على التشابه في السلوك الكيميائي لهذه السطوح.

ولكن يوجد أيضاً اختلاف ملفت للنظر في سلوك الذهب والفضة. في العمل السابق على الفضة، كل مونومير كان مربوطاً بذرة فضة وسيطة، بحيث تشكل البوليمير الناتج من العناصر المتكررة لذرة (C-C-Ag). وحصل زونغ وغيره على صور عن بوليميراتهم على سطوح الذهب باستخدام مجهرية المسح النفقي (الشكل 1) ولم يروا أي دليل على أن ذرات الذهب قد تم اتحادها.

شاهد المؤلفون فراغات في سطوح الذهب، حيث اختفت ذرات الذهب أثناء التفاعل. السؤال الدائم هو عن مصير هذه الذرات المتلاشية ودورها في عملية البلمرة. في الظاهر، تشير النتائج إلى تفاعلات مابين البوليميرات وصفوف ذرات الذهب على سطح المعدن مما يعطي قوة كافية لإعادة بناء السطح.

ويجب إجراء دراسات نظرية وتجريبية أخرى للتصدي لأمرين حاسمين حول البلمرة – دور حصر الألكان في قنوات ودور إعادة بناء السطح. من المحتمل أن حصر الجزيئات في قنوات يجعل ذرات الذهب على طول خطوط التقاطع في سطح المعدن متاحة لروابط C-H النهائية في سلسلة الألكانات. والتجارب حيث البنية الجزيئية وطول سلسلة الألكان متغيرة جنباً إلى جنب مع المحاكيات الديناميكية الجزيئية سيوضح هذه المسألة ويمنح فهماً أعمق لتفاعلات الترابط الرائعة.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 479, 24 November 2011***.
ترجمة ***مأمون رياح***، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

أنماط الحياة

*يُعدُّ علم الأحياء معقّداً جداً لأن يكون قابلاً لتمثيله بمعادلات رياضياتية محدّدة. هذا ما يراه مارك فيلدمان **M. Feldman**.*

أيان ستيوارت I. Stewart هو كاتبٌ غزير الإنتاج لكتب تتعلق بالرياضيات. ويحاول في كتابه الأخير وضع تفكير رياضياتي في صميم علم الأحياء. يدور كتاب «رياضيات الحياة Mathematics of Life» حول خمس ثورات: المجهر، وتطور علم تصنيف الأنواع، والتطور (النشوء)، واكتشاف غريغور مندل Gregor Mendel للمميزات الموروثة المنفصلة، وبنية الـ DNA. وإن الرياضيات، التي يدّعي ستيوارت أنها توحّد هذه التطورات، مقترحة لتكون بمثابة الثورة الحيوية السادسة.

في الحقيقة، لقد شكّلت هذه المعالم الخمسة إنجازات رئيسة. لكن جهود ستيوارت لتحديد موقع الرياضيات في صميم هذه المعالم تبدو مفتَعَلة. إذ إن أسلوبه التاريخي يعني أنه ليس هناك تقييم حديث أو تخمين لنوع الرياضيات التي قد يجدها علماء الأحياء مفيدة في المستقبل. وربما يكون الاستطلاع الأفضل، على سبيل المثال، لو أخذ بالاعتبار إسهامات سيوول رايت S. Wright لدراسة الشعوب الصغيرة، أو تسوية (توافق) رونالد فيشر R. Fisher لعلم الوراثة وعلم الإحصاء الحيوي.

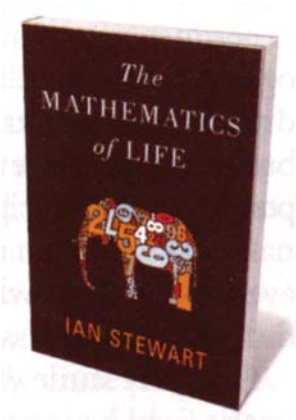
يحوي ثُلث الكتاب بشكل أساسي فصلاً سريعاً في علم الحياة يغطّي أهميّة المجهر في اكتشاف الجراثيم، وعناصر نمو النباتات، وإسهامات تشارلز داروين Ch. Darwin وألفريد روسيل ووالاس A. R. Wallace ومندل، وكذلك مقدّمة حول بنية الـ DNA. وهناك قسم شامل حول سلسلة Fibonacci ونمو النباتات، لكن يبدو أن الفصول اللاحقة حول أصل الحياة والبيولوجيا الفلكية astrobiology

رياضيات طبيعية: *الترتيب الحلزوني للبذور في قرص عباد الشمس يتبع سلسلة Fibonacci's.*

قد وضِعَت في غير مكانها، إذ إن هذه المواضيع تفتقر إلى الدعامات الرياضياتية الواضحة.

ولقد أُشير إلى التقدّم الكبير في علم الأحياء الحسابي إشارة خاطفة، كما أُهمل (أُخفي) علم الأحياء السلوكي من خلال وصف نظرية اللعبة بدلاً من التركيز على رياضيات المنظومات الديناميكية. وفي حين أن مناقشات تحليل النظام البيئي في الثمانينيات والتسعينيات قد عُرضت بشكل مناسب، إلا أن العمل بها خلال الخمس عشرة سنة الماضية لم يكن كذلك: فالنقاش النظري الفعّال حول ما إذا كانت المجتمعات البيئية حيادية أم تحرّكها المنافسة

لم يُشرْ إليه في النقاشات التي أُجريت. كما أن النظريات الحديثة التي تتوجه إلى استنفاد الأنواع وتغيّر المناخ قد أُهملت بشكلٍ غريبٍ.



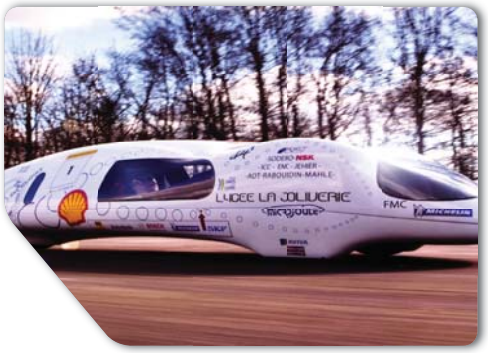
لم يتطرّق الكتاب إلى وصف كيف أن فيشر ورايت وهالدان J. B. S Haldane قد طوّروا رياضيات علم الوراثة التطوّري، في حين أنه يضع أسس تحليل البيانات الحديثة، وهذا يُفقد الفرصة لتوحيد الفصول على مندل وداروين حيوياً ورياضياتياً. كما أن علم الوراثة السكاني الحديث، مع ما يحويه من وفرةٍ في عمليات عشوائية وديناميكية لاخطيّة إلى حدٍّ كبيرٍ، قد جرى تجاهله.

وجرى التطرّق إلى علم الوبائيات، الذي يُعدُّ واحداً من أقدم تطبيقات الرياضيات بالنسبة لعلم الأحياء، في فصل العوالق plankton، وهذا برأيي تراصف غريب. ومن خلال التأكيد على التاريخ، فإن عمل عام 1927 التأسيسي لكلٍّ من ويليام كيرماك W. Kermack وأندرسون ماك كيندريك A. McKendrick الذي كان السبب في ظهور النظرية الحديثة في الوبائيات، قد جرى إغفاله بشكل واضح. كما أن الشبكات، التي تُعدُّ موضوعاً مثيراً في علم الأحياء وعلم الاجتماع، حظيت بملخص وفق معالجة قديمة، في حين نوقشت نظرية العقدة الطوبولوجية topological knot theory بشكل واسع وكأنها عنصر أساسي في علم أحياء الجزيئات الماكروية macromolecules.

وكونه عالم رياضيات، فقد كان من المفهوم أن يختار ستيوارت التأكيد على مفهوم التناظر. لكن العلاقة بين الرياضيات المجرّدة (التجريدية) للتناظر والكائنات الحية أو البيولوجية الجزيئية تبدو واهنة. لقد كنت أفضّل، على سبيل المثال، رؤية حيّزٍ مكرّسٍ للخوّاص الحتميّة أو العشوائية للمنظومات الديناميكية، وذلك أقرب لاهتمامات علماء الأحياء واحتياجاتهم في ممارستهم لعملهم. ويبقى قارئ الكتاب مأخوذاً بأهواء ستيوارت الشخصية بدلاً من الصورة الكبيرة التي يوحي بها عنوان الكتاب.

إن التنويع الشديد بين المجالات المختلفة للأبحاث البيولوجية يلطّف في مواجهة توحيد شروط النمذجة الرياضية. وليس الادعاء كافياً، كما يفعل ستيوارت، بأن مثل هذا التوحيد يمكن أن يُبنى حول نظرية التعقّد complexity. ومع أن أمثلة ستيوارت المتعدّدة حول النماذج الرياضية للظواهر البيولوجية تبدو مثيرة للقراءة، إلا أن كلّ واحدٍ منها يتطلّب جزءاً مختلفاً من الرياضيات. ويُحتمل أن يستمر تجزيء علم الأحياء ورياضياته لوقت طويل.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 476, 25 August 2011***. ترجمة ***حسان بقلة***، هيئة الطاقة الذرّية السورية.



مستقبل الطاقة وفق استطلاع لشركة شيل

ما هو مستقبل الطاقة؟

تطرح شركة شيل Shell هذا السؤال المثير للاهتمام للبدء بالحديث عن هذا الموضوع المهم. تشكل استطلاعات الطاقة المستقبلية معياراً للآراء العالمية والإقليمية فيما يخص ترتيب أولوياتنا بالنسبة للطاقة والنقل.

للمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى استطلاع الرأي الذي أجرته شركة شيل Shell على الموقع التالي:

Scientificamerican.com/sponsored/energyforthefuture

لنذهب أبعد من ذلك و نتحدث عن لتر واحد من الوقود. يجب أن نتعلم استخدام الطاقة بشكل أكثر كفاءة. فلأكثر من 25 عاماً، دعم السبق الاقتصادي لشركة شيل فرقاً عالمية تستكشف طرائق تزيد من كفاءة الوقود. ويشير الرقم القياسي الحالي إلى قطع مسافة 3,771 كم بلترٍ واحدٍ من الوقود. تلخص هذه الروح علاقتنا مع مصنّعي السياراتٍ، لإيجاد طرائق لجعل السيارات أكثر كفاءةً. ويمثل هذا الطموح توجهاً للمساعدة في بناء مستقبل أفضل للطاقة. www.shell.com/letsgo.

كيف نحل اليوم مشاكل النقل غداً؟

عالمياً، كان الرأي الأكثر شيوعاً لتحسين مستقبل النقل بتنشيط سوق المركبات التي تعمل بوقودٍ معتمدٍ على خلايا الهدروجين أو الكهرباء. وقد صوّت لصالح هذا الرأي 32%. ويعتقد 18% من الخاضعين للاستطلاع أنه يجب أن نسعى إلى تغيير سلوك القيادة عند العامة، في حين تطلّع 14% إلى خلق تقانات نقل متطورة. وتكشف النظرة الأدق بأن المستطلعين في آسيا وضعوا ثقتهم بشكل كبير بالوقود الحيوي، واحتلّ هذا الخيار المرتبة الثانية بالتصويت في آسيا، بنسبة تقارب 20% من المجموع.

اتفق المستطلعون في أمريكا الجنوبية مع المستطلَعين الآسيويين بنسبة تقارب 28% تقريباً بأن الوقود الحيوي سينال النصيب الأكبر في مستقبل النقل. وبشكل مشابه، صوّت 33% من المستطلعين في أمريكا الجنوبية لصالح العربات التي تعمل بالهدروجين أو الكهرباء.

وفي أمريكا الشمالية، فإن تغيّر سلوك القيادة عند العامة كان الخيار الثاني–أي تقريباً 20% من التصويت الأمريكي الشمالي الكلّي– مع تطوير لوسائل النقل لتصبح أكثر تطوراً وكفاءة، وحل تطوير العربات والوقود الحيوي في المرتبتين الثالثة والرابعة.

وتوافق المستطلعون الأوربيون والأفريقيون على أن العربات الأكثر كفاءةً وتغيّر سلوك القيادة عند العامة يشكلان الخيارين الثاني والثالث، وكانت ثقتهم بقدرة الوقود الحيوي أقل.

ولقد تضمّنت اقتراحات المستطلعين الأشياء التالية: الطاقة الشمسية والهوائية والكهرمائية لتوليد الكهرباء للعربات التي تعمل بالكهرباء، بالإضافة إلى تصميم المدن بطريقة تزيد من كفاءة النقل.

هل تعتقد بأنه يجب السماح لشركات الطاقة أن تستكشف مصادر للنفط في القطب الشمالي وتطورها؟

يُعتقد بأن القطب الشمالي يحتوي على ما يكافئ 400 بليون برميل من النفط. يمكن أن يكون تطوير القطب الشمالي أمراً حيوياً في تأمين إمدادات الطاقة للمستقبل، لكن ذلك سيعني مواجهة تحديات اجتماعية وبيئية واقتصادية. ويعتقد ثلثا المستطلعين في

العالم أن شركات الطاقة يجب أن تركز على استثمار مصادر طاقة بديلة. فقط 6% من المستطلعين في أمريكا الشمالية قالوا «لا، نحن بحاجة لأن نجري مزيداً من الأبحاث» وجاء ذلك في الخيار الثاني. لكن 16% تقريباً من المستطلعين في أمريكا الشمالية قالوا «نعم»، في حال كانت هناك قيود حكومية لضمان الأمان وحماية البيئة والناس المحليين.

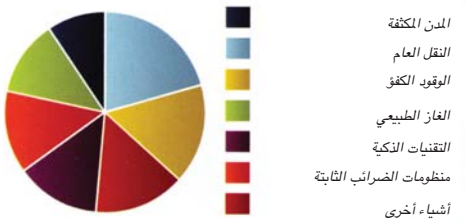
ومن ناحية أخرى، لم يقتنع الأستراليون بالطاقة البديلة، وبعيداً عن الرأي السائد عالمياً، فإن العمل على المزيد من الأبحاث أولاً كان أهم خياراتهم، وحاز على 45% من أصواتهم. وخيارهم الثاني الذي حاز على 16% كان: «نعم»، نحتاج أن نطور مصادر النفط القطبي».

وفي خضم هذا النقاش الحاد، حثّ المعلّقون على تطوير الألواح الشمسية ذات الكفاءة العالية، بالإضافة إلى المفاعلات النووية التقليدية الولودة السريعة، حتى أن هناك محاولة تذكّر بضرورة خفض النمو السكاني كأحد الحلول لاحتياجاتنا الطاقية المتزايدة.

ما هي التطورات الطاقية التي ستكون أكثر فاعلية في خلق بيئات سكنية مستدامة في المستقبل؟

ما يعادل 80% من انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون تُنتج حالياً في المدن، لذا كيف تخطّط المدن وتُبنى وتُصان لإحداث فروقات حاسمة، في حين يريد العالم التمسك بحاجاته للطاقة في المستقبل. عالمياً، كان النقل العام هو الاختيار الأول للتعامل مع زيادة تعمير المدن، وذلك بنسبة 20% من الأصوات. لكن المستطلعين العالميين يرون، بنسبة 16%، ضرورة زيادة كفاءة الوقود، و13% يفضّلون التقانات الذكية و12% الغاز الطبيعي، بوصفها خيارات جذّابة. هذا، وجاء أكثر تصويت مفاجئ من أمريكا الجنوبية، حيث وافق 40% على أن النقل العام كان أفضل خيار لزيادة تعمير المدن، والخيار الثاني هو أهمية سياسات الضريبة الحكومية لتعزيز الاستدامة.

