NO. 131

عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

مجلة عالم الذرّة

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

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

المدير المسؤول

أ.د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

(رئاسة هيئة التحرير)

أ.د. عادل حرفوش

أ.د. محمد قعقع

(الأعضاء)

أ.د. أحمد حاج سعيد

أ.د. مصطفى حمو ليلا

أ.د. نجم الدين شرابي

أ.د. فوزي عوض

أ.د. فواز كرد علي

أ.د. توفيق ياسين

الإخراج الفني

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

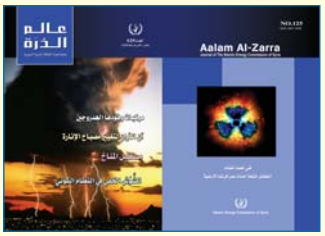
ريما سنديان

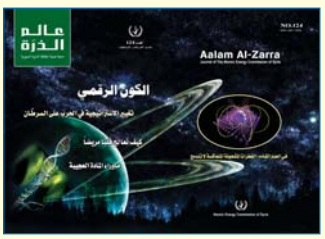
التنضيد

هنادي كنفاني

التوزيع

عتيبة المنعم

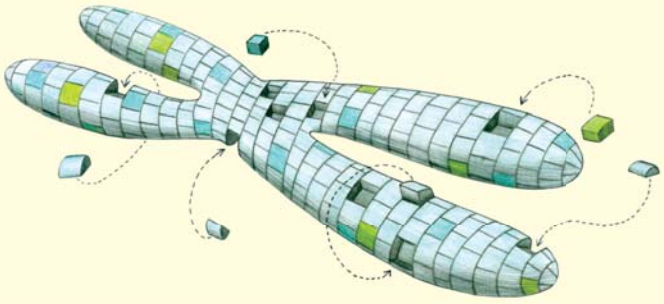




المحتويات

مقالات

5 واضعو اللمسات الأخيرة على الجينوم البشري

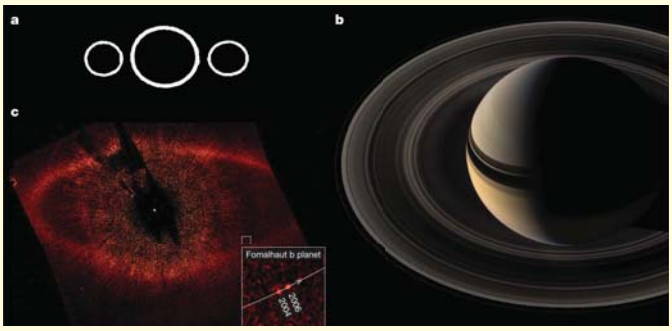


يعمل باحثون مرموقون بشكل جاد لإغلاق ثغرات في الجينوم، وتحديد الأخطاء، ويتمّمون في النهاية سلسلة الجينوم البشري. ينظر إيلي دولغن إلى مدى اقترابهم من ذلك.

11 الإقلاع عن الإدمان في استهلاك النفط

قد يبدو تشغيل سيارتك بالهدروجين أمراً بعيد المنال. ولكنه في الحقيقة بديل واقعي للبترول والديزل، وهذا سيساعد في الحرب ضد التغيّر المناخي.

16 السنوات الأربعمئة لعلم الكواكب منذ كاليليو وكبلر



أخبار علمية

29 أصبحت الفلورة أسهل

31 هل الأنابيب النانوية هي مستقبل العلاج الإشعاعي؟

32 أصبغة مزدوجة الغرض تقدم خيارات تصوير جديدة

33 قبلة الموت لخلايا السرطان

34 سعي الولايات المتحدة الأمريكية لإتاحة ورقات البحث العلمي مجاناً للعموم

37 كاتيون بتسعة أذرع

40 اكتشاف أسرار الحياة

42 عين على معالجة العمى

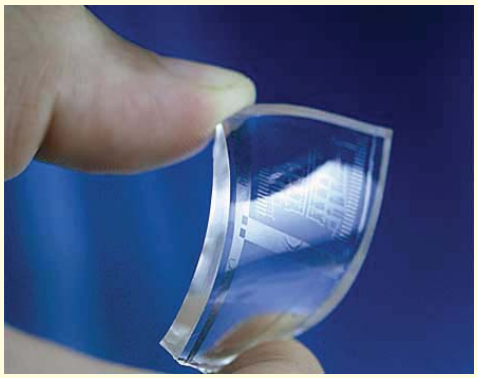
44 خَيار الطاقة النووية: إلى أين!؟

48 الصوديوم

52 إنشاء بنية تحتية لبرامج الطاقة النووية

إطلالة علمية

54 الغرافن:
وضعه الحالي وآفاقه المستقبلية



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

ملخصات ورقات البحوث

64 استخدام PIXE لتوصيف أمفورات لبنانية مستخرجة من موقع جية الأثري

64 العوامل المناخية المتحكمة بالخصائص الكيميائية والنظائرية للأمطار في سورية

65 التحليل المتكامل لنظام الطاقة السوري لأمثلة خيارات التزود باستخدام منهجية MESSAGE

65 انبثاق الرادون من بعض مواد الإكساء المستخدمة في سورية

66 انتقال مورثة الـ BCR إلى ناشئ الصبغي 2، حالة جديدة من الابيضاض النقوي المزمن مع انتقال صبغي معقد مختلف وصبغي فيلادلفيا

66 تحليل المعايير النوعية لنطاف ستة ثيران تظهر اختلافاً بالقدرة على دعم التطور الجنيني بالزجاج

67 عزل سلالتين فطريتين جديدتين منتجتين لأنزيم الكسيلاناز وتعريفهما

67 فعل الخفض الضوئي لبولي (إيتيل أسيتيلين كربوكسيلات)

68 كفاءة طرائق معلمات الـIRAP و ITS-RFLP في تقصي التباين الوراثي للممرض Pyrenophora graminea

68 تزامن الطور في وصلات جوزفسون الشوشية المتبادلة الاقتران: تأثير اللاتناظر والترددات غير المتناسبة

ملخصات تقارير علمية

69 اصطناع أكاسيد المنغنيز وسيليكات الأنتموان ودراسة تطبيقها لامتصاص الثوريوم-234

69 تحاليل الصيغة الصبغية للابيضاض النقوي المزمن والحاد

70 تحديد معاملات تصحيح الفعالية والتوهين في قياسات مطيافية غاما للعيّنات الكبيرة اعتماداً على الإشعاع الذاتي

70 معايرة الكواشف الهلامية لقياس الجرعات الإشعاعية المتوسطة ومقارنتها بالطرق المرجعية التقليدية

71 عزل سلالات فطرية من البيئة السورية ودراسة إمكانيتها لإنتاج أنزيم الكسيلاناز

71 دراسة النشاط الإشعاعي وتراكيز بعض العناصر النزرة في الإسفنجيات المنتشرة على طول الشاطئ السوري

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

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

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

E-mail: tapo@aec.org.sy

الإعلانات

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

رسوم الاشتراك السنوي

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

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

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

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

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

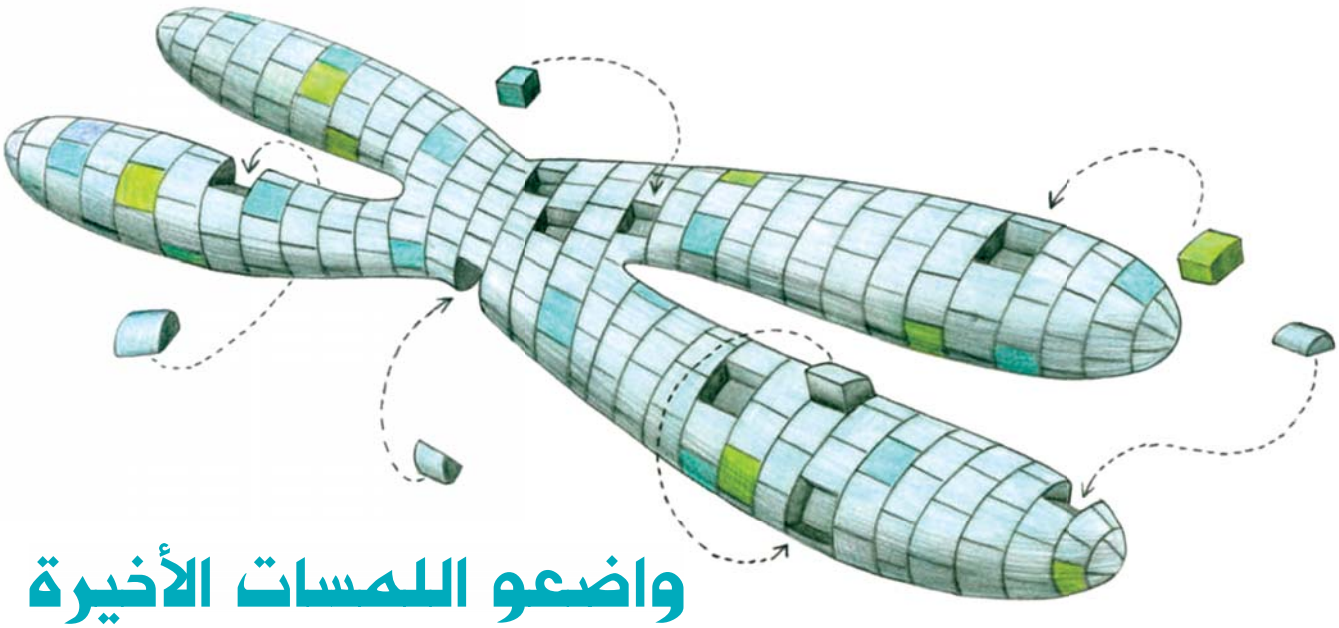
- رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س، للأفراد (300) ل.س، للمؤسسات (1000) ل.س.
- رسم الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.

سعر العدد الواحد

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

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

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



واضعو اللمسات الأخيرة على الجينوم البشري

الكلمات المفتاحية: جينوم، سلسلة، صبغي.

يعمل باحثون مرموقون بشكل جاد لإغلاق ثغرات في الجينوم، وتحديد الأخطاء، ويتممون في النهاية سلسلة الجينوم البشري. ينظر إيلي دولغن إلى مدى اقترابهم من ذلك.

في مكتب عديم النوافذ في الطابق الخامس لبناء المعاهد الوطنية للصحة الأمريكية في مدينة Bethesda، ولاية ماريلاند تقيم ديانا تشرش Deanna Church ولديها القليل مما يشغلها عن العمل المُلقى أمامها. توجد على حاسوبها 888 "بطاقة" مفتوحة، أو مشاكل متعلقة بسلسلة الجينوم البشري. وعلى الرغم من تأرجح هذا الرقم فليس هذا بتذكير فطن بأن عليها هي وفريق عملها في مركز معلومات التقانة الحيوية الوطني (NCBI) أن تقطع طريقاً طويلة لإنهاء عمل ابتدأ منذ عقدين تقريباً عبر مشروع الجينوم البشري.

إنه المشروع نفسه الذي أنفق عليه فريق من علماء العالم ثلاثة مليارات دولار لإتمامه. ففي عام 2000 أعلن العلماء في احتفال أجري في البيت الأبيض مع ضجة إعلامية كبيرة، أنهم أنجزوا مسوّدة سلسلة الجينوم البشري. وأضافوا إلى هذا فتح مفكرة ملاحظات لمخبر دراسة التطور عندما نشروا مسوّدة سلسلة الجينوم في العام التالي. واحتفلوا ثانيةً عام 2003 عندما اعتبروا أن عملية السلسلة انتهت رسمياً. ومنذ ذلك الحين، كانت وسائل الإعلام تبلّغ عن التطورات بشيء من عدم الارتياح. كتبت مجلة New Scientist تقريرها حول هذا الموضوع قائلة: لكن هذه المرة الموضوع حقيقي ووعد من علماء. ومرت سنة أخرى قبل نشر التحليلات النهائية، وسنتان أخريان قبل أن تُنشر ورقة علمية تتناول بالتفصيل عملية سلسلة آخر صبغي كامل عام 2006.

ماتزال السيدة تشرش Church وبعد ثلاث سنوات منكبّة على حاسوبها تنقر على فأرة الحاسوب وتحاول أن توضح المشاكل العالقة بأيقونة السلسلة. كانت بعض بطاقاتها، المدونة من قبل مساعديها أو مستخدمي الجينوم البشري حول العالم، تحتوي على أشياء صغيرة منسية منه.

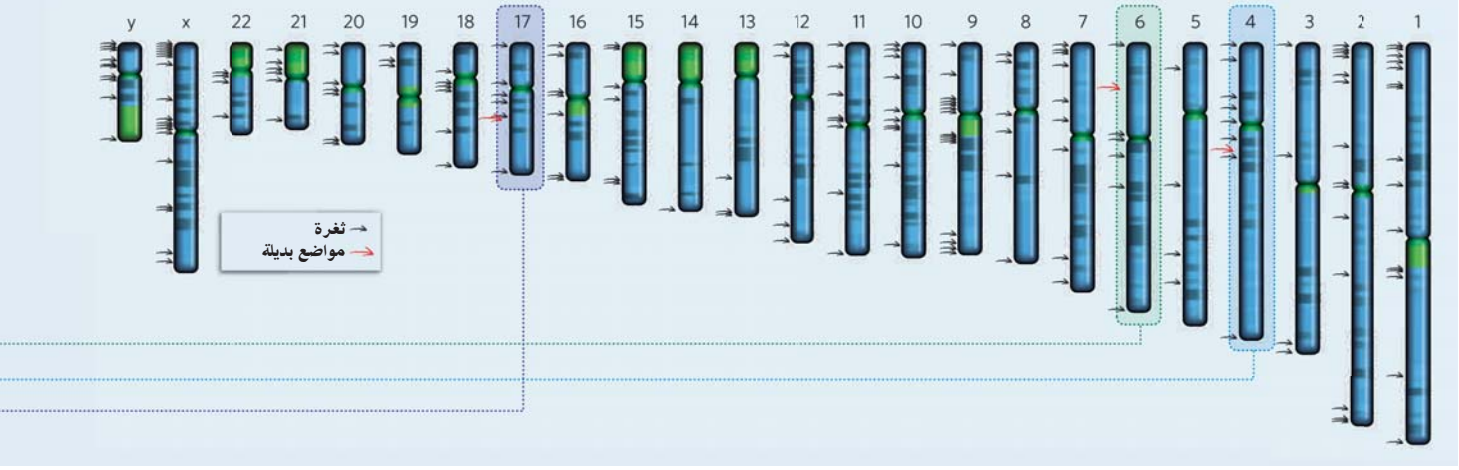
وتحتوي ملاحظات أخرى على شرح مسهب يرى فيها بعضهم أن التسلسل يحتوي على أخطاء. ويبقى بعضها تحدياً فريداً، وتحدياً غير متوقع، كوجود تبدلات دنا معقدة، تحتاج إلى سنوات للخروج منها.

ويقول ريتشارد جيبس Richard Gibbs، مدير مركز سلسلة الجينوم البشري في كلية Baylor للطب في هيوستن–تكساس: «إنه شيء محبط». ويضيف: «إنه جينوم بنوعية عالية جداً. إنها أفضل فترة. والمعضلة هي أنه ما تزال هناك نسبة صغيرة جداً من عدم الدقة تترجم على شكل عدد غير قليل من المشاكل».

الثغرات المتبقية:

أصدرت اللجنة العلمية المشرفة على سلسلة الجينوم المرجعي في آذار عام 2009 أول تجميع للجينوم البشري الذي أُكمل في الأصل من قبل مشروع الجينوم البشري.

أغلقت السلسلة الجديدة 25 ثغرة، وأضافت نسخاً بديلة لثلاث مناطق معقدة (الأسهم الحمراء). تبقى السلسلة الحديثة محتوية على 300 ثغرة تقريباً (أشير لمواقعها الرئيسية بأسهم سوداء) يتراوح طولها بين 700 إلى 30 مليون زوج أساس، ولا تضم أجزاء ضمن القسيم النهائي، والقسيم المركزي (الأخضر) غير القابلين لتتبع السلسلة.



تعمل تشرش وزملاؤها لبناء مرجعية دقيقة وقوية، لكن جهودهم أظهرت كم يمكن أن تكون هذه الفكرة مخادعة. وعلى سبيل المثال، لا يمثل التسلسل الذي بين أيدينا حتى هذه اللحظة جينوم أي شخص. إنه خليط من دنا أشخاص عدة من ذكور وإناث. وقد وضعوا هكذا معاً للحفاظ على سرية الأشخاص المتبرعين بالدنا وليكون التسلسل ممثلاً للإنسانية جمعاء. وكما قال فرانسيس كولينز رئيس المشروع "إنها وراثتنا المشتركة".

لكن هذه الوراثة المشتركة صعبة المنال، فجينومان لشخصين لا يبدوان متشابهين بالقدر الذي حُدد لهما في الأصل. فبدلاً من اتباع مسار خطي مؤلف من 3 مليارات زوج أساس، مع ملاحظة وجود حرف متبدل الآن، وهكذا على طول المسار، تنعطف الجينومات البشرية إلى مئات الامتدادات العريضة المختلفة التي تعتمد فيها على الأفراد، فملايين الأزواج من الأسس يمكن أن تضيع، أو تندمج، أو تتكرر أو ينقلب تكرارها.

وسيبدو الجينوم المرجعي الكامل (المنتهي) –في حال توصل العلماء لبنائه– مختلفاً جداً عن الجينوم الذي صدر في بدايات المشروع، وهذا ما تعمل السيدة تشرش وفريق عملها على وضع اللمسات الأخيرة عليه.

ويجهدون أنفسهم لإظهار الفوارق وليطوروا قاعدة حركية يمكن معها التقاط التشابهات البشرية والخصوصيات البشرية والانفراد بشكل أكبر. أشار بعضهم إلى أنه ضياع لجهد كبير الآن، وأن سلسلة جينوم بشري فردي يمكن أن تتم الآن بجزء مما كان يكلف منذ عشر سنوات مضت، لكن الغالبية تقول بأن المرجعية لا تقدر بثمن كأساس راسخ لدعم سلسلة الجينوم البشري المستقبلية.

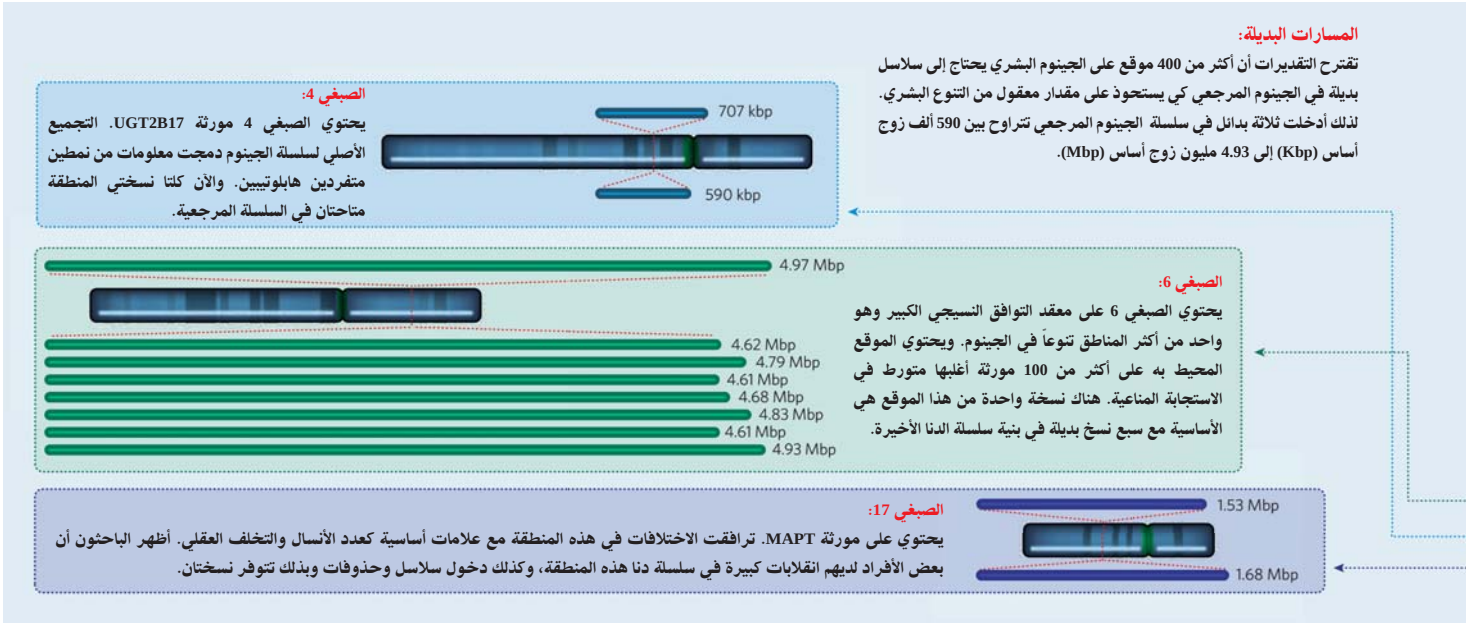
العمل ليس مثيراً لكنه ضروري.

إن حل مشاكل سلسلة الدنا لن يُكسب السيدة تشرش ميداليات عدة ولن تجتمع مع الرئيس أو لن تنشر ورقات علمية في مجلات علمية مرموقة كالذين وضعوا اللمسات الأخيرة على الجينوم قبلها. وأفادت أنه عندما تضع أوراقها لترتاح سيكون هناك شخص آخر ينتظر ليحل محلها، إن هذا ليس مثيراً، لكنه هام.

تحالف المسؤولية

بحلول نيسان 2003 كانت عملية سلسلة الجينوم قد تخطت تحديد الإتمام التقني للمشروع العالمي –احتوى التسلسل على أقل من خطأ واحد في 10.000 نكلوتيد، وغطى 95% من الأجزاء المحتوية على مورثات من الجينوم البشري، لكن بقي فيه أخطاء– حيث ما يزال هناك 350 فجوة في السلسلة، وبقي الكثير من الاختلافات البنيوية التي لم تحسب معها.

وفي عام 2004، اجتمعت السيدة تشرش وبعض الباحثين لمناقشة مسائل تعلقت بالجينوم البشري والاختلافات البنيوية في معهد Wellcome Trust Sanger في UK, Hinxton. وترددت شكوى واحدة مفادها: لا يوجد طريق سهل لإصلاح الجينوم أو تحديثه ببيانات حديثة. وفي تسعينيات القرن الماضي، عندما كانت سلسلة الجينوم تتأرجح بشكل كامل، استطاع الباحثون الاتصال مع الباحثين القيمين على دراسة صبغي معين في كل مركز من المراكز المعتمدة للمشروع ليعلنوا عن أخطاء السلسلة. لكن بحلول عام 2004، بقي القليل من المراكز التي تعمل بشكل نشط لتظهر نتائج دراساتها



على جزئها الخاص من الجينوم، وبقي القليل من الاعتراضات العلمية التي تعود لاستشارة العمل القديم. ويطرح هذا مسألة مهمة: "يحتاج المرء أن يكون هناك مسؤول عن الجينوم لأنه في حال وجدت أخطاء يمكن إجراء تحسينات"، هذا ما أفاد به Adam Felsenfeld مدير البرامج في المعهد الوطني لبحوث الجينوم البشري NHGRI في Bethesda، ماريلاند.

دعت السيدة تشرش والسيد Ewan Birney في المعهد الأوربي للمعلوماتية EBI الحيوية في Hinxton المعهد الوطني NHGRI وشركة Wellcome Trust لتقديم الدعم المالي المناسب. تطلَّب الأمر عامين من اجتماعات ومناقشات لكن NHGRI وافق بوضع منحة عمل بقيمة مليون دولار كجزء من منحة سنوية أكبر لإجراء السلسلة على درجة عالية من الدقة (أكثر من 30 مليون دولار في السنة) مقدمة لجامعة واشنطن في سان لويس–ولاية ميسوري. كما وافقت مؤسسة Wellcome Trust على دفع قيمة مماثلة، واتفق أن تعامل مؤسسة الـ EBI و NCBI الجانب المعلوماتي لعملية السلسلة كجزء من عملياتها العادية. ويشكل التعاون الذي عرف الآن بالاستشارية المرجعية للجينوم (GRC) مركزاً متخصصاً لتحسين الجينوم.

ولتحسين سلسلة مرجعية الجينوم هذه، ركزت الـ GRC على ثلاثة أهداف رئيسية:

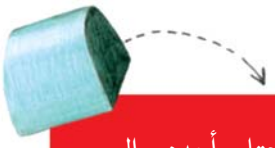
1- تصحيح أخطاء التجميع،

2- ملء ثغرات الجينوم المتبقية،

3- وضع سلاسل بديلة لمناطق الجينوم ذات التنوع الشديد.

كان الهدفان الأوليان على جدول أعمال الباحثين منذ أن انتهى مشروع الجينوم، ولم ينفكوا يعملون عليهما منذ ذلك الحين. وكانت بعض المناطق بشكل خاص صعبة التحسين، فمثلاً تنافس الباحثون على صنع نسخ عديدة ضمن البكتيريا لبعض القطع المتكررة كجزء ضروري من عملية السلسلة. لكن الطرق الجديدة تسمح لهم بملء هذه الأجزاء من الجينوم. لكن في بداية هذا العام استعمل فريق بقيادة Chad Nusbaum، المدير المشارك في برنامج تحليل وتسلسل الجينوم في لجنة معهد كامبردج–ماساشوستس، جيلاً جديداً من تقنية السلسلة التي لا تحتاج إلى بكتيريا لتضخيم الدنا. ثم أعطى فريق Nosbaum التسلسلات إلى GRC فأدخلوها في تجمع تسلسلات مرجعية.

ويعكس الهدف الثالث شيئاً برز للضوء حديثاً. ففي البداية اعتقد الباحثون أن الاختلافات الوراثية بين الأفراد تتألف بشكل كبير من اختلافات في تسلسل أحرف الدنا. لكنهم الآن فهموا أكثر معنى الاختلافات البنيوية التي تتضمن حذوفات أجزاء دنا، وإدخال أجزاء من السلسلة، وتضاعفات وانقلابات في التسلسلات.



يحتاج أحدهم إلى أخذ مسؤولية الجينوم على عاتقه.

ورغم أن بعضاً من هذه المغايرات تتدخل في الأمراض الوراثية، فإن من الصعب عليها أن تحافظ على مسار محدد كاختلافات الأساس (الحرف) الوحيد لأنها لا تتوضع بسهولة عادة ضمن التسلسلات المرجعية. فبدلاً

من أن يُظهروا الجينوم على أنه مسار بسيط من مليار أساس (حرف) قدمت GRC مسارات بديلة لتظهر تنوعه.

التفافات ودورات

إحدى تلك المناطق هي منطقة المعقّد المتوافق النسيج الكبير MHC وهي امتدادات على الصبغي 6 مؤلفة من 4 ملايين زوج أساس، وتحتوي على مورثات مناعية وتعرف على أنها واحدة من أكثر القطع المتبدلة في الجينوم البشري. وكان التسلسل المرجعي الأصلي مزيجاً من كتل دنا متعددة النسج دعيت الهابلوتيب أو النمط المتفرد haplotype (مجموعة أليلات مترابطة في مواقع عدة على صبغي واحد) مأخوذة من متبرعين عديدين، لذلك كان التسلسل الناتج غير موجود بالواقع لدى أي شخص حقيقي. ولخلق تسلسل مرجعي مع أصول أوضح، سلسل فريق بقيادة ستيفان بك Stefpen Beck من جامعة لندن–معهد السرطان هابلوتيباً بسيطاً من متبرع واحد لـ MHC وقورنت النتائج مع سبع نتائج لهابلوتيبات أوربية معروفة، واكتشفوا أكثر من 37.000 أساس آزوتي (حرف) مختلف في الـ DNA و7.000 اختلاف بنيوي. وكان مستوى التنوع الوراثي أعلى من متوسط اختلافات الجينوم. واستبدل التسلسل المرجعي لفريق ستيفان بك بالتسلسل الافتراضي لدى GRC وتم تضمين التسلسلات السبعة الأخرى (من الهابلوتيبات الأوربية) كمسارات بديلة.

هناك منطقتان أخريان لديهما هالوتيبات بديلة. تقع الأولى على الصبغي 4 بقرب منطقة المورثة المرمزة لأنزيم UGT2B17 الذي يستقلب هرمونات ستيروئيدية وأدوية عدة. وجد في التسلسل المرجعي المنتهي خطأ في تجميع هابلوتيبين، وهذا سبب ثغرة خاطئة، وأظهر التجميع المُصحَّح أن الثغرة كانت بالحقيقة حذفاً لجزء وجد لدى بعض الأفراد فقط متبوعاً بتضاعفات كبيرة. أدخل هذا الجزء الآن في الجينوم كمسار بديل في سلسلة GRC المرجعية.

وتضم المنطقة الأخرى، على الصبغي 17، مورثة الـ MAPT، وتشكل دراسة لحالة تعرض حدود السلسلة المرجعية الأصلية التي تتألف من هابلوتيب واحد. والهابلوتيب البديل هو انقلاب معقد عن الهابلوتيب الذي وجد أولاً لدى 20% من الأوربيين، وظهر في عام 2005 أنه يرتبط مع عائلة بحجوم أكبر، واقترح أن الهابلوتيب الثاني هذا كان نوعاً ما تحت شكل من أشكال الانتخاب الإيجابي.

لكن في عام 2006 أظهر Evan Eichler وهو اختصاصي في علم الوراثة في جامعة واشنطن، في سياتل، واثنان من مجموعته أن المنطقة المقلوبة تحتوي على حذوفات عفوية وتؤدي إلى تخلف عقلي، وبدا أن الهابلوتيب المقلوب تكيفي ومصدر للحذوفات المسببة للبله العقلي.

"لدينا قوتان متعاكستان محددتان ببنية الجينوم البشري، هذا ما قاله Eichler، ويتابع القول "كان السؤال، ماذا يجري هنا؟"

للجواب عن هذا السؤال احتاج Eichler إلى التسلسلات، فشكل مع Michael Zody، رئيس التقنيين في برنامج بيولوجيا الجينوم (في لجنة المعهد) فريقاً ليعيدوا سلسلة كامل المنطقة التي تظهر هندسة بنية الهابلوتيب المقلوب المحتوية على تسلسل ليجري الحذوفات المرافقة للتخلف العقلي. في ذلك الحين نشر Eichler وZody نتائجهما، وفي عام 2008 استعد GRC ليطلق بنية الجينوم القادمة. سلم الباحثون تسلسلاتهم لمجمع العلماء، وتم تضمين الهابلوتيبين في التسلسل المرجعي. ويقول Zody: «إن GRC كانت كمنزل مركزي لتنظيف الجينوم لنتمكن من المضي قدماً».

ويقول Eichler إن إعطاءنا المعنى السريري لهذه المناطق المعقدة، وتزويدنا بمرجعيات متعددة ضروري لكشف الطفرات المسببة لعدة أمراض. وعندما نحصل على تسلسلات بديلة فعالة أعتقد بأننا سنكون قادرين على ربطها مع الأمراض، الأمر الذي كان مستحيلاً سابقاً. ويقدر Eichler بأن 5% من الجينوم يشكل 400 موقع نوعي تحتاج إلى تسلسلات بديلة لتعطي منظومة متكاملة تلتقط بشكل أمثل طيف التنوع البشري. وأضاف: إن هذه المناطق تتضمن أكثر من 1000 مورثة تؤثر في مجال واسع من الآليات الفيزيولوجية التي تتضمن الاستجابات المناعية، وإزالة سمية الأدوية والقدرة على التكاثر.

واجب مشترك

كان أول عرض مقدم للعموم من GRC هو نسخة أكثر دقة من الجينوم البشري وضعت على الشبكة العنكبوتية في آذار 2009، حُدِّثت الأجزاء الثلاثة من الجينوم مع مناطق التجميع البديلة، وصحِّحت مشاكل تسلسل 150 قطعة، وأغلقت أكثر من 25 ثغرة متسلسلة فيه، لكن بقي هناك أكثر من 300 ثغرة. وفي أيلول، اجتمع عشرون من أعضاء الـ GRC في Hinxton عن المجموعة

مرتين في العام ليناقشوا الخطوات اللاحقة الواجب اتخاذها. في حين كان العاملون في المخابر منصبين على حواسبهم يعالجون البيانات وكان المعلوماتيون الحيويون يعملون على إحدى أكثر مواضيع الهيئة الاستشارية إثارة للجدل، ألا وهي كيف يغيرون الجينوم المرجعي ليعطوا اختلافات المورثة الشائعة فقط.

أوصى تسعة من اللجنة الاستشارية العلمية في الـ GRC، والتي تضم Eichler وGibbs أنه يجب أن يحتوي الجينوم نسخاً شائعة عن تسلسل الدنا قدر المستطاع.

لكنهم لم يحددوا معنى الشائعة. هل يجب أن تكون أعلى تواتراً للاختلاف أو أي شيء تتشارك فيه نسبة معقولة من أفراد المجتمع؟ لكن هل يجب حسابها على ستة مليارات إنسان أم ضمن مجموعة عرقية محددة أو مجموعة جغرافية فقط؟

إن النتائج المنبثقة من مشروع سلسلة 1000 جينوم، وهو جهد لوضع سلسلة عالمية كبيرة لكاتالوك يضم اختلافات وراثية من 2000 نسخة من القارات الأربع، يجب أن تعلم قراراتها.

لا يوافق بعض أعضاء GRC على إجراء هذه التغيرات الأساسية على السلسلة المرجعية. وقد قال Paul Flicek الذي يرأس مجموعة سلسلة جينومات الفقاريات في EBI أنه لا يعتقد أنهم يجب أن يمضوا ويقلبوا (أو يغيروا) أسساً مفردة في كل مكان من الجينوم. أما من الناحية المعلوماتية: فليس هناك أي مشكلة طالما يمكن إجراء هذا، فلا مانع في ذلك.

يتساءل آخرون خارج الـ GRC فيما إذا كان لكامل المشروع مبرراته. ويسأل Lincoln Stein المعلوماتي الحيوي في معهد Ontario لبحوث السرطان في تورونتو بكندا، لماذا نجهد أنفسنا مع تسلسل مرجعي بعمر عشر سنوات. ويحث أن ينصبّ الجهد على التعامل مع عمليات مجردة أكثر من التعامل مع عملية لها أثر عملي. أبعدت من طرفها السيدة تشرش تلك الانتقادات لكونها واردة من أشخاص قلقين من دراسة سلسلة الجينومات على نطاق واسع. وتعرف، كونها شخصاً متوجهاً لمعرفة التفاصيل، أن الأشياء الصغيرة لها دورها. ويحب المدققون الفرديون عمل مورثاتهم الأليفة (المدللة). ويكون لهذا السبب جدول بطاقات العمل لديها ممتلئاً دائماً.

ولما كانت دراسات الجينوم تنتقل بسرعة إلى واجهة الطب الشخصي، فإنه يمكن للعديد من المناطق ذات الأهمية السريرية أن تصبح موضوع دراسة ويتوضح أمرها.

أعتقد أننا قادرون على وضع العلاقة بين التسلسل والمرض وكان هذا مستحيلاً سابقاً

وقالت: "لا يهم بالنسبة لباحثين مهتمين بموقع مرتبط بمرض معين إذا كان الجينوم كاملاً بنسبة 99%، فإذا عملوا على المنطقة وهي غير كاملة السلسلة أو تحتوي أخطاء فإنهم يخترقونها ويكشفونها".

وهكذا يستمر مركز GRC بمسعاه الهادئ ويمر بتسلسلات Ts (متعدد أساس التيميدين T) وبعض الأحيان يستبدلونها بتسلسلات As أو تسلسلات Cs أو Gs. بما أن التسلسل المرجعي لم يعد مطلوباً لجمع الدنا القادم من تقانات السلسلة الاعتيادية سيستمر توثيق فهم التنوع البشري الموجود في سلسلة الجينوم المرجعي.

وتعهد مركز GRC بدراسة تسلسل جينوم الفئران، وسيأخذ على عاتقه مسؤولية تسلسل جينوم سمك الزيبرا Zebra fish في عام 2010. على الرغم من أن هذا لا يأخذ واجهات الصحافة، إلا أن أغلب المجتمع البحثي يعترف بقيمته.

قال Jonathan Sebat، وهو اختصاصي في علم الوراثة يدرس الاختلاف البنيوي في مخبر Cold Spring Harbor في نيويورك، "إن GRC لديه الفكرة الصائبة تماماً"، "لا يمكن التخيل بأننا سنحتاج إلى شخص ينظف هذه الفوضى".

نشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol. 462, 17 December, 2009 .
ترجمة د. وليد الأشقر، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الإقلاع عن الإدمان في استهلاك النفط

قد يبدو تشغيل سيارتك بالهدروجين أمراً بعيد المنال. ولكنه في الحقيقة بديل واقعي للبترول والديزل، وهذا سيساعد في الحرب ضد التغير المناخي.

الكلمات المفتاحية: خلايا الوقود، هدروجين، مركبات تعمل بخلايا الوقود، سيارة كهربائية، مردود.

قلة هم الناس الذين لم يتأثروا بالأسعار الملتهبة للنفط في صيف عام 2008. فقد واجه أصحاب السيارات الضربة الأقسى عندما ارتفعت أسعار الوقود في المحطات إلى سعر لم تبلغه من قبل. كما أنه لا يمكن لأحد تجنب دفع المزيد لأجل الحصول على الطعام عندما تمَّ إقرار تكاليف أعلى على نقل الأغذية من بائعي التجزئة إلى المستهلكين.

انخفضت أسعار الوقود بعد ذلك بشكل فعلي، ويعود الفضل بذلك جزئياً إلى التراجع العالمي الكبير الذي خفّض من الطلب على الطاقة. على أي حال، لا يوجد سبب يمنع ارتفاع سعر برميل النفط إلى مستويات عالية مجدّداً، بالرغم من أن المنتجين يستمرون بطمأنتنا أنه لا داعي للقلق بشأن الإمداد المستقبلي للنفط، فالإنتاج العالمي للنفط سيصل ذروته قبل منتصف القرن الحالي، وإذا ما حصل هذا، سترتفع الأسعار مع فشل العرض في مجاراة الطلب.

إذا ما أردنا تجنب وقوعنا تحت رحمة تقلبات أسعار النفط، فإنه علينا أن نطوّر بدائل لمحركات البنزين والديزل. لا توجد قائمة طويلة لبدائل فعلية، لكنْ هناك خياران جديران بالاهتمام الجدّي؛ هما المدخرات القابلة لإعادة الشحن وخلايا الوقود، وباستطاعة كل منهما تزويد السيارات الكهربائية بالطاقة.

إن كلا الخيارين المذكورين لا يطلقان غازات الدفيئة مما سيجعل لهما أثراً كبيراً في الحرب على الاحترار العالمي. يساهم النقل البري، على أي حال، بحوالي 16% من الانبعاث العالمي لثنائي أكسيد الكربون وذلك وفقاً للمنظمة الدولية لمصنّعي محركات المركبات International Organization of Motor Vehicle Manufacture .

تمتلك المدخرات القابلة لإعادة الشحن مزايا عديدة منها انها ذات كفاءة عالية، مع استعمال واستهلاك منخفض وتشغيل نظيف وهادئ نسبياً. تمّ تحسين المدخرات القائمة على تقانة الليثيوم بشكل كبير في السنوات القليلة الماضية، وأصبحت الآن أخف وأصغر وتدوم لمدة أطول مما كانت عليه من ذي قبل. بدأ اختبار هذه المدخرات في المركبات الهجينة، مثل Toyota Prius، حيث تستعمل المدخرة بالترادف مع محرك احتراق صغير واقتصادي يعمل بسرعة ثابتة.

تقوم الفرملة بإعادة شحن المدخرة مما يساعد في خفض تكاليف الوقود بنسبة الخُمْسَيْن وتقليل انبعاثات غازات الدفيئة. على أي حال، إن المدخرات الصغيرة في المركبات الكهربائية الهجينة ليست كافية لإطلاق ثورة بيئية، فهذه الثورة ستنطلق فقط من السيارات الكهربائية التي تزود بالطاقة من المدّخرات القابلة لإعادة الشحن فقط.

بالرغم من أن السيارات الكهربائية الصرفة قد أصبحت موجودة، غير أن لها نقاط ضعف عديدة: فمدى تطوافها (مجال سيرها) محدد بـ 250 km نظراً لأن البطاريات ثقيلة ولا يمكنها اختزان الكثير من الطاقة. لا تستطيع البطاريات أن تعمل إلا في مجال ضيق من درجات الحرارة فقط، ولا يمكن استعمال المركبة

لمحة عن خلايا الوقود

- إن خلايا الوقود والبطاريات هي بدائل حقيقية (فعلية) لمحركات الاحتراق الداخلي ويمكن أن تساعد في خفض انبعاثات غازات الدفيئة على طرق النقل والتي تساهم حالياً بسدس نتاج ثنائي أكسيد الكربون الإجمالي.
- يزود الهدروجين الخلايا الكهركيميائية بالوقود فيتفاعل مع الأكسجين لينتج الطاقة الكهربائية والماء والحرارة.
- إن الكفاءة النظرية لخلايا الوقود، المقيدة بقوانين الترموديناميك، هي تقريباً 100%، بالرغم من أن الكفاءات العملية محدودة بـ70%.
- إن تصنيع الهدروجين ونقله قد توطد بشكل حسن، لكن يجب خفض التكاليف وزيادة إمكانية توفره في الطرقات إذا ما أردنا أن يكون الهدروجين بديلاً جذاباً للبنزين والديزل.

أنتجت شركة General Motors سيارات تتزود بالطاقة عن طريق خلايا الوقود بالاعتماد على نموذج Chevrolet Equinox العائد للشركة نفسها. تبلغ سرعتها القصوى 160 km/h ويمكنها أن تصل إلى سرعة 100 km/h بعد 12 ثانية من انطلاقها.

عند نفاذ البطارية. كذلك تستغرق عملية إعادة شحن البطارية ساعات عديدة، كما تُضعِف دورات الشحن والتفريغ العديدة من أداء البطارية. إضافة إلى ما سبق، هناك اعتبارات أمنية، لأن القصر الداخلي ودرجات الحرارة العالية يمكن أن تتسبب بتفاعل تلقائي بين الإلكترودات والكهرليت مما يتلف البطارية في نهاية الأمر. فوق ذلك فإن السيارات الكهربائية تكلف الكثير. وبالرغم من نقاط الضعف هذه، فإن المركبات الكهربائية الهجينة التي يتم تشغيلها بالبطاريات سيكون لها دور مهمّ تؤديه في تخفيض استخدام الوقود.

تُعدُّ خلايا الوقود، من الناحية الجدلية، خياراً أفضل لتزويد السيارات بالطاقة لأنها تشاطر البطاريات العديد من ميزاتها في حين تتلافى نقاط ضعفها. إن الطاقة الكيميائية لخلية الوقود لا تختزن في داخلها، كما هو الحال في البطارية، إنما تغذّى بشكل مستمر من مصدر خارجي للوقود، كخزان هدروجين في المركبة.

يُعدُّ هذا الاختلاف اختلافاً قيّماً لأن المركبات التي تزود بالطاقة عن طريق خلايا الوقود باستطاعتها السير لمسافات أطول من تلك التي تسيرها منافستها التي تزود بالطاقة عن طريق البطاريات، ولأن إعادة تزويدها بالهدروجين يكون سهلاً وبشكل مشابه لملء الخزان بالبترول.

يمكن أن تكون سيارات خلايا الوقود أخف وزناً من نظرائها من سيارات البطاريات وبإمكانها السير لمسافة 500 km وبحمولة 130kg وذلك بوجود خزان ذي سعة 300 لتر من الهدروجين، أي ما يعادل 5 كغ. بمقارنة هذين الصنفين من السيارات نجد أن السيارات العاملة على بطاريات أيون الليثيوم تحتاج إلى بطارية وزنها 800 كغ وتشغل حجماً قدره 650 لتراً لتقطع المسافة ذاتها. تتفوق خلايا الوقود كذلك على البطاريات في مجال درجات حرارة التشغيل، كما يمكنها أن تعمل باستطاعة تتراوح بين الواط والميغاواط، مما يسمح باستخدامها في العديد من التطبيقات غير المتعلقة بالنقل. بالرغم من كل هذه المزايا لخلايا الوقود، فإن لها أيضاً بعض العيوب، كما سنفصل لاحقاً، كما أنه ما زال من غير الواضح أيٌّ من هاتين التقانتين سيسود على المدى البعيد.

إن التحديات الأساسية التي تواجه خلايا الوقود هي إيجاد مواد وعمليات (أو معالجات) تجعل هذه الأداة أكثر كفاءة وقابلة للتطبيق بشكل اقتصادي بحيث تنافس محركات البنزين والديزل. من المثير أن العديد من مصنّعي السيارات الأوائل في العالم يعملون لأجل هذا الهدف، وقد صممت سيارات مبدئية (أولية) من قبل شركات General Motors و Toyota و Mercedes Benz و Fiat وشركات أخرى. وقامت شركة General Motors باتخاذ خطوة إضافية عن طريق إنتاج قافلة تتألف من حوالي مئة سيارة من نوع Chevrolet Equinox التي تزود بالطاقة عن طريق خلايا الوقود، وقد سجلت بالمجمل ما يزيد على مليون ميل.

لدى هذا المصنع الأميركي، أي شركة General Motors، حرص شديد لدراسة أداء هذه السيارات واكتشاف تفاعل السائقين والركاب. تأمل شركة General Motors بطرح نحو بضعة ألاف مركبة في العقد القادم.

توليد الكهرباء الخضراء

بالرغم من أن خلايا الوقود تتنوع من حيث التصميم والمواد ومجال درجة حرارة العمل والطاقة الناتجة، إلا أنها جميعاً تشترك في مبدأ العمل ذاته. تبدأ العملية عند الأنود (المصعد)، حيث ينفصل جزيء الهدروجين إلى أيونين وإلكترونين. بعد ذلك تندفع أيونات الهدروجين (البروتونات) نحو الكاتود (المهبط) بواسطة حقل كهربائي وتدرج في التركيز بين الإلكترودين. أثناء هذا العبور تجتاز هذه الأيونات غشاءً مشحوناً بشحنة سالبة وناقلاً للبروتونات (انظر الشكل أدناه). على أي حال، فإن الإلكترونات المنفصلة عن جزيئات الهدروجين عند الأنود (المصعد) لا يمكنها العبور مباشرة خلال الخلية لأن غشاء الخلية يُعدُّ عازلاً للإلكترونات يمنع عبورها. يولّد فصل الشحنات الناتج فولطية (جهداً) بين القطبين يكافئ الفولطية النهائية الناتجة عن الخلية. تبلغ القيمة العظمى لهذه الفولطية المذكورة آنفاً 1,23 V، إلا أنه باستطاعتنا توليد فولطية أعلى بكثير وذلك عن طريق ربط خلايا عديدة (ما يقارب المئة) مع بعضها بعضاً على التسلسل.

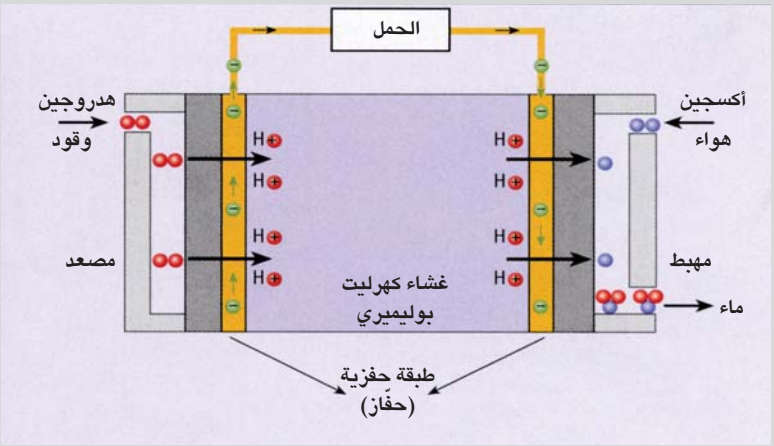
إذا ما وصلت دارة خارجية بين قطبي الخلية الكلية، فإن تلك الإلكترونات، التي يصدها الغشاء، سيصبح باستطاعتها التدفق خلال الحمل الخارجي من الأنود (المصعد) نحو الكاتود (المهبط). يتشكل الماء عند هذا المهبط عن طريق تفاعل كيميائي بين جزيئات الأكسجين الآتية من الهواء والمتفككة إلى ذرّات أكسجين وبين أيونات الهدروجين التي تعبر الخلية نفسها والإلكترونات التي تجتاز الدارة الخارجية. ولما كانت الطاقة الكيميائية المختزنة في جزيئات الماء أقل من طاقة جزيئات الهدروجين والأكسجين، فإن الفرق في الطاقة يؤدي إلى نشوء طاقة كهربائية يمكنها أن تزود أي أداة (جهاز) خارجية بالطاقة.

يظهر جلياً من هذه الناحية تماثل خلية الوقود مع البطارية الكهربائية، فكلتاهما تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وذلك بالرغم من أن الطاقة الكيميائية في خلية الوقود لا تتراكم فيها وإنما يتم التزود بها عن طريق خزان خارجي للهدروجين. تَستعمل خلايا الوقود الحفازات أيضاً، لأن معدلات التفاعل عند إلكترودات الكربون العادي ستكون بطيئة جداً في توليد المزيد من الكهرباء إذا لم تستعمل الحفّازات.

لقد كُرِّس الكثير من الاهتمام لتطوير حفّازات تغطي المهبط، وتزيد من معدلات الأكسدة والإرجاع، وتضخم التيار المغذّي للدارة الخارجية

مقارنة الكفاءات

تُعدُّ خلايا الوقود كفوءة جداً (ذات مردود عالٍ) فهي تحوّل بشكل مثالي نحو 50 إلى 70% من الطاقة الكيميائية المختزنة في الهدروجين والأكسجين إلى طاقة كهربائية. على أي حال، لا يمكن أن تحوَّل كل هذه الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في المحرك الكهربائي: يضيع عادة نحو 10% من الطاقة في هذه العملية، كما أن هذه الطاقة تتبدد أيضاً في المحركات نتيجة



فوَران: تولّد خلية الوقود الكهرباء عن طريق تفاعل أيونات الهدروجين والأكسجين والإلكترونات (انطباع فنان، يسار). تندفع أيونات الهدروجين المتولّدة عند الأنود (المصعد) عبر الغشاء باتجاه الكاتود (المهبط).
يُصنع الغشاء عادة من بوليمير يدعى Nafion له هيكل تفلوني تنجذب إليه مجموعات مشحونة سلباً من ثلاثي أكسيد الكبريت. هذا الغشاء لا تنفذ منه الإلكترونات المتولّدة عند الأنود (المصعد)، والتي تتجه نحو المهبط عن طريق دارة خارجية تزود بالطاقة عن طريق الخلية.

لظواهر مثل السحب التحريكي واحتكاك الإطارات. نتيجة لما سبق فإن المردود الإجمالي لمركبات خلايا الوقود هو حوالي 35-40% (من الخزان إلى العجلة)، وهو أكبر من مردود محرك الاحتراق النموذجي البالغ 15% تقريباً (خزان إلى عجلة)، مع أن هذه التقانة أكثر نضجاً.

لا تتفوق خلايا الوقود على محركات الاحتراق في المناحي العملية فحسب؛ بل هي مؤهلة أيضاً لمردودات نظرية أعلى. إن ذروة مردود محركات الاحتراق –أو المحركات البخارية في هذا الشأن– تكون محكومة بالقانون الثاني في الترموديناميك، الذي ينص على أن أنتروبية الجملة المغلقة يمكن أن تبقى ثابتة أو تزداد ولكنها لا تتناقص أبداً. تعمل محركات الاحتراق عن طريق تحويل الطاقة الكيميائية المختزنة في الوقود إلى حرارة، والتي تعتبر شكلاً «أنتروبياً» للطاقة. تحوّل الحرارة بعدها إلى عمل ميكانيكي، وهو شكل للطاقة «منظّم» أكثر، وخلال هذه العملية فإن الأنتروبية المرتبطة بالمحرك تنقص. وبما أن القانون الثاني في الترموديناميك يمنع نقصان الأنتروبية، فإن الكثير من الطاقة يصرف على زيادة أنتروبية المحيط الخارجي عن طريق التسخين. علاوة على ذلك، تصبح حجرة محرك الاحتراق ساخنة جداً مما يعني أن الكثير من الطاقة الحرارية ينحرف وتتبدد عن طريق منظومة تبريد ضرورية. بالإضافة إلى ما سبق، فإن طاقة حرارية إضافية تضيع أثناء انبعاث أدخنة العادم الساخنة.

مقارنة مع محركات الاحتراق، فإن التحويل البطيء والمعتدل للطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية عن طريق خلية الوقود له كفاءة نظرية تساوي تقريباً 100%. ويعود هذا إلى أن خلايا الوقود ليست محركات مولّدة للحرارة إذ إن العمليات الكهركيميائية ذات الأكسدة البطيئة تولّد حرارة قليلة، وإن بمقدور الخلايا عند استطاعات تشغيل منخفضة أن تبلغ هذا الحد الأعلى، لكن ذلك سيؤدي إلى عمل غير سلس وغير منسجم للطاقة الناتجة وإلى هبوط في الكفاءة نتيجة توليد المزيد من الحرارة.

إن المقارنة التامة بين كفاءات المركبات التي تزود بالطاقة عن طريق خلايا الوقود وتلك التي تعمل بواسطة محركات الاحتراق، تتطلب منا أن نأخذ بعين الاعتبار أيضاً كفاءة إنتاج أو توليد الوقود –البنزين أو الديزل أو الهدروجين. إن هذه المقارنة ليست دقيقة، لأن الهدروجين يمكن أن يُنتج بطرق متنوعة وبكفاءات مختلفة ونواتج ثانوية.

الصورة الكبرى

مع أن خلايا الوقود ليست مثالية، إلا أنها تبدو كمصدر عظيم وكفوء (فعال) للطاقة –فالناتج الثانوي الوحيد هو الماء، في حين أن الوقود الوحيد الذي تحتاجه هو الهدروجين وهو يوجد بوفرة كبيرة على الأرض. على أي حال، إن لخلايا الوقود بعض العيوب أيضاً. فعلى سبيل المثال، يجب أن يتم إنتاج الهدروجين ويجب أن يضغط ويختزن، وبالرغم من أن كل خطوة من هذه الخطوات تُعدُّ كفوءة بصورة معقولة، إلا أن العمليات التقليدية الموظفة لهذه المهام تولّد غازات الدفيئة.

وهناك جانب سلبي آخر، وهو أنه رغم كل الهدروجين المحيط بنا –وهو الغاز الثالث من حيث الوفرة على سطح الأرض– فلا يتجاوز تركيزه في الهواء جزءاً واحداً بالمليون.

لحسن الحظ، إن إنتاج الهدروجين الصناعي توطد بشكل حسن. ويستعمل في تكرير النفط ليساعد في إزالة الملوثات والشوائب من النفط وكمادة مساعدة في تكسير الهدروكربونات. كما يوظّف أيضاً في إنتاج الأمونيا ومواد كيميائية أخرى. في الحقيقة، إن حجم الهدروجين المنتج كبير جداً بحيث إن هذه الصناعة تشكل حوالي 2% من الاستهلاك العالمي للطاقة. وإذا استخدم بشكل حصري لتزويد صناعة السيارات بالطاقة، فإنه قد يزود خُمْس سيارات العالم بالطاقة.

يصنّع الهدروجين عادة من البترول والغاز الطبيعي. ومن المتوقع في المستقبل القريب أن تعتمد السياسة الاقتصادية للهدروجين على هذه العمليات، على الرغم من أنها ليست الحلّ المثالي في مصطلح تلوث الهواء. سيدفع هذا الحلّ إلى استخدام هائل للهدروجين وسيمكّن من الانتقال إلى إنتاج هدروجين «أكثر نظافة» وأكثر «اخضراراً (أكثر ملاءمة للبيئة). وبالرغم من أن ثنائي أكسيد الكربون يتشكل كناتج ثانوي، فإن الأخبار السارة هي أن انبعاثه يمكن مراقبته والتحكم به بكفاءة أكبر مما هي عليه في حالة غازات الدفيئة الناتجة عن محركات الاحتراق. توجد أيضاً طرائق بديلة واعدة لإنتاج الهدروجين، تتضمن التسخين المتحكم به (المضبوط) للكتلة الحيوية في جو من الأكسجين وبخار الماء. وبالرغم من أن هذا يولّد غازات الدفيئة، فإن الحياة النباتية تبدأ نشأتها كمستهلك لثنائي أكسيد الكربون، ويعود الفضل في هذا إلى التركيب الضوئي. ومن الجدير بالملاحظة أنَّ هذه المواد تصدر غازات الدفيئة وإن لم تُترك ببساطة لتتعفن وتتفكك طبيعياً. هناك منحى نظيف آخر لإنتاج الهدروجين

خلايا الوقود للأجهزة الإلكترونية

شهد العقد الماضي نمواً كبيراً في مبيعات الهواتف النقالة وأجهزة الحاسوب المحمولة وأجهزة إلكترونية محمولة أخرى. ولإرضاء الطلبات المتزايدة على تزويد هذه المنتجات بالطاقة تمَّ بذل جهد كبير ومهمّ لتحسين أداء بطاريات الليثيوم والنيكل القابلة لإعادة الشحن. على أي حال، ستبذل هذه التقانة قصارى جهدها لتلبي متطلّبات الجيل القادم من الأجهزة والتي ستتطلّب مصدر طاقة أخف بإمكانه تزويدنا بطاقة أكبر ولفترة أطول، بحيث أنه لن يتوجب عليك إعادة شحن هاتفك النقال كثيراً، حتى ولو كان استهلاكه من الطاقة أكبر مما تستهلكه النماذج الأقدم.

بالرغم من أن خلايا الوقود هي خَلَف محتمل للبطاريات، إلا أنه تحدٌّ أن تستعمل خلايا الهدروجين في صناعة الإلكترونيات المكروية.

يعد تخزين الهدروجين المضغوط أمراً معقداً ومكلفاً، والمهندسون الذين يبتكرون أوعية لمثل هذه التطبيقات يحتاجون أيضاً إلى أن ينجزوا متطلّبات خلية الوقود الخفيفة الوزن. إن استعمال الهدروجين المضغوط بأمان في الأجهزة المحمولة يُعدُّ أكثر صعوبة من استعماله في المركبات، التي تؤمن حيّزاً كبيراً جداً لتركيب أنظمة التحكم التي تقلل فعلياً من خطر التعامل مع الهدروجين.

ولمواجهة هذا الأمر، يستعمل العديد من مصنّعي خلايا الوقود المحمولة اليوم الكحول السائل (بشكل رئيسي الميتانول وأيضاً الغليكول إيتلين). بالرغم من أن هذا يجعل الخلية أقل كفاءة. يمكننا مشاهدة مثالين لهذا النوع من التقانة في الصورة هنا. طوّرت واحدة من هذه الخلايا من قبل أحد المؤلفين (EP) ويمكنها أن تزوّد حاسوباً محمولاً بالطاقة لمدة ست ساعات (الصورة في الأعلى). طوّرت طريقة تصميم أخرى للخلية من قبل باحثين في Fujistu وذلك باستعمال 18 cm^3 من الميتانول تكفي لشحن ثلاث بطاريات ليثيوم (الصورة في الأسفل). تبحث شركات أخرى مثل توشيبا و موتورولا وسامسونج و NEC في هذا النوع من مصادر الطاقة لاستعماله في منتجاتها المحمولة، لذلك فإنه من المحتمل أن لا يطول الوقت إلا وتكون أجهزة الهواتف النقالة مزوَّدة بالوقود عن طريق الكحول بعد أن تم ذلك لأجهزة الحاسوب المحمولة.

يتضمن استعمال مصادر طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة النووية لإنتاج الطاقة المطلوبة لتفكيك الماء بالتحليل الكهربائي. على أي حال، لم تزل هذه التقانة في مهدها وإنتاج الهدروجين بواسطتها حالياً ما زال مكلفاً جداً.

المشكلة الأخرى في الهدروجين هي أنه من الصعب التعامل مع الغاز، نظراً لأنه متطاير وقابل للاشتعال بشكل كبير. ومما يزيد الأمر سوءاً هو أن رؤية اللهب المتعلق بالهدروجين تكاد تكون مستحيلة، وباستطاعة هذا الغاز أن يشتعل في مجال واسع من التراكيز. لكن وبالرغم من هذه الأمور، فإن العديد من المرافق الصناعية تتعامل مع الهدروجين وتخزنه بشكل اعتيادي دون أي حوادث ويمكننا اتخاذ الاحتياطات نفسها عند التعامل مع خزانات الهدروجين في منظومات خلايا الوقود. بالنسبة لركام خلايا الوقود، فإن محتوى الغاز فيه صغير نسبياً لذلك لا يُعدُّ هذا الأمر موضوع أمان رئيسي.

يوجد جانب سلبي آخر للهدروجين هو تعقيد ارتفاع تكاليف نقله، حيث يضغط الهدروجين قبل نقله من مكان إلى آخر إلى 700 ضغط جوّي أو يحوّل إلى سائل عن طريق تبريده إلى درجة 20 كلفن. إن تخزين الهدروجين بهذه الأشكال يكلّف طاقة ويتطلّب أيضاً أوعية باستطاعتها مقاومة الضغوط العالية جداً والمحافظة على درجات حرارة منخفضة جداً مما يفسر جزئياً كون الهدروجين أغلى ثمناً من البنزين والديزل.

لذلك فإن ما سبق يلفت الانتباه إلى إنتاج هذا الغاز محلياً واختيار أكثر التقانات ملاءمة من بين المجال الواسع للعمليات المتاحة. كذلك في المناخات المشمسة والمناطق المعزولة، على سبيل المثال، يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتصنيع الهدروجين عن طريق تحطيم الماء.

تزويد النقل بالوقود:

إن تشجيع أصحاب السيارات على الانتقال من السيارات التقليدية إلى تلك المكافئة لها والتي تعمل على خلايا الوقود يتطلّب تحسينات على كفاءة خلية الوقود وعمرها. يحتوي الغشاء المستعمل في الخلية قنوات نانوية مجهرية تعبر خلالها أيونات الهدروجين لكن هذه الأغشية يمكن أن تفقد رطوبتها عندما تجتازها أيونات الهدروجين حاملة معها بعضاً من جزيئات الماء على طول مسارها. تصبح الخلية عندئذ أقل كفاءة، ولكن يمكن

معالجة هذه المشكلة عن طريق تطبيق تدرّج في الضغط بين الإلكترودين لاستعادة الماء إلى الغشاء أو عن طريق إغناء الوقود ببخار الماء الذي يُمتص من قبل الغشاء وبذلك تقي الأقنية المائية من الجفاف. هناك فرصة أخرى لتحسين كفاءة الخلية وعمرها وهي الحفّاز في الخلية والذي يصنع عادة من جزيئات معدن البلاتين بسماكة 3-5 نانومتر، وهو معدن نادر وغالي الثمن. وإذا ما كان بالإمكان تصنيع حفّازات أكثر كفاءة فإن هذا سيخفض كثيراً كمية البلاتين المستعملة لكلّ خلية وقود وبالتالي سيوفر من تكاليف الإنتاج.

إن العائق الرئيس أمام نمو خلايا الوقود هو عائق اقتصادي. فالهدروجين أغلى ثمناً من الوقود الأحفوري، وتكلف خلايا الوقود خمسة أضعاف ما تكلفه محركات الاحتراق لتؤدي العمل نفسه. يشكل سد هاتين الفجوتين تحديات أساسية، ومعالجتها ستتطلّب الإنتاج الضخم لمركبات خلايا الوقود. من الصعب في هذه اللحظة أن نرى كيف يمكن أن يحدث ذلك. سيتطلّب الأمر مزيداً من محطات التزويد بالوقود وذلك لزيادة اهتمام الناس بالمركبات العاملة على الهدروجين. لكن شركات الغاز ما زالت معارضة للبدء بهذه البنية التحتية حتى تتحقق من العائد الاقتصادي للأموال الموظفة لهذا الغرض.

إن معظم المركبات العاملة على خلايا الوقود الموجودة اليوم تخدِّم النقل المحلي والمناطقي لأنه لا يمكنها المغامرة والابتعاد عن محطات التزوّد بالوقود. عالمياً، هناك حوالي 100 محطة من هذه المحطات فقط، يتمركز معظمها في المدن أو المناطق الصناعية أو مواقع الاختيار. لكن، هذا القدر، على أي حال، لا يزال قيِّماً جداً، لأنه يُعدُّ أرضية اختبار عظيمة لهذه التقانة ويزودنا بمعلم مهمّ على الطريق نحو اقتصاد الهدروجين.

إذا ارتفعت أسعار النفط مجدداً في السنوات القادمة، فإن هذا سيزيد مبيعات المرْكَبات الكهربائية. ونتيجة لتنامي الطلب على الهدروجين، فإن تكاليف الإنتاج ستنخفض وبالتالي ستنخفض تكاليف النقل.

إذا انخفض سعر وحدة طاقة الهدروجين بحيث تهبط إلى ضعفي سعر البنزين أو الديزل –وهو هدف حقيقي– عندئذ فإن الكفاءة الكبرى لخلايا الوقود، بالمقارنة مع محركات الاحتراق، ستعادل التكلفة الأعلى للهدروجين وسيعطي هذا فرصة لكلّ منا للاستمتاع بلذة القيادة دون الشعور بذنب انبعاث غازات الدفيئة.

دعونا نأمل أن يصبح هـذا الحلم حقيقة في السنوات القادمة.

نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, January 2010، ترجمة علي غانم، هيئة الطاقة الذرية السورية.

السنوات الأربعمئة لعلم الكواكب منذ كاليليو وكبلر

بعد مرور 350 سنة على اكتشافات كاليليو، زودتنا المقاريب المقامة على الأرض، والنمذجة النظرية، بكلّ شيءٍ عرفناه عن مجموعة الكواكب الشمسية. بيد أن زيارات السفن الفضائية لعدة أهدافٍ، وذلك في العقود الخمسة المنصرمة، غيّرت أفكارنا المبكّرة عنها، إذ إنها أماطت اللثام عن تنوع أجسام المنظومة الشمسية، وعرضت عمليات كوكبية نشطة خلال حدوثها. وقد أثرت حوادث عنيفة في تواريخ كثير من الكواكب تأثيراً كبيراً، ذلك أن هذه الحوادث استمرت في إجراء تغييراتٍ جوهرية في هذه الكواكب منذ ولادتها. وأخيراً، سمحت المعرفة المعاصرة بابتكار نماذج يمكن اختبارها لأصل المنظومة الشمسية، وباكتشاف أماكن محتملة لحياة موجودة خارج أرضنا. ويتعين على البحوث الكوكبية في المستقبل أن تحوي دراسات تركز على أهداف مختارة تتضمن كواكب غير شمسية.

تجلّت المحاولات الأولى، التي قام بها أسلافنا لفهم العالم المحيط بهم، في أرصادهم للسماء الليلية. لذا فإن علم الفلك يُعدُّ الأقدم بين العلوم كلها. وفي تسعة أعشار التاريخ المسَّجل، وقبله بكثير، كان يُعنى علم الفلك بالقياسات الموضعيّة للكواكب دون غيرها –بيد أنه كان يهتم، أيضاً، بالأحداث التي تجري من وقت إلى آخر، والتي كانت تفسَّر بأنها نُذُرٌ بالشُّؤم، أو بشائر بالتفاؤل، مثل الخسوف والكسوف، أو المُسْتعرات، أو المذنّبات، أو وابلات الشُّهب. وكل ما عدا ذلك، كان يبدو ساكناً مستقرّاً، باستثناء بعض الأجسام التي كانت تتجوّل في السماء، التي يُطلق عليها في أيامنا هذه اسم أقرباء الأرض.

مقدمة سريعة لعلم الكواكب

في شتاء 1609-1610، غدت الكواكب أكثر بكثير من تلك اللطخات المضيئة القليلة التي كانت تسير على غير هدى في الواجهة السماوية الخلفية. وخلال الصيف السابق لذلك الشتاء، وبعد أسابيع فقط من معرفة كاليليو كاليلي باختراع «المقراب الصغير» الهولندي، قام بصنع مقراب بنفسه، وذلك بوضع عدستين إحداهما مقعرة والأخرى محدّبة، في النهايتين المتقابلتين لأنبوب من الورق المقوّى طوله متر. وعندما حمل مقراباً محسَّناً –مقارنةً بالمقراب الهولندي– مع بقائه بدائياً، ووجهه شطْر السماء، –رأى «أجمل المناظر وأبهاها... وهي مواد بالغة الأهمية لجميع راصدي الظواهر الطبيعية... وذلك لأنها، أولاً، تتفرّد بميزات طبيعية، وثانياً، لأنها جديدة تماماً...» هذا ما ذكره كاليليو في كتيبه الذي أصدره في شهر آذار/مارس من عام 1610 والذي عنوانه Sidereus Nuncius. في هذا الكتيب الذي عدد أوراقه 24، أعلن عدة مكتشفات ثورية، منها أن لسطح القمر طبيعة قريبة من طبيعة الأرض (الشكل 1a)؛ أما المكتشفات الأخرى فقد حدثت في أواخر العام نفسه. وقد وفرت اكتشافات كاليليو المذهلة دعماً جوهرياً لنموذج المنظومة الشمسية (التي تقع الشمس في مركزها وتدور الكواكب حولها) الذي قدمه نيكولاس كوبرنيكوس عام 1534.

وخلال تاريخ العلوم، كانت المكتشفات الرصدية والتقدمات النظرية تسير معاً يداً بيد. لذا فإن أنسب ما يمكننا قوله هو أن الفيزياء الفلكية، أيضاً، بدأت قبل أربعة قرون مع مؤلَّف يوهان كبلر Astronomia Nova (عام 1609، الشكل 2a) ومن المثير للفضول، أن الاهتمام بذكرى مرور أربعة قرونٍ على هذا المؤلَّف كان أقل بكثير من الاهتمام الذي أولي لإنجازات كاليليو خلال العام الدوليّ لعلم الفلك الذي انتهى قبل مدة قصيرة. وربما كانت الحقائق الرصدية مفضَّلة على البُنى النظرية، أو ربما كانت حكاية كاليليو، التي غالباً ما تُوجّتْ بسرد المواجهة بينه وبين الكنيسة، هي السبب في زيادة الاهتمام بما أنجزه كاليليو.