وقد نوّه المعلقون إلى أن الطاقة النووية، والطاقة الشمسية، وناطحات السحاب العالية جداً يجب أن تؤخذ بالاعتبار على أنها بدائل. لكن، وكما أشار أحد المستطلعين: «كما تُظهر القارة عن طريق الاستطلاع، لن تجد تقنية واحدة قادرة على أن تحلّ كل مشاكل العالم. يجب أن تُستخدم كلّ التقنيات المتوفرة إلى أقصى حدٍّ في المناطق المختلفة لتلبية المتطلبات في الوقت الحاضر وفي المستقبل».



ما الذي ترونه منفعة أساسية في استخدام تقانات استخراج النفط المعزّزة؟

إن الأغلبية الساحقة (60%) ممن تمّ استطلاع آرائهم قالوا إنه يجب التركيز على مصادر الطاقة البديلة. ولكن 19% فقط من الأصوات العالمية قالوا: «نعم»، إن تقانات استخراج النفط المعزّز ستساعدنا على سدّ الحاجات. وحلّ ذلك الرأي كخيار ثاني.

اتفق المستطلعون في أمريكا الشمالية، الذين كانوا أكثر المصوتين نشاطاً، مع بقية بلدان العالم. إذ إن 59% صوتوا لصالح تطوير الطاقات البديلة، وصوّت 19% لصالح أن المنفعة الأساسية في تعزيز استخراج النفط تلبي احتياجاتنا الطاقية المتزايدة.

اتّخذ المستطلعون الآسيويون موقفاً أكثر حسماً، إذ في الوقت الذي رأى 47% منهم أن مصادر الطاقة البديلة أفضل رهان بالنسبة لنا، أجاب 23% على أن تقنيات استخراج النفط المعزّزة ستساعد على تلبية المطالب، ورأى 15% أن تقنيات استخراج النفط المعزّزة تعدّ مفيدة للاقتصاد ومصدراً لمعلوماتنا. كتب أحد المستطلعين أنه إذا كانت تقنيات استخراج النفط المعززة ستزيد الكفاءة بشكل ملحوظ، فإنه يجب أن تُطبق. لكن كثيراً من المستطلعين أشاروا إلى أن مستهلكي الطاقة العالميين هم المشكلة، وذلك بخلق الاحتياجات واستنزاف المصدر المحدود. سأل أحد المستطلعين «كيف يمكننا أن ندفع الناس (ومن ضمنهم نحن) إلى تخفيض شهيتنا الشرهة للنفط؟ إننا بحاجة إلى جرعة كبيرة من الوعي العام مترافقة مع أنانية أقل في أسلوب الحياة، بالإضافة إلى إحساس كبير بما يتعلق بكل مصادرنا.

لمزيد من المعلومات على الرابط الآتي:

Scientificamerican.com/sponsored/energyforthefuture

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature, Vol 480, 8 December 2011***.
ترجمة **نسرين شحادة**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

جان ماري لين
حماسة عقلانيّة

*جان ماري لين كيميائي في جامعة ستراسبورغ بفرنسا. تقاسم جائزة نوبل في الكيمياء لعام **1987** بسبب تطويره واستعماله لجزيئات يميّز بعضها البعض الآخر ويتفاعل معه. ابتكر "كيمياء فوق جزيئية"، وهو مجال تُستثمر فيه تفاعلات غير تشاركية. ولد عام **1939** في روسهايم بفرنسا، وكان ابن خبازٍ أصبح فيما بعد عازف الأورغ في المدينة. وإلى جانب العلم، شكلت الموسيقى لدى جان ماري لينٍ هوايته الرئيسية.*

س: تكلمتم عن مسؤولية رجال العلم في التحدث عن دور العلم في المجتمع والثقافة. هل تعتقد أنكم أنجزتم ذلك عبر السنوات الماضية؟

ج: كلنا نحاول جعل ما نقوله جذاباً، وذلك من خلال عرض الأشياء بطريقة قابلة للفهم بهدف الوصول بشكل منفتح إلى طيف واسع من المجتمع المثقف. لكنه من المهم أيضاً أن يبذل الناس المستمعون جهداً من جانبهم، وهذا يحتاج إلى وقت. بعض الناس سمّاعون جيدون ومهتمون، وآخرون يجب جذبهم وتحضيرهم للاستماع. مع ذلك، إن المسؤوليات الأولى للعالِم هي العِلْم، بصفتهِ معارفَ وحقائق، وليس المجتمع. نحن هنا لكسب المعرفة وفهم ما يجري حولنا، ولكن بالتأكيد نحن نواقون لنكون مفهومين ونفيد المجتمع.

س: هل هناك ما يماثل الكيمياء فوق الجزيئية في المجتمع؟

ج: هناك تشابهات كثيرة نظراً لكون علم الاجتماع هو دراسة البشر في المجتمع، والكيمياء فوق الجزيئية هي دراسة الجزيئات وكيف يرتبط بعضها بالبعض الآخر، سواء أكان ذلك برغبة أم بالإكراه.

يمكن لعامة الناس إدراك مفهوم "علم الاجتماع الجزيئي" وتذكره بسهولة أكبر، إذ يمكن عزل الجزيئات، بشكل إفرادي. أما محيطنا فيمكن أن يكون مجتمعاً محلياً أو العالم بكامله، لكن الجزيئات تسبح في عالم جزيئات أخرى: تتصادم وتتفاعل. وبالتأكيد، إن سلوك كينونة مثل الكائن البشري سيكون أكثر تعقيداً بكثير من سلوك الجزيئات المتجمعة بعضها مع البعض الآخر.

س: هناك كثير من العلوم التفصيلية. هل هذا أفضل من عرضها بشكل إجمالي، برؤية شاملة؟

ج: يجب مقاربة الموضوع من اتجاهين: بناء من الأسفل، مع تحليل السلوكيات المعقدة المهمة. أنا لا أعتقد بوجوب المقاربة من جانب واحد فقط.

نحن تماماً مكوّنون من جزيئات. كل ما نعمله هو نتيجة لمنظومة

يقدّم لين محاضرته حول الكيمياء فوق الجزيئية في اجتماع ليندا و عام 2011.

معقدة جداً، ولكن يمكننا من حيث المبدأ استخراج ما بإمكاننا القيام به انطلاقاً من هذه المكونات. تنبثق الخاصيات والسلوكيات ذات السوية الأعلى من مستويات التعقيد الأعلى.

والمثال الذي أذكره دائماً هو أخذ جزيء معزول من الماء، الذي لا يمكنه أن يتجمد أو أن يغلي، في حين أن كأساً من الماء يمكنه ذلك. تبدو هذه الخاصية ذات سوية عالية من التعقيد، وتنبثق من حقيقة أن الجزيئات تتفاعل بطريقة فوق جزيئية وتسلك سلوكاً بصفتها منظومة واحدة. ومع تزايد التعقيد، تنبثق خصائص وسلوكيات جديدة عند كل خطوة غير قابلة للتراجع إلى التي سبقتها، ولكن يمكن أن تنتج منها.

ترتكز البيولوجيا على الجزيئات، فهي التعبير الأسمى عن العالم

الجزيئي. والبيولوجيا هي برهان على أنه يمكن للعالم الجزيئي البسيط توليد تعقيد كبير عبر ترتيب ذاتي.

س: هل تعتقدون أن مثل هذه الحياة المعقدة موجودة على الكواكب الأخرى؟

ج: هناك عدد كبير من المجرات والكواكب حيث الفرص الموجودة هناك مشابهة لشروط الحياة على الأرض.

إن 4% من المادة الممكن ملاحظتها، التي تشكل كتلة كوكبنا، مكونة من العناصر المُوصَّفة في الجدول الدوري. هذه الذرّات هي نفسها في كل مكان، وستتفاعل بالطريقة نفسها بحيث أن المركبات التي تشكلها ستكون نفسها. فعلى سبيل المثال، ستكون الرابطة كربون–كربون نفسها في أي مكان.

س: ما هو أكثر ما يحرضكم في عملكم؟

ج: النشر هو مجرد حصيلة، وليس الأساس. المهم هو أن يُعترف بالعمل الجيد. قد تأخذ وقتاً أطول للنشر في مجلة أقل شهرة، لكن يظل من المهم أن تَنشر. يمكنني ذكر عدد من النشرات التي قادت إلى اكتشافات كبيرة لكنها كانت منشورة في مجلات من الدرجة الثانية والثالثة أو الرابعة.

ما يحرضني كان ببساطة أنني كنت مهتماً بالعلم والبحث وبكسب معارف جديدة. جميع العلوم محرِّضة. الإحباط الكبير هو أنك لا تستطيع عمل كل شيء. يجب أن تختار ليكون لك بصمة. كل شخص لديه مقدار محدد من الطاقة، فإذا ما صرفته في مجال صغير فسيكون لك بصمة كبيرة. والعمل في مجال واسع سيضعف البصمة.

لقد ركزت اهتمامي في الكيمياء عندما أدركت أنها الأساس لجميع المواد. وأدركت أيضاً أن الكيمياء تسمح لنا بتحويل أشياء من نمط معين من المادة إلى نمط آخر، وذلك باستعمال عملية قابلة للفهم. الكيمياء قادرة على تطوير منهجية العلوم للسيطرة على المادة، وتوليد مركبات جديدة غير موجودة من قبل. أحب مقارنة هذه القدرة بعمل الفن: عندما ينجز الفنان منحوتة من صخرة ما، فالصخرة لا تحتوي على المنحوتة، إنما الفنان هو الذي أبدعها. وبالطريقة نفسها، عند الحصول على أشياء منحنا إياها الكون، يمكن للكيميائي أن يحولها إلى تركيبات جديدة وغالباً ما تكون بخصائص جديدة غير متوقعة.

س: هل يجب على المنظمات العلمية العالمية الرائدة أن تتوحد أكثر لإنجاز سياسة تخطيط وتمويل بحثي عملي؟

ج: ليس بالضرورة أن تتوحد كلياً في منظمة وحيدة. أيُّ منظمة يمكن أن تخطئ. فعلى سبيل المثال، قد يكون تقييم مشروع ما غير متقن تماماً. وهكذا فالتنوع مطلوب، ولكن كثرته ضرب من العشوائية. وبشكل معتاد، تكون نسبة المشاريع الناجحة والفاشلة الواقعة ضمن 10 إلى 20% سهلة من حيث التقييم. والمشاريع الواقعة بين هاتين الحالتين من النجاح والفشل تكون صعبة التقييم، وبالتالي نحتاج إلى مؤسسات عديدة في مجال التمويل والتقييم للحكم على هذه المشاريع.

في بعض الأحيان يبدو المشروع رديئاً، لكنه في الواقع يقود إلى أشياء رائعة. وبالتالي إن خطورة جمع المنظمات كافة في منظمة واحدة سيؤدي إلى فقد هذا التنوع. من المفيد وجود التنوع، كما في حالة المجلات. ترسل ورقة للنشر، فيستحسنها بعض المقيِّمين في حين لا يراها الآخرون مناسبة، أي توجد وجهتا نظر متعارضتان. في المجال البحثي، هناك خطوط عامة، وأفكار تتوارد في كل مكان. سيكون مؤسفاً إذا ما انتظم كل الأشخاص حول المواضيع نفسها.

هناك ثلاثة أنماط من البحث: عمل يؤدي إلى اكتشاف يُعزّز فهمنا، وعمل تطبيقي يقوم خلاله العالِم بتحويل الأشياء نحو غايات محددة، وفكرة ضئيلة مع ضمانة ضعيفة للحصول على نهاية. ربما تتولّد هذه الفكرة الضعيفة في بداية مهنة أناس متفوقين، أو قد تأتي في مرحلة أكثر تقدماً في مهنتهم. قد يكون جيداً منح هؤلاء الأشخاص الزمن الكافي: يجب ألاّ نبخل في تمويلهم ونتركهم يطلقون العنان لخيالهم. هناك بعض المؤسسات التي تتجه في هذا المنحى، من ضمنها مؤسسة ماكس بلانك الألمانية ومعهد الدراسات المتقدمة في برينستون – نيوجرسي. إنهم يحاولون منح بعض العلماء هذا النوع من الحرية في التفكير.

س: هل يجب على العلماء تأدية قَسَم بحثيٍّ عالمي في بداية حياتهم المهنية، كَقَسَم أبقراط الذي يؤديه الأطِبّاء؟

ج: إن الغاية الأولى للباحثين العلميين هي زيادة المعرفة من أجل الفهم. والمعرفة متوفرة للجنس البشري للاستعمال، إضافة إلى المساعدة في تجنب الأمراض والمعاناة. يمكن لأي معرفة أن تستعمل بشكل سيئ. أنا لا أرى حاجة للقسم، وأتمنى أن يتمتع الأطباء بالمسؤولية نفسها دون تأدية قَسَم أبقراط. وفيما يتعلق بالأسلحة وما شابهها، إذا أراد كل شخص أن يُقسِم ويرفض أن يقوم بالبحث، عندها لا بأس بذلك. لكن إذا لم يوافق العلماء الآخرون على أداء القَسَم، فهل ستخاطرون بأن يكون بلدكم تحت رحمة قيادة مستبدة؟

والمظهر الآخر لمثل هذا القَسَم سيكون للوقاية من الاحتيال والانتحال. لقد تحققتُ من وجود عدد من الاحتيالات في العلم، وهناك احتيالات في كل مكان. ربما هناك عدد أقل من الاحتيالات في العلم مقارنة مع ما هو موجود في باقي المجتمع. الناس الذين يتبنون احتيالاً علمياً هم مجانين، كيف يمكنهم التفكير بأنهم بمنأى عن الكشف؟ هناك آخرون يحاولون إعادة التجربة والاحتيال، لكن أمرهم سيُكتشف بكل تأكيد.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 478, 13 October 2011***. ترجمة **د. عادل حرفوش**، رئيس هيئة التحرير.

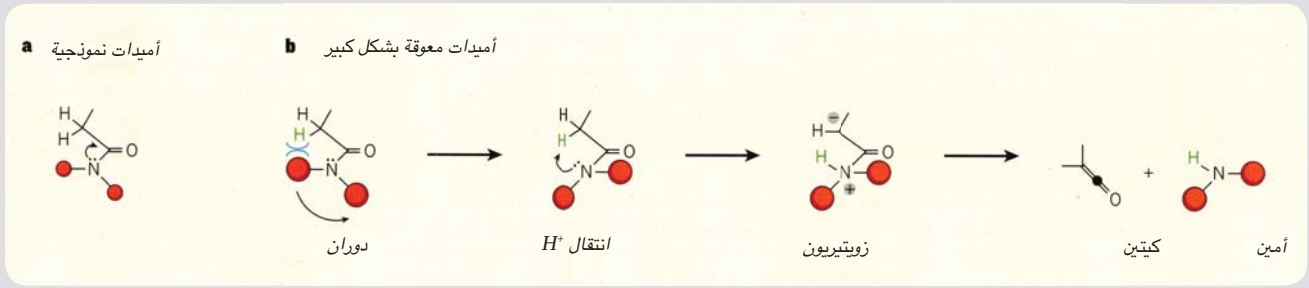
مثبتات تسبّب عدم استقرار

سيخبرك أي كيميائي أن المركّبات الأميدية تشتهر بثباتيتها. لكن، وبشكل مثير، اكتُشِفت عائلة من أميدات غير مستقرة. وسبب هذه الظاهرة مثير أكثر منها.

تكون بعض الجزيئات مستقرة تحت كل أنواع الشروط، في حين أن بعضها الآخر يكون غير مستقر لدرجة أنه يتفاعل مع أي شيء تقريباً. تُعدُّ الأميدات، وهي صنف من المركبات يشتمل على البروتينات والنايلون، جزيئات مستقرة عادة. ويتطلّب تفكيكها (كسر الروابط فيها) حمضاً أو أساساً قوياً –تُعدُّ ألياف النايلون مقاومة بشكل كبير للعطب الكيميائي، ويمكن أن تهضم البروتينات الغذائية فقط بوساطة حموضة المعدة المترافقة مع كم كبير من الإنزيمات. يذكر هاتشباي Hutchby ومعاونوه، فيما كتبوه في Angewandte chemie، مجموعة من الأميدات تقلب هذه الخاصية النموذجية رأساً على عقب. تتشارك مركّبات هذه المجموعة بالخصائص البنيوية مع الأميدات التفاعلية القليلة من بين الأميدات كلها، إلى جانب خصوصية ميكانيكية فريدة ملفتة تمكنها من إبداء تفاعلية تتعلق عادة بكواشف غير مستقرة.

في معظم الحالات، يمكن التنبؤ بتفاعلية الجزيء بدرجة واضحة من الارتياب وذلك من خلال اعتبار تأثيرات قوة الرابطة والقطبية والإعاقة الفراغية (الحجم الفيزيائي الذي تشغله أجزاء من الجزيء) مجتمعةً. وعلى سبيل المثال، تُعدُّ الرابطة كربون–يود أكثر تفاعلية من الرابطة كربون–فلور لأنها أضعف منها بكثير، في حين أن الرابطة أكسجين–هدروجين تُعدُّ أكثر تفاعلية من الرابطة كربون–هدروجين لأنها أكثر منها استقلابية. تعني هذه التأثيرات أن معظم الخواص المهمّة للجزيئات العضوية تميل لتكون مركّزة في مواضع تفاعلية تُعرف بالزمر الوظيفية، تحوي كل منها ذرّة واحدة أو أكثر تجذب أو تدفع الإلكترونات أكثر مما يقوم به الكربون أوالهدروجين. ويُعدُّ مفهوم الزمرة الوظيفية، وحقيقة أن الزمر الوظيفية تملك ملامح تفاعلية نموذجية، أمراً رئيساً بالنسبة لقدرة الكيميائيين على تقدير خواص الجزيئات والتنبؤ بها وتصميمها.

تُعدُّ زمرة الكربونيل C=O واحدة من الزمر الوظيفية المهمّة، وتعود أهميتها الخاصة لكون تفاعلاتها أساسية في معظم الطرائق الشائعة في إنشاء الروابط كربون–كربون. تُعدُّ زمرة الكربونيل إلكتروفيلية (أي إنها تتفاعل مع الأنواع الغنية بالإلكترونات



*الشكل **1**- تفاعلية الأميد. **a**: تُعدُّ معظم الأميدات لاتفاعلية نظراً لأن ذرّة النتروجين في المركّب تمنح زوجاً من الإلكترونات (تمثله النقطتان فوق ذرّة النتروجين) لزمرة الكربونيل (C=O)، ولأن الزمر الوظيفية (الكرات الحمراء) على ذرّة النتروجين قد تحجب وصول كواشف مهاجمة. يشير السهم المعقوف إلى منح الإلكترونات. **b**: يذكر هاتشباي ومعاونوه أن الأميدات المعوّقة جداً، التي تملك على ذرّة النتروجين زمراً ذات أحجام أكبر من المألوف، تقاوم الحركة بشدة، لأنها تكون مدفوعة (الخطوط الزرقاء المنحنية) من قبل زمر أخرى في الجزيء. يُسهِّل هذا الدفع دوران الرابطة بين النتروجين وكربون زمرة الكربونيل، وكذلك فيما يخصّ الزمر على ذرّة النتروجين، ويمنع منح الزوج الإلكتروني الخاص بذرّة النتروجين إلى زمرة الكربونيل. وبدلاً من ذلك، تنتقل ذرّة هدروجين (اللون الأخضر)، محمولة على الكربون المجاور لزمرة الكربونيل، إلى النتروجين، ويتشكل جزيء زويتيريون (جزيء يحوي شحنة موجبة وشحنة سالبة معاً)، ثم ينفصم منتجاً كيتيناً وأميناً (تمثّل النقطة السوداء في الكيتين ذرّة كربون).*

كالأغوال والأمينات)، ولكن هذه الإلكتروفيلية تعتمد بشكل كبير على ما يرتبط بذرّة كربون الزمرة الوظيفية. عند ارتباط ذرّة كلور ساحبة للإلكترونات، ينتج كلوريد حمض شديد التفاعلية، وعند ارتباط ذرّتي كلور نحصل على الفوسجين، وهو غاز سام وتفاعلي أكثر. إن إضافة ذرّة نتروجين غنية بالإلكترونات، من ناحية أخرى، يُشبع حاجة زمرة الكربونيل للإلكترونات لأن النتروجين يتشارك بزوجه الإلكتروني الخاص مع هذه الزمرة (الشكل 1a)، تُعرف هذه الظاهرة بعدم التموضع، والمركب الناتج هو أميد لاتفاعلي.

تُعدُّ الأميدات لاتفاعلية ليس لأن ذرّة النتروجين تُشبعُ النقص الالكتروني في زمرة الكربونيل وحسب، بل أيضاً لأن ذرّات نتروجين الأميدات يمكنها أن تحمل مستبدلين، يمكن الحصول على كل منهما عن طريق كواشف واصلة (ظاهرة الإعاقة الفراغية، الشكل 1a). تُعدُّ الأميدات المعوقة، التي تحمل ذرّة النتروجين فيها زمرتين كبيرتين، عادة من بين مركّبات الكربونيل التفاعلية القليلة المعروفة، وهو ما يجعلها قيّمة في الكيمياء العضوية –إذ عندما تُوقَف تفاعلية زمرة الكربونيل، يمكن أن تحدث التفاعلات في مكان آخر عند زمرة الكربونيل بدون تداخل من تفاعلات جانبية منافسة. تستعمل الأميدات المعوقة، على سبيل المثال، في تحضير مركّبات عضوية معدنية تفاعلية ومفيدة اصطناعياً. ويمكنها أن تكون، تجاه كواشف غنية بالإلكترونات، أقل تفاعلية من حلقة البنزن المستقرة المشابهة.

تقلب الآن مجموعة المركّبات التي ذكرها هاتشباي ومعاونوه هذه التوقعات. حضَّر الباحثون أميدات معرقلة بشكل كبير تحمل فيها ذرّة النتروجين زمرتين كبيرتين جداً، ولاحظوا أنه بعيداً عن كونها الأقل تفاعلية في صنفها، فقد كانت هذه المركّبات أكثر تفاعلية من مشابهاتها الأقل عرقلة. والتفسير الممكن لهذه الحالة هو التأثير الممارس من الإعاقة الفراغية عندما تكون الزمر التي تحملها ذرّة نتروجين الأميد كبيرة بشكل غير اعتيادي: تُوقِف هذه الزمر بفعالية تأثير الزوج الإلكتروني للنتروجين المعطل للكربونيل (الشكل 1b).

إن مثل هذه الأميدات «المنخفضة اللاتموضع»، التي تُجبَر إلكترونات النتروجين فيها على التوضع في مواضع لا تستطيع فيها أن تتفاعل مع زمرة الكربونيل، قد صنعت من قبل، وهي في الحقيقة أكثر تفاعلية. ولكن هاتشباي ومعاونيه يفترضون أن «الإيقاف» يكون أكثر حذاقةً في حالتهم. فوجدوا أن هذه الأميدات تملك خصائص بنيوية مشابهة جداً للأميدات غير المعاقة، ولكن التدافع بين الزمر الكبيرة المحمولة على النتروجين وبين أجزاء أخرى من الجزيء يكون أكثر ملاءمةً بالنسبة للزمر لكي تتحرك بعيداً عن الذرّات المجاورة لها. يسمح هذا للرابطة بين زمرة الكربونيل وذرّة النتروجين أن تدور (الشكل 1b)، ويسمح بالتالي لذرّة النتروجين أن تستعيد إلكتروناتها المعطلة اللاتموضعة سابقاً. لذلك، تصبح هذه الإلكترونات متاحة لإمساك أيون هدروجين H^+ من الجانب الآخر لزمرة الكربونيل، وتمر بسلسلة من الأحداث –تُسرَّع من جديد بوساطة حجم الزمر على النتروجين– إذ يكون فيها الجزيء مجبراً على أن يتشظّى إلى مركّب يُدعى كيتين Ketene، وهو مركب أكثر تفاعلية بكثير من الأميد. وفي تجارب الباحثين، يتفاعل الكيتين فيما بعد مع المحل المحيط (الميتانول)، مشكّلاً مركبات إستيرية بصفتها منتجات نهائية.

لن تسلك جميع الأميدات المعرقلة بشكل كبير السلوك ذاته لمركّبات هاتشباي ومعاونيه، إنما تسلكه فقط الأميدات التي تملك زمرة ميتيلن (CH_2) على الجانب الآخر لزمرة الكربونيل من ذرّة النتروجين. ولكي تسير العملية بشكل جيد فعلياً، يجب إن تكون زمرة وظيفية ساحبة للإلكترونات مرتبطة بزمرة الميتيلن. وبالرغم من ذلك، فإنه من اللافت أن مركبات الكربونيل الأقل تفاعلية يمكن ترقيتها في سلّم التفاعلية، وأكثر من ذلك حيث أن المسؤول عن التغير فعلياً – الحجم المتزايد للجزيء – يخفِّض عادة التفاعلية. يكشف هذا الاكتشاف صدعاً في درع الأميدات يمكن أن يُستعمَل للتحايل على تحديات حالية ومستقبلية عديدة في كيمياء الاصطناع. وعلى سبيل المثال، يمكن أن تُستعمَل الأميدات كحصان طروادة لتشمل (تدمج) تفاعلية مخفية في الجزيء، وهي تفاعلية كُشِفت مؤخراً باستعمال كيمياء هاتشباي ومعاونيه عند إدخال تعديلات أخرى على الجزيء.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 481, 19 January 2012***.
ترجمة **علي غانم**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

العبور النفقي عبر سلك نانوي

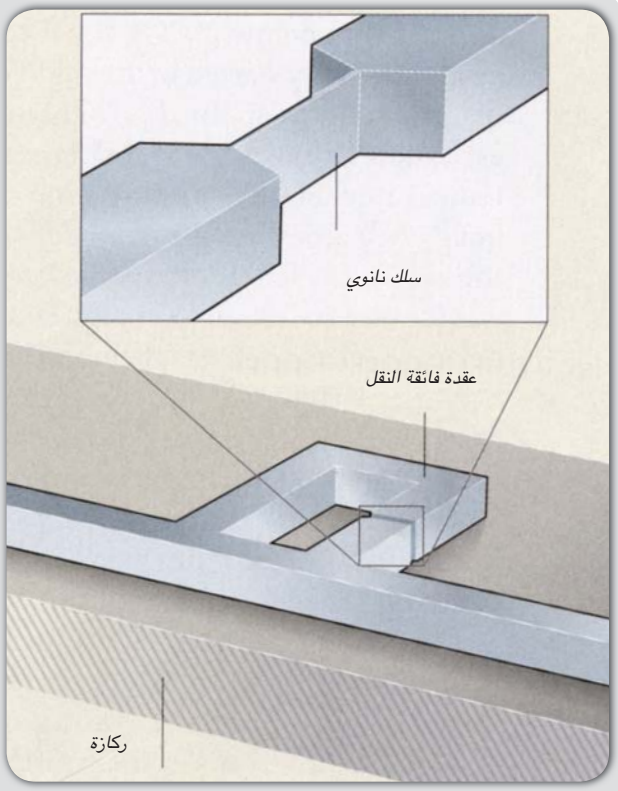
إن ملاحظة ظاهرة تُعرف بانزلاق الطور الكمومي المترابط عبر سلك نانوي ضمن نظام فائق الناقلية يمهّد الطريق لتطبيقات في الحوسبة الكمومية وعلم المعادن.

يُعدُّ ميكانيك الكم النظرية الأكثر دقة في الفيزياء الحديثة. فلقد تمّت صياغته في عام 1925 لوصف الجسيمات المجهرية مثل الإلكترونات والذرّات، أما تطبيقه على العالم الجهري مثل الأجسام التي تُواجه يومياً فبقي غير واضح. أظهر أستافيف ومعاونوه Astafiev في مجلة نيتشر[1] بأنه يمكن لنظرية الكم وصف عبور التدفق المغنطيسي عبر جزء ضيق من حلقة ناقل فائق. تمثل هذه الحلقة نظاماً جهرياً معقداً يحتوي على الأقل بضعة ألاف من الإلكترونات.

ابتكر أستافيف ومعاونوه نوعاً من البتة الكمومية فائقة الناقلية (qubit)، كان قد اقترحها من قبل موج Mooij وهارمانس Harmans. يتكون العنصر الرئيس من هذه الأداة من قطعة سلك ناقل فائق متجانس ضمن حلقة فائقة مغلقة (الشكل1). ويعمل النظام بالسماح للعبور الكمومي النفقي للتدفق المغنطيسي من الدخول والخروج من الحلقة عبر السلك النانوي. يؤدي مثل هذا العبور إلى وجود شكل من الذواكر الكمومية المعروفة بترابط الطور وتدعى انزلاق الطور الكمومي المترابط (CQPS). تخضع هذه الأداة لفيزياء الأنظمة الكمومية الجهرية، وتتضمن إشارات مفيدة لأساسيات علم المعادن وتقانة المعلومات.

يفترض مبدأ العبور النفقي الكمومي أن أي جسيم مجهري يمتلك فرصة اختراق أي جدار، مهما كان حاجز الطاقة عالياً. ولكن هل هذا المفعول يطبَّق على الأجسام الجهرية؟ اعتماداً على إحدى القواعد الحديثة لتفسير ميكانيك الكم، تنص هذه القاعدة على أن المفاعيل الكمومية قابلة للتطبيق على أيّ نظام كبير حتى على الكون. ولكن عند تطبيقها على الأجسام الجهرية ستقود النظرية الشاملة إلى تنبؤات متناقضة. فمثلاً قطة شرودنغر –حسب مبدأ التراكب الكمومي– تكون على قيد الحياة وميتة في الوقت نفسه.

على أية حال، يوجد تفسير آخر لا تظهر بموجبه قطط شرودنغر الكبيرة بسبب ظاهرة معروفة ألا وهي انهيار التابع الموجي التلقائي. سيدمّر مثل هذا الانهيار ترابط الطور والظهور تلقائياً بمعدل منخفض، وبالتالي سيكون الفيزيائيون التجريبيون توّاقين لاختبار النظرية الكمومية على العالم الجهري. للقيام بذلك غالباً ما يبدؤون بأدوات إلكترونية صغيرة قادرة على إظهار العبور الكمومي النفقي المترابط بين حالات منفصلة جهرياً. وعلى الرغم من صغر المقياس فهو نظام كمومي جهري يُدعى ذرّات اصطناعية، وبمعرفة الطبيعة المميزة للسويات الطاقية للنظام يمكن أن يُستخدم كبتات كمومية، أي لبنات بناء في الحوسبة الكمومية.



الشكل 1- البتات الكمومية لموج–هارمانس. يتألف النظام الكمومي ذو الحالتين أو البتة الكمومية المقترحة من قبل أستافيف ومعاونيه من قطعة سلك نانوي ضمن حلقة فائقة الناقلية مصنوعة من أكسيد الإنديوم متوضعة على ركازة. تسمح البنية الإلكترونية غير المرتّبة لأكسيد الإنديوم بالعبور الكمومي المترابط للتدفق المغنطيسي المعروف بانزلاق الطور الكمومي المترابط ليظهر في السلك النانوي. (الشكل لم يرسم بمقياس).