وفي هذه الأيام، بعد انقضاء أربعة قرون على هذين الإنجازين الثوريين الرائعين، وبعد مرور 50 عاماً بالضبط على إطلاق صواريخ باتجاه أحد جيران المنظومة الشمسية، تفحّصت السفن الفضائية كلَّ كوكب حدّده الاتحاد الفلكي الدوليّ (IAU). وقد

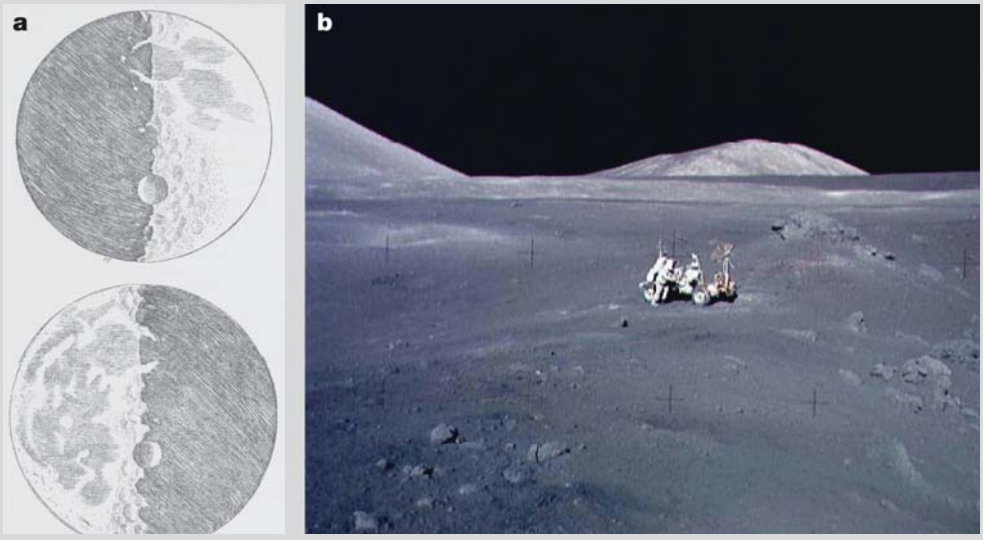
أجريت على هذه الكواكب المعروفة، عدا المشتري، عمليات مسح حديثة بواسطة مجساتنا probes الفضائية. وفي الوقت نفسه، تدور أعداد كبيرة من السفن الفضائية حول الأرض، وتقوم روتينيّاً بجس النبض العلميّ لسطح أرضنا وجوِّها وغلافها المغنطيسيِّ. هذا وإن سفن الفضاء فويجر Voyager، التي لا تعرف الكلال ولا الملال، تتجه الآن إلى الفضاء بين النجميِّ بعد أن بلغت الحافات القصيَّة لمنظومتنا الشمسية.

زمن المقاريب

تقدم «الأعمال الرصدية» الأوّلية لكاليليو أفكاراً مختلفة تماماً عن الأفكار والمعتقدات، التي كانت سائدة قبل هذه الأعمال، عن جوارنا الكونيّ. ومقارنةً بهذه السرعة العالية لتغير الأفكار، فإن التقدم الفلكي الذي أعقب أعمال كاليليو، خلال ثلاثة قرون ونصف قرن يجري، في الواقع، بسرعةٍ بطيئة. وقد كانت التقدمات تحدث بصفتها نتيجة مباشرة للمقاريب المحسَّنة أو الآلات اللاحقة بها. وخلال هذه المدة، جرى تعرّفُ أجسام متنوعة في المنظومة الشمسية بسرعة متزايدة، وتنقيحُ خاصياتها الميكانيكية (مثلاً، مداراتها، حجومها، دورانها) والفوتومترية (سطوعها). لكن سماتها الكيميائية والفيزيائية (مثلاً، تركيبها، وأحوالها الجوية) بقيت غامضة حتى الثلث الأخير من القرن العشرين.

إن القياسات الموضعية المتزايدة الدقة لأجسام المنظومة الشمسية –التي ظلَّت، حتى عام 1717، الأهداف السماوية الوحيدة التي لوحظ تحرّكها– حثّت الرياضيين خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر ومطلع القرن التاسع عشر، على تطوير النظريات الدينامية (التحريكية) الأنيقة التي جاد بها لاغرانج ولابلاس. وقد كان الدافع الأساسي لعملهم هذا هو الإفادة من هذه النظريات في تحديد خطوط الطول خدمة للملاحة البحرية. وكما قد يبدو في هذه الأيام، فقد كان علم الفلك، طوال حقبةٍ طويلة من التاريخ، أهمَّ العلوم الفيزيائية من حيث مردوده العمليّ والماليّ. يضاف إلى ذلك أنه إذا كان على علم الفلك أن يتضمَّن علم التنجيم ثانيةً، فإن واقع علم الفلك في العلوم الفيزيائية سيظل مميّزاً في أهميته كما كان الحال في الماضي.

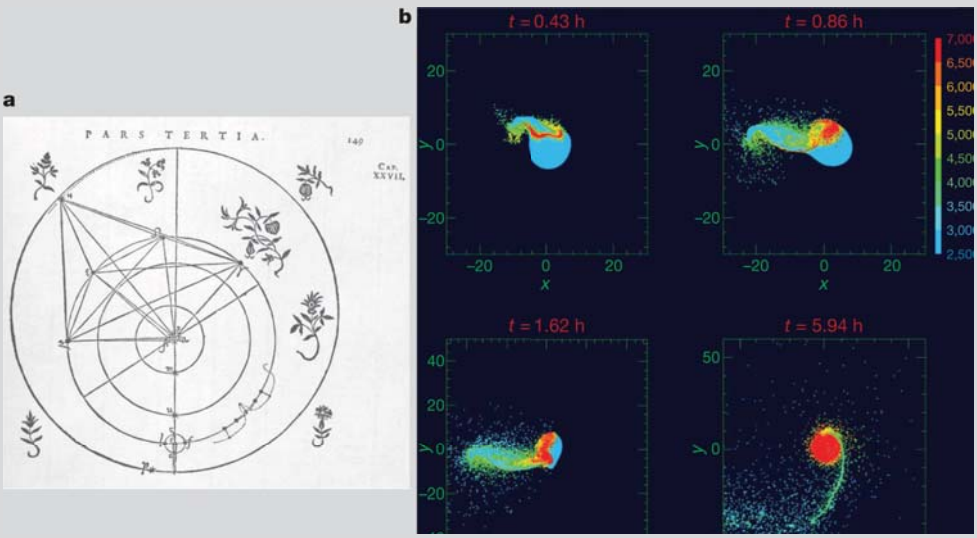
لقد كانت الاكتشافات في المنظومة الشمسية تتراكم باطراد في القرنين السابع عشر والثامن عشر؛ وبين عامي 1655 و1684، اكتشفت خمسة أقمار لكوكب زحل. وقبل ذلك بزمنٍ طويل، أكدّ



الشكل 1- القفز الرائع على قمر الأرض

a، رسمٌ لكاليليو (عام 1610) بالألوان المائية يمثل قمرنا بسطحٍ «خشنٍ غير مستوٍ»؛ وهو، «مثل سطح الأرض نفسها تماماً، يعجّ أينما كان بنتوءاتٍ واسعة، وصدوعٍ عميقةٍ، وتعرّجاتٍ».

b، يعمل هارسون شميت Harrison Schmitt، وهو رائد الفضاء الوحيد المدرب علمياً، جنباً إلى جنب مع المركبة القمرية Lunar Rover خلف الفوهة Shorty Crater (صورة أخذتها وكالة ناسا، رقم تصنيفها AS17-137-21011)، وحين ارتفعت أبولو 17 عن سطح القمر قبل 38 عاماً، توفقت البعثات القمرية المأهولة بسرعة. وقد وفّر الاستكشاف القمري في الستينيات مكتشفاتٍ علمية رئيسة، من ضمنها ثروة من المعلومات الجيولوجية ومن الكيمياء الكونية المخبرية؛ وقد سرّعت هذه المعلومات الكيميائية وَضْع نماذج جديدة لأصل القمر (انظر الشكل 2)، وما زالت تعزّز فهمنا للصدمات العملاقة الحقيقيّة التي بمقدورها تدمير بعض الكواكب، غير أنه يمكنها أيضاً توليد كواكب أخرى. وبنفس القدر من الأهمية، طوّر البرنامج القمري وحسَّن البنية الأساسية (التحتية) للإطلاق، والتوجه، والقياس عن بعد، والملاحة الفضائية. وقد أصبحت التقانات التي نقلت روّاد الفضاء إلى القمر هي الحجر الذي يقف عليه للعبور إلى الفضاء السحيق؛ فاستناداً إلى هذه التقانات وضعت تصميمات لبعثاتٍ إبداعية (مثل برتوكولات المناورات المدارية والاتصالات الحساسة)، وذلك للتوثق من أن السفن الفضائية قادرة على العمل طوال عقودٍ في بيئات غير ملائمة. ومنذ عام 2007، توصّلت دراساتٌ قمرية أعمقُ إلى أن القمر، أقلّ جفافاً مما كان متوقعاً في وقت من الأوقات، جاعلاً استيطانه البشري أكثر قبولاً. وهذا قَدَحَ زناد جدلٍ سياسيٍّ وعلمي حامي الوطيس يتعلق بمدى وقيمة الاستكشاف البشري للمنظومة الشمسية.



الشكل 2 - دراسات دينامية مكمّلة لاستكشاف المنظومة الشمسية بواسطة السفن الفضائية

a، بهذا الشكل المأخوذ من كتاب علم الفلك الحديث Astronomia Nova، الذي ألفه يوهان كبلر عام 1609، بيَّن كبلر كيف أن موقع المريخ، كما يُشاهد من الأرض، يتغيّر عندما يرسم هذان الكوكبان مسارين إهليلجيين. في هذا الكتاب، الذي نُشِر قبل وقتٍ قصيرٍ من أرصاد كاليليو التي كانت نقطة تحوُّل في علم الفلك، أعلن كبلر اكتشافاتٍ ثوريةٍ تتمثل بقانونين يحكمان حركات الكواكب وهما: تتحرك الكواكب على طول قطوع ناقصة حول الشمس، وتمسح مساراتها مساحاتٍ متساوية في أزمنة متساوية.

b، إن هذه المحاكاة (التي هي نفس الشكل 9 بعد استئذان شركة النشر Elsvier) تبيّن أربعة أطوارٍ زمنية في موقع قرصٍ بعد صدم جسمٍ، كتلته تعادل كتلة المريخ، الأرض البدائية بسرعةٍ أعلى قليلاً من سرعة الإفلات escape velocity المتبادلة. وهذا يولّد قرصاً كتلته تعادل 1.3 كتلة قمرية، وهو خالٍ تقريباً من الحديد ومن المواد الطيارة، وله اندفاع زاوي angular momentum يساوي الاندفاع الزاوي لنظام الأرض – القمر الحالي. ويشير سلّم الألوان إلى شدة الحرارة بالدرجات المئوية. وإذا قبلنا بالمحاكيات السماوية، التي تختبر كيف تنشأ السيناريوهات المختلفة المعقّدة، فإن الارتفاعات الهائلة في سرعة الحاسوب وذاكرته كانت هي التي ولّدت النهضة الحالية في علم الميكانيك السماوي، التي بدأت مع حلول عصر الفضاء. وعن طريق هذه التجارب العددية أصبحت الحواسيب المختبر الأساسي لعلم الفلك، وهذا مكّن النظريين من أن يبحثوا بطريقة أفضل كيف وصلت المنظومة الشمسية إلى بنيتها الموجودة فعلاً. لذا فنحن نعرف الآن كيف تطورت المدارات والسبينات spins مدّياً، وكيف تصل الشهب إلى الأرض، وأين تنشأ المذنبات، وما يميّز الأشكال المعقّدة للحلقات بعضها من بعض، وهلمّ جرّا. هذا، وإن تأثير الدراسات النظرية في فهمنا الحالي لتكوّن المنظومة الشمسية وعملها يقابل تأثير استكشاف السفن الفضائية وعمليات المسح المقرابية.

تيخوبراهي (بأرصاده البصريّة) أن المذنّبات كانت أجراماً سماوية لا ظاهراتٍ جويّةً. وقد أثبتت الحسابات المداريّة التي أجراها إدموند هالي (عام 1682) للمذنب الذي سُمِّي باسمه، أن واحداً من هؤلاء الدخلاء، الذي كان غامضاً في الماضي، كان يزور دوريّاً جوار أرضنا في كل دورةً يقوم بها حول الشمس، مدتها 75 سنة. والأهم من ذلك، هو أن هذا التحليل بَيَّن، بطريقة مفاجئة ومثيرة، القوة التنبؤيّة للنظرة النيوتونيّة إلى العالم.

وفي أواخر القرن الثامن عشر، شاهد وليام هيرشل أربعة سواتل إضافية. وثمّة نتيجة أهم بكثير استخلصها هذا الهاوي عام 1781 عندما راهن على وجود كوكب أورانوس خلال إنعامه النظر بانتظام في السماء متطلعاً إلى أزواج من النجوم كلٌّ منها مؤلَّف من نجمين قريبٌ أحدهما من الآخر. وقد ضاعف هذا الاكتشاف غير المتوقع لكواكب لا ترى بالعين المجردة من حجم المنظومة الشمسية، وأطاح بالاعتقاد السائد آنذاك بأن الكون القريب منا (على الأقل) كان منطقة نعرف كل ما فيها.

لقد طرأ على علم الفلك في القرن التاسع عشر تغير كبير. ففي عامي 1800 و1801 اكتشفت أول إشعاعات (تحت حمراء وفوق بنفسجية) مرئية. وفي الفترة نفسها، اكتشف أول كويكب asteroid، هو سيريس Ceres، الذي جرى تعقّبه ليتبين أنه موجود بالضبط في الموقع الذي تنبأ به قانون تيتيوس–بود Titius-Bode التجريبي (عام 1772)، وبأنه الكوكب الخامس الذي كان يبحث عنه. وما إن أُثبت أن الشهب ذات منشأ كوني، بدأ الكيميائيون بتحليل المواد الموجودة خارج الأرض. وحين استُنتِج بحق سبب الشذوذات التي يتسم بها مدار كوكب أورانوس، وجّه المتخصصون في الميكانيك السماوي الراصدين إلى موقع نبتون (الذي اكتُشف عام 1846)، والذي يصنّف الآن بأنه الكوكب الثامن والأخير للشمس (ذلك أن بلوتو يصنّف بوصفه كوكباً قزماً).

إن التطورات الكثيرة التي حدثت في منتصف القرن التاسع عشر –اختلاف المنظر parallax النجميُّ الذي طال البحث عنه، وابتكار التحليل الطيفي والتصوير الفوتوغرافي– غيّرت ممارسة الأرصاد المقرابيّة والنتائج المترتبة عليها. لقد غيرت هذه التطورات اهتمام الفلكيين من الكواكب إلى نجوم أبعد بكثير. وقد تسارع هذا التغير في بدايات القرن العشرين حين حوَّلت التقدماتُ الحديثةُ علمَ الفلك إلى الفيزياء الفلكية، وهي فيزياء الأجرام السماوية. ولما كانت الدراسات النجمية والمجرّيّة جذابة جدّاً، فقد صارت الدراسات المتعلقة بالكواكب والأقمار مهملة

نسبياً. ووفقاً لما كان مطلوباً عموماً آنذاك، فقد كانت البحوث الكوكبية تُولي احتمالَ وجود حياة ذكية على المريخ اهتمامَها الأوّل، وكان بيرسيفال لوويل Percival Lowell في ذلك الوقت أشهر المدافعين عن فكرة وجود حياة ذكية على سطح المريخ، لكنْ ثمّة تساؤلات علمية حديثة عن هذا الاعتقاد التاريخي. وقد تحسنت مكانة علم الكواكب عندما ظهر عملان علميّان مؤثران في منتصف القرن العشرين.

هيمنت الدراسات الفلكية، التي كانت تجري على سطح أرضنا، على فهمنا للكواكب حتى منتصف الستينيات من القرن العشرين. وحتى بعد مرور عشرين سنة، ظلت المقاريب المقامة على سطح الأرض هي الأدوات الرئيسية لدراسة كثير من الأهداف في المنظومة الشمسية. وفي أيامنا هذه يدور جدل حول ما إذا كان إسهامُ عمليات المسح الأرضية للمذنبات والكويكبات في فهمنا لهذه الأجرام السماوية، معادلاً لإسهام السفن الفضائية التي تطير على مقربة منها.

إعادة تحديد الأرصاد الكوكبية

إن الاستكشاف الكوكبي حدثٌ غير عادي تماماً في تاريخ العلم: إذ كان موضوعاً وُلد بعد أن تميّز بسرعة تخصّصُ بحثيٌّ يقوم به قلّة من الناس نتيجة أحداث كانت بعيدة جدّاً عن نطاق التحكم فيها. (انظر مضمون المؤطر 1) وخلال السباق الفضائي، موّلت حكومتا الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي العلم الكوكبي لإظهار التفوق العسكري والهيبة الوطنية لكلّ من الدولتين. وكان كثير من المواطنين، من ضمنهم علماء، مفتونين «بروعة وإغراء اكتشاف عوالم أخرى». وفي الوقت نفسه، كان القطاع الصناعي مدفوعاً بالحصول على الأرباح وبالتحدي التقاني.

يمتص جو الأرض أنماطاً كثيرة من الإشعاع الكهرطيسي، ثم إن اضطرابه يقلّل من وضوح الميْز resolution عبر لطخات واسعة من الطيف. لذا فإن إرسال آلات إلى الفضاء يسمح بالحصول على صور أوضح في الأطوال الموجية كلّها. أضف إلى ذلك، أن المنظومة الشمسية تتميز من كثير من الأهداف الفلكية الواقعة على مسافة أبعد، بأنها يمكن بلوغها في الواقع بمركباتٍ بينجميةٍ، تسمح مقاربيها الصغيرة بتكبير ما كان يبدو نقاطاً ضوئية، لتصبح عوالم مرئية رائعة تستحق منا دراستها. وفيما يتعلق بالآلات التي تدور حول المريخ وزحل، فإن الميْز يتحسّن 10^5 و10^6. وهذا يفسح المجال لاحتمال الهبوط على سطح، والحصول على قطع من صخور مختارة، والبحث عن وجود جوٍّ، والعثور –بوجه خاص– على ما لا يُتوقّع. عند ذلك، يمكن تسليم عيّنات فيزيائية لموادّ من خارج الأرض إلى مختبرات على الأرض مجهزة تجهيزاً يمكّنها من تحليل مركّبات المعادن والنظائر بالتفصيل. ويمكن إيضاح الفوائد التي يجنيها استكشاف الكواكب بواسطة البعثات الفضائية، بالإشارة إلى الطريقة التي حسّنت بها أرصاد سفينة الفضاء كاسّيني Cassini معرفتنا لقَمر تيتان Titan (انظر الشكل 3).

خطوات إلى الفضاء

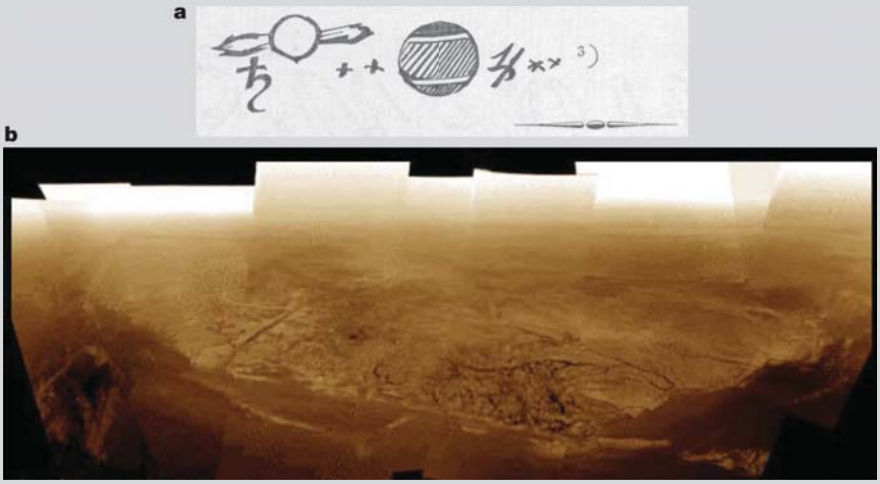
ثمّة فئة قليلة من الناس في هذه الأيام تدرك ضعف معرفتنا لعناصر المنظومة الشمسية، ومن ضمنها الأرض، قبل عصر الفضاء، إذ كانت الحقائق المتاحة قليلة بدرجة مذهلة. لننظر في الدليل الآتي: في أواخر عام 1966، كان العلماء الذائعي الصيت يتناقشون في إمكان كون المريخ مُغطّىً بالنباتات. وقبل ذلك بعشر سنوات، كان العلماء يجهلون طبيعة سطح كوكب الزهرة: أهو صحراء أم مستنقع أم محيط؟ أما الفوهات التي تغطي سطح القمر، والتي كانت –إضافة إلى بضعة أمثلة أرضية– من البنى القليلة المرصودة في المنظومة الشمسية. فكان يُعتقد، حتى عام 1950، أنها براكين. وكان يُنظر إلى السواتل الطبيعية بوصفها

المؤطر 1- علم الاجتماع

في عام 1958، بعد وقت قصير من إقرار مباشرة العمل في الاستكشاف العملي للمنظومة الشمسية، «بحثت وكالة ناسا عن أناسٍ للقيام بالمهمّات العلمية، لكنها لم تعثر على أحد. لذا تعيّن على ناسا «التزلف.... وتقديم حوافز ضخمة للناس كي... يعملوا في العلم الكوكبي». وقد نجحت هذه الاستراتيجية: إذ تحمّس كثير من الطلاب والباحثين، من ضمنهم أنا، للعمل في استكشاف المنظومة الشمسية في الستينيات. كان الدافع علمياً، وكان «المستقبل» هو الذي جذبنا، لا المال. وفي الوقت نفسه، أغرت ناسا الجامعات لتؤسّس أقساماً لعلم الكواكب، وذلك بإنشاء مبانٍ وتحويل الهيئات التدريسية، وتزويد الأقسام بباحثين مدعومين بتمويلٍ حكوميٍّ فقط. وقد لاحظ مؤرّخُ لعلم الكواكب أن برنامج الفضاء الأمريكي كَلْفَن galvanized حقن علم الفلك الكوكبي، وأعاد إليه الحياة وأصلحه. وسرعان ما التحقت دولٌ أخرى من المعسكر الغربي بهذا العرض.

وبسبب دمج علم الكواكب علوماً كانت تنتمي إلى فروع معرفية تقليدية، فقد بدأ بدون مراكز مهنية في منظمات علمية، وبدون أقسام أو مجلات أكاديمية. وفي الولايات المتحدة، حدث تنافس بين الجمعية الفلكية الأمريكية (AAS) والاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي (AGU) لتمثيل هذا الفرع المعرفي الجديد. واستجابة لزمرة مقنعة من رواد علم الكواكب، حدّدت الجمعية الفلكية الأمريكية أول تخصّص جزئي لها، وذلك يعود جزئياً إلى استيعاب هذه «المجموعة الفتية من العلماء غير معترف بهم، الذين ليس لهم فرع معرفي واضح البصمات». وفي هذه الأيام، نرى أن قسم العلوم الكوكبية (DPS)، الذي عدد أعضائه 1500، هو أكبر قسم في الجمعية الفلكية الأمريكية وأنشطها، والأكثر استقلالاً.

وبعد أن جرى الحصول على قياسات كوكبية من منصّات فضائية، إضافة إلى الأرصاد من الأرض، فقد توسع علم المنظومة الشمسية من تقنيات فلكية تقليدية، مثل القياسات الضوئية والمطيافية، إلى تخصّصاتٍ علميةٍ وصفية مثل الأرصاد الجوية، والجيولوجيا، وحتى البيولوجيا من وقت إلى آخر. وقد تطلّب هذا التحوّل نشرات جديدة وبرزت عدة مجلات (مثلاً Icarus) لخدمة هذه الحقل المزدهر المتعدد الفروع المعرفية.



الشكل 3- تيتان عالم جديد اكتشفته بعثات فضائية

a، عندما استعمل هوبكنز عام 1655 مقرابه الذي صنعه حديثاً، والذي يُعدُّ تحفة فنية نادرة، رسم المشتري (في اليمين) و زحل (في اليسار) ليقابل نظام سواتل المشتري بالغياب الظاهري لأقمارٍ حول زحل؛ وبعد انقضاء ليلتين، شاهد تيتان.

b، عَقِبَ هذا الاكتشاف حُدِّدَ حزام كويبر، عام 1944، بأنه جوٌّ من الميثان. لكن الساتل، الذي هو الآن أكثر السواتل إثارة للاهتمام، ظل بالنسبة إلى الراصدين الأرضيين كرةً غريبةً برتقالية اللون، إلى أن بيّنت السفينة الفضائية فويجر1، التي طارت قريباً من تيتان، أن له جوّاً سميكاً ملياً بالضباب، ويعلوه ضباب رقيق غنيٌّ بالعضويات، وأنّ الأحوال الجوية قد تُسرِّع سقوط مطرٍ من الميثان. وبعد قيام كاسيني Cassini بأكثر من سبعين عملية طيران قريب من هذا القمر، أُميط اللثام عن عالَمٍ معقّدٍ آسرٍ. هذا، وإن فحوص سطح الساتل بواسطة الرادار والأشعة تحت الحمراء، تبهج الجيولوجيين: إذ إنه يحوي كثباناً من الرمال الهدركربونية، ونظاماً من الوديان المتفرّعة، وبحيرات من الميثان، وبضع فوهاتٍ كلٌّ منها يشهدُ على أن هذا السطح فتيٌّ. إن مجسّ هويكنز، الذي أطلقته وكالة الفضاء الأوروبية (ESA)، والذي أُسقط بالمظلات عبر جوّ كثيف ليهبط على سهولٍ غنيةٍ بالميثان، اصطدم بجلاميد جليدية متنوعة، وأخذ هذه الصورة لشبكة الوديان النهرية التي تنتهي بأحواض ملساء مظلمة. وفي الوقت نفسه، توحي أرصاد البلازما والثقالة والحقل الكهرطيسي أن لتيتان محيطاً داخلياً من الماء السائل والأمونيا. ومن المستحيل التوصّل إلى أيٍّ من هذه الاكتشافات من الأرض أو من سفينةٍ تدور في فلك حول الأرض.

قطعاً صخرية أو جليدية تتسم بالبلادة إلى حدٍّ بعيد. غير أنّ الاكتشافات التي وفرتها البعثات الفضائية غيّرت جذريّاً المنظومة الشمسية التي يعرفها أولادنا.

استمر استكشاف جيران الأرض بتسارعٍ كبيرٍ بعد وقتٍ قصيرٍ من إطلاق سبوتنك Sputnik عام 1957. ففي ستة أشهر فقط، اكتُشفت الأحزمة الإشعاعية للأرض –وهي أوّل مفاجأة لعصر الفضاء. وفي شهر كانون الثاني/يناير من عام 1959 أفلتت سفينة الفضاء لونا 1 (Luna 1) من ثقالة الأرض وانطلقت باتجاه القمر، واكتشفت طوال مسارها الريح الشمسية. وبحلول منتصف أيلول/سبتمبر تحطمت لونا 2 (Luna 2) على القمر. بيد أنه بعد مضيّ ثلاثة أسابيع فقط، أرسلت لونا 3 (Luna 3) صوراً فوتوغرافية حبيبيَّة للوجه البعيد للقمر المغطى بكثافة بفوهات. وفي عام 1962، اقترب المجسُّ الفضائي مارينر 2 (Mariner 2) من سطح الزهرة –وكان ذلك أوّل مواجهة ناجحة مع كوكبٍ– وقاس الحرارة الشديدة للكوكب. وبعد انقضاء ثلاثين شهراً، شاهد مارينر 4 (Marinwer 4) منطقة ساكنة من المريخ يجري قصفها.

وفي أواخر الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين، حين كنتُ في بداية عملي للتحضير لبعثة جديدة موجهة إلى أهدافٍ في المنظومة الشمسية الداخلية، بدا أنها تغادر مواقعها كل بضعة أشهر (المؤطر 2). كان قمرنا الأرضي بين الأهداف الأوّلية (الشكل 1). لقد أصبحتُ مدمناً على استكشاف الفضاء عن طريق التّعرية التدريجية والمغرية لجميع الكواكب الداخلية –عطارد (الطيرانات القريبة الثلاثة لمارينر 10 في 1974-1975)؛ والزهرة (مارينر 5 ومارينر 10، وPioneer Venus عام 1978، وسلسلة فينيرا Venera وفيغا Vega، وكشف مجلان الراداري)، والمريخ (مارينر 6 ومارينر 7، ومارينر 9 الثوري عام 1971، وأخيراً، مَرْكَبَات فايكنك Viking على سطح المريخ التي كانت تتقصَّى وجود حياةٍ عليه في منتصف السبعينيات).

لكن الاندفاع العنيف للبشرية إلى الفضاء تباطأ في السنوات الخمس والثلاثين الماضية. فقد هجرت الولايات المتحدة القمر في مطلع السبعينيات من القرن العشرين (الشكل 1)، ولم تجْرِ الموافقة إلا على عددٍ قليلٍ من البعثات الفضائية الأمريكية. وفي هذه المدة نفسها، أصيب البرنامج السوفييتيُّ لاستكشاف الفضاء بسلسلة من الحوادث المؤسفة، ومن ثمّ فقد التمويل والتأثير. ولحسن الحظ، فإن بعثتي فويجر الأمريكيتين، اللتين أُطلقتا عام 1977، كانتا تنفذان برنامجهما الطّموح المعروف باسم «الجولة الكبرى» Grand Tour: فكلتا السفينتين الفضائيتين زارت أولاً المشتري عام 1979 (الشكل 4)، ثم زحل عامي 1980 و1981؛ ثم خاطرت فويجر 2 بتجاوزها أورانوس عام 1986، وقابلت كوكب نبتُون (الشكل 5) بعد مرور ثلاثة أعوام. وخلال مدةٍ غير مثيرة بعد ذلك، كانت البرامج الفضائية للبشر تستند إلى هذه البعثات الطائرة، ثم إن كثيراً من قادة هذه الأيام في استكشاف المنظومة الشمسية اكتسبوا شهرة بوصفهم علماء شاركوا في هذه البعثات.

وخلال الثمانينيات من القرن الماضي، بعد الانتصارات التي حققتها بعثات فويجر، ضعُفَ برنامج استكشاف الفضاء الأمريكي، إذ درست إدارة ريغان إلغاء جميع البحوث الكوكبية، وكان أن أُلغيت جميع البعثات إلى الكواكب. ثم إن مأساة مكوك الفضاء تشالنجر Challenger خفّض من قدرة الإطلاق، وأعاد برمجة التمويل. وفي منتصف التسعينيات أعادَ جزئياً برنامجُ ديسكفري Discovery –الذي يحوي سلسلة من البعثات الفضائية الصغيرة، لكنها كانت أكثر تركيزاً– الحياةَ إلى علم الكواكب. وقد أنجزت هذه البعثاتُ دراسات متنوعة للمنظومة الشمسية الداخلية، وركزت على أجسام صغيرة وعلى القمر، وبحثت أيضاً في الكواكب الخارجية. إلاَّ أنّ هذه البعثات، التي وَضَعت وكالة ناسا شعاراً لها هو «أن تكون أسرع، وأفضل، وأقل تكلفة» نادراً ما حققت، ولسوء الحظ، هذه الشعارات جميعَها في آن واحد.

أما البعثتان اللتان أُطلق عليهما اسم فلاكْشِبْ Flagship (بعثة كاليليو إلى المشتري عام 1989، وبعثة كاسيني–هويكنز Cassini-Huygens إلى زحل عام 1997)، فقد أرسلتا لتزويدنا بمزيد من الأرصاد التي بدأتها بعثات فويجر بغية تعرّف العمالقة الغازيين والبيئات التي توجد فيها. وفي نجاح هندسي استثنائي، أسقطتْ سفينة الفضاء كاليلو مجسّاً probe جويّاً عِبْرَ غازات مشتروية ضغطها نحو 10 بارات، وهبطت كبسولةُ هويكنز بهدوءٍ وبسلام على سطح تيتان (الشكل 3)، ثم أرسلت قياساتٍ علميةً طوال ساعة. وبرغم حدوث مشكلة في الهوائي ترتب عليها إيقاف إرسال البيانات (المعطيات) data، فإن سفينة الفضاء كاليليو أرسلت صوراً مدهشة كانت تركّز على براكين أيو Io وعلى القشرة الجليدية المتصدّعة ليوروبا Europa. وحالياً، أي في بداية السنة السابعة لدوران كاسيني، فإنه ما يزال مستمراً في هذا الدوران حول أجمل كوكب بلا منازع (زحل) (انظر الشكل 6) وأكثر المنظومات إثارة للاهتمام. وقد تبيَّن أن تيتان (انظر الشكل 3) عالم رائع لعدة أسباب، وأن الحلقات هي طُرُزٌ بدائية دينامية لأقراص فيزيائية فلكية astvophyical disks.

شهد أيضاً منتصف التسعينيات إعادة توجيه رئيسياً للعلم الكوكبي، ولكثير من المهمّات الفلكية لوكالة ناسا، وصار التركيز منصبّاً على دراسة أصول الأجسام السماوية. وما حثّ على هذا التحول عدة مكتشفات حديثة هي: اكتشاف عدد متزايد من الكواكب غير الشمسية exoplanets، يوجد كثير منها في منظومات مضاعفة multiple، والاكتشاف الذي كان مقبولاً ظاهرياً سابقاً (والذي ضعفت الثقة به حالياً)، وهو أشكال من الحياة الأحفورية Fossil life في الحجر النيزكي المريخي ALH84001؛ والتحقق من أن الحياة الأرضية يمكن أن تستمر، وربما قد تنشأ، في بيئات متطرفة. بدأت تُعالَجُ الأسئلة عن أصول الكواكب، والحياة ذاتها، بقوةٍ، وأُرْصِدَ لهذه المعالجة الكثير من الأموال. هذا وإن البيولوجيا الفلكية astrobiology التي تمكنت في النهاية من الحصول على اسم لها، أصبحت فرعاً معرفياً علمياً مقبولاً. وخلال مدة قصيرة ازدادت ميزانية وكالة ناسا المخصَّصة لعلم الكواكب، وقُسِّمت مناصفة تقريباً بين المريخ وأهدافٍ أخرى.

ثم إن دولاً غير الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي، غامرت أيضاً في غزو الفضاء. فقد حَيَّى أسطولُ دوليٌّ عام 1936 مذنَّب هالي، وكان يضمُّ هذا الأسطول بعثات من أوروبا (وكالة الفضاء الأوربية)، واليابان. وخلال الأعوام القليلة المنصرمة، التحقتْ وكالة الفضاء الأوربية، والهند، والصين، واليابان، بأمريكا للهبوط على قمر الأرض. وهذه علامةٌ على انبعاث اهتمام عالميٍّ بالقمر (الشكل 1).