1- *Astafiev, O, V, et al. Nature 484, (2012)*

يمكن أن توجد البتات الكمومية لموج وهارمانس والتي أظهرها أستافيف ومعاونوه في حلقة ناقل فائق يتدفق فيها التيار إما مع عقارب الساعة أو بعكس عقارب الساعة. ويمكن أن توجد أيضاً نتيجة تراكب كمومي متناظر للحالتين السابقتين، والتي توصف رياضياً بجمع الحالتين مع عقارب الساعة وبعكس عقارب الساعة. وأكثر من ذلك تمتلك حالة التراكب الكمومي المتناظر توأماً من سويات الطاقة العالية تُدعى حالة اللاتناظر. نحصل على هذه الحالة بطرح حالة عكس عقارب الساعة من حالة مع عقارب الساعة. حضَّر المؤلفون بدراستهم البتات الكمومية في حالة التراكب الكمومي المتناظر، وبتسليط فوتونات مكروموجية عليها تمكّنوا من الانتقال بين حالتي التراكب. ولكشف هاتين الحالتين، ربط الباحثون البتة الكمومية بالناقل المركزي لنظام مجاوب موجات مكروية، وأظهروا بأن الحالتين تبطئان الموجات الكهرطيسية بشكلٍ مختلف.

يرافق التحول من حالة مع الساعة إلى حالة عكس الساعة للبتة الكمومية لموج وهارمانس عبوراً نفقياً للتدفق المغنطيسي، أو انزلاق الطور الكمومي عبر السلك النانوي. فإذا كان سلك البتات الكمومية مستمراً، فإن التدفق المغنطيسي يدخل الحلقة بإحداث ما يُسمى نواة انزلاق الطور. تشبه هذه النواة النواة الطبيعية لدوامة تدفق مغنطيسي في ناقل فائق. لكن انزلاق الطور الكمومي المترابط، حيث يكون التاريخ الكمومي للعبور النفقي (الترابط) محفوظاً، يكون من الصعب تحقيقه بسبب تبديد النواة للطاقة، وبالتالي تمسح الذاكرة الكمومية مسبِّبة بذلك فك الترابط وإخماد معدل العبور أسّياً. وتكون النتيجة أن انزلاقات الطور الكمومي غير المترابط هي فقط التي اكتُشفت في الأسلاك النانوية المتجانسة.

لقد تضمّنت ملاحظات انزلاق الطور الكمومي المترابط استخدام بتات كمومية فائقة الناقلية مصنوعة من أسلاك نانوية متصلة فيما بينها بوصلات رقيقة عازلة. تحدث هذه الوصلات حواجز نفقية لتيار الناقل الفائق ولكنها تساعد التدفق المغنطيسي على عبور السلك ودخول الحلقة لأن النواقل الفائقة تطرد الحقل المغنطيسي من داخلها في حين لا تفعل العوازل ذلك. كما أن انزلاق الطور الكمومي المترابط هذا ليس له نواة، وبالتالي فإن معدل العبور لا يتأثر كثيراً بمفاعيل التبديد. وتكون البتات الكمومية لأستافيف ومعاونيه من هذا النوع حيث يُلاحظ انزلاق الطور الكمومي المترابط عبر أسلاك فائقة الناقلية غير متصلة.

أمكن مشاهدة انزلاق الطور الكمومي المترابط في السلك المستمر، لأن المادة الفائقة الناقلية المصنوع منها السلك –أكسيد الإنديوم– لها بنية إلكترونية غير مرتّبة. ولما كانت ذرّة الأكسجين فيها تميل إلى ربط أو موضعة الإلكترونات، لذا فإن أكسيد الإنديوم يكون غير مرتّب جداً ولا يمكن حتى وصفه بنظرية باردين–كوبر–شريفر (BCS) Bardeen-Cooper-Schrieffer للناقلية الفائقة. في الحقيقة، إن المادة أقرب ما تكون إلى العازل. تساهم كلّ الإلكترونات الحرة في النواقل الفائقة من نوع BCS في حالة ترابط جماعية فريدة معروفة بمُكثّف BCS. تشبه هذه الحالة "جزيئاً" ناقلاً فائقاً ضخماً من الإلكترونات التي تتحرك دونما احتكاك وهكذا تؤدي إلى الناقلية الفائقة. في حالة أكسيد الإنديوم، يتألف مُكثّف BCS من جزيئات عديدة وليس من جزيء واحد. والمُكثّف متموضع، أي أنه يتمزّق مشكّلاً "بحيرات" BCS أو "قطيرات" تتفاعل فيما بينها بشكل ضعيف.

أدّى عمل أستافيف ومعاونيه إلى أن وجود مثل هذه البحيرات سيكون حاسماً لنجاح عمل البتات الكمومية لموج–هارمانس. في سلك ناقل فائق يحتوي على بحيرات مُكثّف BCS متموضعة يمكن لنواة انزلاق–الطور أن تنتقل بين البحيرات وبالتالي تتجنّب أي تبديد. لهذا السبب، وعوضاً عن استخدام الطرق التقليدية لصناعة وصلات عازلة في السلك النانوي لمشاهدة انزلاق الطور الكمومي المترابط، استخدم الباحثون مادة (أكسيد الإنديوم) التي غالباً ما تكون في حالة عازلة. يمثّل هذا حلاً أنيقاً لأنه يكون للسلك نوى انزلاق طور، هذا من ناحية، ولكن من ناحية أخرى، تُقلّل تأثيرات التبديد.

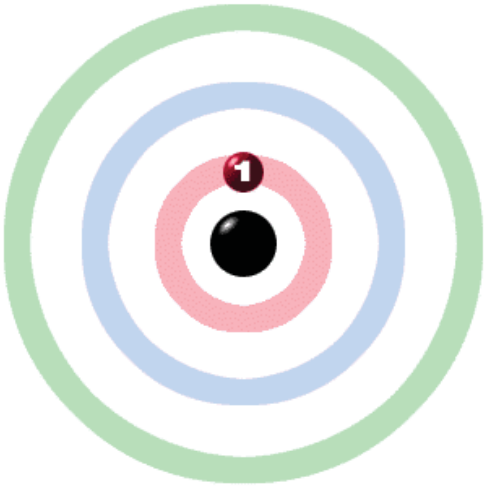
تمهّد الدراسة الحالية الطريق أمام امتحان التنبؤات النظرية للأسلاك النانوية التي تساند انزلاق الطور الكمومي المترابط والتطبيقات في حقلي الحوسبة الكمومية وعلم المعادن. كما اقتُرح أيضاً أنه يمكن استخدام انزلاق الطور الكمومي المترابط لتقديم تيار عياري أساسي. بقي شيء واحد للبحث ألا وهو إمكانية –أو ربما عدم إمكانية– تحقيق انزلاق الطور الكمومي المترابط في الأسلاك النانوية التي هي أقلّ اضطراباً من أكسيد الإنديوم، وبالتحديد، الأسلاك النانوية الأحادية البلّورة النقية، حيث تكون نظرية BCS قابلة للتطبيق تماماً مع نشوء نواة انزلاق الطور. يجب أن تقارن مثل هذه الأنظمة بتلك الأنظمة التي تساند انزلاق الطور الكمومي المترابط عديم النواة لقياس عدم الترابط الناتج عن نواة انزلاق الطور الكمومي المترابط.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 484, 19 April 2012***. ترجمة **د. محمد خير صبرة**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

نافذة على عناصر الجدول الدوري

الهدروجين

الرمز:	H
العدد الذرّي:	1
الكتلة الذرّية النسبية:	1.00794 (7)
درجة انصهاره:	-259.14 °C
درجة غليانه:	-252.87 °C
الكثافة:	0.08988 g/L
حالات الأكسدة:	1, -1



الهدروجين هو العنصر الكيميائي الأكثر وفرة بين عناصر الجدول الدوري، ويشكل حوالي 75% من الكتلة العنصرية الكيميائية الكونية، غير أن الهدروجين العنصري نادراً ما يوجد بشكل طبيعي على الأرض.

البروتيوم Protium هو نظير الهدروجين الأكثر شيوعاً (وهو اسم نادر الاستعمال، رمزه ^1H)، ويحتوي على بروتون وحيد ولا يوجد فيه نترونات. وفي المركبات الأيونية، يمكن لهذا النظير أن يحمل شحنة سالبة (وهو أنيون يُعرف بـ الهدريد ويُكتب بالصيغة H^-)، أو أن يحمل شحنة موجبة ويرمز له بـ H^+. يشكل الهدروجين مركبات مع غالبية العناصر، فهو موجود في جزيء الماء وفي المركبات العضوية. كما أنه يلعب دوراً خاصاً ومهماً في الكيمياء حمض–أساس عبر تفاعلات عديدة تتنقل فيها البروتونات بين الجزيئات المنحلة. ونظراً لأن ذرّة الهدروجين هي أبسط الذرّات، فقد استُثمرت في الدراسات النظرية. فعلى سبيل المثال، ونظراً لكونها الذرّة المعتدلة الوحيدة المحققة لمعادلة شرودنغر، فقد لعبت الدراسات الطاقية والرابطية لذرّة الهدروجين دوراً مفتاحياً في تطوير ميكانيك الكمّ.

تم الحصول على الهدروجين الغازي، H_2، لأول مرة في بداية القرن السادس عشر نتيجة خلط المعادن بالأحماض القويّة. وبين العامين 1766 و1781 كان هنري كافنديش Henry Cavendish أول من اكتشف أن غاز الهدروجين يمثل مادة منفردة، وأنه يُنتج الماء عند حرقه، وهي الخاصيّة التي منحته اسمه، الذي يعني في اليونانية "مولد الماء water-former". يكون الهدروجين في درجة الحرارة والضغط الطبيعيين عديم اللون وعديم الرائحة والطعم، ولامعدني، وغير سام، وشديد الاحتراق، عندما يكون غازاً ثنائي الذرّة وفق الصيغة H_2.

يُنتج الهدروجين صناعياً من بخار الغاز الطبيعي (غاز الميتان)، ويُنتج بكميات أقل من خلال طرائق أكثر استهلاكاً للطاقة مثل التحلّل الكهربائي للماء. يستعمل معظم الهدروجين الصناعي بالقرب من مواقع الإنتاج، عبر الاستعمالين الأكثر أهمية في معالجات الوقود الأحفوري (تحطيم النفط بالهدرجة) وإنتاج الأمونيا من أجل صناعة الأسمدة.

خصائصه

الاحتراق

يكون غاز الهدروجين (ثنائي الذرّة أو الهدروجين الجزيئي) شديد الاشتعال ويحترق في الهواء ضمن مجال واسع من التراكيز بين

4 و75% حجماً. ويُحرِّر لدى احتراقه كمية كبيرة من الطاقة وفق التفاعل التالي:

$$2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l) + 572\ kJ\ (286\ kJ/mol)$$

وإذا كان تركيزه بين 4 و74% في الهواء وبين 5 و95% في الكلور، يشكل الهدروجين الغازي خليطاً شديد الانفجار. ينفجر الخليط بشكل تلقائي إذا ما تعرض للشرر أو للحرارة أو لضوء الشمس. وتكون شعلة الخليط النقي من الهدروجين والأكسجين غير مرئية تقريباً للعين المجردة وتتكون من ضوء فوق بنفسجي.

يتفاعل H_2 مع أي عنصر مؤكسِد، ويتفاعل تلقائياً بشكل عنيف في درجة الحرارة العادية مع الكلور والفلور ليشكل الهاليدَين المقابلَين، كلوريد الهدروجين وفلوريد الهدروجين، اللذين هما حمضان خطيران جداً.

السويات الطاقية الإلكترونية

إن قيمة السوية الطاقية للحالة الأساسية لإلكترون ذرّة الهدروجين هي (–13.6) إلكترون فولط، وهو ما يكافئ طاقة فوتون فوق بنفسجي ذي طول موجي يساوي 92 نانو متراً تقريباً.

يمكن حساب السويات الطاقية للهدروجين بسهولة باستعمال نموذج بور الذرّي، الذي يُشبّه دوران الإلكترون حول البروتون بدوران الأرض حول الشمس. ومع ذلك، إن القوة الكهرطيسية هي التي تجذب الإلكترونات والبروتونات إلى بعضها البعض، في حين أن الكواكب والأجسام السماوية يجذب بعضها البعض الآخر بوساطة الثقالة. وبسبب تفرد العزم الزاوي المفترض من قبل بور في ميكانيك الكمّ المبكر، يمكن للإلكترون في نموذج بور أن يدور حول البروتون فقط على مسافات محددة مسموحة، أي فقط وفق طاقات مسموحة محددة.

ويأتي التوصيف الأدق لذرّة الهدروجين من معالجة ميكانيكية كمومية صرفة تستعمل فيها معادلة شرودنغر أو التشكيل التكاملي لمسار فاينمان، وذلك من أجل حساب احتمال كثافة وجود الإلكترون حول البروتون.

أشكاله الجزيئية العنصرية

هناك مصاوغان (إيزوميران) سبينيان مختلفان لجزيئات الهدروجين الثنائية الذرّة التي تختلف بالسبين النسبي للنوى. ففي الشكل الهدروجيني أورثو orthohydrogen، يكون سبينا البروتونين متوازيين ويشكلان حالة ثلاثية ذات عدد كمومي سبيني جزيئي قيمته 1 (2/1 + 2/1)، أما في الشكل الهدروجيني بارا parahydrogen، فيكون السبينان متضادي الاتجاه ويشكلان حالة إفرادية ذات عدد كمومي جزيئي قيمته 0 (2/1 – 2/1). وفي الشروط النظامية من الضغط ودرجة الحرارة، يحوي غاز الهدروجين حوالي 25% من الشكل بارا و75% من الشكل أورثو، وتُعرف هذه النسبة على أنها "الشكل الطبيعي" للهدروجين. تتعلق نسبة الباراهدروجين إلى الأورثوهدروجين بدرجة الحرارة، ولكن نظراً لكون الشكل أورثو حالة محرَّضة ولها طاقة أعلى من طاقة الشكل بارا، فإن الشكل أورثو غير مستقر ولا يمكن عزله. وعند درجات الحرارة المنخفضة جداً، تتكون حالة التوازن بشكل شبه تام من الشكل بارا.

يتزايد التحول غير المحفز بين H_2 بارا وأورثو مع تزايد درجة الحرارة، أي أن H_2 المكثف بسرعة يحوي مقادير كبيرة من الشكل أورثو العالي الطاقة الذي يتحول إلى الشكل بارا ببطء شديد. تشكل نسبة بارا إلى أورثو في الهدروجين المكثف عاملاً مهماً عند تحضير الهدروجين السائل وتخزينه، لأن التحول من أورثو إلى بارا ينشر الحرارة ويطلق كمية منها تكفي لتبخير بعض من الهدروجين السائل، مما يؤدي إلى فقدان جزء من المادة المسالة. ولتجنب هذا الفقد، أثناء عملية تسييل الهدروجين، يتم استعمال محفّزات للتحول أورثو–بارا، مثل أكسيد الحديدي والكربون المنشط والأسبستوس المغطى بالبلاتين والعناصر الترابية النادرة ومركبات اليورانيوم وأكسيد الكروم وبعض مركبات النيكل.