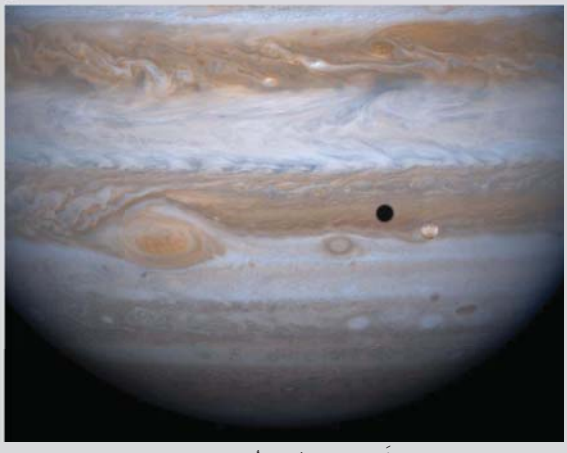
وفي هذه الأيام، تمثِّل، المقاريب المقامة على سطح الأرض، وتلك التي تدور حول الأرض، بعثاتٍ فضائيةً إضافيةً، وتُسهم في علم الكواكب بقدر أكبر ممّا كان عليه الحال قبل عشرين سنة

المؤطر 2- البعثات المبكّرة

تطور علم الكواكب بسرعةٍ ليتحول إلى فرعٍ معرفي ملتصقٍ بالمجتمع، وغدا يعملُ فيه مجموعة من الممارسين الذين كان إخلاصهم له شديداً. ومن بين أسباب ذلك أن طبيعة البعثات الكوكبية التي توفر النتائج الأساسية كانت من المهام الرئيسية. وفي البعثات الفضائية المبكرة، بوجه خاص، كانت الفرقة العلمية المختارة غالباً ما تستمر عقوداً، وتتطلّب ساعاتٍ طويلة في اجتماعاتها لتحديد الأولويات، وتصميم الاستراتيجيات الرصدية، ثم استرجاع المعطيات data المختزنة في الحواسيب، ثم الحصول على التعليلات. وبتطلّب هذه البعثات إخلاصاً شديداً من الأفراد، فإنها ولّدت أطراً من النخبة المحبوكة معاً بإحكام. وإذا أدخلنا في الحسبان الساعات الطويلة التي كان يقضيها أفراد الفريق في عزلة تامة لبلوغ أهدافهم المقدسة، وندرة العنصر النسائي بين علماء الكواكب، فقد كانت عضوية الفريق تشبه، إلى حدٍّ ما، الانخراط في سلك الرهبانية. وقد ولّدت الاحتفالات الضخمة التي رافقت نجاحات إطلاق البعثات، والتقاء البعثات الفضائية في الفضاء، نمطاً من الآلفة والمودّة لا يوجد له مثيل غالباً في أيٍّ من النشاطات العلمية الأخرى.

وخلال هذه السنوات، كان من المؤكد أن كثيراً منا مدفوعون بفيضٍ من المكتشفات المدهشة، وأيضاً بالطموح والتنافس. لكنّ الأفضل من ذلك كلّه، هو أننا كنا نشعر بأننا جزء من شيء ما أكبر منّا: إنه الاستكشاف الداعي إلى الابتهاج لموقعنا في هذا الكون. إن هذه الكتيبة من الباحثين الذين كرّسوا أنفسهم لعملهم، والتي كان كثير منا فيها في العشرينيات من أعمارهم عندما بدأ البرنامج جدّياً، بلغ أفرادها الآن الستينيات والسبعينيات من أعمارهم، أو صاروا في العالم الآخر. وبعد نصف قرن مجيد، أُميط اللثام عن المنظومة الشمسية، فإن الشعلة انتقلت إلى جيل جديد.

لكن هيمنة فِرَق مهمّة كبيرة على علم الكواكب، تغيّر. وفي هذه الأيام، فإن علماء الكواكب مدعومون مادياً بمِنَحٍ صغيرة عديدة بدلاً من مؤسسة توفر لهم تمويلاً ضخماً. وهذا يتطلّب كتابة اقتراحات، ومراجعتها، والاشتراك في لجان خبراء، واختيار الاتجاهات المناسبة. ومع أن ذلك أكثر ديمقراطية، بالطبع، إلاّ أن ما يدعو إلى الأسف أنه أقل فاعلية.



الشكل 4- سواتل المشتري الكاليلية وأقمارٌ أخرى للكواكب العملاقة

a، يبين هذا الشكل، الذي رسمه كاليلو، ثلاثة تشكيلاتٍ مما أسماه كاليلو «كواكب مديسيان» Medicean planets، كما كانت عام 1610. وقد صرح هذا الفيزيائيُّ التوسكانيُّ أنّ «ماسيُحدثُ أشدَّ دهشةٍ أربعةُ سواتلَ تدور حول المشتري، مثلما يدور القمر حول الأرض، في حين أنها مع المشتري تنجز دورةً كبيرةً حول الشمس في الفضاء كل اثنتي عشرة سنةً؛ وهو بهذا قلبَ الفكرةَ الشائعة آنذاك، التي كانت تؤكّد أن الأرض هي مركز الحركة السماويّة.

b، أيُو Io، وهو أقربُ سواتل المشتري الكاليلية إليه، يتحرك أمام الجو المضطرب للكوكب، ويقع إلى يمين البقعة الحمراء العظيمة Great Red Spot وخيالها. (أخذت الصورةُ سفينةُ الفضاء كاسيني Cassini، ترميز الصورة PIA02860، الميز يساوي 100كم تقريباً، NASA/JPL/SSI). وخلال طيران فويجر1- قرب المشتري، ذُهل معظم الخبراء الكوكبيّين عندما تبين لهم أن أيُو يمتلك علاماتٍ تشير إلى وجود براكين كبريتيةٍ عنيفة، نشاطُها أشدُّ كثيراً من نشاط البراكين الأرضية. هذا وإن السواتل الكاليلية الأخرى للمشتري، التي حجم كلٍّ منها قريبٌ من حجم قمرنا، مميَّزة جداً عن غيرها. فَيُورُبا Europa ساتلٌ مغلَّف بدقة بقشرة جليدية تشوبها الصدوع، وتقع فوق محيطه الكوني. ثم إن الساتلَ كانميد Ganymede، يتميّز بتعقيدٍ جيولوجيٍّ وحقلٍ مغنطيسيٍّ، وهذا يدلُّ على أن قسمه الداخلي سائل؛ أما الساتل كاليستو Callisto. وهو أبعدُها عن المشتري، فهو يعج بكثافةٍ بالفوهات. وأما أشهر سواتل زحل فتحتوي أيابيتُوس Iapetus ذا الوجهين، وتيتان Titan (انظر الشكل 3)، وإنسيلادوس Enceladus؛ ومن غير المحتمل أن يكون الساتلُ الأخيرُ، الذي يجب أن يكون غير هام بسبب صغر حجمه، قَذَفَ دفقاتٍ من بخارٍ في الفضاء. وبطريقة ما، يقوم تريتون Triton، ساتلُ نبتون، بتزويد ينابيع الماء الحار التي تنفجر من صدوعٍ موجودة في قشرته المتجمدة الشبيهة بالبطيخ الأصفر. وقد ادَّعى خبيرٌ في جيولوجيا الكواكب أن قمر أورانوس، ميراندا Miranda، ذا السطح المرقّع، هو بمثابة جميع الأماكن الغريبة المدمجة في مكانٍ واحد. والخلاصة هي أن السواتل نشطة بدرجةٍ مذهلة، وهي آسرة مثل الكواكب التي تدور حولها.

خلت. وتدمجُ المقاريبُ الكبيرة آلاتٍ ضوئيةً مع كواشف حساسة وحواسيبَ قوية. وهذه رصدتْ أول أجسامٍ في حزام كويبر (إضافةً إلى بلوتو) عام 1992، وواصلت إحصاءَ هذه الأجسام الخادعة. زد على ذلك أن النظم العالية الجودة، والرخيصة الثمن، تسمح للهواة وللمراصد الأكاديمية الصغيرة بتزويدنا بمعطيات قيِّمة لعمليات المسح الشاملة، وللمراقبة المنهجية لأهداف مختارة. إن مستودعنا المحسَّن لقاطني المنظومة الشمسية يحوي الآن أصنافاً إضافية من أجسام سماوية (مثل الكويكبات الثنائية، والأجسام العابرة لنبتون (التي تضم أجسامَ حزام كويبر، والقرصَ المبعثرَ، ومذنبات غيمة أورت)، وأجسام عابرة هي مذنّباتٌ أو كويكباتٌ، وسواتل غير منتظمة، ومجموعات ضمن زمرٍ مختلفة).

تبصراتٌ في الكواكب وأصولها

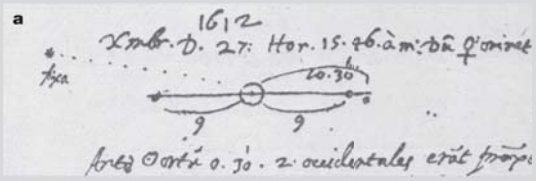
من بين المكتشفات المتعلقة بجوارنا السماويّ خلال عصر الفضاء لديّ خمسة مواضيع أفضِّلها على غيرها هي:

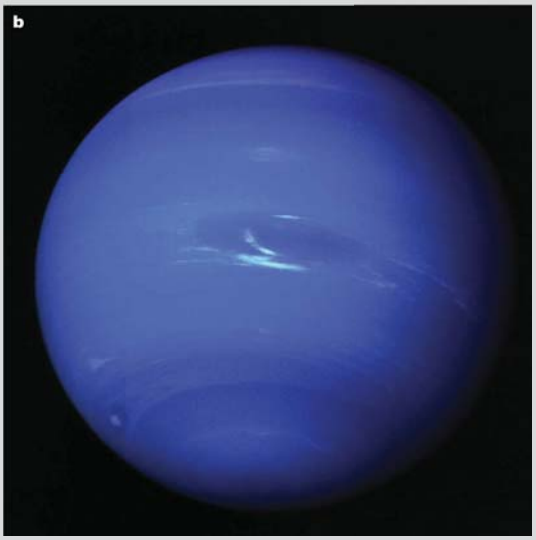
1. فهمُنا الحديث لمكوّنات المنظومة الشمسية؛
2. النشاط الشديد لكثير من الكواكب والسواتل؛
3. البيولوجيا الفلكية؛
4. أصل المنظومة الشمسية؛
5. العوالم الكوكبية الأخرى.

إحصاء لقاطني المنظومة الشمسية:

توضح الأشكال 5 و6 و7 و8 كيف نفهم عدة كواكب (نبتون، وزحل، والزهرة، والمريخ بالترتيب) في هذه الأيام مقارنةً بفهمنا لها عند إطلاق سبوتنك Sputnik. وسأذكر الآن بعض الأفكار التي جرت مراجعتها فيما يتعلق بالسواتل والأجسام الصغيرة.

أظهر استكشاف السواتل الطبيعية بواسطة البعثات الفضائية أن هذه السواتل هي، أيضاً، عوالمُ متمايزة. كان قمر الأرض (الشكل 1)، بالطبع، أوّل هدفٍ خارج الأرض يجب دراسته، وقد نُفِّذت الدراسة في البداية بواسطة سُفُن رينجر الانتحارية والسفن التي تدور حول القمر المزودة بالآلات اللازمة، ثم بواسطة المركبات التي هبطت على القمر، وأخيراً بواسطة البشر. وقد عادت الآن السفن غير المأهولة التي كانت ترصد القمر لتحسّن فهمَ البشر للجار السماويّ للأرض، وربما كان ذلك مقدمة لبرنامج استكشاف مكثّف ينفّذه البشر. وكما ظهر في الصور المتميزة التي تشير إلى جمال الفضاء الفريد، فإن القمر –مع أنه غريب دون شك– لم يكن مفاجئاً لنا، إذ إنه عالمٌ خامل، تسودُ سطحَهُ الفوهات بكثافة. وبالطبع، كان من الطبيعي التوقُّع أن الأقمار الأخرى تشبهه، لكن الأقمار الصغيرة كانت أقل إثارة للاهتمام. بيد أن ساتل المريخ فوبوس Phobos، الهدف الساتلي التالي، كان بحقٍّ يبدو وكأنه من





الشكل 5- إغراءات المنظومة الشمسية الخارجية

a، خلال رصد كاليليو لكوكب المشتري في عامي 1612 و 1613، لاحظ حركة جسيم قريب، وهو ما يُعرف الآن باسم نبتون. وفي الحقيقة، يشكُّ بعضُ المؤرخين في أن هذا الراصد الإيطاليَّ أدرك أنه شاهد كوكباً جديداً.

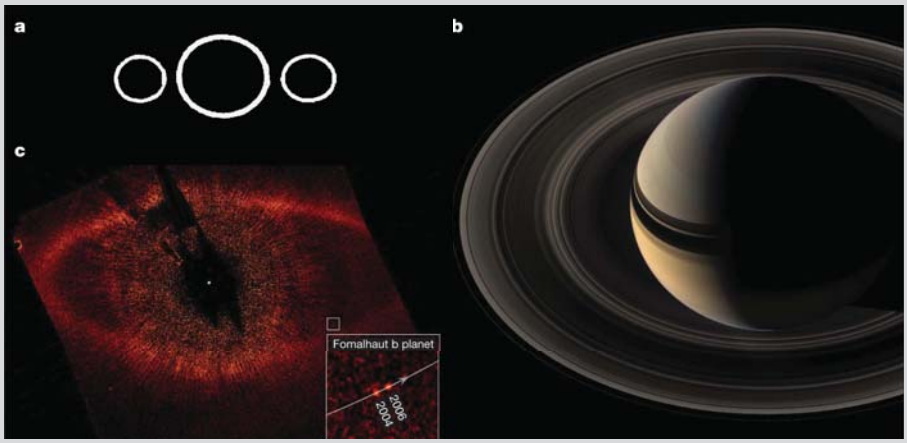
b، صورة ألوانها غير طبيعية PIA!1492 الميز resolution بضع مئات من الكيلومترات، (NASA/JPL)، أخذتها السفينة فويجر2، تعرض نبتون، وهو كوكب جليدي عملاق، يضم بقعته المظلمة الكبيرة Great Dark Spot، مع بعض السُّحب الخيطية البيضاء المرافقة له، وأيضاً، العواصف الجويّة الأخرى. إن النظام الشمسيّ الخارجي، المختلف عن جوارِ الأرض في تركيبه، تحدّى نماذجنا حين أَرسَلت سفنُ فويجر الفضائية أوّل معطياتها. فكوكبا المشتري وزحل الغازيان العملاقان، المكوّنان من الهدروجين والهليوم، في المقام الأول، يجعلان من الأرض كوكباً قزماً، ثم إن حلقاتهما وسواتلهما المعقّدة متنوعة، وغالباً ما تكون نشطة برغم محدودية المصادر الحرارية (الشكلان 4 و 5). وقد وصف صحفي في مجلة Science الإثارة التي أحدثتها رحلات سفن فويجر الفضائية بقوله: «من ناحية المتعة الذهنية الصّرفة، لم يوجد شيء قطّ مشابه تماماً لمواجهات سفن فويجر. فرؤية البراكين على أيو Io والحلقات الصغيرة حول زحل، التي هي حلقات مجدولة، شيء خياليٌّ». وإضافة إلى هذا، فالكواكب نفسها كانت روعة للناظرين بأجوائها المضطربة، وعواصفها الرعدية القوية، وأَشْفاقها القطبية النشطة. ولنبتون –وهو أبعد كوكبٍ في المنظومة الشمسية عن الشمس– أقوى رياح نطاقية zonal winds، برغم القدر القليل من الطاقة التي تُزوِّده بها الشمس؛ ويدور حوله القمر الضخم تريتون Triton وأقواس الحلقات الثلاث ذات الوميض القوي. ويمثل أورانوس، المارد الجليدي الآن، نظاماً من الحلقات والأقمار المتشابكة، وهذه تشكّل مع الساتل الغريب ميراندا Miranda بيئة مغنطيسية بالغة التشوّه.

عالم آخر، إذ كان يشبه حبّة من البطاطس امتدادها 25 كيلومتراً، وكان سطحه مليئاً بالصدوع والفوهات. ولما كانت مساحةُ السطحَ الكبيرة لوحْدة حجم تبرِّد الجسم بسرعة، فإن الأجسام الصغيرة يجب أن تَبرد بسرعة أعلى من الأجسام الكبيرة، ومن ثم يجب أن تكون ميتةً ومُملّةً. لكن زيارات السفن الفضائية وجدت أن كثيراً من الأجسام، التي يُفترض أنها باردة في المنظومة الشمسية الخارجية، كانت نشطةً بدرجة تدعو إلى الذهول.

هذا وإن العديدَ من الأجسام الصغيرة نسبياً في المنظومة الشمسية (الكويكبات، المذنبات، النيازك التي تدور حول الشمس، وغيرها) فُحصت بالمقاريب وبسفن فضائية قامتْ ببضع زيارات لها. إن الكويكبات التي كانت تُعدُّ سابقاً أنها قطع صخرية خاملة، لا عمل لها إلا الاصطدام بعضها ببعض من حين إلى آخر– هي، في الواقع أكوام من كسارةٍ سريعة الزوال: فمفعول ياركوفسكي Yarkovsky effect يعدل بحسْم مداراتِ وسبيناتِ spins الأجسام الصغيرة، ويولِّد من وقت إلى آخر ثنائيات binaries نتيجة التحطيم النابذ centrifugal. ليست المذنبات كراتٍ ثلجيةً قذرةً، بل كراتٍ قاذوراتٍ جليدية سَوَّدت لونها عضويات قطرانيةٌ. ومن المدهش أن تكون الحبيبات ضمن هؤلاء الزوّار القادمين من أبرد أصقاع الفضاء النائية تعرّضت في وقت من الأوقات لحرارات جد عالية.

وتحتوي الأهدافُ القارسةُ البرودةِ للمنظومةِ الشمسية معرضَ أجسامٍ مذهلاً –أجساماً كبيرة وصغيرةً؛ بعضها بدائيٌّ، والبعض الآخر مُذابٌ ومجموعات من ألوان مختلفة ونماذج مداريةٍ مختلفة– قُذفَتْ جميعها معاً كأعضاء من المنظومة الشمسية قبل دهورٍ قديمة العهد. إن أجسام حزام كويبر، باستثناء بلوتو، كانت مجهولة قبل عقدين من الزمن، غير أنه أكتشف منها حتى الآن أكثر من ألف جسم قَصيٍّ وضخم، وجليديٍّ. إنها تمثل تجمعاً موضعياً يشبه امتدادُهُ وبنيتهُ المداريةُ أقراصَ الأنقاض debris الموجودةَ خارج النجوم الحديثة الولادة. وتؤوي هذه المنطقة ثلاثة على الأقل من الكواكب القزمة dwarf planets (هوميا Haumea، إريس Eris، ميك ميكْ Makemake)، إضافة إلى كوكب بلوتو القزم، الذي غدت أهميته الآن بين الأجسام العابرة لنبتون، أقل من أهمية سيريس Ceres بين الكويكبات.

كانت الحصيلة النهائية لاستكشاف المنظومة الشمسية من قِبَل البشر هي الاعتراف بأرضنا على أنها كوكب. إن الصورة الرائعة التي أخذتها أبولو Apollo لشروق الأرض من القمر –الذي كان بين السفينة أبولو والأرض– غيّرت نظرتنا جميعاً إلى كرتنا الرخامية المائية الزرقاء، وكانت الدافع لحدوث حركةٍ عالميةٍ في السبعينيات للحفاظ على البيئة. فموطننا البيئي ليس معزولاً عن الكون. وبدلاً من ذلك، فإن المناطق المجاورة لنا في الكون تحدث أثراً عميقاً فينا. إن الصدمات العنيفة التي تعرضّت لها الأرض بفعل الكويكبات والمذنبات أكدّت بوضوح احتمال وجود حياة خارج كوكبنا مراراً أو تكراراً، وستعيد هذا التأكيد ثانية.



الشكل 6 - تتوفرُ حلقات زحل شبيهاً لأقراص الكواكب البدائية

a، مخطط رسمه كاليليو (في أواخر عام 1610، وعرضه كريستيان هويكنز في مقالته بعنوان نظام زحل System Saturnium عام 1659)، وقاده إلى تقديم التعليق التالي: «كانت دهشتي عارمة جداً لأن زُحل لم يكن نجماً واحداً، بل كان ثلاثة معاً». وهكذا، فإنه أخطأ في تفسير الحلقات بسبب منظرها غير الواضح.

b، تبيّن هذه الصورة (PIAO8388, IVASA/PL/SSI) حلقات زُحل المعتمة جدّاً لأن الشمس تُنيرها من الأسفل. ويحيط ضباب رقيق لا لون له بنصف الكرة الشماليّ للكوكب–وهو أشد برودة، ولا يسقط عليه مباشرةً من ضوء الشمس سوى قدرٍ طفيفٍ–في حين يُولّد ظلُ الحلقة حزاماً مركزياً شديد الظلمة عبر المقطع الأوسط للكوكب، هذا، وإن ثمّة عدداً لا يُحصى من الجسيمات الجليدية، التي أقطارها تقع بين سنتيمترٍ ومترٍ، والتي تكوّن قرصاً رقيقاً معتماً تقريباً يتغيّر بفترات زمنيةٍ متغيرةٍ تتراوح بين أيام ودهور. وتتكون بنيةٌ شعاعيةٌ كبيرة نتيجة قسرٍ دوريٍّ periodic forcing بواسطة أقمار خارجية تدورُ خارج الحلقات الرئيسية وقريباً منها. وفي موقع آخر، أحدث قمران صغيران مطموران فجواتٍ في أبعد الحلقات. ويبدي السلوك الديناميّ لقرص زحل، إضافة إلى الكتل المطمورة فيه، أوجهَ شبهٍ كثيرةً بأقراص الكواكب الأولية (مع بعض الفروق).

c، فَمُ الحوتِ b، وهو كوكب غير شمسيٍّ بحجم المشتري (في إطار أبيض)، يُرى وهو يحفرُ مساراً على طول الحافة الداخلية لحلقةٍ من الأنقاض محيطة بنجم فتيٍّ A3 يبعد عن قرابة 115 وحدة فلكية في هذه الصورة التي ألوانها زائفةٌ، والتي أخذها مقرابُ هابل الفضائي (STS cI image 2008-39a). وكما هو الحال في الأقمار المطمورة في حلقات زحل، فقد استُنتج وجود الكوكب غير الشمسي أساساً من شكل الحزام والحدود الداخلية المتجعدة للحزام. وتسمح المعلومات المفصّلة المستخلصة من استكشاف منظومتنا الشمسية بتعزيز فهمنا للكواكب غير الشمسية وتكوّنها، وبالعكس.

منظومة شمسية متغيّرة وعنيفة غالباً

مع انطلاق عصر الفضاء، صار يُظنُّ أن من الممكن التنبؤَ الكاملَ بالحركات التي تجري في السماء. بيد أن كل ما يمكن التنبؤ به هو أن الكون يدور باتجاه دوران عقارب الساعة: فكثير من الطُّرُزِ البدائية للشواش chaos في هذه الأيام تخضع لقوانين الميكانيك السماويّ مثل: تدويم هيبريون Hyperion's spin، ومَيَلان المريخ، وأنماط المدارات الكوكبية طوال ملايين السنين.

عندما تُدْفَعُ الجسيمات إلى مدارات شواشية، فمن الممكن أن يحدث تغير كبير في مساراتها، إذ إنها تُدفع إلى مناطق يمكن للتصادمات فيها أن تلغيها، وهذا يساعد على إزالة العوائق لتكوين مدارات محددة في الفضاء. لذا فإن للشواش دوراً حاسماً في تجميع المنظومة الشمسية وتطويرها، وبلوغها البنية التي نراها في هذه الأيام. وثمة نتيجة للشواش تتجلى في أن المنظومة الشمسية المعاصرة تتغير باستمرار. ويمكن للمدارات أن تفقد استقرارها –بسبب الاضطرابات perturbations، مثل مفعول ياركوفسكي Yarkovsky's effect- وذلك عندما تساق إلى مواقع تجاوبات reso-nances (أماكن من المدارات تزداد فيها سعة اهتزازها نتيجة قوة خارجية دورية periodic، وذلك عند اقتراب تَرَدُّدِ frequency القوة من تردّد الاهتزاز).

وحتى مع إماطة اللثام عن الطبيعة العشوائية Stochastic لفضائنا السماوي الخلفيّ فإن الانتظامات regularities تحدّد في الوقت نفسه. وأحياناً، تحذف، بطريقة تمييزية، أجسام من مواقع التجاوب القوي، وفعلاً، توجد ثغرات فارغة في أنظمة الحلقات (انظر الشكل 6)، وهذه الثغرات تتخلّل أيضاً حزام كويبر Kuiper وحزام الكويكبات. وفي حالات أخرى، يمكن أن تُدفَع كتلٌ إلى مساراتٍ تجاوبيةٍ: فبعض الكويكبات تشارك في مثل هذه الترتيبات مع المشتري، ثم إن بعض السواتل تقيم عموماً في أزواج تجاوبية. وهذه التشكيلات تعبّر عن التطور، وهي ليست بقايا حطام ولادة شيء ما.

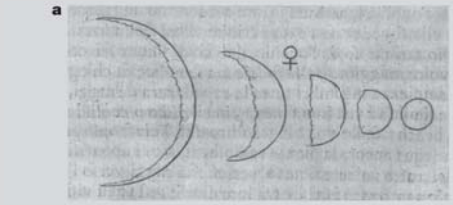
وبعد أن عُرِف أن الأحداث العَرَضيّة (زيارات المذنبات، الخسوف والكسوف، وهلمّ جرّى) في جوار الأرض هي ظواهر طبيعية، لكن قبل أن يصبح الشواش معروفاً، فقد كان الاعتقاد السائد هو أن المنظومة الشمسية مستقرة ولا تتغيّر. وقد تغيّرت وجهة النظر هذه تدريجياً عندما غدا مفهوماً أن الفوهاتِ –وهي السّمة الجيولوجية المهيمنة على معظم السطوح الصلبة في المنظومة الشمسية– ناجمة عن صدمات، وقد نشأت هذه الصدمات عن الشواش المداريّ الذي يترتب عليه تقاطع المدارات. ويعتقد كثير من الفلكيين أنّ آخر قصفٍ مكثفٍ Heavy Bombardment دكّ المنظومة الشمسية الداخلية قبل قرابة 3.9 بليون عام. وقد أُقرّ قصفُ الأرضِ بعد تعليل حقبة الانقراض

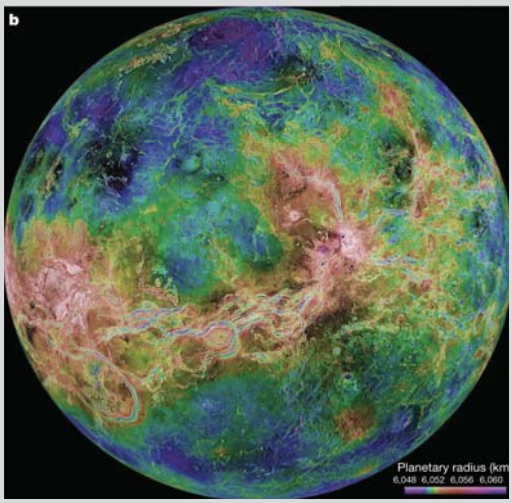
الطباشيرية الثالثية retaceous-Tertiary بوصفها نتيجة الجائحة المناخية التي أعقبت تحطم زائرٍ للأرض أتى من خارجها، قطره نحو عشرة كيلومترات. وفي عام 1994 شاهد البشر ما يشبه هذا الحدث المدمِّر عندما قصفت قطعة من المذنب المنفجر شوميكر–ليفي (Shoemaker-Levy 9) كوكبَ المشتري.

وبعد مرور مئتي سنة على ولادة داروين، تأكدت الفكرة القائلة بأنه يمكن أن يترتب على التغيّرات البطيئة نتائجُ تُغيّر الحياةَ. لقد بدأ استكشاف المنظومة الشمسية مباشرة بعد أن بدأت ثورة تكتونيّة الصفائح، في الستينيات من القرن الماضي، باستنتاج وجود عمليات عالمية قابلة للقياس فَسّرت في نفس الوقت سماتٍ جيوفيزيائيةٍ محليةٍ وإقليميةٍ. ولما كان كثير من الباحثين الأوائل في علم الكواكب درّبوا كجيولوجيين، فإن الجيوفيزيائيين الحديثين أعلنوا مباشرة تفسيراتهم لسمات مرئيّة على الكواكب الأرضية الأخرى.

ومع أن علماء الكواكب تقبّلوا بسرعة دلالات التحولات الكوكبية الشاملة، فإن الدليل على التغيّر كان ضعيفاً في البداية. فالصور المبكّرة التي أُخذت للمريخ ضلّلتنا وجعلتنا نتوقّع أن أيّ جرم سماوي لا بد أن يبدو مثل قمر الأرض الذي تغشاه الندوب. بيد أنه، في عام 1971، رصدتْ مارينر 9 (Mariner 9) وهي أول سفينة فضائية تدور حول كوكب آخر غير الأرض، سطحاً مريخياً مألوفاً، في بعض أجزائه، لأبناء الأرض: إذ إنه يحوي أودية نهرية وبراكين وأودية عميقة ضيقة قديمة، وكان له طقس أيضاً. ومن الواضح أن هذا الكوكب الأحمر غيّر، مرتين على الأقل، من مظهره الأصليّ الذي يعجّ بالفوهات: ففي المرة الأوّلى تحوّل إلى بيئة أكثر اعتدالاً، قريبة من بيئة الأرض، وفي الثانية، تحوّل إلى ما هو عليه اليوم: جافّ وبارد. يُضاف إلى ذلك أنّ المسح المعاصر للمريخ وثّق تاريخاً غنيّاً بالرسوبيات، وشهد أيضاً فوهات جديدة، وانهيارات ترابية وصخرية منظمة في سلاسل، وجداول متفجّرة، حدث كلٌّ هذا خلال عمر البعثات. وما إن تمكّن رادار ماجلان من التحديق في غيوم كوكب الزهرة الكثيفة، حتى محا، هذا الجار للأرض (الأقرب إلى الشمس)، سجلَّ ميلاده (الشكل 7). إن سطح ذلك الكوكب مغروس بسهول بركانية، وهو فتيّ نسبيّاً، ويحوي بضع فوهات. وتختلف الكواكب العملاقة أيضاً أحدها عن الآخر، لا في أجوائها المضطربة فحسب (مثلاً الجريانات الغنية بالألوان التي تجتاز البقعة الحمراء الضخمة Great Red Spot على كوكب المشتري، انظر الشكل 4)، بل، أيضاً، في تبرُّدها المستمر طوال العصور المنصرمة.

وقد جرت دراسة النشاط الجيولوجي المستمر على سواتل للكواكب الخارجية أيضاً (انظر الشكلين 3 و4). فرُصدت معالمُ مختارةٌ في حلقات زحل (الشكل 6) وفي أنظمة حلقية أخرى، ووُجِد أنها تتكوّن وتتطور وتختفي خلال مدة تتراوح بين أيام وعقود. وهكذا، فإن النشاط في بعض تخوم المنظومة الشمسيةً





الشكل 7 - أرصاد رادارية تكشف النقاب عن سطح للزهرة يعجّ بالتلال

a، بيّنت أشكال رسمها كاليليو بيده (في أواخر عام 1610) لأطوار الزهرة، أن الشكل الظاهري لهذا الكوكب –مثل القمر– تتغيّر بتغيّر الطور المداري، وكذلك حجمه. ومن المثير للاهتمام أن كاليليو استخلص «أن الزهرة تدور، دون أدنى شك، حول الشمس، مَثَلُها في ذلك مثل جميع الكواكب الأخرى، وهو بهذا يرفضُ النظريات الكسمولوجيةَ التي تزعم أن الأرض هي مركزُ الكون.

b، اخترق رادار السفينة الفضائية ماجلان غيومَ الزهرة (الصورة NASA/JPL, PIAOO159) للحصول على هذا التميُز resolution، الذي فصْلُهُ 100 متر؛ ولهذه الصورة ألوان زائفة. وقد كانت الزهرة تُعدُّ قبل ذلك توأم الأرض لأن حجمها وكتلتها قريبان من حجم الأرض وكتلتها، أما الآن فقد عُرِفَ أنها مختلفة عنها اختلافاً شديداً. وقد سبّب لها جو كثيف من ثنائي أكسيد الكربون ظاهرة احتباس حراريٍّ يولِّد اليومَ عليها حرارةً حارقةً أدّت إلى هروب كل مياه الكوكب تقريباً. تتكون غيوم الزهرة من حمض الكبريت، لا من قطرات مائية كما هو الحال على أرضنا. سطح الكوكب فتيٌّ إلى حدٍّ مدهش، وتنتشر عليه البراكين انتشاراً واسعاً. ويُظن أن الحِمَم البركانية طمست معظم مناطق سطحه وذلك قبل 800 مليون سنة فقط. ويقدّم هذا الكوكب، الذي هو أقرب الكواكب إلى الأرض مثالاً قوياً على أنّ الأحوال الجوية لسطح كوكب حسّاسة لمحتواه من الجو. هذا وإن معظم الكواكب الشمسية الغازية المكوّنة حديثاً سخّنت أجواءَها بإفراط بسبب قربها الشديد من نجومها المركزية. إن البُنى الحرارية لهذه الكواكب مذهلةٌ، ويُفترض أن تتطلّب مصادر حرارية إضافية مثل التسخين المدّي Tidal warming.

يُنافسُ نشاط المناطق المجاورة لكرتنا الأرضية.

تأملات في نشوء الحياة

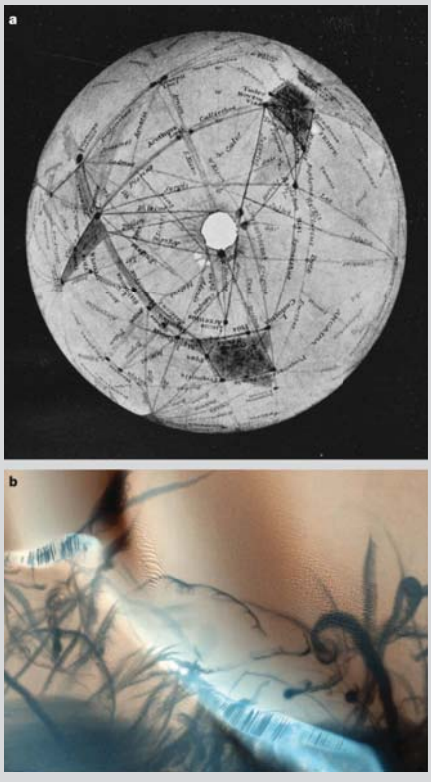
بدأت الأحاديث المتعلقة باحتمال وجود حياة خارج الأرض قبل آلاف السنين. وقد دبّت الروح في هذا الجدل خلال منتصف التسعينيات؛ وما أثارَهُ جزئيّاً الاكتشافاتُ العلميةُ (انظر في الأعلى)؛ ثم إن هذا الجدل حدث ردّاً على هجوم المؤمنين بأن الله هو الذي خلق الكون وأحدث فيه تطورات لاحقة.

درس الفلكيون جزيئات عضوية يتزايد تعقيدها، ومع ذلك تظل بسيطة نسبيّاً، وهي تلك التي تتخلّل الوسَطَ بين النجميّ والبيئات المحيطة بنجوم مجرّتنا وما بعدها. وكان أن اكتُشِفت جزيئاتٌ مشابهةٌ في الأجواء الكوكبيّة (والساتلية)، وعلى سطوح الأقمار الخالية من الهواء، والمذنبات، وأجسام حزام كويبر، وقد وجدت عضويات أكثر تفصيلاً ضمن كوندريتات غنيّة بالكربون carbonacous chondrites. وهكذا فثمة كيمياء مشتركة يبدو أنها تربط بين كيانات حيّة على الأرض وبين الكون. لذا، فإن الدلائل الرصدية تجعلنا نسرع في دراسة الحياة في إطار أوسع بكثير من ذاك الذي تصوّره داروين.

وفجأة، أصبحت الأسئلة المتعلقة بالواقع الموجودة خارج الأرض، التي ربما نشأت فيها حياة واستمرت إلى الوقت الحاضر، من المسائل التي يمكن طرحها. والرأي السائد بأن الحياة تتطلّب طاقة، ومادة عضوية، ومادة حالة، قد تكون ماء، يدفع الاستراتيجية الحالية، التي تسلكها وكالة ناسا في دراسة بيولوجيا غير أرضية، إلى «البحث عن الماء».

إن المواقع ذات الجيولوجيا غير الأرضية المحتملة في المنظومة الشمسية، التي تحقق هذه المتطلبات المفترضة، تتضمن الأحواض المريخية القديمة والطبقة الواقعة تحت سطح هذا الكوكب، والشقوق التي تخترق قشرة يوروبا Europa الجليدية، والمناطق التي تصدر عنها الاندفاعات الدافئة لإنسيلادوس Enceladus. أما تيتان Titan، ذو البيئة العضوية الغنية، لكن الشديدة البرودة، فيبقى ذا أهمية فلكية بيولوجية، وذلك، في المقام الأول، لتبيان العمليات المعقّدة التي ربما أنجزتها الجزيئاتُ العضويةُ قبل نشوء الحياة. هذا، وإن القائمة السابقة للأهداف المحتملة تقدم توسيعاً جوهرياً للمنطقة التي يعتقد علمُ البيولوجيا بأنها صالحةٌ لوجود حياة عليها. وإذا كانت الحياة خارج الأرض موجودة، فمن المحتمل ألا تكون في البقاع التي يتوقعها العلماء حالياً، وألا تكون على النحو الذي يظنونه.

إن الحملة المركّزة التي أُرسلت في العقد الماضي لرسم خريطة شاملة للمريخ، والتي استُعملت فيها جولات لمركبات على سطح



الشكل 8- قريب الأرض: المريخ

a، أكّدت الأرصاد الفلكية المبكّرة أن قبّعتي المريخ القطبيّتين تتغيّران بتغيّر الفصول، وأنّ معالم الكوكب تغيّرت، مع أنها تُحجبُ عن الرؤية بفعل العواصف الغبارية الشاملة؛ وقد أثار هذا السلوك الشبيه بسلوك الأرض اهتمام الناس بالمريخ. ويعرض المخطّط، الذي رَسَمَه لوويل Lowell عام 1903 للقطب الشمالي للمريخ، كثيراً من المعالم الخطّيّة تقريباً (التي تُسمى قنواتٍ canali)، والتي فسّرها على أنها أدلة على وجود مستوطنات لكيانات ذكية.

b، آثارُ أرضٍ معتمةٍ تُظهِر مساراتٍ غبارية نشطة تتصالب مع كثبان رملية فاتحة اللون في فوهة غربِ Isidis Planitia؛ إن الصفيفات الشبيهة بالمشط هي انهيارات من قشورٍ لقمم تلال. (Mars Reconnaissance Orbiter H: RISE image ESP-014426-2070~0.8 Km×1.2km, NSAS/JPL/ University of Arizona).

وكثيرٌ من أسباب قابلية المريخ للتغيّر، ومن ضمنها ما سلّط لوويل الضوء عليه، يعود إلى تكوّن قمم جليدية لثنائي أكسيد الكربون، وإلى انتقال الغبار مسافات شاسعة. وقد قُدِّم المريخ على أنه أغنى كوكبٍ، باستثناء الأرض، وذلك بسببِ الظواهر الطبيعية التي تميز بها. إنه، بالطبع، الهدف الجوهريُّ الأخير لبرنامج الاستكشاف الذي يقوم به البشر، وهو يقع بين أكثر الكواكب احتمالاً بوجود حياةٍ خارج الأرض عليها. لذا فإن الكوكب الأحمر ظلَّ مركز اهتمام برامج الفضاء السوفيتية/الروسية، وبرامج الفضاء الأمريكية.

إن دراسات المريخ التي تقارب دراسات الأرض، تجعلنا نعتقد أن القيام بدراسات لكلا الكوكبين معاً قد يميط اللثام عن كثيرٍ من أسرارهما. وعلى سبيل المثال، فإن مخزونات الطبقات التي تطوّق قطبي المريخ قد تسجّل آثار الاهتزازات المدارية/الدورانية الجوهرية، التي يتعرض لها المريخ؛ وقد يعزّز هذا نموذج ميلانكوفيتش لتغيُّر الطقس الأرضي. وقد تقلّب فهمنا تقلباً واسعاً فيما يتعلق بسؤالين، أولهما: هل كان متوفراً حقاً مياهٌ تجرى بحرّية على سطحه في وقت من الأوقات؟ والثاني هو هل وُجِدت حياة عليه في وقت من الأوقات؟

الكوكب، زوّدتنا بأدلةٍ وفيرةٍ على وجود بحيرات ضحلة قديمة مبعثرة على السطح، وعلى أن المريخ نشطٌ حالياً. ثم إن الأملاح المتحدة بالماء، والكبريتات، وربما الكربونات، متوضعة في أماكن مميزة على طول الصدوع عبر سطح يوروبا، لكن ثمّة جدل حامي الوطيس يدور حول إمكان الوصول إلى المحيط تحت السطح. وكثير من المواد التي تهيج إنسيلادوس غنية بالصوديوم، وهذا يوحي بأن أعماق داخله السحيقة دافئة؛ ومع ذلك، فإن آليات هذه الحرارة وانبثاقات jets هذا القمر ما زالت مثيرة للجدل. فلو تبيّن، بعد عمليات البحث الشامل، غياب الجزيئات البيولوجية في جميع تلك المواقع، فإننا نكون قد حدّدنا بدقةٍ كيف نشأت الحياة الأرضية.

آراء في أصل المنظومة الشمسية

بدءاً بأساطير الحضارات الغابرة، ومروراً بالفرضية السديمية التي اقترحها إيمانويل كانْتْ، وصولاً إلى النظريات المدّيّة tidal ونظريات التلاقي غير المتوقع encounter التي وُضعت قبل قرن من الزمان، فإن الآراء في أصل المنظومة الشمسية كانت، تاريخياً، وفي الأغلب، مجرد تأملات فلسفية، صيغت لتتلاءم مع المعارف الرياضية المتاحة في تلك الأيام. أما الحقائق العلمية التي تسمح بدعم تلك التوقعات فكانت، ببساطة، غير متاحة. لكن هذا لم يَعُد صحيحاً الآن.

إن عصور النماذج التي حصلنا عليها للنيازك، وغبار المذنبات، والعيّنات القمرية، التي قطرها مليمتر واحد أو أقل، حُدِّدت بخطأ لا يتجاوز مليون سنة، وذلك بمقارنة نسب النظائر isotopes. إن مثل هذا التأريخ للعصور يقيد بدقة عمليات محتملة، ويرتب سلسلة الأحداث المفصلية خلال مرحلة طفولة المنظومة الشمسية قبل $10^9 \times (4.6 - 4.5)$ سنة خلت.

إن النتائج التي استخلصناها من الدراسة العميقة للمنظومة الشمسية، ومن القدر الهائل من أرصاد أقراص الكواكب البدائية protoplenatary-disks وأرصاد الكواكب غير الشمسية، طوّرت فهمنا لكيفية نشوء الكواكب. فأقراص الكواكب البدائية تسهم في تسليط الضوء على تفصيلات تتعلق بالكواكب القريبة التي وُلدت بنجاح واضح، في حين تزودنا الكواكب غير الشمسية بقدرٍ واسعٍ من المعلومات عن مئات من هذا النوع من الأجرام السماوية.

ونظراً إلى أن عمليات التكوين مخفيّة في أعماق الأقراص الموجودة خارج المنظومة الشمسية، وبسبب وجود مَيْز resolution ضعيفٍ إلى حدٍّ ما لجميع الأرصاد المعاصرة، فغالباً ما نرى أن الأحداث يجب معرفتها عن طريق الاستنتاج أو التخمين. لذا لابد من حدوث تقدّماتٍ نظريةٍ موازنةٍ لتوجيه مثل هذه الأرصاد. ومع ذلك، ففي العقد الأخير، انتقل أصل المنظومة الشمسية –مثل الكوسمولوجيا– من التخمين إلى علم متقدم تواجه الفرضيةُ فيه الآن اختباراً رصدياً.

وُلدت منظومتنا الشمسية حين انهارت سحابة جزيئية كثيفة. وخلال تجميع نجمنا البدائي لمادته خلال قرابة 10^5-10^6 سنة، كان ثمّة سديم مسطح لكوكب بدائي مكوّن من الغاز والغبار، يحيط بالنجم البدائي. وبمرور الوقت، تكثّف الغبار ليكوّن حصيّات سرعان ما تكدّست في نوى كوكبية planetesimals قطرها كيلو متر واحد، وذلك بفعل آليةٍ ما زالت مجهولة. ومن المحتمل أن تكون هذه الأجسام أكواماً من أنقاض غير محكمة الترابط، وهذا ما نستخلصه من الكثافات المنخفضة التي قيست للكويكبات asteroids والمذنبات. لكن الكويكب إيتوكاوا Itokawa القريب من الأرض، والذي قطره نحو 500 متر، وهو خليط متشعّب غير منتظم من جلاميد صخرية مختلفة الحجوم، يلفت انتباهنا إلى أن نماذج هذه الأيام لتراكمات متناظرة كروياً، ربما كان فيها مغالاة في التبسيط. بعد ذلك، ونتيجة التحام الفَلَتان runaway accretion، الذي استغرق زهاء 10^5-10^6 سنة، تجمعت هذه الأجسام في أجنّة كواكب قطرها قرابة ألف كيلومتر.

الإطار 3- استكشاف الكواكب في المستقبل

خلال آخر مسحٍ –وهو نشاط يجريه مجلس البحوث الوطني الأمريكي كلّ عشر سنوات– دار جدلٌ حامي الوطيس حول مستقبل استكشاف المنظومة الشمسية. وقد أعدّ المدافعون عن مواصلة عمليات الاستكشاف تقارير رسمية عن زهاء 200 فرصة كوكبية متاحة. وهذا يأتي مع إكمال استطلاع المنظومة الشمسية، والانتقال إلى فصلٍ جديدٍ لاستكشاف رفقاء الأرض في الفضاء، وذلك في وقت يجب أن تعالج فيه مسائل علميةٍ محدّدة.

ويرى بعض صنّاع السياسة أن بداية القرن الواحد والعشرين هي الوقت المناسب لإقامة قواعد على المريخ، لكن مثل هذا العمل يبدو سابقاً لأوانه لعدة أسباب –مالية، تقنية، اجتماعية. وأنا واثق من أن برنامج استكشاف الفضاء البشريَّ سيتقدم ببطءٍ، وهذا يعني أن سكان الأرض سيستوطنون المريخ بعد مدة طويلة. وفي الوقت نفسه، سنتعلّم أكبر قدْرٍ ممكن عن المنظومة الشمسية وموقعنا فيها. وذلك من خلال تعميق فهمنا لأصل منظومتنا هذه، وللكواكب غير الشمسية. هذا وإن الكواكب الأخيرة بالنسبة إلينا في هذه الأيام تشبه كثيراً الأجرام الجوّالة wanderers بالنسبة إلى كاليليو في أيامه، التي كان يراها مجرد بقع من الضوء.

ومع ازدياد الكواكب غير الشمسية التي جرى وضعها في قوائم، ومع زيادة معرفتنا لخاصيات بعضها التي جرى قياسها، يتعيّن على الفلكيين والعلماء الكوكبيين العمل معاً لاستفادة بعضهم من المعادن التي يجمعها بعضهم الآخر. فهناك جماعةٌ تتسّم بفهم مفصّلٍ لبضعة أجسام منها، في حين أجرت جماعةٌ أخرى مسحاً واسعاً لكثير من المنظومات الكوكبية خارج المنظومة الشمسية. وربما يعود علم الكواكب مع علم الفلك إلى التوحّد بعد نصف قرن، ذلك أن كلا هذين الفرعين المعرفيين يسعى لفهم المنظومات الكوكبية على أوسع نطاق ممكن.

وفي مناطق ساخنة أقرب إلى الشمس، لا يمكن أن تتكثّف إلا موادّ مقاومة للحرارة refractory (مثلاً: السليكات والمعادن). وهناك، ولّدت تصادمات عنيفة بين الأجنّة الكواكب الأرضية. وبانتهاء هذه المرحلة الأخيرة، وذلك، على الأكثر، بعد مرور 30-50 مليون سنة على بدء الغيمة السديمية بالانهيار، ضربت قذيفة بحجم المريخ الأرض الأولية proto-Earth، وهذا أدّى إلى تحويل أجزاء من معطف الأرض إلى قرصٍ يحيط بها، سرعان ما تجمّع ليكوّن قمرنا (الشكل 2).

وفي هذه الأثناء، استهلت القلوب الضخمة –التي تعاظمت كتلها بفعل الجلائد الأكثر تطايراً– في منطقة الكواكب العملاقة تجميع الغازات السديمية التي تُكون الآن غُلفها. وثمّة أقلية تدافع عن وجود عدم استقرار تثاقلي شاملٍ في الغيمة السديمية، بدلاً من السيناريو الذي ذُكر آنفاً، والذي يدعم فكرة التحام القلوب، وذلك لتوليد كواكب عملاقة. ووفقاً لأرصاد الكواكب الضخمة غير الشمسية، فإن هذا التراكم استغرق مجرد 10^6 سنة، وهذا وقت أقصر كثيراً من الذي ورد سابقاً. وخلال هذه المدة، فإن الكواكب العملاقة تندفع على مداراتها بسبب تفاعلاتها مع القرص المجاور. وثمّة هجرة مشابهة يُفترض أنها دفعت كثيراً من الكواكب غير الشمسية نحو نجومها. وتقوم حلقات زحل بعمليات مماثلة، ومن ثم فإن الكواكب العملاقة تنمو قطرياً radially وذلك بقذفها أي نوىً كوكبية متبقية إلى سحابة أورت ort، ومن هناك يعود بعضها في النهاية مثل مذنبات هذه الأيام.

ويؤكد «النموذج اللطيف» Nice model المفضّل حالياً أن مدارات الكواكب العملاقة، بعد مرور نصف بليون سنة على هجرتها من تشكيلٍ أكثر تراصاً، أعيد ترتيبها بطريقة مثيرة، وصارت تمثل قسماً كبيراً من بنية المنظومة الشمسية الفريدة. ومع أننا عرفنا حديثاً الكثير عن أصل المنظومة الشمسية، فإن العقد القادم لابد أن يشهد تقدماً أكبر بكثير.

الكواكب غير الشمسية هي «رحّالة» هذه الأيام.

بعد مرور ثمانية عشر عاماً فقط على الاكتشاف المذهل لثلاثة كواكب قريبة من نجم نبّاض pulasr، اكتشفت مجموعة متنوعة من النجوم غير الشمسية. هذا وإن حساب المدارات، بالطريقة التي كانت متاحة لحساب مدارات كواكبنا عام 1700، نفّذت لقرابة 500 كوكب غير شمسي اكتُشف حتى الآن، إما بالآلات الموجودة على سطح الأرض، أو الموجودة في الفضاء. وقد شوهدت أولُ هذه الكواكب (انظر الشكل 6). وتمتد الكواكب غير الشمسية من «مُشتريات حارّة hot Jupiters»، مروراً «بالأراضي الفائقة super-earths»، وصولاً من الأجسام الضخمة التي تبعد عنا مئات من الوحدات الفلكية. وقد زودتنا أرصاد العبور transit observations بتحديد أولي (الكتلة، نصف القطر، الكثافة، بعض المركبات) لعشراتٍ من هذه الأجسام، وهذا يسمح ببدء طور جديد للدراسات الكوكبية. وتزودنا مجموعة الكواكب التي أجريت قياسات لها بأهداف رائعة يمكن أن يطبق عليها فروع خاصة من علم الكواكب (مثلا: الديناميك، علم الأرصاد الجوية، وعلم الكيمياء الكونية cosmo-chemistry). وسيمكننا هذا من إغناء معارفنا عن الكواكب غير الشمسية، ثم إنه سيعزّز معرفتنا بكواكبنا القريبة منا. وببساطة نقول إن البحوث الكوكبية غدت متعلقة بمواضيع بعيدة عن بيئات شمسنا.

الماضي يصبح المستقبل

عندما نتذكر ثورة علمية، فقد يكون من الملائم ذكر أن إحدى شخصيات رواية Arcadia، التي كتبها Tom Stoppard، قالت: «إن باباً شبيهاً بهذا قد انفتح خمسَ أو ستَّ مراتٍ منذ نهوضنا ووقوفنا على قدمينا. هذا أفضل وقت ممكن نحيا فيه، لأن كلَّ شيء كنت تظن أنك تعرفُهُ تبيّن أنه خاطئ...» وهذا ما حدث لعلم الكواكب منذ بداية عصر الفضاء. إن هذه العقود الخمسة، وهي فاصل قصير نسبياً بين الجهل والعلم الكوكبي، كانت في الحقيقة معقدة لنا جدّاً، إذ حدثت فيها مكتشفات رائعة لما يحيط بنا.

ويرى بضعة علماء أن العوالم المجاورة التي اكتشفتها البعثات الفضائية شديدة التنوع. ومن الصعب اختيار ما تفضله في الفضاء: أهو حلقات زحل ذات الجمال الأخّاذ، أم السهول البركانية المشوّهة للزهرة، أم أناقة تريتون الجليدية؟ وهذه العوالم، التي تحكمها جميعاً نفس القوانين الفيزيائية الكيميائية، مختلفة جداً، لكنها كلها أقرباء الأرض، ولِدت من نفس الغيمة النجمية في أوقات متقاربة.

وحين شوهدت أول كواكب غير شمسية بالتفصيل، فإن قاطني الأرض –مثل كاليليو عام 1610– وصفوها، دون ريب، بأنها أجمل المناظر وأدعاها للسرور والبهجة». وعندما يبلغ استكشافنا الكوكبي درجة عالية من النضوج، فإن المكتشفات القادمة ستحول تدريجياً هذه المنارات الموجودة في النظام الشمسي إلى عوالم مألوفة لأجيالنا القادمة، مثلما يرى جيلنا الحالي في المريخ وزحل عالمين مألوفين.

نُشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol. 466, 29, July 2010، ترجمة الأستاذ الدكتور خضر الأحمد.

أصبحت الفلورة أسهل

أدى ترتيبُ قطع لغز كيميائي بالشكل الصحيح إلى حلّ مشكلة شائكة في التحفيز. وهذا يَفتحُ الباب لصَناعة جزيئات تحتوي على مجموعةً ثلاثي فلور المثيل المفيدة.

عندما يحاول الكيميائيون تصنيع جزيئات معينة، فلا يمكنهم دائماً الحصول على ما يريدون. وعلى سبيل المثال، لقد حاولوا لبعض الوقت حتى الآن إيجاد وسائل مناسبة لإدخال مجموعات ثلاثي فلور المثيل (CF_3) في جزيئات عضوية معقدة، ولكن دون نجاح يذكر. هناك أسباب مقنعة لتطوير مثل هذا التفاعل، لأن إدخال مجموعات ثلاثي فلور المثيل يمكن أن يحدث تغييراً هائلاً في خصائص الجزيئات، وغالباً ما يكون نحو الأفضل. ومن بين أمور أخرى، يمكن لمجموعات ثلاثي فلور المثيل زيادة تغلغل الأدوية التي تعمل على الجهاز العصبي المركزي في الدماغ، والتي يمكن أن تجعل الأدوية أكثر استدامة. وبتقرير في مجلة العلوم، وصف تشو CHO وزملاؤه حالياً تفاعلاً تحفيزياً عاماً يسمح بتحضير جزيئات تحتوي مجموعات من ثلاثي فلور المثيل بسهولة أكثر من ذي قبل.

وعلى الرغم من أن مجموعات ثلاثي فلور المثيل معروفة منذ فترة طويلة، فإن تحضير جزيئات تحتوي عليها كان يعد تحدياً حقيقياً. وذلك لأن العديد من طرائق تصنيع هذه الجزيئات يتطلب شروطاً كيميائية قاسية مثل درجات الحرارة العالية، التي يمكن تطبيقها فقط على عدد قليل من الجزيئات البسيطة (التي غالباً ما تكون الأكثر متانة). ولتصنيع جزيئات أكثر تعقيداً تحتوي على ثلاثي فلور المثيل، هناك حاجة للبدء بواحد من الجزيئات البسيطة المتوافرة بسهولة والمحتوية على مجموعة ثلاثي فلور المثيل، ومن ثم تطوير الجزيء المرجو، وهي عملية يمكن أن تكون طويلة وتستغرق وقتاً مديداً. مع ذلك، وبسبب أن مجموعات ثلاثي فلور المثيل كانت ناجحة جداً في تحسين خصائص جزيئات مختلفة، وربما كان أبرزها الخصائص البيولوجية للأدوية، فقد رغب الكيميائيون ببذل جهود إضافية. وعلى سبيل المثال، يحتوي مضاد الاكتئاب فلوكستين (بروزاك) على مجموعة ثلاثي فلور المثيل؛ ودوتاستيريد (AVODART) هو دواء يغيّر استقلاب هرمون تيستوسترون في الجسم. لكن قواعد التصنيع كانت مبسطة: إذ إن محاولتهم لم تكن تهتم بربط مجموعة ثلاثي فلور المثيل بجزيء معقد، لأن النجاح بعيد المنال.

ومع مجيء تفاعل تشو وزملائه، تم الاقتراب من تغيير القواعد. فقد تناول الكاتب هذا التحدّي باستخدام كيمياء اقتران معترض مُحفَّز بالبالاديوم، وهو حقل معروف منذ ما يقارب 50 عاماً. وببساطة، قد حوّل التحفيز بالاقتران المعترض، الذي يتم فيه اجتماع قسمين من جزيئين بمساعدة حفّاز معدني، الطريقة التي يستخدمها الكيميائيون في بناء الجزيئات. وأحد أسباب نجاح هذه الطريقة هو أنها بسيطة من حيث تحديد كيفية استخدام الاقتران المعترض عند وضع مسار اصطناع الجزيء الهدف. كما أن التطويرات التي حدثت على مدى العقود القليلة الماضية قد زادت كفاءة وموثوقية حفز الاقتران المعترض إلى حد أنه من الصعب الآن إيجاد تصنيع لجزيء دوائي لا يستخدم هذه الكيمياء.

إذاً لماذا كل هذا الوقت الطويل المُستغرَق لتطوير تفاعلات الاقتران المعترض وإدخال مجموعات ثلاثي فلور المثيل؟ علماً أن هذه المجموعة هي مجرد مجموعة مثيل (CH_3) تم فيها استبدال جميع ذرات الهدروجين بذرات الفلور، وأن طرائق الاقتران المعترض الشديدة الفعالية في ربط مجموعات المثيل بالجزيئات كانت متاحة منذ بعض الوقت. والجواب هو أن الخصائص الإلكترونية لذرة الفلور مختلفة جداً عن تلك التي لذرة الهدروجين، وهو ما يجعل مجموعات ثلاثي فلور المثيل أقل فعالية بكثير من مجموعات المثيل في تفاعل الاقتران المعترض. غير أن مجموعات ثلاثي فلور المثيل هي أكثر ميلاً لإحداث تفاعلات ثانوية غير مرغوب فيها خلال عمليات الاقتران المعترض.

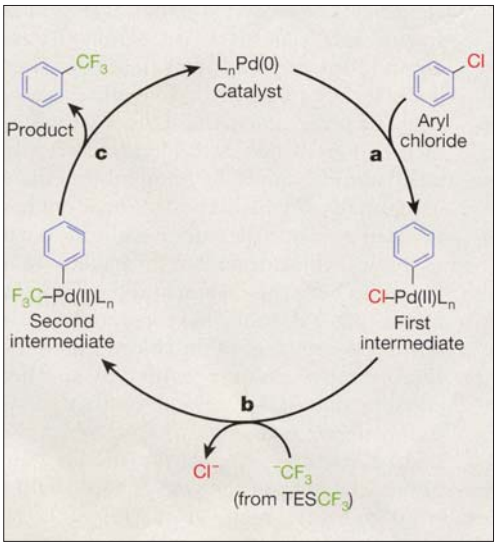
أقحم تشو ومن معه استخدام كيماويات بسيطة تعرف باسم كلوريدات أريل (الشكل 1) كمواد انطلاق في تفاعلاتهم. إن هذه المركبات هي في متناول الجميع، ويرجع ذلك جزئياً لأنها تستخدم على نطاق واسع في عمليات اقتران معترض أخرى. ففي تفاعل

الكاتب لثلاثي فلور المثيل، تتفاعل كلوريدات الأريل مع البالاديوم المُحفِّز، مكونة مركبات وسيطية تدخل فيها ذرة البالاديوم ضمن الرابطة كربون–كلور في كلور الأريل بحيث يرتبط البالاديوم بكل من ذرتي الكربون والكلور (الشكل –1أ) على حدٍّ سواء. وفي الخطوة التالية من دورة التحفيز، يولِّد استبدال الكلور بثلاثي فلور المثيل (المقدم من مادة أولية أخرى) وسيطاً آخر من البالاديوم (الشكل –1ب)، الذي يتشكل منه المنتج المطلوب (الشكل –1جـ)، الذي تم فيه استبدال ذرة الكلور في كلور الأريل بمجموعة ثلاثي فلور المثيل. فالعملية برمتها تتلخص باستبدال ذرة الكلور في كلور الأريل بمجموعة ثلاثي فلور المثيل.

والجانب المثير في هذا العمل هو أن كل خطوة من دورة التفاعل المبين في الشكل 1 كانت معروفة بشكل منعزل. واكتشف الباحثون أنه يمكن تصنيع مُعقّدات مثل وسيط البالاديوم الأول، وأنه يمكن ربط مجموعات ثلاثي فلور المثيل بالبالاديوم، كما يمكن تشكيل روابط بين الكربون وثلاثي فلور المثيل انطلاقاً من معقدات البالاديوم. هذا وقد نشرت تقارير أخرى حول تفاعلات بسيطة مماثلة لضم ثلاثي فلور المثيل. ولكن من أجل إنتاج محفزٍّ لتصنيع جزيئات معقدة، تحتاج جميع الخطوات للعمل بشكل متآزر في قارورة التفاعل نفسها، وبوجود جزيئات معقدة. إن تصميم دورات تحفيز جديدة من خلال الجمع بين العديد من الخطوات الفردية هي واحدة من أصعب جوانب التحدي في تطوير تفاعل ما، وقد يكون أقرب من ذلك هو جمع قطع بانوراما الألغاز الأكثر صعوبة.

تمثل التحدي النوعي أمام تشو ومن معه في تطوير حفّاز من البالاديوم بإمكانه تحمل جميع خطوات الدورة، مع تجنب تفاعلات ثانوية غير مرغوبة مثل تدمير ثلاثي فلور المثيل المانح، أو تفكك الحفاز نفسه. وكان مفتاح نجاحهم استخدام مرتبطات نوعية –جزيئات ترتبط بالبالاديوم لتعدّل خصائص الحفّاز. يمتلك البحث المخبري المشارك في هذا العمل، الذي يقوده ستيفن بوشفالد، تاريخاً في تنمية المرتبطات الخاصة بتفاعلات الاقتران المعترض. وتعرف هذه المرتبطات بشكل عام باسم مرتبطات بوشفالد، التي تستخدم على نطاق واسع لأنها تعمل بشكل جيد في عدة تفاعلات اقتران معترض. فهي فعّالة تماماً في التفاعل الجديد لضم ثلاثي فلور المثيل لأنها تحقق توازناً صحيحاً في جعل البالاديوم المركزي في المحفزات فعالاً بما فيه الكفاية لتسريع التفاعلات، واستمرار ثباتها بما يكفي لمنع التفكك.

أحدث تشو وزملاؤه تسديدة سبوتنيك في مجال ضم ثلاثي فلور المثيل. ليس هناك من شك في أن عملهم سيكون له تأثير فوري من



الشكل 1: دورة التحفيز لتفاعل ضم ثلاثي فلور الميتيل. يقدم تشو ومن معه تفاعلاً تحفيزياً عاماً لضم مجموعات ثلاثي فلور الميتيل (CF_3) إلى حلقات عطرية. أ- تبدأ دورة الحفاز عندما تدخل ذرة البالاديوم الحفاز نفسه ضمن الرابطة كربون–كلور في كلور الأريل (مثل كلور البنزين. المبين هنا)، من أجل تشكيل وسيط تلتحم فيه ذرة كلور وحلقة عطرية بالبالاديوم. Pd هو البالاديوم وLn تمثل المرتبطات التي تلتحم بذرة البالاديوم، غير أنها لا تأتي من المواد الداخلة في التفاعل، والأعداد بين الأقواس تمثل حالة الأكسدة في ذرة البالاديوم. ب- ينزاح الكلور المرتبط بفعل مجموعات ثلاثي فلور الميتيل المشتقة من ثلاثي إيتيل سيليل ثلاثي فلور الميتان ($TESCF_3$) triethylsilyltrifluoromethane؛ مشكلاً وسيطاً ثانياً. جـ- إنها مرحلة تفكك للحصول على المنتج المطلوب، مع عودة تجديد الحافز لكي يتمكن من المشاركة في دورة تحفيز أخرى.

خلال السماح بتحضير جزيئات مُفلوَرَة جديدة. ومع ذلك، لا يزال هناك طريق طويل يتعين قطعه لجعل التفاعل عملياً بحق: إن ظروف التفاعل بحاجة إلى أن تصبح أكثر اعتدالاً، وتحتاج إلى تحديد هوية الكواشف الرخيصة المحتوية على ثلاثي فلور المثيل، ويجب أن تخفَّض كمية المواد الحفازة المستخدمة. لكن هذا النجاح المبدئي، المترافق مع المعارف حول آلية التفاعل، سيقود إلى تطوير مستقبلي لهذا الجانب العلمي المثير.

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

ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير.

هل الأنابيب النانوية هي مستقبل العلاج الإشعاعي؟

يمكن أن توفر الأنابيب النانوية الكربونية المضمونة (المختومة) والتي تحوي بداخلها أملاحاً مشعة أساساً في العلاج الإشعاعي أو التشخيص الطبي المستهدف، هذا ما يقوله علماء كيمياء من بريطانيا وإسبانيا. يمكن أن تُجمَعَ الأنابيب في رئتي فأر باستعمال عرىً كربوهيدراتية مرتبطة مع السطح الخارجي، وتوجه إلى الخلايا الورمية باستخدام وصلات أكثر نوعية.

شرح العالم بن ديفيز من جامعة أكسفورد في بريطانيا أثناء حديثه أمام الاجتماع القومي للجمعية الكيميائية الأمريكية، أن الأساليب المتبعة حالياً في المعالجة الإشعاعية تتمثل باستخدام سكاكين غاما التي تستعمل حزماً متعددة من أشعة غاما مبأرة على الورم. ويقول ديفيز: "ولكن بالتأكيد إن جميع هذه الحزم تخترق النسج المحيطة وإذا أردت قتل الورم بالإشعاع، فما عليك إلا إسقاط الإشعاع ضمنه. إنها مشكلة إيصال الدواء حيث الدواء هو الإشعاع".

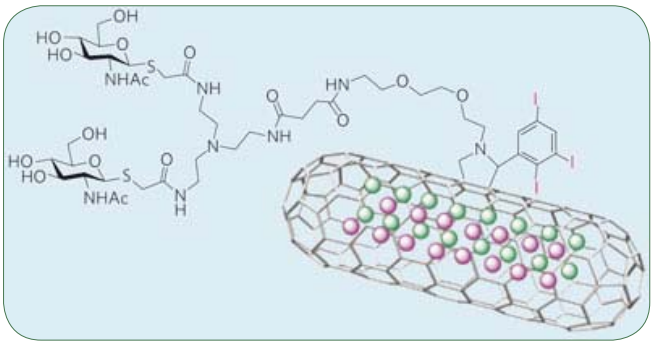
عمل الفريق أيضاً مع مالكوم غرين في جامعة أكسفورد، الذي طور مؤخراً أساليب لملء وختم أنابيب نانوية كربونية وحيدة الجدار، ومع كوستاس كوستا ريلوز في مدرسة الصيدلة في جامعة لندن–بريطانيا لتقصي التطبيقات الطبية للأنابيب. أظهرت الأنابيب المختومة تحت الظروف العادية أنها عديمة الفائدة في عمليات إيصال الدواء، حيث إن المواد المغلفة بالأنابيب لا تتحرر بسهولة، ومع ذلك، يشرح ديفيز،"إن الأنابيب توفر نواقل مثالية ليود الصوديوم المشع "حيث ما تنقله هو فوتونات أشعة غاما والتي يمكنها اختراق الأنبوب والخروج منه".

إن المرحلة التالية هي إيصال الأنبوب إلى المكان المناسب، ويتم ذلك عن طريق تعديل كيميائي لسطح الأنبوب بواسطة السكّر أو جزيء آخر. يؤدي السكر أدواراً متباينة، فهو يجعل الأنابيب النانوية ذوابة ويمنعها من التجمع مع بعضها فضلاً عن أنه يقدم مواقع لتعرّف البروتينات.

عند استعمال N-أسيتيل غلوكوز أمين N–acetylglucosamine كواسم، وجد الفريق أن الأنابيب المحقونة في الفأر تتجمع بشكل كلي في الرئتين بينما يتجمع عادة يود الصوديوم الحر في الغدة الدرقية والكبد والمثانة.

يعلق دانييل راتنر من جامعة واشنطن في سياتل في الولايات المتحدة قائلاً: "لدى الكثير من الناس أفكار حول الإيصال المستهدف للبوليميرات أو الأجسام النانوية، ولكن أظهر ديفيز ما يحصل فعلياً في رئتين الكائن الحي، مبيناً أن المستوى من التحديد للنسج المرتكزة على الكربوهيدرات مثير حقاً".

ويضيف راتنر أنه يمكن استبدال السكر بمجموعة كبيرة من جزيئات الاستهداف مثل الأضداد أو الجزيئات الصنعية أو



يود الصوديوم المشع (أخضر وأرجواني) محجوز في أنبوب نانوي مختوم وموجه إلى الرئتين باستعمال مركب N-أستيل غلوكوز أمين المشابه للسكر.