أطوار الهدروجين

– الهدروجين المضغوط

– الهدروجين السائل

– الهدروجين الشحمي

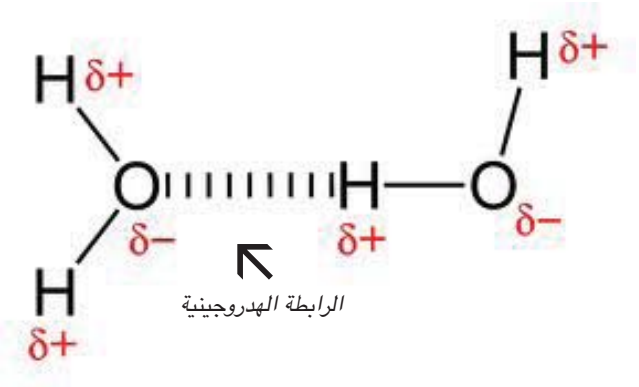
– الهدروجين الصلب

– الهدروجين المعدني

مركباته

مركباته التشاركية والعضوية

على الرغم من أن H_2 غير فعّال تماماً في الشروط النظامية، إلاّ أنه يشكل مركبات مع غالبية العناصر. يمكن للهدروجين تشكيل مركبات مع العناصر العالية الكهرسلبية، مثل الهالوجينات (F، Cl، Br، I)، أو



الرابطة الهدروجينية

الأكسجين. يحمل الهدروجين في هذه المركبات شحنة موجبة جزئية. وعندما يرتبط بالفلور أو بالأكسجين أو بالنتروجين، يمكنه أن يشارك برابطة غير تشاركية ذات قوة متوسطة تسمى الرابطة الهدروجينية، والتي تعدُّ أساسية في استقرارية العديد من الجزيئات الحيوية. كما يشكل الهدروجين مركبات مع عناصر أقل كهرسلبية، مثل المعادن وأشباه المعادن، وفيها يحمل الهدروجين شحنة سلبية جزئية. وغالباً ما تُعرف هذه المركبات بالهدريدات.

يشكل الهدروجين مع الكربون سلاسل عديدة من المركبات تُسمّى المركبات الهدروكربونية، ويشكل أيضاً سلاسل أوسع مع ذرّات غير متجانسة، التي، وبسبب وجودها في الأشياء الحية بشكل عام، تُسمّى المركبات العضوية. تُعرف دراسات خصائص هذه المركبات بالكيمياء العضوية وتعرف دراساتها في بيئة الأعضاء الحية بالكيمياء الحيوية. وفي بعض التعاريف، تتطلب تسمية المركبات بأنها عضويةً ضرورة احتوائها على الكربون. ومع ذلك، تحتوي غالبية المركبات العضوية على عنصر الهدروجين أيضاً، وبسبب أن الرابطة كربون–هدروجين هي التي تعطي هذه المجموعة من المركبات خصائصها الكيميائية النوعية، فإن وجود الروابط كربون–هدروجين مطلوب في بعض تعاريف العالم العضوي في الكيمياء. هناك الملايين من المركبات الهدروكربونية المعروفة، التي تتشكل عبر طرائق صنعية معقدة، ونادراً ما تتضمن هذه الطرائق هدروجيناً عنصرياً.

الهدريدات

غالباً ما يُطلق مصطلح الهدريدات على مركبات الهدروجين، وهو مصطلح يستعمل إلى حدٍّ ما بشكل غير دقيق. إذ يقتضي المصطلح "هدريد" أن تمتع ذرّة الهدروجين بصفة سلبية أو أيونية، يُدلُّ عليها بـ H^-، وذلك عندما يشكل الهدروجين مركباً مع عنصر أكثر كهرجابية. اقتُرِحَ وجود أنيون الهدريد من قبل جيلبرت ن. لويس Gilbert N. Lewis عام 1916 كما في حالة الأملاح الهدريدية للمجموعتين I وII، وجرى البرهان على وجودها من قبل مورس Moers في العام 1920 عند التحلّل الكهربائي لمصهور هدريد الليثيوم (LiH)، الذي يصدر كمية من الهدروجين عند المصعد متناسبة مع الصيغة الكيميائية. هناك استثناء في حالة هدريدات المجموعة II، وهو BiH_2، الذي يتشكل على هيئة بوليمير.

ورغم إمكانية تشكل الهدريدات مع معظم عناصر المجموعات الرئيسية، إلاّ أن عدد المركبات الممكنة وتراكيبها يتنوع بشكل كبير. وعلى سبيل المثال، هناك أكثر من مئة مركب من هدريدات البوران الثنائي، في حين يتشكل هدريد واحد فقط مع الألمنيوم الثنائي.

وفي الكيمياء اللاعضوية، يمكن للهدريدات أن تخدم أيضاً بصفتها ربائط جسرية bridging ligands تربط مركزين معدنيين في معقد تناسقي.

بروتونات وأحماض

تؤدي أكسدة الهدروجين إلى زوال إلكترونه وتشكل H^+، الذي هو عبارة عن نواة لا ترافقها إلكترونات، أي عبارة عن بروتون فقط. ولهذا السبب يطلق عادة على H^+ اسم بروتون. ويشكل هذا النوع الأيوني جزءاً مركزياً في نقاش الأحماض. ففي نظرية برونستد–لوري، تُعرَّف الأحماض بأنها مانحات بروتونات، في حين تُعرَّف الأسس بأنها مستقبلات بروتونات.

لا يمكن لبروتون أعزل، H^+، أن يوجد في محلول أو في بلورة أيونية، وذلك بسبب فعله المستمر لجذب ذرّات أو جزيئات أخرى تحمل إلكترونات.

ولتجنب تضمين البروتونات المنحلة العارية في المحاليل، تُعدُّ المحاليل المائية الحامضية أحياناً بأنها تحوي عدداً أقل من الأنواع الخيالية غير المرغوب بها، المعبر عنها بـ «أيون الهدرونيوم» (H_3O^+). مع ذلك، وحتى في هذه الحالة، يُعتقد بشكل أكثر واقعية فيزيائية أن مثل هذه الكاتيونات الهدروجينية المنحلة مُنظّمة في تجمعات تشكل أنواعاً قريبة من $H_9O_4^+$. هذا، وقد عينت أيونات أخرى عند وجود الماء منحلاً في محاليل أخرى.

نظائره

البروتيوم هو نظير الهدروجين الأكثر شيوعاً، وفيه بروتون وحيد وإلكترون وحيد، وهو الوحيد بين النظائر المستقرة كافة الذي لا يحوي نترونات.

يوجد للهدروجين ثلاثة نظائر طبيعية، يُدلُّ عليها بالرموز ^{1}H و^{2}H و^{3}H (هناك نظائر أخرى غير مستقرة (^{4}H و^{5}H) جرى تصنيعها في المختبر ولم تلاحظ في الطبيعة):

● فالنظير المستقر الأول، ^{1}H، هو نظير الهدروجين الأكثر شيوعاً بوفرة تزيد على 99.98%. وبسبب تكوّن نواة هذا النظير من بروتون وحيد، فهي توصَّف، ولكن بشكل نادر، باستعمال الاسم الرسمي بروتيوم.

● والنظير المستقر الثاني، ^{2}H، يُعرف بـ الدوتريوم ويحوي بروتوناً وحيداً ونتروناً وحيداً في نواته. ويعتقد أن غالبية الدوتريوم في الكون قد نتج في فترة الانفجار العظيم وبقي فيه منذ ذلك الزمن. لا يشكل الدوتريوم عاملاً ساماً خطيراً، ويُطلق اسم الماء الثقيل على جزيئات الماء التي تحتوي على الدوتريوم بدلاً من الهدروجين العادي. تستعمل ذرّات الدوتريوم ومركباته في التجارب الكيميائية بوصفها واسمات غير مشعة. كما يستعمل الماء الثقيل بوصفه مهدئاً للنترونات ومبرداً في المفاعلات النووية، إضافة إلى كونه وقوداً مهمّاً في مفاعلات الاندماج التجارية.

● أما النظير الثالث، فيسمى التريتيوم، ^{3}H، ويحتوي في نواته على بروتون واحد ونترونين. وهو نظير مشع، يضمحل ليعطي الهليوم-3 عبر الاضمحلال بيتا بعمر نصف قدره 12.32 سنة. وهو نشط إشعاعياً لدرجة أنه يستعمل في الدهان المضيء ليجعله مفيداً في رؤية أشياء عديدة، ويقوم الزجاج بمنع انبعاث كمية صغيرة من الإشعاع. تتشكل في الطبيعة كميات بسيطة من التريتيوم بسبب الفعل المتبادل بين الأشعة الكونية والغازات الجوية، كما جرى انبعاث التريتيوم خلال اختبارات الأسلحة النووية. ويستعمل التريتيوم في تفاعلات الاندماج النووي بصفته مقتفٍ في جيوكيمياء النظائر، ومتميز بكونه أداة قادرة على الإضاءة الذاتية. هذا وقد استعمل التريتيوم في تجارب كيميائية وحيوية موسومة بصفته واسماً مشعاً.

الهدروجين هو العنصر الوحيد الذي له أسماء متعددة لنظائره، فقد استعمل الرمزان D وT في بعض الأحيان (بدلاً من ^{2}H و^{3}H) ليعبرا عن الدوتريوم والتريتيوم، في حين أن رمز البروتيوم، P، استعمل مسبقاً للتعبير عن الفسفور وبالتالي فهو لا يعبر عن البروتيوم. وفي دليل مصطلحات الـ IUPAC، يسمح باستعمال D وT بدلاً من ^{2}H و^{3}H على التسلسل، ومع ذلك يفضل استعمال ^{2}H و^{3}H.

تاريخه

اكتشافه واستعماله

في العام 1671 اكتشف روبرت بويل Robert Boyle تفاعلاً فيما بين برادة الحديد والأحماض الممددة ووصّفه، حيث ينتج عنه غاز الهدروجين. وفي العام 1766، كان هنري كافنديش أول من تَعرَّف على غاز الهدروجين بوصفه مادة مستقلة وسمى الغاز الناتج من تفاعل المعدن مع الحمض بـ "الهواء القابل للاشتعال". وقد أشاع بأن الغاز القابل للاشتعال هو بالحقيقة مشابه للمادة الافتراضية المسماة "فلوجستون phlogiston" (المادة الكيميائية الوهمية)، ووجد في العام 1781 أن هذا الغاز يُنتج الماء عند احتراقه، وهو ما سمح باكتشافه كعنصر. في العام 1783 أعطى أنطوان لافوازييه Antoine Lavoisier العنصر اسم الهدروجين (وهو ما يعني باليونانية مُولِّد الماء).

أنتج لافوازييه الهدروجين بكميات كبيرة من خلال تفاعل تيار من بخار الماء مع الحديد المعدني ضمن أنبوب من الحديد المسخن إلى درجة التوهج. ويمكن التعبير عن الأكسدة اللاهوائية للحديد بوساطة بروتونات الماء في درجات حرارة مرتفعة بمجموعة التفاعلات التالية:

$$Fe + H_2O \rightarrow FeO + H_2$$

$$2\ Fe + 3\ H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 3\ H_2$$

$$3\ Fe + 4\ H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4\ H_2$$

وهناك معادن عديدة، مثل الزركونيوم، قادرة هي أيضاً على إحداث تفاعل مماثل مع الماء معطية الهدروجين.

قام جيمس ديوار James Dewar بتسييل الهدروجين لأول مرة عام 1898 باستعمال تبريد متجدد، مما قاده إلى ابتكار دورق التخلية، وفي العام الذي تلاه أنتج الهدروجين الصلب. جرى اكتشاف الدوتريوم في كانون الأول/ديسمبر عام 1931 من قبل هارولد يوري Harold Urey وجرى تحضير التريتوم في العام 1934 من قبل إرنست رذرفورد Ernest Retherford ومارك أوليفنت Mark Oliphant وبول هارتك Paul Harteck. اكتُشف الماء الثقيل، المكون من الدوتريوم بدلاً من الهدروجين العادي، من قبل مجموعة يوري في العام 1932.

جرى تطوير أول بالون معبأ بالهدروجين من قبل جاك شارل Jacques Charles في العام 1783. واستعمل الهدروجين لأول مرة

بصفته وسيلة للنقل عام 1852. بدأ برنامج استعماله بشكل نظامي للنقل عام 1910 وجرى نقل 35000 راكب حتى نهاية الحرب العالمية الأولى في آب/أغسطس 1914 دون أيّ حادث يُذكر، كما استعمل في المركبات الهوائية كمحطات للرصد وفي المتفجرات خلال الحرب.

وفي عام 1919 استعمل في واسطة النقل العابرة للمحيط الأطلسي دون توقف. وتوقف استعماله لهذه الغاية في عشرينيات القرن الماضي، حيث شكل اكتشاف الهليوم وسيلة أكثر أماناً.

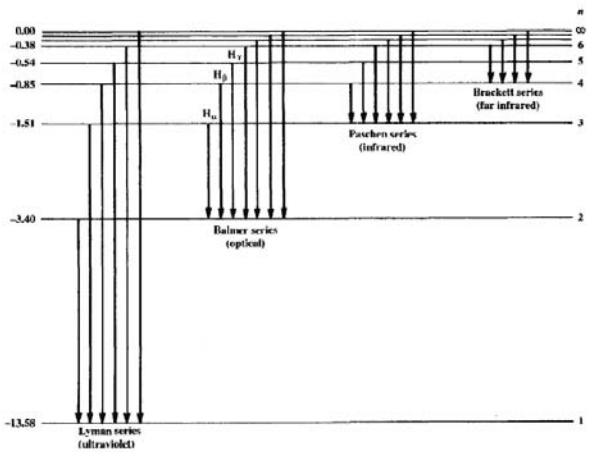
استعملت بطارية هدروجين النيكل لأول مرة في العام 1977 في الساتلات. وفي الجزء المعتم من مدار المقراب هابل Hubble Space Telescope، جرى استعمال بطاريات هدروجين النيكل. وبعد 19 عاماً من الاستعمال جرى استبدالها مؤخراً في العام 2009.

دورُه في نظرية الكم

يظهر الطيف المرئي الصادر عن الهدروجين أربع سلاسل من الخطوط الطيفية.

ونظراً للبساطة النسبية لبنيتها الذرّية، المكونة فقط من بروتون وإلكترون، كانت ذرّة الهدروجين، بالإضافة إلى الطيف الضوئي الصادر عنها أو الذي تمتصه، أساسية في تطوير نظرية البنية الذرّية. علاوة على ذلك، سمحت بنية جزيء الهدروجين ببساطة، وبوساطة كاتيونه H_2^+، بفهم طبيعة الرابطة الكيميائية، وهو ما حصل في عشرينيات القرن الماضي مباشرة بعد المعالجة الميكانيكية الكمومية لذرّة الهدروجين.

والملاحظة التي سجلت حول أولى الآثار الكمومية (غير أنها لم تفهم في حينه) هي ملاحظة ماكسويل فيما يخص الهدروجين، وذلك قبل نصف قرن من نضوج نظرية الميكانيك الكمومي. إذ لاحظ ماكسويل أن سعة الحرارة النوعية لـ H_2 تختلف بشكل غير مفهوم عنها للغاز الثنائي الذرّة في درجة حرارة الغرفة، وبدأت تتشابه معها بشكل متزايد في حالة الغاز الأحادي الذرّة عند درجات حرارة منخفضة جداً. وبحسب النظرية الكمومية، يعود هذا السلوك إلى تباعد المستويات الطاقية الدورانية المكمّمة، التي تكون متباعدة بشكل خاص في حالة H_2 بسبب كتلته الضعيفة. تُلغي المستويات المتباعدة التوزع المنتظم للطاقة الحرارية ضمن الحركة الدورانية في الهدروجين عند درجات حرارة منخفضة. لا تملك الغازات الثنائية الذرّة المكونة من ذرّات أثقل مثل هذه المستويات المتباعدة ولا تُلغي مثل هذا الأثر.