الكربوهيدرات الأخرى لاستهداف نسج أخرى. ويوافق ديفيز قائلاً: «ما نفتقده هو الدراسات الشاملة حول نوع السكر الذي يتفاعل بشكل نوعي مع خلايا أو بروتينات معينة» ويضيف: "فلا أحد يملك خارطة الجسم بشكل فعلي".

ويشير ديفيز أيضاً إلى أن هذه الأنابيب لا تبدو أنها تسبب مشاكل سميّة في الفأر. كما يقول: "لم نرَ أي تسرب إشعاعي أو ما يشير إلى استقلاب الأنابيب وإنما ما نراه هو عملية تخلص – إنها تذهب إلى الكبد والطحال وتخرج بطريقة مستقرة نسبياً". ويقترح حدوث ذلك بسبب أن الأنابيب قصيرة جداً ولها نهايات مختومة بينما يحصل معظم أذى الخلايا المرتبط بالأنابيب النانوية من النهايات المفتوحة التي تلعب كإبر نانونية تثقب الأغشية الخلوية.

نُشر هذا الخبر في مجلة Chemistry World, 1 September 2010.

ترجمة د. توفيق ياسين، عضو هيئة التحرير.

أصبغة مزدوجة الغرض تقدم خيارات تصوير جديدة

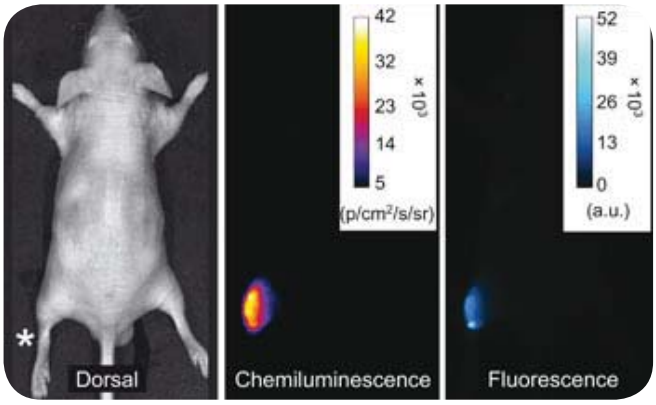
طور باحثون أمريكيون سلسلة جديدة من مركبات صباغ متفلور ومتألق كيميائياً يمكن تخزينها في درجات حرارة منخفضة ومن ثم تنشطها لتحرر ضوءاً في المجال تحت الأحمر القريب، عند تسخينها إلى درجة حرارة الجسم. يمكن أن يقدم هذا العمل بدائل أكثر أماناً وحساسية لتصوير المنظومات البيولوجية.

يستعمل العديد من تقنيات التصوير المستخدمة في مجالات تشخيص الأمراض وتطوير الدواء والنماذج الحيوانية جزيئات قفاءات مشعة لتعقب وتصوير مركبات ونسج وعمليات استقلابية معينة. مع ذلك ، يمكن لجزيئات القفاءات المشعة أن تؤذي الـ DNA، كما يتطلب تفككها السريع أن تُحضَّر مباشرة قبل الاستعمال ولا يمكن تخزينها بسهولة.

تَستعمل مقاربات التصوير الجزيئي البصري الأكثر حداثة مركبات متألقة مثل إنزيمات اللوسيفراز كبدائل، والتي تتفكك بإصدار ضوء مرئي غير مؤذٍ. تبقى المشكلة هي أن الضوء الصادر يتبعثر ويُمتص بواسطة الجزيئات والخلايا، وهو ما يحدّ من اختراق النسج ويؤثر على وضوح الصورة.

قام مؤخراً برادلي سميث وزملاؤه في جامعة نوتردام بولاية أنديانا في الولايات المتحدة، بتخليق فئة من المركبات التي يمكنها أن تتجاوز هذه المشاكل. تدعى تلك المركبات بـ (سكوارين رتوكسين اندوبيروكسيدات) (SREPs)، وتضم جزيئات صباغ عالية الحساسية تسمى السكوارينات، وتوضع داخل غلاف ماكروحلقي. عند تشعيعها بضوء أحمر يتأكسد السكوارين رتوكسين ليشمل مجموعة 9، 10 أنتراثين إندوبيروكسيدات غير المستقرة حرارياً. تُخزِّن هذه البنية طاقة الضوء على شكل رابطة كيميائية عند درجات حرارة منخفضة، وتحرر هذه الطاقة عند التسخين على شكل ضوء تحت أحمر قريب.

يتطلب التصوير بالفلورة عادة إنارة العيِّنة المعنية، مما يؤدي إلى ضوء خلفية طبيعية غير مرغوب فيه. لكن المهم هنا يمكن أن توفر مركبات SREPs تألقاً كيميائياً بالإضافة إلى إشارة فلورة. وعندما تتألق كيميائياً فلا تحتاج لتسليط الضوء على العينة، وبالتالي ليس هناك إشعاع خلفية. يمكننا في هذا الصدد رؤية أشياء أعمق وذات تباين أعلى لأنه يمكننا استبعاد إشارات الخلفية الطبيعية المزعجة هذه، ويضيف سميث، ومن ناحية أخرى، يبقى هذا الصباغ يعمل كما أنه لا يزال صباغ فلورة، معطياً المستثمر خيارين عندما يرغب بتقصي الأنسجة بعد إزالتها من الجسم. تبدو إيفا سيفيك موراكا، مديرة مركز التصوير الجزيئي في جامعة تكساس للعلوم الصحية بولاية هيوستون في الولايات المتحدة، متحمسة لهذا العمل. فتقول: "نظراً لأن منظومات الحيوانات الصغيرة التجارية غير قادرة على تصفية ضوء الخلفية المتبعثرة المحرض عن إشارات الفلورة الضعيفة بالقدر الكافي، يقدم تطوير تألق كيميائي في المجال الأحمر أو تحت الأحمر القريب فرصةً جديدةً لتصوير جزيئي ضوئي أكثر حساسية".



توفر الجزيئات كل من إشارتي الفلورة والتألق الكيميائي، كما هي موضحة في هذا النموذج الحيواني.

يشير سميث إلى أنهم قادرون على تخزين SREPs في درجات حرارة منخفضة (تحت $-20\ ^{\circ}C$) إلى أجل غير مسمى، هذا يعني أن إمكانية تحضيرها على مستوى واسع نسبياً ونقلها وتخزينها بسهولة إلى حين الحاجة، تقدم ميزة أساسية بتفوقها على القفاءات المشعة التقليدية.

وتقول سيفيك–موراكا: "إذا أمكن تجميع معدلات فوتونية مناسبة من خلال النسج، فقد تتحدى مركبات SREPs المتألقة كيميائياً، استعمال الملونات التألقية (fluorophores) المثارة في مجال تحت الأحمر القريب (>780 nm) والتي هي قيد التطوير والاستخدام في أدوية ونبائط الدراسات السريرية.

نُشر هذا الخبر في مجلة Chemistry World, 25 October 2010.

ترجمة د. توفيق ياسين، عضو هيئة التحرير.

قبلة الموت لخلايا السرطان

لقد فك العلماء لغز البنية المدهشة لمسام البيرفورين، التي توصل قبلة الموت إلى خلايا مصابة بالفيروسات والخلايا السرطانية في الجسم.

عندما يحدّد الجهاز المناعي خلية مستهدفة في الدورة الدموية على أنها سرطانية أو موبوءة بفيروس، يقوم بتنشيط خلايا قاتلة من خلال حقن مميت.

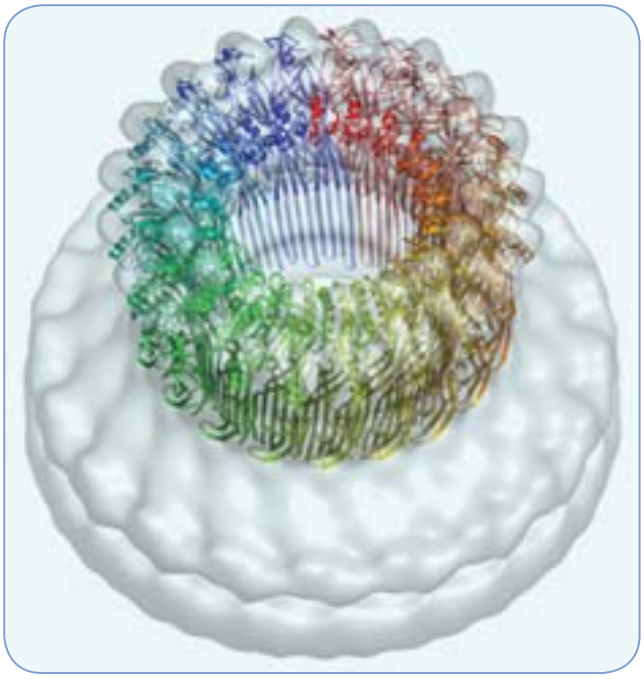
تحرر الخلايا القاتلة، عند ملامستها للهدف، بروتين البيرفورين في فضاء ضيق بين الخلايا، مما يؤدي إلى فتح ثقوب في غشاء الخلية الهدف، تسمح بدخول إنزيمات مدمرة إلى الخلية. يقوم حالياً باحثون في أستراليا وبريطانيا بإيضاح بنية البيرفورين في كل من الحالة المنحلّة في الماء وفي ثقب الغشاء.

نشأت الخطوة الأساسية الأولى في فهم البيرفورين من اكتشاف أنه ينتمي إلى عائلة السموم الجرثومية، بما فيها البنيومولیسين الذي درسناه سابقاً، وتتذكر الباحثة هيلين سايبيل من كلية بركبك في لندن قائلة: "لقد أردنا الحصول على خارطة بالمجهر الإلكتروني لمسامات البيرفورين، وأمكننا مشاهدة بعض التشابه مع مسامات البينومولیسين ولكن لم نستطع أن نفسر البنية بشكل مفصل".

يتكون كل مسام من 19- 24 جزيئاً من البروتين مشكلاً مدخلاً عرضه مابين 130- 200 أنغستروم. يتطلب التركيب المتباين للمسام تحليل البنية بدراسة بلّورية، ولكن يحول حجمها لأن تكون مناسبة للدراسة بالتجاوب المغنطيسي النووي.

وجاء الخرق عندما قام باحثون أستراليون من جامعة موناشن في أستراليا بتحديد شكل الجزيء المهيأ في المحلول، قبل دخوله في الغشاء، وذلك بتطبيق الدراسة البلورية بأشعة–X على نسخة متحوّلة تفتقر إلى المقدرة على الارتباط بالمسامات.

وعندما حاولوا مواءمة بنية البلورة مع الصور الأقل تفصيلاً للمسام والمأخوذة بواسطة المجهر الإلكتروني، وقع الباحثون في دهشة. قالت سايبيل: "ارتبكنا في البداية لنجد أن الجزيء بدا مناسباً لبنية المسام في اتجاه داخل– خارج بالمقارنة مع مسامات بينومولیسين. ومع ذلك، أكدت تجارب مميزة أن خلايا الثدييات تستخدم المسام بجولة الطريق الخطأ، مقارنةً مع المنظومة الجرثومية.



يوصل مسام البيرفورين "قبلة الموت" إلى الخلايا الموبوءة بالفيروس وخلايا السرطان في الجسم.

وتخلص سايبيل إلى أن: "من اللافت للانتباه، أن الآلة المشكلة للمسام الأساسي، والمستخدم من قبل كل من الجهاز المناعي للدفاع والجرثومي للهجوم، يعمل باتجاهين متعاكسين في هاتين الجملتين".

"وهذا توسعٌ رائع للعمل الخارق عام 2007"، يقول هاغان بايلي من جامعة أكسفورد في بريطانيا، مشيراً إلى اكتشاف التشابه بين البيرفورين والمسامات الجرثومية. "إن للسلاح المستخدم من قبل خلايانا المناعية ومن قبل الجراثيم المرضة، أصلاً مشتركاً ولكن يبدو الآن أنها تسدد ضربات سيوفها باتجاهات مختلفة".

نُشر هذا الخبر في مجلة Chemistry World, 31 October 2010.

ترجمة د. توفيق ياسين، عضو هيئة التحرير.

سعي الولايات المتحدة الأمريكية لإتاحة ورقات البحث العلمي مجاناً للعموم

يشرح "ديكلان باتلار" الخطوات الهادفة لجعل ورقات البحوث العلمية المموّلة من قبل الحكومة الأمريكية متاحة للعموم بالمجان مما يشكل نقطة تحول في ثورة النشر العلمي.

تبدو الحملة لرفع السرية عن المعرفة العلمية في طريقها للتسارع. فقد ساهم شيوع الإنترنت في تحوّل صناعة النشر العلمي، وحاولت عدة مساهمات تدعيم قوة الإنترنت من خلال إتاحة الورقات العلمية مجاناً عبرها. وتقوم الآن الحكومة الأمريكية بمسعيين متوازيين يهدفان إلى الإتاحة المجانية والمفتوحة من خلال المستودعات الرقمية العمومية لمعظم ورقات البحث العلمي الممول اتحادياً.

تعتمد الصناعة التقليدية للنشر العلمي على الهيئات والمؤسسات والمكتبات في شراء اشتراكات الدوريات العلمية ورخصها الاستثمارية المؤسساتية. وتتميز بعض دور النشر مثل المكتبة العمومية للعلوم PLOS بإتاحة الورقات العلمية مجاناً عبر الإنترنت بصورة متزامنة مع توزيعها مطبوعة، وتسعى لتحصيل أجور الإجراءات التحكيمية والنشر من خلال رسوم مفروضة على معدي هذه الورقات. إلا أن هذا النمط في النشر الذي يستند إلى تحميل الباحث أجور إجراءاته ما زال في مراحله المبكرة. ولا تُشكّل الورقات العلمية المنشورة للباحثين وفق هذا النمط إلا جزءاً من إجمالي الورقات المنشورة.

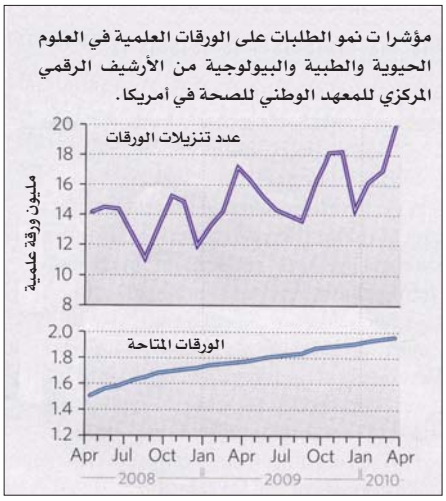
وستنتهج الحكومة الأمريكية وعدد من الهيئات الممولة للبحث العلمي سلوكاً مختلفاً سيجعل عدداً كبيراً جداً من الورقات العلمية متاحاً للعموم بعد فترة زمنية محددة من توزيعها ورقياً للمشتركين. وبصورة متزايدة ستشترط هذه الجهات الممولة أن يقوم الباحثون الذين يقومون بالنشر في الدوريات المحكمة بإيداع نسخة إلكترونية من ورقاتهم في قواعد بيانات متاحة للعموم مجاناً. وعلى الأغلب ستضم هذه المستودعات الرقمية النسخة النهائية للورقة المعدّة من قبل الباحث للنشر بدلاً عن النسخة المنشورة التي ستكون في أغلب الأحيان متاحة عبر موقع الإنترنت الخاص بدار النشر.

وتَلْقى الدعوة إلى أن يتمكن الجميع من الوصول المجاني لنتائج البحث العلمي الذي يموله دافعو الضرائب شعبيةً من قبل المشرعين الذين يحرصون على استثمار فوائد العلم. ويتوقع بأن يكون لتوزيع نتائج البحث على أوسع نطاق ممكن مكتسبات اقتصادية واجتماعية كمساعدة الأطباء في الاطلاع على أحدث نتائج البحث الطبي.

ويقول جون هاولي المدير التنفيذي للجمعية الأمريكية للتقصي المخبري في مدينة آن آربور في ولاية ميتشيغان إن الدعوة لشفافية الحكومة والوصول الحر المفتوح بدأ يشتد عودها. وإذا تطلب الأمر إلزامية سياسة الوصول الحر المفتوح للعموم فليكن ذلك.

وقد تلقى الوصول الحر للعموم دفعاً مهماً عام 2007 عندما مرر الكونغرس الأمريكي قانوناً يلزم الباحثين المموّلة بحوثهم من المعهد الوطني للصحة NIH بإيداع نسخة إلكترونية من ورقاتهم العلمية في الأرشيف المركزي للمعهد المسمى PubMed وذلك خلال فترة لا تتجاوز 12 شهراً من تاريخ النشر.

وقد كانت المعاهد تتبع سياسة طوعية منذ عام 2005. إلا أن هذه الفكرة تعثرت لعدم إبداء الباحثين اهتماماً في إيداع نشراتهم طوعياً. ومذ أضحى الإجراء إلزامياً، ارتفع عدد مودعي النشرات في PubMed ومتصفحي محتوى الأرشيف منها بصورة مطّردة، انظر الشكل. ويضم الأرشيف المركزي PubMed حوالي 420000 متصفح قاموا بتنزيل ما يقارب من 750000 ورقة علمية منه.



مؤشرا ت نمو الطلبات على الورقات العلمية في العلوم الحيوية والطبية والبيولوجية من الأرشيف الرقمي المركزي للمعهد الوطني للصحة في أمريكا.

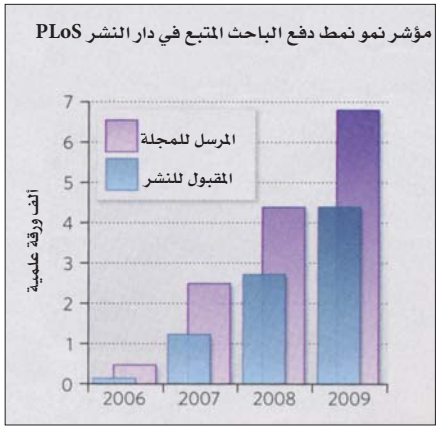
وخلال السنوات القليلة المنصرمة، فرضت الجهات المموّلة للبحوث العلمية في عدد من الدول إجراءات مماثلة مثل Wellcome Trust، وهي الجمعية الخيرية الكبرى المموّلة للبحث في بريطانيا، وجميع مجالس البحث العلمي التابعة للحكومة البريطانية ومجلس البحث العلمي الأوربي.

وقد يقود مقترَحَان طُرِحا مؤخراً في الولايات المتحدة الأمريكية لدخول إجراءٍ مماثل لما اتبعته المعاهد الوطنية للصحة (NIH) National Institutes of Health حيز التطبيق لدى البحوث التي تموّلها الحكومة الفيدرالية. وأعيد في حزيران 2007 إدراج قانون الوصول المفتوح للبحوث الفيدرالية FRBAA على البحث في مجلس الشيوخ من قبل السيناتور المستقل عن ولاية كونيتكيت "جوزيف ليبرمان" والسيناتور الجمهوري عن ولاية تكساس "جون غورينن". وسيطبق القانون على البحوث العلمية التي تزيد قيمة تمويلها السنوي على 100 مليون دولار مع بعض الاستثناءات الخاصة بالبحوث السرية.

وانتهت في 2009/1/21 فترة استشارية دامت ستة أسابيع حول الإمكانية والكيفية لصياغة سياسات الوصول الحر المفتوح، التي كان قد دعا إليها مكتب السياسات العلمية والتقانية OSTP التابع للبيت الأبيض، مما حرض توقعات قوية بأن الرئيس الأمريكي "باراك أوباما" قد يلجأ قريباً لاستصدار قرار تنفيذي لسياسات الوصول المفتوح الحر على أرضية مشابهة لقانون FRPAA. وقد يلغي هذا القرار الحد الأدنى للتمويل والبالغ 100 مليون دولار سنوياً إلا أن كونه قراراً تنفيذياً وليس قانوناً فيدرالياً فإنه سيكون عرضة للإلغاء من قبل رئيس مستقبلي.

النموذج الجديد

تحظى مختلف المبادرات الهادفة لشيوع النشر العلمي بدعم واسع من رؤساء المراكز البحثية والجامعات والمكتبات والجمعيات البحثية. وبرز شبه إجماع حول الحاجة لإتاحة الوصول الحر لكل ورقات البحث العلمي الاتحادي في أمريكا في سياق تقرير نُشر في كانون الثاني 2010 أعدته لجنة من مديري المكتبات وكبار الباحثين ودور النشر إثر اجتماعها في حزيران 2010 وبمبادرة من OSTP ولجنة العلوم والتقانة لمجلس النواب الأمريكي. لقد أوصى التقرير بألا تشكل سياسات الإيداع الإلكتروني للنشرات ضرراً على القطاع التجاري أو اللاربحي



للنشر العلمي. وكما هو الحال مع تفويض NIH، يؤكد التقرير على إمكانية أن تقوم دور النشر بتأخير الإيداع الإلكتروني لبضعة أشهر بعد صدور النسخة المطبوعة تجنباً للخسائر التي قد تنجم عن تقلص الاشتراكات بالنسخة المطبوعة.

وعلى الرغم من هذه التطمينات، لا تزال بعض دور النشر غير مقتنعة، حيث تنصل أحد أعضاء اللجنة "يونغ سوك تشي"، وهو نائب الرئيس والمدير الإداري لقسم علاقات الزبائن لدار النشر Elsevier التي تتخذ من أمستردام في هولندا مقراً لها، من توصيات التقرير بحجة أنه "يدعم دوراً بالغ التأثير للحكومة ويشجع أساليب للنشر العلمي التي أعتقد أنها مُعتادة جداً." وفي تصريح مشترك بين OSTP ورابطة دور النشر الأمريكية AAP وتحالف موجهي العاصمة الأمريكية من أجل الوصول المفتوح للعلوم، انتقد إجراء NIH للإلزام بأنه طريقة لتسهيل القرصنة الدولية واصفاً إياه بأنه سيؤدي إلى إلحاق الضرر بالمراكز التي يعتمد عليها الباحثون والحكومة والقطاع العام في إجراء التحكيم العلمي والنشر والتوزيع وحفظ المعلومات العلمية. ويذهب التصريح إلى أنه على الحكومة أن تلجأ بدلاً من ذلك إلى زيادة مستوى إتاحة نتائج البحث العلمي من خلال الملخصات والتقارير والبيانات.

وللعديد من أعضاء هذه المنظمات سياساتها التي تسمح للباحثين بإيداع نسخة غير نهائية من ورقاتهم العلمية في مستودعات عمومية مجانية. لا بل يسمح بعض منها للباحثين بإيداع النسخة النهائية المنشورة. كذلك، فإن العديد من الدوريات، بما فيها مجلة Nature، تساعد الباحثين في تطبيق السياسات المؤسساتية من خلال قيامها بإيداع الورقات في

المستودع المركزي PubMed نيابة عن الباحثين أنفسهم.

ويقول "آلان آلدر" نائب رئيس رابطة AAP للشؤون الحكومية والقضائية بأن توجهاتهم مسموعة لدى صنّاع القرار في الحكومة الأمريكية وأنه يتوقع أن يلقى مُقتَرَحا الحكومة الأمريكية استقبالاً أفضل من المقترح المقدم من NIH. إلا أن أحد أعضاء AAP وهو "مايك روسنر" المدير التنفيذي لمطبعة جامعة روكفيللر في نيويورك تنصل من موقف مؤسسته، حيث كتب في 2010/3/31 لعضو مجلس النواب الديمقراطي ورئيس لجنة مجلس النواب للعلوم والتقانة "بارت غوردون" قائلاً: ندعم بشدة جهود الحكومة الاتحادية كإلزام NIH وقانون FRPAA الهادفة لإتاحة نتائج البحث الذي تموّله الحكومة للعموم.

من جهته قال "مارك باترسون" وهو مدير النشر في المكتب الأوربي بكامبريدج بإنكلترة للمكتبة العمومية للعلوم PLoS بأنه وعلى الرغم من أن مقترحات اللجنة ستحسن بصورة ملموسة مسألة الوصول الحر إلا أنها ليست كافية. ويستطرد بأن القوانين مثل FRPAA يجب أن تدعم أنماط النشر التي تغطي أجور النشر المدفوعة من قبل الباحثين كلفة إتاحتها مجاناً وبالتزامن مع طباعتها.

ستيوارت شيبر – أحد مؤيدي نمط دفع الباحث

وإلى الآن تبدو الإلزامات كأدوات اختيارية للحكومات والمموّلين لتأهيل وصول حر أوسع. ولا يزال نمط النشر الذي يُحمّل الباحث نفقات النشر أكثر أنماط النشر قبولاً. وبينت مؤخراً دور النشر كـ PLoS والأرشيف المركزي اللاربحي BioMed الذي اقتنته مجموعة Springer العالمية ومقرها ألمانيا عام 2008 بأن نمط دُفعات الباحثين للنشر يمكن أن يكون قابلاً للاستمرار على الأقل لعدد من دورياتها. إلا أن هذا النمط لم يستطع توليد الاستثمار اللازم للدوريات الانتقائية أو تلك التي تفرد قسطاً كبيراً من صفحاتها لمداخلات ملحقة من قبل مجلس تحريرها، كالمراجعات على سبيل المثال.

ويتزايد عدد المموّلين الذين يغطّون أجور النشر نيابة عن الباحثين الذين يدعمونهم، إلا أن هذا النهج يبقى بعيداً عن أن يكون هو السائد. وفي محاولة منها لتغيير هذا الواقع أطلقت خمسة مراكز بحثية أمريكية كبيرة، من بينها جامعة هارفرد ومعهد ماساتشوستس للتقانة، وكلاهما في مدينة كامبريدج بولاية ماساتشوستس، ما يعرف برابطة النشر المفتوح في أيلول 2009 لحث المزيد من المموّلين والهيئات على دفع أجور النشر نيابة عن باحثيهم. ويقول "ستيوارت شيبر"، رئيس مكتب اتصالات العلميين في جامعة هارفرد وأحد القائمين على إطلاق رابطة النشر المفتوح: يمكن لهذا الإجراء أن يخفض المخاطر الناجمة عن تحوّل دور النشر إلى نمط الوصول المفتوح في صناعة النشر.

من جهته رحب "ماثيو كوكريل"، المدير الإداري للأرشيف المركزي BioMed بهذا التوجه قائلاً: إن أعضاء الرابطة مشغولون بالتفكير في كيفية إحداث تحول مستدام في طريقة نشر المخرجات البحثية وبدؤوا بإطلاق أقنية التحويل اللازمة لتسهيل هذا التحول.

زخم هجين

وقعت في كانون الأول/ديسمبر 2009 ثلاثة مراكز إضافية من بينها جامعة كولومبيا في نيويورك على إعلان رابطة النشر المفتوح. إلا أن الموارد المالية المقدمة من قبل أعضاء الرابطة ما زالت صغيرة ولم يستفد منها إلا القليل من الباحثين. ويتخوّف بعضهم من أن تُبطِّئ سياساتُ الرابطة التحولَ نحو وصول مفتوح على مستوى أوسع لأنها لا تشجع على دفع أجور النشر للباحثين الراغبين في النشر في دوريات هجينة كمجلة EMBO التي تصدرها مجموعة النشر ناتشر NPG والتي تعطي الباحث خياراً لدفع رسوم إضافية في حال رغبته بإتاحة ورقته العلمية بصورة مفتوحة.

ولا يستبعد "شيبر" مراجعة هذه السياسة، إلا أنه يدافع عنها كونها نابعة من الشعور بأن الباحثين الذين لا تتوافر لديهم الموارد المالية عليهم أولاً التوجه إلى دوريات النشر المفتوح. ويتابع مبدياً قلقه حيال قيام بعض الدوريات بطلب أجور للنشر المفتوح إضافة للأجور التي تحصلها من الاشتراكات. وللتخفيف من هذه المخاوف، عدّلت بعض دور النشر ومنها مطبعة جامعة أوكسفورد ومجموعة النشر ناتشر أسعار الاشتراكات لدورياتها الهجينة استجابة لنمو الاهتمام بالوصول المفتوحة.

ويقول "فيليب ديفيس" وهو أحد خريجي اختصاص النشر

العلمي في جامعة كورنويل في إيثاكا في نيويورك بأن النموذج الهجين يعتبر أقل مخاطرة من ذلك النموذج الذي يعتمد على تحميل الباحث كل أجور النشر. ويدافع عن الدوريات الهجينة بأنها الآلية الرئيسية التي ستسمح للدوريات التي تعتمد حصرياً على الاشتراكات بالانتقال إلى نمط الوصول المفتوح دونما المخاطرة باستمراريتها. ويتابع القول بأنه يفضل تحولاً تدريجياً في نمط صناعة النشر وسيكون نمط النشر الهجين هو المؤهل لتحقيق هذا التحول.

وتبقى مشكلة وحيدة هي عدم توفر بحث واسع لسبر كيفية التحول إلى نمط الوصول المفتوح بالطريقة المثلى على حد قول "مارك ماكيب"، الخبير الاقتصادي في جامعة ميتشيغان، الذي يعتقد بأن المستقبل المثالي لن يتكون من دوريات الوصول الحر فقط، بل من مزيج منها ومن دوريات الاشتراكات وربما الدوريات الهجينة أيضاً.

ويجزم "باتريك لابيل"، مدير مكتبة جامعة أوتاوا في كندا وعضو رابطة النشر المفتوح، بأن الغلبة ستكون لدوريات الوصول المفتوح على حساب دوريات الاشتراكات التقليدية. وأن الوتيرة المتسارعة للتوجهات التي شهدتها السنوات القليلة المنصرمة من قبل المؤسسات والهيئات المانحة ودور النشر والباحثين هي أكبر دليل على أن التحول قادم يوماً ما، حيث سيتفوق نموذج الوصول المفتوح على نماذج النشر التقليدية.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 464, 8 April 2010.

ترجمة د. عماد خضير، هيئة الطاقة الذرية السورية.

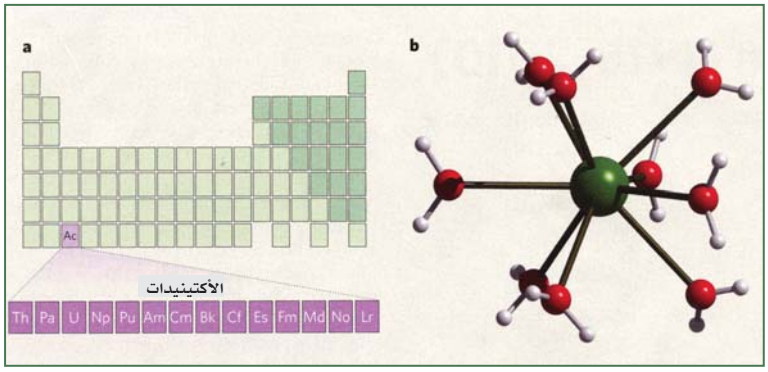
كاتيون بتسعة أذرع

ما يزال عالَم كيمياء الأكتينيدات حديث العهد. ويعود ذلك، على الأقل، إلى النشاط الإشعاعي الذي يعيق التعامل مع هذه العناصر. تكشف الدراسة التالية تفاصيل تصرف مركبات الأكتينيدات بوجود الماء.

في تقرير قدمه أبوستوليديس Apostolidis وزملاؤه في مجلة Angewandte Chemie، يصفون فيه طريقة جمعهم، للمرة الأولى، بين التصنيع والمطيافية والنمذجة الحاسوبية لتحديد سلسلة من التجمعات التي ترتبط فيها جزيئات الماء بأيونات عناصر الأكتينيدات –التي تشمل بعض أثقل العناصر المعروفة والأقل استقراراً. وبالتغلب على الصعوبات المرتبطة بالنشاط الإشعاعي الكثيف والكيمياء المعقدة لهذه المعادن، وجد الباحثون أن كاتيوناً وحيداً من الأكتينيدات يرتبط بتسعة جزيئات من الماء بشكل مباشر ليشكل معقداً أيونياً من الشكل $[An(H_2O)_9]^{3+}$، حيث An هو عنصر أكتينيدي. إن معرفة مثل هذا التفصيل حول كاتيون مُميَّه أمر أساسي لفهم كيفية سلوك أهم المكونات المشعة الداخلة في النفايات النووية بوجود الماء. كما أن ذلك سيسمح أيضاً للكيميائيين باقتراب أمثل من عمليات فصل واستخلاص الأكتينيدات في المختبر، إضافة إلى فهم سلوك أيون الأكتينيدات ومنعه من الانتقال إلى البيئة.

تشتمل سلسلة الأكتينيدات على عناصر الثوريوم واللّورنسيوم، ويتم عادة عرض الأكتينيدات في صف سفلي من الجدول الدوري (الشكل 1 أ). تشكل الأكتينيدات، جنباً

إلى جنب مع اللانتانيدات (صف العناصر الواقع مباشرة فوق الأكتينيدات في الجدول الدوري)، أسرة معروفة باسم عناصر المدارات-f، وجاء هذا الاسم نسبة إلى الطبقة الإلكترونية الخارجية، أي المدارات غير المشبعة بالإلكترونات، المدارات f. وغالباً ما يعبر عن عناصر المجموعة f بشكل منفصل في حاشية الجدول الدوري، غير أنه لابد من الاعتراف بأن كيمياء اللانتانيدات في الماء، على الأقل، واضحة المعالم نسبياً. تتفاعل جميع أيونات اللانتانيدات (المعبر عنها بشكل مختصر Ln^{3+}) مع أنيونات بسيطة (X^-، عادة أملاح الأحماض القوية)، مولدة معقدات من النموذج LnX_3. وهذا المعقّد هو ما يعبر عن هذه المعقدات إلى حدٍّ كبير. لنقارن ذلك مع الكيمياء الغنية للعناصر الانتقالية، التي تدخل في تفاعلات أكسدة–إرجاع وتشكل معقدات مختلفة من جميع الأنواع.



الشكل 1: يظهر الشكل 1 بنى أيونات الأكتينيدات المميهة. أ: تشمل الأكتينيدات كافة العناصر، بدءاً من الثوريوم وحتى اللّورنسيوم. فهي تابعة للأكتينيوم (Ac) في الجدول الدوري، لكنها عادة ما تعرض على شكل صف معزول في الجدول الدوري. ب: قام أبوستوليديس وزملاؤه بتوصيف الكاتيونات، $[An(H_2O)_9]_3^+$، حيث An تمثل واحداً من الأكتينيدات الموجودة في المركبات الأكتينيدية الثلاثية المميهة. تعود البنية المعروضة هنا إلى مركب الكاليفورنيوم، إلاّ أن جميع أفراد السلسلة المدروسة من قبل الباحثين (من اليورانيوم إلى الكوريوم والكاليفورنيوم) تتخذ البنية التناظرية نفسها. تتضمن البنية البلورية الكاملة الثلاثية المقابلة الصيغة $CF_3SO_3^-$، غير أن الثلاثية أهملت هنا بهدف زيادة الوضوح. يظهر الكاتيون الأكتينيدي باللون الأخضر، والكرات الحمراء والرمادية تمثل ذرات الأكسجين والهدروجين على التوالي، في جزيئات الماء التسعة المرتبطة.

فلماذا تكون كيمياء اللانتانيدات أقل تنوعاً من كيمياء المعادن الانتقالية؟ الجواب إلكتروني، إذ إن هناك تغيّراً في عدد الإلكترونات التكافؤية (الأكثر بعداً عن النواة) التي يمكن إزالتها من ذرّات المعادن الانتقالية، في حين أنه، وبشكل عام، يمكن إزالة ثلاثة إلكترونات تكافئية فقط من الذرات ذات المدارات f. وما تبقى من إلكترونات التكافؤ الموجودة في المدارات f المتعددة الفصوص (على شكل بتلات الزهور)، التي لا تمتد بعيداً عن الذرة بما فيه الكفاية لتتداخل مع مدارات ذرات الرابط ligand، فهي لا تساهم في الترابط. وعبر مفهوم التشابه مع الزهرة، تكون بتلات المدارات f صغيرة بالمقارنة مع بتلات الخشخاش العملاقة لمدارات التكافؤ في المعادن الانتقالية. ومع ذلك، فإن إلكترونات المدارات f في اللانتانيدات تمنح أيوناتها خصائص طيفية ومغنطيسية هامة.

ولكن ماذا عن الأكتينيدات، أشقاء اللانتانيدات المشعة في أسرة عناصر الطبقة f؟ تمتلك الأكتينيدات خصائص فريدة من نوعها، ويبدو، مع تقدم العصر النووي، من الأهمية بمكان أن نفهم سلوكها، خصوصاً في المياه إذا ما أردنا قياس مخاطر الأكتينيدات الموجودة ضمن النفايات النووية في البيئة. وفي هذا الصدد، إن أملاح الأكتينيدات $An^{3+}(CF_3SO_3^-)_3$، حيث $CF_3SO_3^-$ هي أنيون ثلاثي) تشكل مركبات نموذجية مفيدة. يمكن للأنيونات الثلاثية هذه أن ترتبط مباشرة بأسرة الكاتيونات f، غير أنها تُستبدل بسهولة بجزيئات رابطة أخرى مثل الماء، الذي يرتبط مع الكاتيونات بشكل أقوى. ففي حالة اللانتانيدات، تعرف المعقدات الناتجة بأنها مشكلة من كاتيون مركزي من زمرة f محاط بتسعة جزيئات ماء (يحدد المعقد بحيز كروي تناسقي أساسي)، ترتبط معه الأيونات الثلاثية لاحقاً (مشكلة مجالاً كروياً تناسقياً ثانوياً). استخدمت هذه الثلاثيات اللانتانيدية المنحلة في الماء خلال عشرين عاماً كمحفزات لمجموعة من التحولات العضوية. غير أن تصنيع الثلاثيات الأكتينيدية المتشابهة ودراستها تفرض سلسلة من التحديات.

تغلّب أبوستوليديس وزملاؤه على هذه التحديات عند تصنيعهم للثلاثيات المُميَّهة في جملة من الأكتينيدات بدءاً من اليورانيوم وحتى الكوريوم، إضافة إلى الكاليفورنيوم. أما العناصر الأكتينيدية الطبيعية الأخف من اليورانيوم في الجدول الدوري فهي معتدلة النشاط الإشعاعي، مما يسهل

التعامل معها. إن المشكلة الأساسية المرافقة للأكتينيدات هي أنه بإمكانها أن تدخل بتفاعلات أكسدة غير مرغوبة، وهكذا كان لابد لأبوستوليديس وزملائه من استخدام تقنيات تصنيع متقنة لتجنب الأكسدة عند تصنيع ثلاثيات اليورانيوم. كما أنهم استخدموا تقنيات مماثلة عند تصنيع ثلاثيات عناصر أثقل من اليورانيوم كالنبتونيوم والبلوتونيوم.

ويشار إلى العناصر الأثقل من اليورانيوم في الجدول الدوري بأنها معادن ما بعد اليورانيوم، وهي صنعية. إن النشاط الإشعاعي لهذه العناصر أكثر بـ 100000 ضعف من النشاط الإشعاعي لليورانيوم، وأنصاف أعمارها أقصر بشكل ملحوظ. تتحول العينات النقية من أملاح ما بعد اليورانيوم ومعقداتها بشكل سريع عن طريق التفكك الإشعاعي مشكلة منتجات وليدة، وتكون الطاقة المحررة خلال التفكك قادرة على تخريب روابط المربوطات. وهكذا يحتاج الباحثون لتصنيع سريع، وتحديد هوية الثلاثيات الناتجة عن مواد ما بعد اليورانيوم، وذلك قبل أن تصبح العينة شديدة التلوث بنواتج التفكك. فعند تصنيع ثلاثيات الكاليفورنيوم، اختار أبوستوليديس وزملاؤه نظير العنصر (^{249}Cf) ذي عمر النصف المديد الكافي لتجنب السرعة في التصنيع. وفي هذه الحالة يتمثل التحدي العملي بالنشاط الإشعاعي الشديد للكاليفورنيوم، وهي مشكلة تم تجاوزها من خلال استخدام كمية لا تتجاوز بضعة مكروغرامات.

وبشكل مفاجئ، وجد أبوستوليديس وزملاؤه أن الكاتيون الشديد التناظر نفسه، الذي تشكل فيه جزيئات الماء التسعة حيز التناسق الكروي الأولي، يتشكل في جميع حالات الأكتينيدات المدروسة، برغم التبدلات في قدّ الكاتيون التي تحدث عبر الانتقال في سلسلة الأكتينيدات (الشكل 1 ب). وإضافة إلى ذلك، يتجلى هذا السلوك نفسه في أيونات اللانتانيدات –تشابه لم يكن بالضرورة أمراً مسلماً به. سوف تساعد هذه المعطيات بتوجيه التوقعات المتعلقة بتفاعلات إضافية للأكتينيدات.

تساعد ثلاثيات الأنيونات في حيز تناسق كروي ثانوي لمعقدات الأكتينيدات في تثبيت جزيئات الماء في مواقع محددة عبر عدد كبير من تفاعلات متبادلة بين روابط هدروجينية ضعيفة، تماماً كما هو الحال في بلورات الثلج المتماسكة بعضها مع بعض بوساطة شبكة تناظرية من الروابط الهدروجينية. هذا وسمحت شبكات الروابط أيضاً بنمو بلورات منفردة مميزة استعملها الباحثون في دراساتهم التي تستعمل تقانة الأشعة السينية. إن دراسات الأشعة السينية نادرة على البلورات المنفردة في حالة مركبات ما بعد اليورانيوم، لأن البلورات حارّة لدرجة أنها تسعى لتدمير نفسها أثناء مرحلة التحليل، وذلك بسبب الإشعاع الداخلي. وتعد ثلاثية الكاليفورنيوم واحدة من مركبات ما بعد اليورانيوم القليلة الممكنة التحليل بهذه الطريقة.

تخضع إلكترونات المدارات f في المعقدات الثلاثية إلى تحولات تسمح بإجراء مطيافية مفصّلة وتحليل مغنطيسي. يوفر ذلك معلومات أساسية حول ترتيب السويات الطاقية لإلكترونات الطبقة f، ويظهر أن ثلاثيات الأكتينيدات البدائية تتمتع بتأيّن قوي، وتتصرف إلى حد كبير مثل اللانتانيدات في الماء. كما تسمح الانتقالات الإلكترونية بإعطاء المركبات ألوانها الجميلة، متدرجة من الأزرق الدخاني والأخضر الزيتوني إلى الوردي المتلألئ.

لا تعد الألوان الساحرة بحد ذاتها كافية لتشجيع عدد أكبر من المصنعين الكيميائيين لدراسة الكاتيونات الأكتينيدية. غير أن هناك عوامل أخرى بالتأكيد تشجع نهضة جديدة في كيمياء اليورانيوم –بما في ذلك الحصول السهل على ثلاثي يوديد اليورانيوم الذي يمكن استعماله كسلف precursor لمعقدات اليورانيوم. كما أن استبدال الأنيونات الثلاثية في معقدات اللانتانيدات بمجموعات أنيونية قابلة للارتباط بقوة مع الكاتيون كان فعالاً في تصنيع معقدات وحفازات جديدة. ونشير هنا إلى أن كيمياء أكتينيدية جديدة ومثيرة ستتلو الدراسات التي قام بها أبوستوليديس وزملاؤه.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 466, 5 August 2010.

ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير.

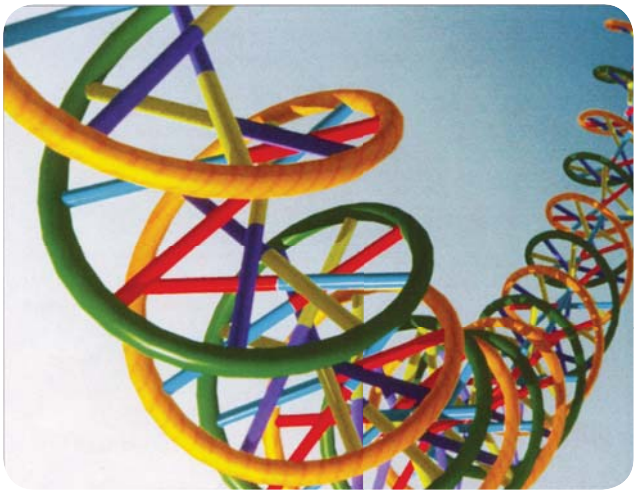
اكتشاف أسرار الحياة

نقدم فيما يلي عرضاً وتحليلاً للكتاب الذي أعدَّه روبرت أولبي، وعنوانه "فرانسيس كريك، الباحث عن أسرار الحياة" Francis Crick, Hunter of Life's Secrets. كتب العرض والتحليل مايكل ب. هـ. ستومبف

تكون السير العلمية أفضل عندما يسعى كاتب السيرة لوضع الفرد وعلمه في سياق فكري واسع. والسبب في ذلك بسيط: فمهما تكن إنجازاتهم ذات قيمة وأهمية، فإن عدداً قليلاً من العلماء عاش حياة مثيرة بما يكفي، بسبب مؤهلاتهم الشخصية، لأسر خيال القراء لمئات الصفحات.

خذ فرنسيس كريك، الذي استخدم (بالتعاون مع زميله البيولوجي جيمس واطسون) الصور الناتجة عن أنماط انعراج أشعة إكس للجزيئات الحيوية ليتوصل إلى بنية الدنا، الجزيء الذي يحمل معلومات قابلة للتوريث لمعظم الحياة على الأرض. إنه إذن بدون أدنى شك شخص كان لإنجازاته العلمية أثر أبعد بكثير من مجال اهتمامه البحثي. ولكنه ليس براقاً على المستوى الشخصي مثل بعض العلماء، بالرغم من أن حياته تقدم بعض المادة الممتعة. ولكن الشيء الأكثر أهمية لكتاب السير الذاتية أنه قام بمعظم أعماله الهامة في الفترة التي تلت مباشرة الحرب العالمية الثانية –فترة الاضطرابات الكبيرة، التي ارتبط بعضها مع العلم الذي شغل كريك والعديد من الذين تعاونوا معه.

في كتاب *فرانسيس كريك: الباحث عن أسرار الحياة*، قام روبرت أولبي مؤرخ جامعة بيتسبرغ بعمل رائع من خلال إيصال الكيفية التي أثرت فيها شخصية كريك والوسط الذي عاش فيه على علمه. اقتفى أولبي طريقة كريك في القيام بالبحث –والتي بدت مرتبطة بشكل وثيق بالطريقة التي تعامل فيها مع معاصريه– بطريقة مفيدة ومختلفة بعض الشيء. امتنع عن الحكم على موضوعه، مفضلاً أن يلمح أكثر من أن يحدد الجوانب البارزة من شخصية كريك، تاركاً ذلك للقارئ ليقيّم كريك كعالم وكشخص. لكن عمل أولبي ليس سيرة كسير القديسين ولا كالسير الذاتية الشائعة التي يمكن لك أن تجدها في محل لبيع الكتب في المطار. ولكن، هو يقدم بحثاً أكاديمياً منظماً (رغم أنه مقروء بدرجة عالية) عن حياة وأعمال وزمان واحد من أشهر علماء القرن العشرين.



طريقة نموذجية تظهر شكل الدنا

بدون شك كان لإنجازات كريك العلمية أثر أبعد بكثير من مجال اهتمامه البحثي

بعد دراسته للفيزياء في كلية لندن الجامعية، كان كريك قد بدأ سنة أو نحو ذلك في بحث الدكتوراه حول قياس لزوجة الماء عند درجات الحرارة المرتفعة عندما بدأت الحرب. ترك الدكتوراه لصالح المجهود الحربي، ومضى ليعمل في تصميم الألغام في الأكاديمية البحرية. بحسب أولبي، فإن صديقاً من عائلة كريك كان وراء هذا التحول، إضافة إلى الانجذاب لتحدي المشاكل العلمية التي يمكن أن تعود بفوائد كبرى، هي التي سحبت كريك من الفيزياء إلى مجال البيولوجيا الجزيئية البازغ.

بعد بدئه في الدكتوراه في هذا الموضوع الجديد في مخبر كافينديش بجامعة كامبردج، شحذ كريك مهاراته التحليلية بتحديد البنية لبضعة بروتينات لولبية صغيرة ولكنها هامة. من خلال الجمع بين بناء النموذج (الموديل) والمناقشة التي بدت لا نهاية لها مع واطسون وآخرين، أصبح يقتنع تدريجياً (إلى حد ما ضد رأي كافينديش السائد في ذلك الوقت) بأن الدنا وليس البروتين هو الذي يحمل المعلومات القابلة للتوريث. لم تكن خبرة كريك في علم البلورات التجريبي ولكن في بناء النماذج، وهي المهمة التي تتألف من وضع أجزاء من ألواح الورق المقوى أو المعدن على سقالة من أنبوب وقضيب وحساب أنماط الانعراج حتى وجد البنية التي كانت متوافقة

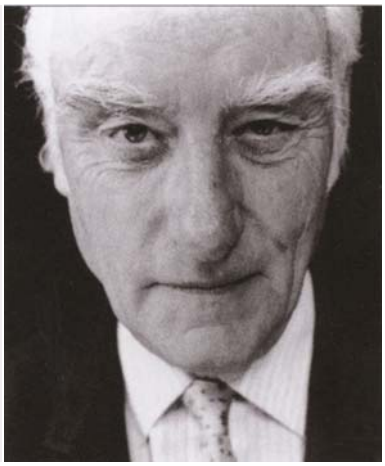
مع البيانات المتوفرة. مهارات النمذجة هذه والإلهامات التي حصل عليها من محادثاته أثبتت أنها مفيدة بشكل كبير في التوصل إلى بنية الدنا المزدوجة السلسلة.

خلال هذه الفترة، بدا واضحاً أن أفكار كل من كريك وواطسون المندفع بالقدر نفسه قد غذّت بعضها بعضاً. لقد كان هذا التعاون المثمر هو الذي سمح لهما في النهاية بالفوز في السباق لفهم بنية الدنا. تعكس حقيقة أنهما كانا قادرين على فعل ذلك بالرغم من المعارضة القوية (التي تشمل لينوس بولينغ بين آخرين كثر) الحريةَ التي منحت لهما على مضض أحياناً من قبل لورنس براغ، الفيزيائي الحاصل على جائزة نوبل والذي كان مدير كافينديش في ذلك الوقت.

وجدتُ مناقشة أبحاث كريك في كافينديش الجزء الأكثر متعة في الكتاب. بالرغم من أن هذه القصة معروفة جيداً من روايات سابقة، بما فيها ما ورد مع كريك وواطسون نفسيهما، فإن أولبي قام بعمل رائع وهو جمع التناقضات المحيطة بقرار واطسون وكريك باستخدام صور انعراج أشعة إكس غير منشورة حصلا عليها من روزاليند فرانكلين وزملاء آخرين. بالمقارنة مع واطسون، ربما لا يقع لوم كبير على كريك ولكن الامتعاض والعصبية اللذين لا بد أنهما وُجدا بين اللاعبين المختلفين كانا محسوسين. الإهانة الحقيقية أو المتصورة التي شعر بها الباحثون المنافسون بمن فيهم موريس ويلكينس الذي تابع ليتشارك جائزة نوبل عام 1962 في الطب مع كريك وواطسون، سوف تستمر في جذب الانتباه والمراقبة بدون أدنى شك.

أظهر أولبي كيف طبق كريك في سنواته اللاحقة في العمل المهارات نفسها التي مكنته من حل بنية الدنا على مجموعة من المشاكل البيولوجية بما فيها شرحه للرمز الوراثي "العالمي"، الذي يصف كيف لـ 20 حمضاً أمينياً أن يرمّزوا (أو يخزّنوا) في تسلسل الدنا: مجموعات من ثلاثة نكلوتيدات تمثل الحمض الأميني. وهذا ربما كان عمله الفكري الأكثر إبهاراً . بالرغم من أن الرمز (الراموز) لا ينطبق بشكل عالمي على الحياة في الأرض (على سبيل المثال، فإن أجهزة الطاقة الميتوكوندرية داخل خلايانا تستخدم راموزاً مختلفاً بشكل فطن) فإنها تستمر لتثير الاهتمام: فإذا علمنا أن أربع قواعد نكليوتيدية –الأدينين A، السيتوزين C، الغوانين G والثيامينT– يمكن أن تجمع لتنتج 64 كودوناً من ثلاثة حروف، فإنه لا يزال غير واضح لماذا يجب استخدام أحد الكودونات الـ 64 على الـ 20 حمضاً أمينياً. وهذه تبقى منطقة فعالة للبحث.

أحد المواضيع التي يركز عليها أولبي هو أهمية المتعاونين لطريقة عمل كريك. عندما كان يدرس تفاصيل الكود الوراثي، أحاط كريك نفسه بعدد من العلماء الشباب وكان يدعوهم بشكل متكرر لكامبردج ليناقشوا موديلاته وليحسنها من خلال النقاش. استفاد هؤلاء العلماء الشباب بدورهم من معرفته الواسعة عن أدبيات البحث. وانتهى المطاف بالعديد منهم بحصولهم على جائزة نوبل، ومنهم آرون كلوغ وسيدني برينير وبالطبع واطسون. من الواضح أنهم كانوا أكثر من مرددين لأفكار كريك. ورغم ذلك فإن العلاقات بين كريك وزملائه (حتى واطسون) لم تكن ودّيّة دائماً. وأكثر من ذلك، عندما يكون في عمله كان يتلذذ بالتحدي الفكري الذي كان يطرحه المتعاونون الشباب، وفي علاقاته خارج إطار الزوجية كان يبحث عن نساء شابات لسْن في موقع يسمح لهن بتحديه (أو زواجه). بالرغم من محافظته على موقع محايد، فإن أولبي كان يسخر بمهارة من هذا الحراك (الدينامي) الاجتماعي المعقد.



جاهز للتحدي
الشخصية والبيئة صاغت عمل فرانسيس كريك

خلال أواخر الستينيات، ابتعد كريك تدريجياً عن البيولوجيا الجزيئية وانتقل إلى الولايات المتحدة (وهذه النقلة الأخيرة يبدو أنها لأسباب تتعلق بالضرائب). ونظراً لأن المرء يجب ألاّ يبتعد عن التحديات الكبيرة، فإنه قرر تدريجياً أن يعالج المشكلة التي اعتبر أن فيها ما يكفي من التحدي وبأنها تستحق الاهتمام وهي: طبيعة الوعي. لم يكن كريك ليشك في أن الوعي يجب أن يكون له أصل بيولوجي وبيوكيميائي وبالنهاية فيزيائي، وهو الذي بالرغم من خلفية عائلته غير الملتزمة لم يكن لديه وقت كثير للدين.

ولكن بالمقارنة مع البيولوجيا الجزيئية حيث تكون التجارب التي تختبر أفكارنا هي نسبياً مباشرة وقابلة للتنفيذ، فإن التحقق التجريبي من الأفكار ذات العلاقة مع الوعي هو مشروع مختلف كلياً.

إن العوامل المربكة المحتمل حدوثها هي معقدة ومتنوعة، كما أن الاستجابات الفيزيولوجية العصبية للمحفزات الخارجية متغيرة ودقيقة. ومع ذلك وحتى موته عام 2004 عن عمر يناهز 88 سنة، آمن كريك أنه يمكن أن يضيف مساهمات هامة إلى نظرية الوعي.

لا أحد يمكن أن يشك في أهمية هذا الحقل ولكن قلة الحقائق الدامغة أو قلة المقدار الكافي للبيانات التجريبية القابلة للإعادة –إذ لا توجد أنماط انعراج لأشعة سينية هنا– تجعل بناء الموديلات ومعايرتها واختبارها صعباً. لذا ربما ليس من المستغرب أن كريك لم يضف لهذا الحقل شيئاً يذكر غير الأفكار. مع أنه كان من الواضح أنه استمتع بهذا الموضوع، لكنه لم يستطع تكرار نجاحاته السابقة التي كانت قد بنيت على مكامن قوته الحقيقية ألا وهي صياغة أفكاره واختبارها والتخلص بسرعة من الأفكار الخاطئة على ضوء البيانات، حتى يأتي بشيء ما يدوم طويلاً.

نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World,Vol 23, August 2010.

ترجمة د. نزار مير علي، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

عين على معالجة العمى

تعتبر الأبحاث في الخلايا الجذعية أحد أكثر نواحي البحث حرارة في العلوم البيولوجية. والسؤال هو هل لدراسات كهذه أية قيمة علاجية؟ لحسن الحظ، نعم، كما يبدو من النجاحات في معالجة العمى.

يختلف قليل من الناس في الأهمية الهائلة الكامنة في الخلايا الجذعية في الطب التجديدي. لكن على الرغم من التقارير المتزايدة على الشبكة العنكبوتية لاستعمال الخلايا الجذعية في معالجة الاضطرابات المختلفة –من مرض الألزهايمر إلى جروح الحبل الشوكي وإصابات القلب الشديدة– فإن المعالجة المثبتة بالخلايا الجذعية ما زالت قليلة وبعيدة. نُشرت ورقة علمية في مجلة نيو إنغلند الطبية New England Journal of Medicine لـ بليجريني دي لوكا Luca De ,Pellegrini وزملائه تعتبر مثالاً مجدداً للآمال عن التقدم العلمي الموثق للعلاج بالخلايا الجذعية، وفي هذه الحالة علاج أشكال معينة من العمى.

تغطي القرنية كرة العين –وهي البنية العاكسة للضوء والأكثر أهمية في العين (الشكل 1a). تُنتج القرنية الطيف الأولي وتعكسه على العدسات خلفها، ويعتبر صفاء القرنية ضرورياً لحدة البصر ويعتمد هذا على تكامل نسيج القرنية الظهاري الذي يغطي سطح العين، وعلى غياب الأوعية الدموية من الأنسجة الداعمة تحتها (اللحمة). يرتبط النسيج الظهاري للقرنية من أطرافه بظهارية (الملتحمة) المخاطية الرهيفة التي تعطي بياض العين (الغشاء Sclera) والجزء الداخلي من الأجفان. وتُعرف المنطقة الضيقة بين القرنية والملتحمة بالطرف الملون أو الحافة Limbus، وتشير الشواهد التجريبية والعلاجية أن هذه المنطقة تعتبر مصدر الخلايا الجذعية لظهارية القرنية في الإنسان.

يمكن أن تحطم الحافة بحروق العين أو إصابتها الجرثومية مما يسبب عوزاً في الخلايا الجذعية للقرنية. ولكن في واحدة من جهود الطبيعة المميزة لإصلاح الأنسجة وبأي ثمن، فإن الغزو غير الطبيعي من قبل خلايا الملتحمة يقدم للقرنية المخربة طبقة سطحية واقية (الشكل 1b) وتكون التبعات رهيبة وينتج عنها تشكل عروق في القرنية والتهاب مزمن وندبات في اللحمية وفي النهاية عتامة القرنية وفقد البصر.

نجح النقل الخلطي للقرنية والذي يشمل نقل وزراعة قرنية من واهب غير متماثل وراثياً إلى حدٍّ معين في استعادة بصر المرضى. وفي النهاية، على كل حال، تغزو خلايا الملتحمة وتحل محلّ القرنية المنقولة. أكثر من ذلك، يجعل عاملان آخران معالجة المرضى بحروق بصرية عن طريق نقل القرنية ذات إشكالية وهي: عدم توفر عددٍ كافٍ من الواهبين بما يقابل الطلب والجراحة العينية الليزرية التصحيحية المتزايدة الشعبية والتي تجعل القرنية غالباً غير صالحة للنقل والزراعة. ولقد أورد بيلجريني دي لوكا وزملاؤه الآن أن الخلايا الجذعية الحافيّة Limbal المحفوظة في مزرعة يمكن أن تشكل بديلاً حيوياً كمصدر للخلايا لإجراء النقل لمعالجة حروق القرنيات البشرية.

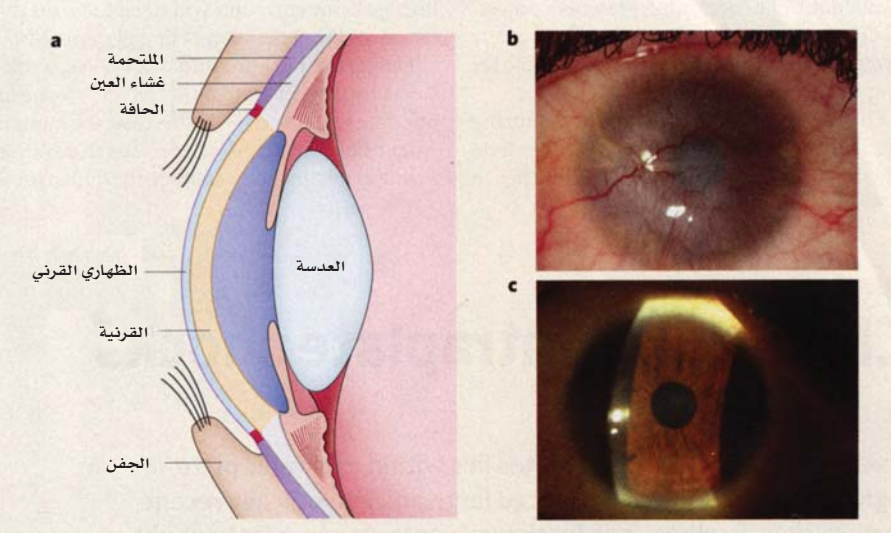
لا يعتبر نقل الخلايا الجذعية وزراعتها مفهوماً جديداً. فقد بيّن دونال توماس E.Donnal Thomas قبل أكثر من نصف قرن أن

النقل عبر الوريدي لخلايا نقي عظام واهب يمكن أن يعيد إشغال نقي العظام وينتج خلايا دموية جديدة؛ وحصل بعدها على جائزة نوبل وذلك للتوضيح الأول لاستعمال الخلايا الجذعية في إعادة توليد الأنسجة والأعضاء المخربة أو المريضة. أصبح الأطباء في السبعينيات قادرين على نقل وزراعة نقي العظام بنجاح، والذي يستعمل الآن لمعالجة اضطرابات الدم التي تتراوح بين العوز المناعي المركّب الشديد إلى فقر الدم المنجلي إلى إبيضاض الدم وكذلك السرطانات الأخرى للنظام المناعي البشري. ومع بداية الثمانينيات، كانت خلايا الجلد الجذعية البشرية تزرع لتشكيل رقاقات بشرة لإصلاح جلد مرضى الحروق الشديدة.

ولقد قام بيلجريني دي لوكا وزملاؤه بزراعة خلايا القرنية الجذعية من خزعات صغيرة لأنسجة الحافّة Limbal البشرية طيلة العقد الماضي. ولقد سمح التشابه الملحوظ بين هذه الخلايا وخلايا البشرة للباحثين بتبني الطرق التي طورت من أجل مزارع خلايا البشرة الجذعية البشرية. يمكن تصنيف خلايا البشرة تبعاً لعدد الخلايا والقدرة على النمو، والمستعمرات الأصغر حجماً تولّد خلايا بشرة يتوقف نموها مع الوقت. وعلى العكس، فإن المستعمرات الأكبر حجماً والتي توصف بالنسائل الكاملة تظهر ملامح جوهرية للخلايا الجذعية، وعلى وجه الخصوص التجديد الذاتي بعيد المدى والقدرة على توليد الأنسجة. وهذا يجعلها مناسبة لمعالجة الحروق.

وقد اكتشف بيلجريني دي لوكا ومساعدوه أن خلايا الحافّة البشرية المزروعة باستعمال إجراء مشابه تشكل أيضاً مستعمرات صغيرة وكبيرة. ومن المشوق أن النسائل الكاملة الحافيّة وليس المستعمرات الأصغر عبرت عن p63، وهو عامل نسخ ضروري لكمون انتشار خلايا البشرة الجذعية. وفي الدراسات الطبية المذهلة المرافقة، حصل الباحثون على خلايا حافيّة Limbal جذعية من أعين سليمة لـ 112 مريضاً بحروق عينية وزرعوها ونقلوا الخلايا المزروعة إلى عين المريض المصابة أو المخربة. وبعد 10 سنوات من المراقبة الكثيفة يكتب المؤلفون الآن أنه أمكن الاستعادة الدائمة لبشرة قرنية شفافة ذاتية التجديد في ثلاثة أرباع مرضى الدراسة (الشكل 1c). وبشكل ملحوظ، إن 78% من الزراعات الناجحة تشمل مزارع تشكل الخلايا المعبرة عن p63 أكثر من 3% من الخلايا القادرة على تشكيل مستعمرات. تكشف هذه الملاحظات علاقة مباشرة بين النسبة المئوية لـ p63 الإيجابية لخلايا القرنية الجذعية في المزرعة وقابليتها للنقل والزراعة. وتبدي العلاقة المشتركة هذه أداة تشخيصية قوية للتنبؤ فيما إذا كانت مزرعة حافيّة ما يحتمل أن تكون مناسبة للنقل والزراعة على المدى البعيد أم لا.

يقدّم هذا العمل أيضاً أملاً لاكتشاف مصادر بديلة من الخلايا الجذعية الحافيّة لمعالجة المرضى الذين يعانون أضراراً شديدة في كلتا العينين، والذين تبعاً لذلك يفتقدون الخلايا الجذعية الحافيّة. في الحقيقة، قد يكون من الممكن في المستقبل خلق خلايا جذعية قرنية بزراعة خلايا أخرى للمريض –على سبيل المثال خلايا جلد جذعية– وبعدها إما أن يحرض تمايزها مباشرة إلى خلايا حافية أو تحول أولاً إلى حالة خلايا شبه جنينية جذعية (التحريض للتحول إلى



عين تساعد جارتها: a- النظام البصري البشري b- حينما تتخرب الحافة بصورة دائمة كما في مثال المريض المبين تغزو خلايا الملتحمة القرنية لتشكيل طبقة ظهارية حافية. تؤدي محاولة الإنقاذ الشاذة هذه إلى تشكيل أوعية دموية جديدة والتهاب مزمن وندب في الملتحمة، وفي النهاية تؤدي إلى إعتام بالقرنية وفقدٍ للبصر. وقد وجد بيلجريني دي لوكا وزملاؤه أن نقل وزراعة خلايا القرنية الجذعية والتي حصل عليها من زراعة خلايا مأخوذة من حافة العين السليمة تولّد قرنية سليمة وتسترد الرؤيا العادية للمريض وبصورة دائمة كما هو مبين.

خلية قادرة على التحول إلى كائن كامل pluripotent stem cells أو iPS) وذلك قبل تحريض تمايزها إلى مسار الخط الحافي. وسيحتاج الباحثون للحصول على علاج بالخلايا الجذعية وتحسين ما هو موجود إلى تعلم المزيد عن سبب اختلاف خلايا القرنية الجذعية عن مثيلاتها الجلدية. ويجب اكتشاف إجراءات أفضل لتنقية الخلايا الجذعية ولحفظ وتشجيع قدرتها الذاتية على التجديد في الزجاج، وكذلك يجب تأسيس إجراءات للتمايز و/أو iPS الخطي لجيل الخلايا الجذعية الحافيّة.

إن عمل بيلجريني دي لوكا وزملائه يوضح بشكل مرتب كيف أن المعرفة بأحد أنواع الخلايا الجذعية –في هذه الحالة خلايا البشرة الجذعية البشرية– يمكن أن يستفاد منه في تقدم معالجة طبية أخرى، الخلايا الحافيّة الجذعية. وتضع نشرتهم معياراً ذهبياً عن مستوى البرهان العلمي المطلوب لكل معالجة جديدة بالخلايا الجذعية، وتقدم برنامج عمل يمكن تطبيقه في تطوير الخلايا الجذعية البالغة الأخرى في المعالجات الطبية. ولا يزال أمام المعالجة بالخلايا الجذعية رحلة طويلة، ولكن الضوء بدأ يشعّ بشدة على هذا الطريق.

◄ *نُشر هذا الخبر في مجلة* Nature,Vol 466, 29 July 2010.

ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.

خَيار الطاقة النووية: إلى أين!؟

إن العالم في موقف لا يُحسد عليه ما بين تزويد الطاقة الكافية للمواطنين ومكافحة تغيّر المناخ الناتج عن حرق الوقود الأحفوري بدرجة أقل. يقول إيان لووي Ian Lowe إن تغيّر المناخ لا يمكن أن يُعالج إلا باستعمال مصادر الطاقة المتجددة، في حين يجادل باري بروك Barry Brook بأن الطاقة النووية تقدم البديل الوحيد لملء فجوة الطاقة التي على وشك الحدوث.

لا توجد حقيقة عامة لتساؤل معقد كالدور المستقبلي للقدرة النووية، فكل دولة لديها إمداد فريد بالطاقة ولها نموذجُ للطلب، فمن الطرف الأول تحصل فرنسا على أكثر من 80% من كهربائها من مفاعلات الانشطار، وهذه الدولة تجد أنه من غير الممكن أن تعمل بدون القدرة النووية لأي مدة زمنية واقعية. ومن الطرف الآخر نجد بلداناً أخرى مثل أستراليا، والبرتغال، والنرويج ليس لديها مفاعلات تجارية ولديها قدرات محدودة لتطوير هذه التقانة بسرعة، ولهذا ستستغرق عقوداً لتطوير قدرة نووية في الصناعة. وأكثر البلدان الأخرى تنتمي إلى ما يسمى مؤسسة التعاون الاقتصادي والتطوير، مثل بريطانيا، وهي تقع في مكانٍ ما بين هذين الطرفين.

ولعل السبب الوحيد لمن يرغب ببناء محطات قدرة نووية في أمة لا تتوفر لها أي منها هو الاعتراف بأن تغيّر المناخ يشكل تهديداً حدّياً لمستقبلنا. فمنذ عقدٍ مضى كان يُنظر إلى القدرة النووية على نطاق واسع على أنها تقانة فاشلة. وفي الأصل رُحِّب بها كتقانة رخيصة، ونظيفة وآمنة، وبعد حادث تشرنوبيل نُظر إليها كتقانة غالية، وقذرة وخطرة. وحصلت الذروة العظمى لمؤسسة القدرة–النووية منذ أكثر من 20 عاماً مضت. ومنذ ذلك الحين سادت إلغاءات المشاريع وتأجيلاتها حتى فاقت أعدادَ التصاميم الجديدة.