وجوده الطبيعي

يُعدُّ الهدروجين، بصفته الذرّية H، العنصر الكيميائي الأكثر وفرة في الكون، إذ يشكل 75% من كتلة المواد الطبيعية وأكثر من 90% من عدد الذرّات فيها. يوجد هذا العنصر بوفرة كبيرة في النجوم وفي غازات الكواكب العملاقة، إذ يرافق تشكل النجم سحباً من الهدروجين الجزيئي، H_2. يلعب الهدروجين دوراً أساسياً في تأمين طاقة النجوم من خلال تفاعل بروتون–بروتون ومن خلال دورة الاندماج النووي لـ CNO.

وفي الشروط الطبيعية على الأرض، يوجد الهدروجين العنصري الثنائي الذرّة، H_2. ورغم ذلك، فإن وجوده نادر في جو الأرض (جزء من مليون جزء حجمي) بسبب خفة وزنه، مما يسمح له بالانفلات من الجاذبية الأرضية بسهولة أكبر مما يُسمح للغازات الأثقل منه. ومع ذلك، فترتيبه الثالث من حيث وفرته على سطح الأرض، ويكون معظم وجوده على هيئة مركبات كيميائية مثل المركبات الهدروكربونية والماء. يُنتج الهدروجين الغازي بوساطة بعض البكتيريا والطحالب وهو مكوِّن طبيعي في الغازات، مثل الميتان الذي يشكل مصدراً للهدروجين متزايد الأهمية.

هناك شكل جزيئي يسمى الهدروجين الجزيئي المُبرتَن (H_3^+) موجود في الوسط البينجمي، حيث يتولّد من تأين جزيء الهدروجين بفعل الأشعة الكونية. يكون هذا الأيون ثابتاً نسبياً في جو الفضاء العلوي بسبب انخفاض كل من درجة الحرارة والكثافة. يُعدُّ الأيون H_3^+ واحداً من أكثر الأيونات وفرة في الكون، ويلعب دوراً ملحوظاً في كيمياء الوسط البينجمي.

إنتاجه

يحضر الهدروجين H_2 في المختبرات الكيميائية والحيوية، ويكون غالباً على هيئة منتج ثانوي لتفاعلات أخرى. يحضر في الصناعة من أجل هدرجة المركبات غير المشبعة.

في المختبر

يحضر H_2 عادة في المختبر من خلال تفاعل المعادن مع الأحماض، كما في التفاعل التالي:

$$Zn + 2\,H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2$$

ويمكن للألمنيوم إنتاج H_2 عبر معالجته بالأسس:

$$2\,Al + 6\,H_2O \rightarrow 2\,Al(OH)_3 + 3\,H_2$$

يُعدُّ التحلّل الكهربائي للماء طريقة سهلة لإنتاج الهدروجين، ويتم ذلك بتمرير تيار من كمون منخفض عبر الماء، فيتجمع الأكسجين الغازي حول المصعد في حين يتجمع الهدروجين الغازي حول المهبط. وغالباً ما يصنّع المهبط من البلاتين أو من معادن خاملة أخرى عند إنتاج الهدروجين للتخزين:

$$2\,H_2O(l) \rightarrow 2\,H_2(g) + O_2(g)$$

في الصناعة

يمكن تحضير الهدروجين بطرائق عديدة، لكن أكثرها منفعة اقتصادية يتمثل في نزع الهدروجين من المركبات الهدروكربونية، ويتم ذلك تجارياً عبر تحطيم بخار الغاز الطبيعي. وعند درجات الحرارة المرتفعة (من 700 وحتى 1100 مئوية)، يتفاعل بخار الماء مع الميتان مؤدياً إلى تشكل أول أكسيد الكربون وH_2.

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3\,H_2$$

يسمى الغاز الناتج "الغاز الصناعي" لأنه يستعمل مباشرة لإنتاج الميتانول والمركبات المرتبطة به. يمكن استعمال مركبات هدروكربونية أخرى غير الميتان لتحضير الغاز الصناعي مع تغير في نسب التركيب.

إنتاجه بالكيمياء الحرارية

هناك أكثر من 200 سلسلة كيميائية حرارية يمكن استعمالها لتفريق مكوني الماء، وحوالي 12 من هذه السلاسل، مثل سلسلة أكسيد الحديد وسلسلة أكسيد السيريوم الرباعي وأكسيد السيريوم الثلاثي وسلسلة أكسيد الزنك وسلسلة يوديد الكبريت وسلسلة كلوريد النحاس وسلسلة الكبريت الهجين، تخضع للبحث وفي طور الاختبار لإنتاج الهدروجين والأكسجين باستعمال الماء والحرارة دون استعمال الكهرباء. وهناك محاولات لإنتاج الهدروجين بوساطة الطاقة الشمسية والماء.

التآكل اللاهوائي

تحت ظروف لاهوائية، يساعد وجود الهدروجين الجزيئي (H_2) في تبطيء تأكسد الحديد وخلائط الفولاذ ببروتونات الماء. يقود التآكل اللاهوائي للحديد بداية إلى تشكل هدروكسيد الحديدي (صدأ أخضر) ويمكن توصيفه بالتفاعل التالي:

$$Fe + 2\,H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2$$

بدوره، وتحت ظروف لاهوائية، يمكن لهدروكسيد الحديدي أن يتأكسد بوساطة بروتونات الماء ليشكل أكسيد الحديد الأسود وهدروجين جزيئي:

$$3\,Fe(OH)_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 2\,H_2O + H_2$$

تحدث هذه العملية خلال التآكل اللاهوائي للحديد والفولاذ في المياه الجوفية الخالية من الأكسجين.

تطبيقاته

استهلاكه في العمليات الصناعية

تحتاج صناعة النفط والصناعة الكيميائية إلى كميات كبيرة من H_2. يجري استعمال الكمية الأكبر من الهدروجين في معالجة الوقود الأحفوري، وفي إنتاج الأمونيا. تصرف الكميات الأساسية من الهدروجين في محطة كيمياء النفط من أجل هدرجة المركبات غير المشبعة وهدرجة المركبات الكبريتية للتخلص منها وهدرجة النفط عند تحطيمه. وهناك استعمالات مهمة أخرى عديدة، فهو يستعمل بصفته عامل هدرجة، خاصة لرفع مستوى الشحوم والزيوت المشبعة من غير المشبعة، وكذلك في إنتاج الميتانول. ويستعمل أيضاً بصفته عاملاً مرجعاً للفلزات المعدنية.

ينحل الهدروجين بسهولة كبيرة في المعادن الترابية النادرة وفي المعادن الانتقالية، وينحل أيضاً في كل من المعادن النانوبلورية والمعادن غير المتبلورة. تتأثر انحلالية الهدروجين في المعادن بالتشوهات الموضعية للشبكة البلورية أو بتلوثها.

وبغض النظر عن استعماله بصفته مادة فاعلة، فللهدروجين تطبيقات واسعة في الفيزياء والهندسة. فهو يستعمل بصفته غاز تدريع أثناء عمليات اللحام، مثل اللحام الهدروجيني الذرّي. يستعمل H_2 بصفة دوّار التبريد في المولّدات الكهربائية في محطات إنتاج الطاقة الكهربائية، وذلك بسبب تميزه بأعلى ناقلية حرارية بين الغازات الأخرى. يستعمل أيضاً في الأبحاث التي تجرى في درجات الحرارة المنخفضة جداً، بما في ذلك دراسات الناقلية الفائقة.

وفي أحدث تطبيقاته، يستعمل الهدروجين نقياً أو مخلوطاً مع النتروجين بصفة غازٍ مقتفٍ لكشف التسريبات الدقيقة. ويمكن أن نجد له تطبيقات في صناعة السيارات والصناعات الكيميائية وتوليد الطاقة الكهربائية وفي رحلات الفضاء والاتصالات.

يوجد لكل من نظائره النادرة تطبيقات نوعية. فيستعمل الدوتريوم في تطبيقات الانشطار النووي بصفته مهدئاً للنترونات وفي تفاعلات الاندماج النووي أيضاً. يوجد لمركبات الدوتريوم تطبيقات في الكيمياء والبيولوجيا في دراسات تأثير تفاعلات النظائر. يُنتج التريتيوم في المفاعلات النووية، ويستعمل في إنتاج القنابل الهدروجينية، وبصفته واسماً في العلوم الحيوية، ومصدراً للإشعاع في الدهانات المضيئة.

بصفته مُبرِّداً وحاملاً للطاقة

يستعمل الهدروجين عادة في محطات توليد الطاقة الكهربائية، وذلك بسبب سعته الحرارية النوعية الأعلى بين جميع الغازات. لا يُعدُّ الهدروجين ثروة طاقية، باستثناء المفهوم الافتراضي التجاري لمحطات الطاقة الكهربائية العاملة بالاندماج النووي المعتمد على الدوتريوم أو التريتيوم، وهي تقانة بعيدة المنال في الوقت الحاضر. تأتي الطاقة الشمسية من الاندماج النووي للهدروجين، لكن هذه العملية صعبة التحقيق بشكل مُتحكَّم به على الأرض. تتطلّب عمليات توفير مصادر الهدروجين العنصري باستعمال الطاقة الشمسية أو الحيوية أو الكهربائية طاقة تفوق الطاقة الناتجة عن حرقه، وبهذه الحالة يُعدُّ الهدروجين حاملاً للطاقة، مثل البطارية. يمكن الحصول على الهدروجين من مصادر أحفورية (مثل الميتان)، لكن هذه المصادر غير مستدامة.

إن الكثافة الطاقية في واحدة الحجم لكل من الهدروجين السائل وغاز الهدروجين المضغوط، في أي مجال من الضغوط الواقعية، ستكون أصغر بكثير مما هي في واحدة حجم الوقود التقليدي، علماً أن الكثافة الطاقية في واحدة كتلة الوقود التقليدي أعلى. ومع ذلك، جرت مناقشة الهدروجين العنصري بشكل موسع من وجهة نظر طاقية، وذلك لمعرفة إمكانية اعتباره حاملاً مستقبلياً للطاقة على نطاق اقتصادي واسع. وعلى سبيل المثال، يمكن توجيه مسألة عزل CO_2 وأسر الكربون وتخزينه بحيث نعزز من واقع إنتاج H_2 من الوقود الأحفوري. إن استعمال الهدروجين في النقل سيؤدي إلى احتراق نظيف نسبياً، مع انبعاث بعض غازات NO_x، ولكن دون إصدار الكربون.

في صناعة أنصاف النواقل

يستعمل الهدروجين لإشباع الروابط المحيطية التابعة للسليكون البلوري والكربون المتبلور مما يساعد في استقرار مواصفات هذه المواد. كما أنه مانح إلكتروني جيد عند وجوده مع مواد أكسيدية متنوعة، بما في ذلك ZnO وSnO_2 وCdO وMgO وZrO_2 وHfO_2 و La_2O_3 وY_2O_3 وTiO_2 و$SrTiO_3$ و$LaAlO_3$ وSiO_2 وAl_2O_3 و$ZrSiO_4$ و $HfSiO_4$ و$SrZrO_3$.

تفاعلاته الحيوية

الهدروجين هو مُنتَجٌ لبعض أنماط الاستقلابات اللاهوائية وينتج بفعل متعضيات مكروية عديدة. ويتم ذلك عادة عن طريق تفاعلات تحفِّزها أنزيمات تحوي الحديد أو النيكل تسمى هدروجينازات hydrogenases. تحفز هذه الأنزيمات تفاعل أكسدة–إرجاع عكوس بين H_2 والزوج البروتوني والزوج الإلكتروني المكونين له. يحصل تشكل الهدروجين الغازي عبر انتقال مكافئات الإرجاع، الناتجة

خلال تخمر البيروفات، إلى الماء.

يحصل تفكك الماء إلى مكوناته من البروتونات والإلكترونات والأكسجين خلال التفاعلات الضوئية في جميع متعضيات الاصطناع الضوئي. طوَّرت بعض هذه المتعضيات، مثل سيانوبكتيريا syanobacteria وChlamydomonas reinhardtii، خطوة ثانية أثناء التفاعلات المعتمة التي يتم فيها إنتاج البروتونات والإلكترونات من أجل تشكيل الغاز H_2 بوساطة هدروجينازات نوعية في اليخضور. نُفِّذت جهود لتعديل هدروجينازات سيانوبكتيرية وراثياً من أجل تصنيع غاز H_2 بشكل فعّال حتى بوجود الأكسجين. كما نُفِّذت جهود أخرى لتعديل وراثي للطحالب في مفاعل حيوي.

وقاية وتحذيرات

يفرض الهدروجين عدداً من المخاطر على الأمان البشري، بدءاً من الانفجارات والحرائق الكبيرة عند اختلاطه مع الهواء وانتهاء بسمّيته عندما يكون نقياً، أي خالياً من الأكسجين. إضافة إلى ذلك، يُستعمل الهدروجين السائل بصفته مادة مُبرِّدة، ويمثل بذلك مخاطر السوائل الشديدة البرودة. ينحل الهدروجين في كثير من المعادن، فبالإضافة إلى إحداث التسريبات، قد يُحدث تأثيرات عكسية على هذه المعادن، مثل الهشاشة، مما يؤدي إلى تشققات وانفجارات. وإن تسرب الهدروجين من وعائه إلى الهواء الخارجي يمكن أن يؤدي إلى اشتعاله. زيادة على ذلك، ونظراً لعدم إمكانية رؤية شعلة الهدروجين، فبإمكانه أن يؤدي إلى حرائق مفاجئة.

وحتى مع شرح معطيات الهدروجين، فإن الشرح لا يخلو من الاختلاطات بسبب مجموعة من الظواهر، إذ إن خصائصه الفيزيائية والكيميائية تتعلق بنسبة الباراهدروجين إلى الأورثوهدروجين. تتعلق محددات انفجار الهدروجين، مثل الضغط الحرج للانفجار ودرجة حرارته الحرجة، بشكل كبير بهندسة الوعاء.

مركبات الهدروجين

H_3AsO_3, H_3AsO_4, HAt, HSO_3F, HBF_4, HBr, HBrO, $HBrO_2$, $HBrO_3$, $HBrO_4$, HCl, HClO, $HClO_2$, $HClO_3$, $HClO_4$, HCN, HCNO, H_2CrO_4/ $H_2Cr_2O_7$, H_2CO_3, H_2CS_3, HF, HFO, HI, HIO, HIO_2, HIO_3, HIO_4, H_2MoO_4, HNC, HNCO, HNO, HNO_3, $H_2N_2O_2$, HNO_5S, H_3NSO_3, H2O, H_2O_2, H_2O_3, H_3PO_2, H_3PO_3, H_3PO_4, $H_4P_2O_7$, $H_5P_3O_{10}$, H_2PtCl_6, H_2S, H_2Se, H_2SeO_3, H_2SeO_4, H_4SiO_4, H2SiF6, H_2SO_3, H_2SO_4, H_2SO_5, $H_2S_2O_3$, $H_2S_2O_6$, $H_2S_2O_7$, $H_2S_2O_8$, CF_3SO_3H, H_2Te, H_2TeO_3, H_6TeO_6, H_4TiO_4, H_2Po, H_3VO_4, $HCo(CO)_4$.

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه

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

ورقات علمية

منهجية مركبة لتقنيتي التوأمية الزلزالية وآلية البؤرة التراكمية لتمييز النطاقات النشطة زلزالياً في سورية

A combined methodology of multiplet and composite focal mechanism techniques for the identification of the seismological active zones in Syria

د. محمد خيرعبد الواحد، جمال أصفهاني
قسم الجيولوجيا
د. إبراهيم الطحان
المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية، دمشق-سورية

ملخص

تحاول هذه المساهمة توسيع المعارف الحالية حول آلية البؤرة والوضع السيسموتكتوني في سورية. فقد تم تمييز النطاقات النشطة زلزالياً بتطبيق منهجية مناسبة للأحداث المسجلة في الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي خلال الفترة 2003–1995. نظراً لكون الأحداث المسجلة في سورية خلال فترة البحث مصنفة على أنها ضعيفة، فكان من الضروري اقتراح منهجية مناسبة لتمييز آلية البؤرة المولدة لهذا النشاط الزلزالي وتطبيقها. تتألف المنهجية المقترحة من تطبيق مزدوج لتقنيتين هما: التوأمية الزلزالية وآلية البؤرة التراكمية. تم تكديس أحداث عدة في آلية بؤرة تراكمية واحدة بواسطة تقانة التوأمية الزلزالية التي تستخدم الترابط الطيفي بوصفه مقياساً لتشابه الأحداث الزلزالية. سمح تطبيق المنهجية المقترحة بالحصول على قاعدة معطيات لحلول المستوي الصدعي التراكمية. وكان لأغلب هذه الحلول آلية الإزاحة الجانبية والتي تتوافق مع وضعية الأحزمة المولدة للزلازل في سورية.

الكلمات المفتاحية: سيسموتكتونية، طريقة التوأمية الزلزالية، حلول مستوي الصدع التراكمية، آلية البؤرة التراكمية، نظام صدع البحر الميت، سورية.

Key words: Seismotectonics, Multiplet method, Composite fault-plane solutions, Composite focal mechanism, Dead Sea Fault System, Syria.

● نُشرت هذه الورقة في مجلة *Acta Geophysica, 2011*.

قياس خلاصة الزيت العطري لأوراق نبات الآس البري السوري ومضادات الأكسدة لمكوناتها باستخدام تقنية التألق الكيميائي الضوئي

Measurements of essential oil extract and antioxidant in Syrian Myrtus communis L. leaves using photochemiluminescence assay

غدير زيزفون، عدنان عودة، يحيى محظية، عبد الوهاب علاف
قسم الكيمياء

ملخص

لقد أنجزت قياسات خلاصات الزيت العطري ومضادات الأكسدة لأوراق نبات الآس السوري البري على أساس وجودها كأنواع مركبات محبة للماء وكارهة له. واختبرت أوراق النبات التي تعد مصدراً لمضادات الأكسدة بدراسة تأثير محاليلها المائية وخلاصات زيوتها العطرية على مردود محلول التألق الكيميائي الضوئي، وذلك بتطبيق طريقة حساسة جداً وموثوقة. لقد استطعنا بواسطة تقنية التألق الكيميائي الضوئي تحديد القدرة الكلية لمضادات الأكسدة للأنواع المحبة للماء والكارهة له الموجودة في أوراق الآس البري السوري. ووجد بأن القيمة العظمى المقيسة للقدرة الكلية لمضادات الأكسدة في أوراق الآس البري السوري موجودة في موقع القرداحة وتصل إلى 465.67 DM 1.18 nmol±TE/g وتعبر عن مكافئ ترولكس بالنانومول لكل غرام من الأوراق الجافة كما وجد بأن المكونات الكيميائية الأساسية الثلاثة الموجودة في خلاصات الزيت العطري هي: ألفا بينين، سينيول، ليمونين.

الكلمات المفتاحية: قدرة مضادات الأكسدة a، حمض الأسكوربيك، الآس البري، التألق الكيميائي الضوئي PCL.

Key words: ntioxidant capacity, ascorbic acid, Myrtus communis L. photochemiluminescence, PCL.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: *Herba Polonica 2012*.

دراسة المسحوق للمركب الراسيمي (3RS،2RS)-5-أمينو-3-[4-(3-ميثوكسي فينيل) بيبيرازين-1-إيل]- 1، 2، 3، 4-رباعي هيدرونفتالين-2-أول

Powder X-ray study of racemic (2RS,3RS)-5-amino-3-[4-(3-methoxyphenyl)piperazin-1-yl]-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen-2-ol

د. ثائر أسعد، د. موفق رقية
قسم الكيمياء

ملخص

عُينت بواسطة انعراج أشعة–X عن المسحوق بنية المركب المذكور في العنوان المماثل للبنزوفيزاميكول، $C_{21}H_{27}N_3O_2$، والذي يُعد من المواد المهمة من أجل الكشف عن مرض ألزهيمر. صُنع ووُصف هذا المركب بدايةً باستخدام الطرائق المطيافية (مطيافية الأشعة تحت الحمراء FT–IR والطنين النووي المغنطيسي المتعددة النوى ^{13}C و ^{1}H NMR). المركب عبارة عن مزيج راسيمي من متخايلين والذي يتبلور في النظام الأحادي الميل بزمرة فضائية ذات مركز تناظر ($P2_1/c$). كان علم البلورات وبالأخص انعراج أشعة–X عن المسحوق ذا دور محوري في كشف أن فصل المتخايل لم ينجح. تملك حلقة البيبيرازين شكل الكرسي، بينما يبدو شكل حلقة السيكلوهيكسين كنصف كرسي. يكون التراص البلوري بواسطة تماسات روابط هيدروجينية O—H...N بين الجزيئات والتي تربط الجزيئات على طول المحور c.

الكلمات المفتاحية: بنزوفيزاميكول، مرض ألزهيمر، مطيافية الطنين النووي المغناطيسي المتعددة النوى NMR، مطيافية الأشعة تحت الحمراء، البنية البلورية، انعراج المسحوق، البيبيرازين، السيكلوهيكسين، روابط هيدروجينية، ممكبات مرآتية.

Key words: Benzovesamicol, Alzheimer's disease, 1H and 13C NMR)) FT–IR, crystal structure, powder diffraction, piperazine, cyclohexene, hydrogen bonds, enantio–resolution.

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Acta Crystallographica Section C (2011)*.

دراسة فخاريات أثرية سورية بجمع تطبيق التألق الحراري للتأريخ، والتحليل بالتفلور بالأشعة السينية والتحليل الإحصائي المتعدد المتغيرات

Study of Syrian archaeological pottery by the combined application of thermoluminescence (TL) dating, X-ray fluorescence analysis and statistical multivariate analysis

الياس حنا بكرجي
قسم الكيمياء

ملخص

استعملت طريقة التفلور بالأشعة السينية وتقنية التأريخ بالتألق الحراري (TL) لدراسة عينات كسر فخارية أثرية، من موقع جديدة يابوس، تعود العينات بوضوح للحقبة الرومانية ما بين القرن الأول قبل الميلاد والقرن الرابع بعد الميلاد. يقع الموقع في الشمال الغربي من مدينة دمشق في سورية. اختيرت أربع عينات بشكلٍ عشوائي من بين 46 عينة لتأريخها باستخدام تقنية التألق الحراري، وكانت النتائج متوافقة مع العمر المحدد من قبل الأثريين. شععت العينات مرتين لمدة زمن حي 1000 ثانية، أولاً باستخدام موليبدنيوم أنبوبة أشعة إكس وثانياً باستخدام منبع الكادميوم–109 المشع. جرى تحديد خمسة عشر عنصراً (K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, and Pb). عولجت التراكيز العنصرية باستعمال طريقتي تحليل إحصائي متعدد المتغيرات. كانت الغاية من الدراسة توصيف العجينة الفخارية من موقع جديدة يابوس الأثري بواسطة محتواها العنصري، وتزويد قاعدة المعطيات السورية ببيانات جديدة للدراسات المستقبلية. بينت النتائج، من وجهة نظر أثرية، بأن غالبية الفخاريات مصنعة محلياً.

الكلمات المفتاحية: فخار، علم الآثار، تحليل متعدد المتغيرات.

Key words: TL, X–ray, Pottery, Archaeology, multivariate analysi.

• نشرت هذه المقالة (on line) في مجلة: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*.

استمثال مردود إصدارات الهليوم وليمان في البلازما المحرقية المنخفضة الطاقة العاملة مع الأرغون

Yield Optimization of Helium and Lyman Emissions in Low Energy Plasma Focus Operated with Argon

د. محمد عاقل
قسم الفيزياء

ملخص

أنجزت التجارب العددية على جهاز البلازما المحرقية المنخفض الطاقة UNU/ICTP PFF المملوء بغاز الأرغون. في هذه التجارب، استعملت نافذة درجة الحرارة 5 keV – 1.4 على أنه مجال درجة حرارة مناسب من أجل الأشعة السينية اللينة للأرغون. طبق نموذج لي لتوصيف البلازما المحرقية UNU/ICTP PFF. فوجد أن مردود الأشعة السينية اللينة Ysxr المثالي يساوي 0.039 J، مع الكفاءة الموافقة 0.0014%، عند الضغط 0.673 Torr، وكانت السرعة المحورية النهائية Va = 8.6 cm/μs. وجدت التركيبة المثلى للأشعة السينية اللينة للأرغون عند الضغط po = 1.31 Torr وطول المصعد zo = 12 cm، ونصف قطر المصعد ao = 0.7 cm مع نصف قطر خارجي b = 2.37 cm. وجد أن مردود الأشعة السينية اللينة Ysxr الأمثل يساوي 0.045 J، مع الكفاءة الموافقة 0.0016%، ووجدت السرعة المحورية النهائية مساوية Va = 8 cm/μs. وهكذا نتوقع ازدياد مردود الأشعة السينية اللينة للأرغون من جهاز البلازما المحرقية UNU/ICTP PFF من دون تغيير بنك المكثفات، وبمجرد تغيير الأبعاد الهندسية للإلكترودات وتغيير ضغط عمل الغاز. استخدم أيضاً كود نموذج لي لإجراء تجارب عددية على الجهاز UNU/ICTP PFF مع غاز الأرغون من أجل استمثال مردود الأشعة السينية اللينة مع إنقاص قيمة التحريضية Lo وتغيير قيمة كل من zo و a. نتوقع من هذه التجارب العددية أن يتزايد مردود الأشعة السينية اللينة للأرغون من الجهاز UNU/ICTP PFF مع إنقاص قيمة التحريضية Lo، من قيمته الحالية 0.039 J عند تحريضية Lo = 110 nH إلى قيمةٍ عظمى قريبة من 0.266 J، مع الكفاءة القريبة من 0.01%، عند قيمة التحريضية الممكن بلوغها Lo = 10 nH.

الكلمات المفتاحية: جهاز البلازما المحرقية المنخفض الطاقة UNU/ICTP PFF، الأشعة السينية اللينة، غاز الأرغون، نموذج لي.

Key words: Low Energy Plasma Focus device UNU/ICTP PFF, Soft X–Ray, Argon gas, RADPF5.15K.

• نُشرت هذه الورقة في مجلة: Journal of Fusion.

دراسة تحرر الكلوروأمفينيكول عبر هلامات من البولي فينيل الكحول والأكريل أميد باستخدام تقنية التحليل بالأشعة السينية المتحرضة عن جسيمات مسرعة (PIXE)

PIXE investigation of in-vitro release of chloramphenicol across polyvinyl alcohol/ acrylamide hydrogel

د. محمد صلاح ريحاوي، ك. علي الزير، د. عبد الوهاب علاف
قسم الكيمياء

ملخص

حُضِّرت هلامات مائية من بولي فينيل الكحول (PVA) مع تراكيز مختلفة من الأكريل أميد (AAm) بتفاعل تصالب حراري في الحالة الصلبة. دُرست الهلامات المائية لـ PVA/AAm لاستثمارها في تطبيقات الأنظمة المحرِّرة للأدوية. اعتُمد الكلوروأمفينيكول كدواء نموذجي لدراسة تحرّره عبر الهلامات المائية المحضَّرة. استُخدمت تقنية الأشعة السينية المتحرِّضة بالجسيمات المشحونة (PIXE) لدراسة سلوك تحرير الدواء عبر الهلامات المائية. أجريت دراسة مقارنة بين تقنيتي الـ PIXE والأشعة فوق البنفسجية. أجريت قياسات باستخدام تقنية الأشعة ما تحت الحمراء (FTIR) لتوصيف الناحية الجزيئية. أظهر سلوك التحرُّر للدواء عبر الهلامات المائية تناقصاً تبعه تزايد في معدل التحرير بزيادة تركيز الأكريل أميد. بيَّن التوصيف الجزيئي للهلامات المائية باستخدام تقنية الـ FTIR سلوكاً تنافسياً بين عملية التصالب بين الـ PVA وبين مونومير الأكريل أميد ومتعدد الأكريل أميد، اعتماداً على تركيز الأكريل أميد المضاف لتحضير الهلامات المائية PVA/AAm.

الكلمات المفتاحية: PIXE، مطيافية الأشعة ما فوق البنفسجية، مطيافية الأشعة ما دون الحمراء، الهلام المائي PVA/AAm، الكلوروأمفينيكول.

Key words: PIXE; UV; FTIR; PVA/AAm hydrogel; chloramphenicol.

• نُشرت هذه الورقة في مجلة: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (2011).

تقارير علمية

التوصيف الجزيئي لطرز الوردة الدمشقية (Rosa damascena Mill.) في بعض المناطق السورية وعلاقتها بنوعية الزيت العطري

Genetic characterization of Rosa damascena species growing in different regions of Syria and its relationship to the quality of the essential oils

د. نزار ميرعلي، عماد النابلسي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

د. راما أحمد عزيز
قسم البساتين، / كلية الهندسة الزراعية، جامعة دمشق

ملخص

تعد الوردة الدمشقية Rosa damascena Mill. من النباتات المهمة لاحتواء أزهارها على زيت عطري تعود له الأهمية الطبية والتصنيعية، ونظراً لأهمية هذه الوردة التي سجل اسم دمشق معها حاولت هذه الدراسة إلقاء الضوء على التراكيب الكيميائية والوراثية الجزيئية لأهم الطرز المنتشرة في سورية التي اعتقد أنها تتبع هذا النوع. جمعت لهذا الغرض ودرست سبعة طرز وراثية تتبع النوع الدمشقي، واستخدم طرازان أحدهما يتبع العائلة الوردية نفسها ولكن من جنس آخر (الزعرور)، والآخر يتبع الجنس نفسه ولكن من نوع آخر (الورد السلطاني) كنباتات مرجعية للمقارنة، ولتوضيح علاقات القرابة بين أهم طرز الورد الدمشقية المدروسة.

أظهرت نتائج التحاليل الكيميائية لزيت الطرز المختلفة وجود تشابه كبير بين مكونات الزيت المجموع من المنطقة الجغرافية نفسها حيث كان أقرب الطرز لبعضها 1 و2 (دمشق) وكان الطراز 3 (غوطة دمشق) الأقرب لهما، كما كان الطرازان 7 و8 (حلب) الأقرب لبعضهما. من ناحية أخرى أظهر الطراز 6 (عرنة) أن زيته يمتلك خصائص كيميائية فريدة وكان الأكثر بعداً عن كل طرز النوع الدمشقي الأخرى، وتجدر الإشارة إلى أن زيت النوع سلطاني (طراز 4) كان أقرب لزيوت بقية طرز النوع الدمشقي من زيت الطراز 6.

كما فصلت التحاليل الجزيئية الطرز ذاتها بشكل متشابه باستخدام تقنيتي RAPD وISSR، وعند جمع البيانات في شجرة واحدة فصلت الطرز إلى عنقودين رئيسين جمع الأول الطرز 1 و2 (دمشق) كأقرب الطرز وراثياً ثم جمع معهما الطراز 3 وبعده الطراز 5 وأخيراً انضم لهذا العنقود الطرازان الشاهدان 4 (نوع آخر – سلطاني) ثم 9 (زعرور). على حين وقع الطرازان 7 و8 (حلب) كأقرب طرازين في العنقود الثاني ثم تلاهما الطراز 6 (عرنة).

خلصت الدراسة إلى تثبيت درجة تقارب كبيرة بين نتائج شجرتي القرابة المستندتين إلى كل من التحاليل الكيميائية للزيت والتحاليل الوراثية الجزيئية للدنا، التي أكدت على أهمية العامل البيئي وخاصة معدلات الأمطار في نوعية الزيت. من ناحية أخرى يرجح المؤلفون استناداً إلى هذه النتائج أن الطراز 6 قد لا ينتمي إلى النوع الدمشقي وإنما إلى نوع آخر وهذا يحتاج لتأكيد من خلال دراسات أخرى باستخدام تقنيات دنا السيتوبلاسمي التي تستهدف الكشف بين الاختلافات على مستوى الأنواع.

الكلمات المفتاحية: الوردة الدمشقية، الزيت العطري.

Key words: Rosa damascene, essential oil, ISSRs, RAPDs.

أتمتة جهاز البلازما الحرقي عبر نظام GPIB

Automation of Plasma Focus Instrument through GPIB

محمد شفيق ويس، محمد أبو السل، تمام برازي
قسم الخدمات العلمية

ملخص

تم في هذا العمل أتمتة راسم الإشارة الرقمي Tektronix TDS520 الموصول مع جهاز البلازما المحرقية عبر نظام GPIB وذلك من أجل الحصول على منحنيات الجهد والتيار الناتجة منه وذلك عند التعامل مع غازات مختلفة، وجرى تشغيل الجهاز عدداً كبيراً من المرات للتأكد من التحصيل الدقيق للمنحنيات وسلامة نقلها وتخزينها رقمياً ضمن الحاسب.

تم استخدام لغة البرمجة LabVIEW لكتابة برنامج التحكم المناسب، حيث تم تصميم إصدارين من البرنامج، الأول يعتمد على الإدخال اليدوي لإعدادات راسم الإشارة الرقمي، ونقل المنحنيات رقمياً إلى الحاسب بعد ظهورها على شاشة الراسم. ويستخدم هذا الإصدار عند التعامل مع إشارات لا دورية عالية التردد كتلك الناتجة من جهاز البلازما المحرقية.

أما الإصدار الثاني فيُعَدّ إصداراً شاملاً General Purpose

يعتمد على إدخال إعدادات راسم الإشارة آلياً والتحصيل الآني لإشارتي قناتي الراسم ويستخدم هذا الإصدار لإظهار أي نوع من الإشارات وتخزينها.

الكلمات المفتاحية: ، البلازما المحرقية، نظام، راسم الإشارة الرقمي.

Key words: LabVIEW, GPIB, TKTDS520.

المقاومة الجهازية المحفزة عند الشعير بواسطة سلالة البكتيريا غير المرضة Pseudomonas putida BTP1 ضد الفطر Cochliobolus sativus

Induced systemic resistance in barley by the non-pathogenic strain of bacteria Pseudomonas putida BTP1 against Cochliobolus sativus

د. أكرم آدم، انتصار قره جولي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

أظهرت دراسات سابقة مقدرة سلالة Pseudomonas putida BTP1 على تعزيز المقاومة الجهازية المحفزة (Induced Systemic Resistance: ISR) عند العديد من عوائل نباتية ثنائية الفلقة. ولكن مع أن الأمثلة العديدة لهذه المقاومة المحفزة بواسطة بعض أنواع الريزوبكتيريا PGPR عند النباتات، إلا أن عدداً قليلاً من الدراسات اهتمت بالنباتات أحادية الفلقة وخاصة الشعير.

في هذا البحث، أجرينا تجارب مخبرية لدراسة التأثير الوقائي لبكتيريا P. putida BTP1 على نباتات الشعير Hordeum volgare L. (صنف عربي أبيض) ضد فطر Cochliobolus sativus. أظهرت نتائجنا قدرة هذه البكتيريا على حماية نباتات الشعير وخفض معنوي واضح في نسبة إصابة أوراق الشعير بالفطر. وقد ترافق ذلك مع زيادة معنوية ملحوظة في معدل نمو النباتات (طول النبات، عدد الأوراق، المساحة الورقية، الوزن الجاف والرطب، نسبة الكلوروفيل).

تؤكد هذه الدراسة قدرة بكتيريا P. putida BTP1 على تحفيز المقاومة الجهازية (ISR) عند نباتات الشعير ضد فطر C. sativus-. ولما كانت هذه المقاومة تدوم طويلاً ولا تقود إلى تطوير مقاومة عند المرض المستهدف، فقد يستفاد من هذه الظاهرة ضمن استراتيجيات المكافحة الحيوية للأمراض.

الكلمات المفتاحية: الشعير، المقاومة الجهازية المحفزة.

Key words: putida BTP1, Pseudomonas, Cochliobolus sativus.

الأنماط الاهتزازية للسيليكون السامي الأميلاز

Vibrational modes of porous silicon

د. محمد خيرصبرة، د. منذرنداف
قسم الفيزياء

ملخص

وجد، بالاعتماد على الدراسات التجريبية والنظرية، أن التألق الفوتوني عند درجة حرارة الغرفة من السليكون المسامي يعود إلى المعقدات الكيميائية المكونة لسطحه خصوصاً المجموعات SiHx، SiOx، وSiOH. استخدمت حسابات تعتمد على التصورات الأولية للبنية الإلكترونية الجزيئية والذرية لمركبات السيلوكسين لمحاكاة أطياف الأشعة تحت الحمراء (IR) للسليكون المسامي. قورنت هذه الحسابات مع أطياف الأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه FTIR التجريبية للسليكون المسامي. بعكس السيلوكسين الخطي، وجد بأن الجزيء المقترح في هذه الدراسة والمكّون من حلقات سيلوكسينية ذات نهايات سيلوكسينية خطية تحاكي النتائج أطياف IR التجريبية بشكل جيد. ولذلك دُعّمت هذه النتائج بقياسات مطيافية الأشعة السينية المتشتتة طاقياً (EDX)، التي بيّنت أن الازدياد في محتوى SiOx في السليكون المسامي نتيجةً لعملية الأكسدة السريعة يترافق مع تناقص معتبر في شدة قمة PL وانزياح موقع القمة نحو الأزرق.

الكلمات المفتاحية: سليكون مسامي، تألق فوتوني، أشعة تحت الحمراء، مطيافية الأشعة السينية المتشتتة طاقياً.

Key words: Porous silicon, Photoluminescence, Infrared, energy dispersive x-ray spectroscopy.

دراسة تأثير حركية الماء في بعض الأوساط المسامية على انتقال العناصر المشعة إلى الوسط المحيط

Impact of water mobility in some Porous media on migration of radio isotopes to the geosphere

د. اسكندر الحجي
قسم الوقاية والأمان

ملخص

يهتم هذا العمل بدراسة حركية وسلوك الماء المرتبط والحر لبعض المواد المستخدمة في تخزين النفايات المشعة كالصلصال

والبنتونايت (Illite, Bentonite) بالاعتماد على تقنية الرنين النووي المغنطيسي التي تساهم بفهم آلية تسرب العناصر المشعة من هذه المواد إلى الوسط المحيط التي قد تؤدي إلى تلوّث المياه الجوفية.

بالإضافة إلى المواد الآنفة الذكر تمت دراسة مواد مسامية موصفة كالسيليكا والألومينا، (المركبين الأساسين المكونان للبنتونايت).

الكلمات المفتاحية: الرنين النووي المغنطيسي NMR، زمن الاسترخاء، حركية الماء، المركبات المسامية.

Key words: (NMR) Time domain, Relaxation times, Water mobility, Porous media.

المعالجة الإشعاعية للمياه الناتجة من عصر الزيتون (الجفت) للتخلص من الملوثات العضوية

Radiation processing of the olive-press waste waters for detoxifying the water from organic pollutants

د. صلاح الدين تكريتي، عبير القائد، سحاب إبراهيم
قسم الهندسة النووية وقسم تكنولوجيا الإشعاع وقسم الوقاية والأمان

ملخص

جرت دراسة أثر التشعيع بأشعة غاما في تحطيم المركبات البولي فينولية الموجودة في المياه المرافقة لعصر الزيتون. حيث تمت دراسة أثر التشعيع على عاملي COD وBOD، كما استخدمت مطيافيات HPLC وGC–mass وUV–Vis بوصفها مؤشراً على التغيرات التي طرأت على العينات قبل وبعده التشعيع.

وقد أوضحت النتائج أن التشعيع بأشعة غاما أدى إلى تغيرات ملحوظة في عاملي BOD, COD. كما بينت طيوف GC–mass المسجلة للعينات المشعة أن المركبات الفينولية تبقى ثابتة تجاه الجرعات الصغيرة من أشعة غاما، بينما يحدث تفكك لمركبات البولي فينولية مع الجرعات العالية.

وقد أشارت نتائج HPLC للعينات المشعة إلى وجود مركبات عضوية حمضية وغولية أحادية متشكلة من أثر التشعيع.

الكلمات المفتاحية: تلوث المياه، عصر الزيتون، الفينولات، التحطيم الإشعاعي.

Key words: water pollution, olive press, poly-phenoles, radiation degradation.

الحلول الرياضية لمعادلات المعدّل لليزر نيوديميوم المضخوخ بديود ليزري والمزود بمفتاح جودة منفعل وقافل للأنماط بوساطة الماص المستقطب القابل للإشباع CR^{4+}: YAG

Mathematical solutions of rate equations of a laser-diode end-pumped passively Q-switched and mode locked Nd-laser with Cr4+:YAG polarized saturable absorber

د. بشار عبد الغني، مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية

ملخص

درست آنياً مضاعفة التواتر بداخل تجويف مزود بمفتاح جودة آني منفعل مع قفل للأنماط لليزر Nd^{3+} مضخوخ بديود ليزري باستخدام البلورة المتناحية المستقطبة Cr^{4+}:YAG كماص قابل للإشباع. جرى إعادة تشكيل صيغة تكرار عامة من أجل نبضات مقفلة الأنماط ضمن غلاف مفتاح الجودة عند طول الموجة الأساسية بهدف تحليل السلوك الزمني لغلاف مفتاح الجودة الوحيد مع قطار نبضات مقفلة الأنماط. جرى اشتقاق صيغة التكرار المذكورة بأخذ تأثير مضاعف التواتر بداخل التجويف والماص المستقطب القابل للإشباع Cr^{4+}:YAG بعين الاعتبار.

يصف النموذج الرياضي المطور في هذا العمل عدم التناحي المحرض ذاتياً في البلورة Cr^{4+}:YAG المستقطبة في المرحلة اللاخطية لتشكل النبضة العملاقة، حيث اعتبرت أمواج الاستقطاب المتولدة في الوسط الفعال اللامتناحي Nd^{3+}:YVO_4 ثابتة خلال دورة اللّيزرة. نوقش أيضاً تأثير زاوية تدوير البلورة المستقطبة Cr^{4+}:YAG على السلوك الزمني لمفتاح الجودة الآني للنبضة الليزرية لمغلق النمط. كما جرى تحديد القيمتين العظمى لنفوذية الماص الابتدائية والدنيا لانعكاسية مرآة الخرج باستخدام معيار العتبة الثانية.

توضح النتائج العددية المحسوبة أثر تغيير وسائط الدخل (زاوية التدوير والنفوذية الابتدائية للماص وانعكاسية مرآة الخرج) على مميزات نبضة الخرج الليزري (استطاعة قمة التوافقية الثانية وعرض النبضة وفترة النبضة وانزياح موقع النمط المركزي).

كانت النتائج المحسوبة عددياً في هذا العمل متوافقة

كماً وكيفاً مع المعطيات التجريبية المتاحة المدونة في المراجع العالمية.

الكلمات المفتاحية: ليزر Nd^{3+} - laser Nd^{3+}، الضخ بديود ليزري، مضاعفة التواتر، مفتاح الجودة، قفل الأنماط، البلورة المستقطبة YAG: Cr^{4+} .

Key words: diode pumped, frequency–doubling, simultaneous Q-switching, mode-locking, polarized crystal.

معادلة حالة المادة النووية وعدم انضغاطيتها في نظرية الحقل الهادروني النسبوي والمتعلق بالكثافة

Nuclear matter equation of state and incompressibility in the relativistic density dependent Hadron field theory

د. سامي حداد
قسم الفيزياء

ملخص

تحدد معادلة حالة المادة النووية وعدم انضغاطيتها باستخدام نظرية الحقل الهادروني النسبوي المتعلق بالكثافة. تدرس المادة النووية في الحالة الدنيا المتناظرة، وعند شروط انهيار المستعر الفائق، وتحدد كثافة الضغط على أنها تابع للكثافة عند شروط انهيار المستعر الفائق. تقع قيمة عدم انضغاطية المادة النووية في الحالة الدنيا ضمن المجال الذي تحدده قياسات التجاوب العملاق الأحادي القطب السلمي الأيزو والحسابات النسبوية. ويؤدي تعلق وسائط الاقتران بالكثافة إلى نتائج أقرب إلى الحسابات المستخدمة في دراسة المستعرات الفائقة من نتائج حسابات نماذج نسبوية أخرى.

الكلمات المفتاحية: معادلة حالة المادة النووية، عدم انضغاطية المادة النووية، نظرية الحقل الهادروني النسبوي والمتعلق بالكثافة، نظرية بركنر–هارتري–فوك النسبوية، انهيار المستعر الفائق.

Key words: Nuclear matter equation of state, Nuclear matter incompressibility, Relativistic density dependent Hadron field theory, Relativistic Brueckner-Hartree-Fock theory, Supernova collapse.

دراسة خواص التحسس للغازات والرطوبة للأفلام الرقيقة السليكونية الكربونتريدية المهدرجة من بلازما (N2) HMDSN (C6H19Si2N) + المتولدة في منظومة بلازما المهبط الجوف الراديوية

Studying of moisture and gas sensing properties of hydrogenated silicon carbon-nitride thin films from (N2+HMDSN (C6H19Si2N)) plasma generated in RF hollow cathode plasma system

د.صقر سلوم
قسم الفيزياء

ملخص

تم في هذه الدراسة إنتاج أفلام رقيقة سليكونية عضوية (كربونتريدية مهدرجة) باستخدام منظومة رُسابة البخار الكيميائي للبلازما الراديوية RF البعيدة وذلك انطلاقاً من سداسي مثيل السيلازان (Hexamethyldisilazane :HMDSN) كمولد طليعي تحت شروط بلازما مختلفة، من الغاز المغذي واستطاعة RF المطبقة. تم تغيير الغاز المغذي من الأرغون إلى النتروجين، وتم تغيير الاستطاعة المطبقة بين 100 واط و300 واط في بلازما N2/ HMDSN. دُرست ثخانة الأفلام ومعدل الترسيب وخواصها البنيوية وخواص الامتصاص للرطوبة والغازات (NH3, CO2, O2) والخواص الضوئية والكهربائية. تم توثيق تأثير شروط البلازما المختلفة على خواص طور البلازما وعلى خواص الأفلام المرسبة، بالإضافة إلى الترابط بينها.

الكلمات المفتاحية: HMDSN، البلازما البعيدة، أفلام رقيقة، خواص التحسس.

Key words: HMDSN, Remote Plasma, Thin films, Sensing properties.

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. F. Kurdali

Prof. Dr. M. Hamo-Leila

Prof. Dr. A. Hainoun

Prof. Dr. T. Yassin

Prof. Dr. N. Mirali

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. Z. Kattan

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