إذا كانت القدرة النووية هي الطريقة الفاعلة الوحيدة لإبطاء تغير المناخ، فإنني سأدعمها. ونحن نرغب، على كلّ حال، في بذل أقصى الجهود لإدارة النفايات النووية، وهذه المشكلة، من حيث المبدأ، واحدة من المشاكل التي سنستطيع حلّها في النهاية. فخزن النفايات الحالية مشكلة تقنية، في حين يمكن، من حيث المبدأ، تصميم مفاعلات تستطيع حرق المواد التي يُنظر إليها الآن كنفايات. وحتى لو حُلّت هذه المعضلة فسأبقى مهموماً بشأن انتشار الأسلحة النووية، كمشكلةٍ اجتماعيةٍ ومعضلةٍ سياسيةٍ لا

يظهر لها احتمال للحلّ، ومن حسن الحظ أننا لا نكون مضطرين لمواجهة تلك الورطة المخيفة لوجود طرق أخرى أفضل كثيراً للتحرك نحو مستقبلٍ بكربون منخفض.

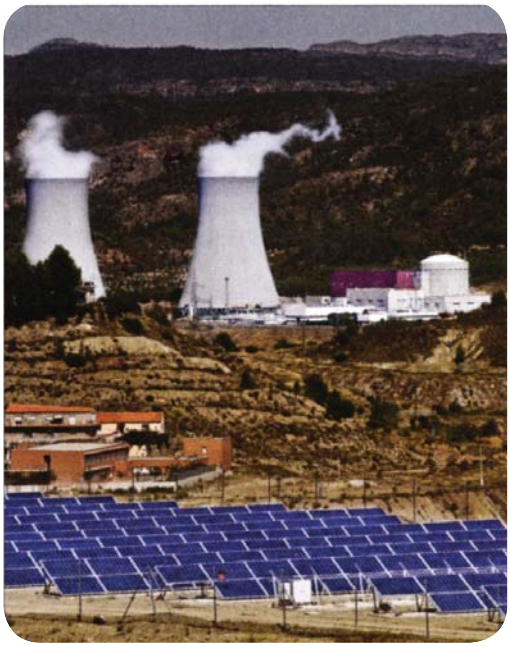
مخاطر النفايات النووية

من المؤكد أن القدرة النووية ليست استجابةً كافيةَ السرعة لتغيّر المناخ. ففي أستراليا، وعلى سبيل المثال، لجنة حكومية تؤيد بقوة القدرة النووية توصلت إلى أنها ستأخذ عشر سنوات لبناء مفاعل نووي واحد من العدم، فهي تقترح برنامجاً عاجلاً يتضمن 25 مفاعلاً حتى العام 2050، إلا أنها وجدت بعد ذلك بالحساب أن هذا لن يقلّل بالفعل الإصدارات الأسترالية من ثنائي أكسيد الكربون، بل سيقلّل فقط من معدل سرعة تزايد هذه الإصدارات.

إن القدرة النووية غالية أيضاً. ففي أغلب البلدان يترتب وجود إعانات مالية عامة، مباشرة أو غير مباشرة، لجعل الخيار يبدو منافساً. فالأخذ بسعر الفحم المقارب لـ 30 جنيهاً لطن ثنائي أكسيد الكربون الصادر عن محطات القدرة ذات الوقود الأحفوري يجعل كهرباء الوقود–الأحفوري أعلى سعراً، ويجعل القدرة النووية تبدو أكثر جاذبية، ولكنها في الوقت ذاته تبرر أيضاً الاقتصاديات (الاعتبارات المالية) النسبية لمجال واسع من خيارات التزويد المتجددة. ويمكن أن يكون صحيحاً، كما يؤكد لنا المتفائلون، أن الجيل الجديد من المفاعلات النووية الموعودة يمكن أن يقدم كما هو متوقع، كهرباء أرخص ثمناً، إلا أننا لا نطيق احتمال تأخير التعامل مع تغيّرات المناخ لعقود قادمة.

وفي حين أنه ليس في محطات القدرة النووية العيوب أو النقائص التقنية التي كانت في مفاعل تشرنوبيل، فإنه يوجد دوماً بعض الخطر من وقوع الحوادث. وهناك قلق اجتماعي من الطاقة النووية لأن حادثاً في محطة للقدرة النووية يُظهر خطراً جدياً أكثر بكثير من حادث في أي شكلٍ من أشكال محطات الطاقة المتجددة. لأنه حتى الآن لم يعرض أحدٌ الإدارة الآمنة والدائمة لنفايات محطات القدرة النووية المشعّة، وكل ما نستطيع عمله هو التأكيد للجماهير الآن أن هذه المعضلة ستحلّ في المستقبل.

هذا ولا يبدو في الأفق أيضاً أي احتمال حقيقي لوقف انتشار الأسلحة النووية. فلم توجد سابقاً سوى خمس أمم لديها أسلحة نووية عندما خطت معاهدة عدم الانتشار في العام 1970. واليوم هناك ما يعادل تقريباً ضعفي هذا العدد، في حين توجدُ لدى مجموعةٍ أخرى من البلدان القدرة على تصنيع الأسلحة النووية. وكلما ازداد عدد البلدان التي تستعمل التقانة النووية، كَبُرَ خطرُ تحويل المواد الانشطارية



إنه وقت القرار بإن الطاقة النووية هي الفكرة الأفضل؟

لا يوجد خطر من الإرهابيين أن يسرقوا الألواح الشمسية أو شفرات العنفات الهوائية.

لصناعة السلاح النووي. وبالفعل، لقد أخبر محمد البرادعي، الرئيس السابق للوكالة الدولية للطاقة الذرّية، الأممَ المتحدة بأنه يواجه مهمّة مستحيلة وهي تنظيم مئات المنشآت النووية بميزانية تعادل ميزانية قوة الشرطة لمدينةٍ واحدة فقط. وقد وثّقت الوكالة التي يرأسُها عدداً لا يُحصى من محاولات تحويل المواد الانشطارية لأهداف غير مناسبة. فهناك خطر حقيقي من الأنظمة العسكرية التي لا تُحصى، أو من الدكتاتوريين المخادعين الذين لا مبادئ لهم، أو حتى من الإرهابيين أن يحصلوا إما على الأسلحة النووية بكل ما في الكلمة من معنى، أو أن تكون لديهم القدرة على تفجير «قنبلة قذرة» يمكن أن تجعل مدينة كاملة غير قابلة للسكن.

وفي الأساس، هناك بدائل أفضل. فقد توصّلت الدراسات الأسترالية، والأوربية، والعالمية إلى أنه يمكننا خفض الطلب على الطاقة إلى حدٍ مثير –ليس بإطفاء الأضواء، ولكن ببساطة بتحسين مردود تحويل الطاقة إلى خدمات، مثل الإضاءة، والحصول على مجمل كهربائنا من خليط الطاقات المتجددة قبيل العام 2030. وإن

هذا سبيل أكثر ثقة لتناول تغيّر المناخ. وإن استراتيجية الطاقة النظيفة هذه أسرع، وأقلّ ثمناً وأقلّ خطراً، ولا تترافق مع خطر من الإرهابيين أن يسرقوا الألواح الشمسية أو شفرات العنفات الهوائية! وإن مزيج أنظمة التزود بالطاقات المتجددة سيكون إنتاجاً لا مركزياً وموزّعاً لمراكز إنتاج الطاقة، وهذا يجعل المجتمعات أكثر مرونة وتجاوباً وأفضل عزلاً ضد الكوارث الطبيعية أو الأفعال الإرهابية. أضف إلى ذلك أننا نعرف تماماً كيف نتخلص من العنفات الهوائية ومن الألواح الشمسية في آخر حياتها، بثمن بسيط ودون أي خطر على المجتمع. وهكذا، فإن السؤال الموجه لأنصار المدافعين عن الطاقة النووية كما وضعه المحلّل السياسي الأسترالي برنارد كين Bernerd Keane، هو لماذا يجب على دافعي الضرائب تمويل خيار الطاقة الأكثر كلفة والأبطأ إنجازاً في حين يتوفر العديد من البدائل الأرخص كثيراً والتي لا تترافق مع مخاطر مالية كبيرة.

في الوقت الذي تُوسِّعُ الصين والهند وغيرهما من البلدان النامية الآهلة بالسكان اقتصادياتها، مع استهداف شديد للإنسان وتحسين ازدهار الحياة المتاحة لسكانها، فإن الطلب العالمي على الطاقة المناسبة والرخيصة، يزداد بسرعة. وإذا كان لهذا الطلب أن يتلاقى مع الوقود الأحفوري fossil fuels فعندئذ سنواجه أمرين: اختناق التزود بالطاقة، وكارثة بيئية بسبب إصدارات الكربون الكثيرة.

وبالعكس، إذا كان تغيّر المناخ هو «الحقيقة المزعجة» التي تواجه الاستعمال الكثيف–للطاقة، فإن المجتمعات التي تعتمد على الوقود الأحفوري مثل الولايات المتحدة، وكندا، وأستراليا وبلدان كثيرة غيرها في الاتحاد الأوربي، فسيكون الحلّ غير الملائم الذي يجب إطالة النظر فيه هو القدرة النووية المتقدمة. ولن يكون الجواب، من حيث المبدأ، في مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح كما يدّعي الكثيرون. وفي كلّ الأحوال، فإن من المحتمل أن تلعب هذه التقانات بعض الدور.

هناك قائمة صغيرة من «الاعتراضات المعتادة» استعملت لتحدي قابلية الحياة، أو نفعية الانشطار النووي كمصدر نظيف ومستدام للطاقة. ولا يَثْبُتُ أيٌّ من هذه الحجج أمام التفحص والتدقيق. ويدّعي المعارضون أنه إذا استعمل العالم باستمرار الطاقة النووية، فسينتهي التزود باليورانيوم خلال العقود القادمة وسيترتب على محطات القدرة النووية بعدئذ أن تُغلَق، وإن هذا خطأ. فاليورانيوم والثوريوم كلاهما أكثر وفرة من القصدير؛ ومع الجيل الجديد من المفاعلات السريعة التوالد التي تعمل بالثوريوم، سيكون لدينا قدرة نووية متوفرة لملايين السنين. ولو بقيت المصادر نحو ألف سنة فقط، فسيكون لدينا الوقت الكافي لتطوير مصادر طاقية جديدة خاصة.

التوجه للنووية

يجادل النقاد في أن الحوادث النووية السابقة مثل حادث تشيرنوبيل، تفيد أن التقانة بحدّ ذاتها خطرة. إن هذا الادعاء يتجاهل ببساطة حقيقة أن القدرة النووية أثبتت أنها أكثر أماناً بمئات المرات من الفحم، والغاز والنفط التي يُعتمد عليها حالياً، فقد نتج من دراسة 4290 حادثاً يتعلق بالطاقة التي أجرتها الهيئة الأوربية للمشاريع البحثية، على سبيل المثال، أن النفط يقتل 36 عاملاً في كل تِراواط–ساعة ويقتل الفحم 25 عاملاً، في حين أن الطاقة المائية، والريحية، والشمسية، وكذلك النووية كلها بعضها مع بعض تقتل أقل من 0.2 عاملاً في التراواط–ساعة. إضافة إلى ذلك، لا تعتمد ملامح الأمان المنفعلة في المفاعلات النووية على التدخلات الهندسية، وبهذا تُستبعد فرصة الخطأ البشري، جاعلة من المستحيل إعادة الحوادث الخطرة. فمثلاً في الحالة الطارئة في خزان تبريد القلب في محطة القدرة النووية من جيل مفاعلات ويستنكهاوس الثالث AP-1000، ينساب الماء في قلب المفاعل بفعل الثقالة بدلاً من المضخات الكهربائية.

ويجادل البعض أن توسيع القدرة النووية التجارية سيزيد خطر انتشار الأسلحة النووية. فأولاً إن هذا ليس صحيحاً تاريخياً. وأكثر من ذلك، فإن منتجات الوقود المعدنية من إعادة تدوير الوقود الجاف الحديثة باستعمال التكرير الكهربائي electrorefining، التي صُمِّمت للاستهلاك اللاحق في المفاعلات السريعة، لا يمكن أن تستعمل لصنع القنابل لأنه يستحيل فصل البلوتونيوم النقي من مزيج اليورانيوم والأكتينيدات القليلة (الضئيلة التركيز). ولن يحصل صانعو القنابل من وجود المعادن الثقيلة إلا على منتجات ملوثة إشعاعياً، وقذرة، ولا فائدة منها. وبالفعل، فإن حرق البلوتونيوم في المفاعلات السريعة لتوليد كميات كبيرة من الكهرباء سيزيل باستمرار هذه المادة من الدورة، جاعلاً هذه الدورة الآلية الأكثر عملية والأكثر فعالية سعرية يمكن تصورها للتخلّص من هذه المادة، ويدعي هؤلاء المعارضون للطاقة النووية أيضاً أنها تترك ميراثاً من النفايات النووية تترتب إدارتها لعشرات آلاف السنين. إن هذا صحيح فقط في حالة أننا لا نعيد دورة اليورانيوم وغيره من المعادن الثقيلة «الانتقالية» بعد اليورانيوم «transuranics» في النفايات من أجل استخلاص الطاقة النافعة منها.

إن اليورانيوم المستخرج من المناجم رخيص في الوقت الحاضر. ومن أجل تقانة مفاعلات الماء الخفيف تبلغ الأسعار الكلية للوقود –بما في ذلك التنقيب، والطحن، والتخصيب وتصنيع قضبان الوقود– ما مقداره 13 مليون جنيه لكلّ غيغا واط في السنة.

لا توجد هناك رصاصة فضية لحل أزمتي الطاقة والمناخ، ولكن هناك رصاصات مصنوعة من اليورانيوم والثوريوم.

وبدلالة كلفة الواحدة، ينتج أنها تساوي 0.13 P (بنس) للكيلوواط–ساعة، في حالة أكسيد اليورانيوم ذي السعر 45 جنيهاً للكيلوغرام الواحد. وعلى كلّ حال، على المدى الطويل، فإن استخدام الوقود النووي لمرة واحدة وإهمال استعماله ليس بذي معنىً اقتصادي. لأن استخدام مثل دورة الوقود «المفتوحة» هذه لا يترك فقط إرثاً يُوجب إدارة نفاية الأكتينيدات الطويلة العمر، ولكنه أيضاً يَستخلصُ بمردود ضعيف أقل من 1% من الطاقة المخزونة في اليورانيوم. فتغذية المفاعلات السريعة بالنفايات النووية تستعمل كلّ طاقة اليورانيوم، ومفاعلات فلوريد الثوريوم السائل، ستصل إلى كلّ الطاقة المخزونة في الثوريوم، وهي تسير سيراً حسناً، بربح يساوي 160 ضعفاً.

وبعد تكرار إعادة التدوير، تصبح كمية نواتج الانشطار الصغيرة المتبقية أقل نشاطاً إشعاعياً من الغرانيتات الطبيعية ومن الرمال المونازايتية granites and monazite sands خلال 300 سنة. وأما الادعاء بأن كمياتٍ كبيرةً من الطاقة (التي تولّد غازات الدفيئة) ستلزم للتنقيب عن اليورانيوم ومعالجته وتخصيبه، ولبناء محطات القدرة النووية وفيما بعد التخلص منها، فإنه يتجاهل ببساطة غنى معطيات العالم الحقيقية. وقد تثبَّت أولو الأمر بشكل مستقل من تحليل الدورة الحياتية الكلّية في مجلّات الاستعراض النظيرة، وتبيَّن مراراً أن المُدخلات الطاقية للقدرة النووية قليلة مثل، أو أقل من المُدخل للطاقة الريحية، والمائية، والشمسية الحرارية، وحتى أنها أقل من نصف تلك المُدخلة للألواح الشمسية الفوتوفلطية. إن هذه هي حقائق اليوم. وفي مستقبلٍ لمجتمعٍ كلّه كهرباء –يضم المركبات الكهربائية، أو المركبات التي تعمل بالوقود الاصطناعي الذي ستؤمنه محطات القدرة النووية– ستكون إصدارات غاز الدفيئة من كامل الدورة النووية مساويةً للصفر.

احتضان الطاقة النووية

وأخيراً، لما برهنّا بطلان كلّ الحجج الأخرى، عاد النقاد إلى الملاذ الأخير بالادعاء أن القدرة النووية تأخذ وقتاً طويلاً لبنائها أو أنها غالية جداً مقارنةً بالطاقة المتجددة. وربما تكون هذه الحجج هي الأكثر تكراراً من بين الحجج الباطلة التي يتفوه بها أولئك الذين يحاولون منع القدرة النووية من المنافسة بشكل مقبول مع مصادرِ الطاقات الأخرى. ويعتقدُ كثيرٌ من علماء البيئة أن الحلّ الأمثل لمسألة خفض الكربون، بالنسبة للحكومات هو عودتنا إلى الحياة الأبسط التي تستهلك مقداراً أقل من الطاقة. إن مثل هذه الأفكار غير واقعية، لأن العالم ستستمر حاجته للطاقة، بل وللكثير منها. لكن الوقود الأحفوري ليس خياراً مستقبلياً قابلاً للنجاح والتطبيق. وليست الطاقات المتجددة هي الإجابة الرئيسية الأهم. فليس هناك حل وحيد، أو رصاصة فضية، لحلّ أزمتي الطاقة والمناخ، ولكن هناك رصاصات، مصنوعة من اليورانيوم والثوريوم –تمثل الوقود اللازم للمحطات النووية.

وأخيراً لقد حان الوقت لنعانق الطاقة النووية كحجر الزاوية في ثورة التحرر من الكربون التي نحتاجها في الواقع للتوجه نحو تغيّر المناخ وأمن الطاقة على المدى الطويل في عالم ما بعد الوقود الأحفوري. فالقدرة النووية المتقدمة تؤمّن المفتاح التقني لتحرير الطاقة الكامنة المهولة في هذه المعادن، من أجل منفعة بني الإنسان ومن أجل الاستعمال النهائي للطاقة والمنتجات الطبيعية في مجتمعنا.

إيان لووي Ian Lowe هو رئيس مؤسسة الحماية الأسترالية وعالم بالمناخ في جامعة كريفيث Griffith.

باري بروك Barry Brook يشغل كرسي السير هوبرت ويلكينس Sir Hubert Wilkins Chair لتغير المناخ في معهد بيئة أديليد في أستراليا. وهو كذلك يدير مدونة الويب blog التي عنوانها تغير المناخ الشعبي BraveNewelimate.

● **كلا المؤلفين ساهما في كتابٍ جديد «الطاقة النووية: لماذا مقابل لماذا: Why Nuclear Power vs Why يلخصان فيه حالة الدفاع عن الطاقة النووية وحالة مناهضتها، نشرته: Pantera Press ,2010).**

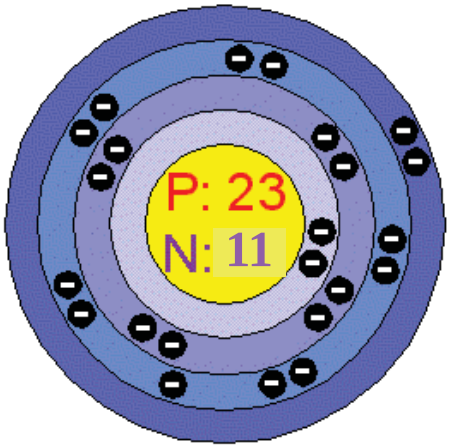
نُشر هذا الخبر في مجلة PhysicsWorld,No 10, October 2010.

ترجمة د. مصطفى حموليلا، عضو هيئة التحرير.

الصوديوم

إعداد: د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير

الرمز:	Na
العدد الذرّي:	11
الكتلة الذرّية:	23
درجة انصهاره:	97 °C
درجة غليانه:	883 °C
الكثافة:	0.968 g/cm^3



ماهيته ووجوده في الطبيعة

الصوديوم Sodium عنصر معدني رمزه Na (الاسم اللاتيني natrium أو العربي ناترون natrun) وعدده الذري 11. إنه معدن خفيف ولونه فضيّ أبيض، وهو شديد الفعالية وينتمي إلى أسرة المعادن القلوية المكونة للمجموعة I في الجدول الدوري (أطلق عليها فيما مضى المجموعة IA). يوجد لهذا العنصر نظير مستقر وحيد ^{23}Na.

عزل عنصر الصوديوم لأول مرة عام 1807 بعد تمرير تيار كهربائي عبر صهارة هدروكسيد الصوديوم. لا يوجد عنصر الصوديوم بشكل حر في الطبيعة لأنه سريع التأكسد في الهواء ويتفاعل بشكل عنيف مع الماء، أي يجب حفظه في وسط غير مُؤكسِد، مثل الأوساط الهدروكربونية السائلة. يستعمل الصوديوم الحر في بعض التطبيقات الصناعية والتحاليل الكيميائية والنقل الحراري.

ينحل أيون الصوديوم في الماء، وبالتالي فهو موجود بكميات كبيرة في المحيطات وفي بعض المياه الراكدة. وغالباً ما يتعادل أيون الصوديوم في تلك الأوساط بأيون الكلور، ويؤدي تبخر المياه الموجود فيها إلى تشكل مادة صلبة مكونة بشكل أساسي من كلوريد الصوديوم أو ما يعرف بملح الطعام.

يعدُّ الصوديوم عنصراً أساسياً لحياة جميع الحيوانات (بما في ذلك الإنسان) ولبعض أنواع النبات. فالحيوانات، تستعمل أيونات الصوديوم، ومثلها أيونات البوتاسيوم، من أجل السماح للكائن بتشكيل شحنة كهربائية راكدة على أغشية الخلايا، مما يسبب نقل النبضات العصبية عندما يُسمح للشحنة أن تتبدد عبر حركة موجية، وهو ما يقود إلى تغيّر في الكمون الكهربائي. وهكذا يصنف الصوديوم كـ «معدن ماكروي لاعضوي ذي علاقة بالحياة» وبخاصة لدى الكائن الحيواني. تعود ندرة عنصر الصوديوم النسبية في التربة إلى انحلاليته في الماء، ومن ثم انجراره مع مياه الأمطار إلى أماكن تجمعاتها النهائية.

خصائصه

يكون الصوديوم في درجة حرارة الغرفة طرياً لدرجة أنه يمكن قطعه بسكين عادي. وفي الهواء، يتناقص البريق الفضي بسرعة كبيرة على سطح مقطع حديث العهد. تتزايد كثافة المعادن القلوية عادة مع تزايد العدد الذرّي، لكن الصوديوم أكثف من البوتاسيوم الذي يليه في أسرة العناصر القلوية. هذا ويُعدُّ الصوديوم ناقلاً جيداً للحرارة.

خصائصه الكيميائية

يحفظ الصوديوم ضمن سائل هدروكربوني، وبالمقارنة مع العناصر القلوية الأخرى، يكون الصوديوم، بشكل عام، أقل فعالية من البوتاسيوم وأكثر فعالية من الليثيوم، ويتضح ذلك عند تفاعله مع الماء وغاز الكلور، على سبيل المثال.

يكون تفاعل الصوديوم مع الماء ناشراً للحرارة: تتفاعل القطع الصغيرة منه بشكل سريع مع الماء وتستمر بالتلاشي حتى نهاية التفاعل، في حين يؤدي وجود القطع الكبيرة منه إلى حدوث انفجارات.

يؤدي تفاعل الصوديوم مع الماء في درجة الحرارة الطبيعية إلى تشكل هدروكسيد الصوديوم ($NaOH$) وغاز الهدروجين الشديد الاحتراق، مما يؤدي إلى حوادث خطيرة. وفي الهواء، يحترق الصوديوم مشكلاً فوق اكسيد الصوديوم Na_2O_2، وبوجود قليل من الأكسجين يشكل أكسيد الصوديوم Na_2O. وإذا ما احترق بوجود أكسجين مضغوط يتشكل أكسيد الصوديوم الفائق NaO_2.

مركباته

تُعدُّ مركبات الصوديوم هامة في الصناعات الكيميائية والزجاجية والمعدنية والورقية والبترولية وفي الألعاب النارية والصابون والأقمشة. وما الصابون الصلب سوى ملح الصوديوم لبعض الحموض الدسمة (يستعمل البوتاسيوم لصنع الصابون الخفيف أو السائل).

إن أهم مركبات الصوديوم المستعملة في الصناعة هي الأملاح الشائعة، مثل NaCl ورماد الصودا (Na_2CO_3) وصودا الخبز ($NaHCO_3$) والصود الكاوي ($NaOH$) ونترات الصوديوم ($NaNO_3$) وثنائي وثلاثي فسفات الصوديوم وثيوسلفات الصوديوم ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) والبوراكس ($Na_2B_4O_7.10H_2O$).

ينحو الصوديوم إلى تشكيل مركبات الهالوجينات والسلفات والنترات والكربوكسيلات والكربونات وجميعها تنحل في الماء. هناك فقط بعض الأمثلة من مركبات الصوديوم التي تترسب في المحلول المائي. يوجد في الطبيعة أمثلة عديدة من مركبات الصوديوم غير المنحلة بالماء مثل الكرايوليت وسليكات ألمنيوم وبوتاسيوم وكالسيوم الصوديوم. هناك أملاح أخرى للصوديوم غير منحلة بالماء مثل بزموتات الصوديوم ($NaBiO_3$) وأوكتا موليبدات الصوديوم ($Na_2Mo_8O_{25}.4H_2O$) وثيوبلاتينات الصوديوم ($Na_4Pt_3S_6$) ويورانات الصوديوم (Na_2UO_4).

طيفه

عند إدخال الصوديوم أو أحد مركباته ضمن اللهب يتغير لون اللهب ليصبح أصفراً متألقاً. فهناك خط طيفي ذرّي يعرضه بخار الصوديوم هو ما يسمى بالخط D، وهو ما يميز الصوديوم إذ إنه يشكل الضوء الأساسي لمصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض. يبلغ طول موجة هذا الخط الطيفي ما يقارب 589.5 نانومتر. وهذا الطول الموجي يقابل انتقالات إلكترونية من المدار 3p إلى 3s في ذرة الصوديوم. يظهر الاختبار الأكثر دقة أن هذا الخط مكوّن من خطين D1 وD2 عند الطولين الموجيين 589.6 و589.0 نانومتراً على التوالي.

وهناك استعمال عملي للصوديوم في ليزرات تعمل وفق انتقال الخط D، وتساعد هذه الليزرات في مهام التلسكوبات الأرضية الضخمة.

نظائره

تم حديثاً التعرف على عشرين نظيراً للصوديوم، والنظير الوحيد المستقر بينها هو ^{23}Na. يوجد من بين هذه النظائر نظيران منشؤهما كوني وهما النظيران ^{22}Na و^{24}Na، ويتمتعان بأطول نصفي عمر مقدارهما 2.6 سنة وخمس ساعات، على التوالي، ولجميع ما تبقى من نظائره أنصاف أعمار لا تتجاوز الدقيقة.

إن التعرض الحاد للإشعاع النتروني يُحوّل جزءاً من النظير المستقر ^{23}Na في بلازما الدم البشري إلى النظير ^{24}Na، وبقياس تركيز هذا الأخير، يمكن تحديد مقدار الإشعاع النتروني الذي تعرضت له الضحية.

تاريخه

يظهر الصوديوم، لدى إخضاعه لاختبار الشعلة، ضوءاً أصفراً متألقاً عائداً لخطي الصوديوم عند الطولين الموجيين 588.9950 و589.5924 نانومتراً.

استعمل الأوربيون في القرون الوسطى مركباً للصوديوم باسم لاتيني sodanum كعلاج لوجع الرأس. وربما يعود أصل الاسم sodium إلى الكلمة العربية صودا suda، التي تعني وجع الرأس، وهي خاصة تتمتع بها كربونات الصوديوم كمسكن للوجع. وأول من نشر الرمز الكيميائي للصوديوم، Na، هو Jons Jakob Berzelius ضمن منظومته للرموز الذرية، وهذا الرمز هو تقليص لاسم العنصر اللاتيني الحديث natrium الذي يعود للاسم المصري natron، أي الكلمة المقابلة للفلز الطبيعي للملح الذي أساسه كربونات الصوديوم المهدرجة. وتاريخياً كانت كربونات الصوديوم المهدرجة تتمتع باهتمامات صناعية وباستخدامات منزلية عديدة استعيض عنها فيما بعد بمركبات رماد الصودا وصودا الخبز ومركبات أخرى للصوديوم.

ورغم معرفة الصوديوم (الذي يسمى في بعض الأحيان بالإنكليزية «soda») منذ زمن بعيد عبر مركباته، غير أنه لم يعزل إلاّ في العام 1807 بوساطة التحليل الكهربائي لهدروكسيد الصوديوم. يضفي الصوديوم لوناً أصفراً كثيفاً على الشعلة التي يتعرض لها. ففي بداية 1860، لاحظ كل من Kirchhoff وBunsen الحساسية العالية التي يمكن أن يمنحها اختبار الشعلة للصوديوم.

تكوّنه

نشأت أشكال الصوديوم المستقرة داخل النجوم عبر اندماج نووي لذرّتي كربون مع بعضهما البعض. يتطلب هذا الاندماج وجود درجة حرارة أعلى من 600 ميغا كلفن، ضمن نجم لا تقل كتلته عن ثلاثة أضعاف كتلة الشمس.

ظهوره

نظراً لفعاليته العالية، يوجد الصوديوم في الطبيعة كمركبات فقط، ولا يوجد أبداً كعنصر حر. يشكل الصوديوم ما يقارب 2.6% من كتلة القشرة الأرضية، مما يجعله سادس عنصر من حيث الوفرة والأكثر وفرة بين المعادن القلوية.

وجد الصوديوم في العديد من الفلزات المختلفة، والأكثر شيوعاً بينها هو الملح (كلوريد الصوديوم)، الذي يوجد بكميات كبيرة منحلاً في مياه البحار، إضافة إلى ترسبات صلبة على اليابسة.

إنتاجه التجاري

أُنتج الصوديوم بكميات تجارية في العام 1855 بوساطة إرجاع كربونات الصوديوم وبوجود الكربون في الدرجة 1100 °C وفق عملية Deville:

$$Na_2CO_3\ (l) + 2\ C\ (s) \rightarrow 2\ Na\ (g) + 3\ CO\ (g)$$

يُنتج الصوديوم حالياً بكميات تجارية عبر تحليل كهربائي لكلوريد الصوديوم، وتُعدُّ هذه الطريقة قليلة التكلفة.

تطبيقاته

الصوديوم المعدني

يمكن استعمال الصوديوم المعدني في:

- تنقية بعض المعادن الفعّالة، مثل الزركونيوم والبوتاسيوم، المستخلصين من مركباتهما.
- تحسين بنية بعض الخلائط.
- تنعيم السطوح المعدنية.
- تنقية المعادن المنصهرة.
- إنارة شوارع المدن باستعمال مصابيح الصوديوم البخاري، وتكون ألوان الضوء الصادر متعلقة بضغط بخار الصوديوم في المصباح.
- نقل الحرارة في بعض أنماط المفاعلات النووية، ويتم استعماله هنا بحالته السائلة.
- الاصطناع العضوي كعامل مرجع.

تبريد المفاعلات النووية

يستعمل الصوديوم المنصهر كوسيلة للتبريد في بعض أنماط مفاعلات النترونات السريعة، إذ إنه يتمتع بمقطع امتصاص نتروني منخفض، وهي خاصة مرغوبة لتأمين تدفق نتروني مرتفع، كما أنه ناقل للحرارة متميز. هذا وتسمح درجة غليانه العالية أن يتم عمل المفاعل في ضغوط طبيعية. ومع ذلك، يطرح استعمال الصوديوم بعض المشكلات. فالصوديوم المنصهر يحترق بسهولة في الهواء، ويتفاعل بعنف مع الماء محرراً هدروجيناً متفجراً. وخلال عمل المفاعل، تتشكل كمية صغيرة من الصوديوم-24 نتيجة للتنشيط النتروني الذي يحدث داخل المفاعل، وهو ما يجعل سائل التبريد نَشِطاً إشعاعياً.

مركبات الصوديوم

- يُعدُّ أيون الصوديوم Na^+ أساسياً في حياة الحيوانات.
- يتمتّع الصابون المصنّع بوجود مركبات للصوديوم بصلابة مرغوبة لا تتوافر في الصابون المصنّع بوجود مركبات البوتاسيوم.
- تساهم الصيغة الملحية لمقوم فعّال حاوٍ على الصوديوم أو البوتاسيوم في بعض التشكيلات الدوائيةً في تحسين الإتاحة الحيوية للدواء.
- يشكل كلوريد الصوديوم، المكون من أيونات الصوديوم وأيونات الكلور، مادة هامة لنقل الحرارة.

دوره الحيوي

المحافظة على حجم السائل في جسم الحيوان

يلعب صوديوم المصل الدموي وصوديوم البول أدواراً أساسية في الطب، سواء في المحافظة على الصوديوم أم في استتباب سائل كامل الجسم، وكذلك في تشخيص الاضطرابات التي تسبب خللاً استتبابياً في موازنة الملح أو الصوديوم مع الماء في الجسم.

المحافظة على الكمون الكهربائي في النسج الحيوانية

تُعدُّ كاتيونات الصوديوم أساسية في وظيفة العصبونات (الدماغية والعصبية)، وفي الميزان التناضحي بين الخلايا والسائل البيني، وذلك فيما يخصُّ وسائط توزعها في كافة أجسام الحيوانات (لكن ليس في جميع النباتات)، ويتم ذلك من خلال مضخة Na^+/K^+ (وهي إنزيم موجود في غشاء البلازما). يشكل الصوديوم الكاتيون الأساس في السائل الموجود خارج الخلايا لدى الثدييات، وقليل منه يوجد داخل الخلايا. يبلغ حجم السائل الموجود خارج الخلايا 15 ليتراً في جسم بشري وزنه 70 كغ، وتشكل الـ 50 غرام من الصوديوم الموجود ضمن هذا السائل ما نسبته 90% من كامل الصوديوم الموجود في الجسم.

دور الصوديوم في النبات

برغم أن الصوديوم لا يُعدُّ مغذياً مكروياً أساسياً في غالبية أنواع النبات، إلاّ أنه ضروري لعمليات الاستقلاب لدى بعض النباتات، مثل حبة الدخن اللؤلؤية pearl millet وسالف العروس amaranth.

يستعمل الصوديوم في هذه النباتات في تصنيع الكلوروفيل.

ونظراً لارتفاع الملوحة في التربة، أصبح كل من التوتر التناضحي وسميّة الصوديوم في النباتات، وبخاصة حبوب المحاصيل، ظاهرة تعم العالم بأكمله. إذ إن وجود تراكيز عالية من الصوديوم في محلول التربة يحدُّ من قابلية النباتات لامتصاص الماء، وذلك بسبب انخفاض محتوى التربة من المياه، وهو ما يؤدي إلى ذبول النبات. وإضافة إلى ذلك، إن زيادة تركيز الصوديوم في بلازما خلايا النبات يمكن أن يقود إلى قصور أنزيمي يظهر على هيئة نخور، وقد يؤدي إلى موت النبات.

استعمالاته في حفظ المواد

يستعمل ملح الطعام كنوع من التوابل وحافظ للغذاء في البيئات الحارة، إذ إنه يمنع نمو البكتيريا والفطريات. ويحتاج الإنسان في راتبه الغذائي إلى 1.5 غرام يومياً، كما أن انخفاض هذه القيمة في الراتب الغذائي للفرد يقود إلى عوز في الصوديوم. يحتاج الأشخاص الذين يعانون من الإسهالات، الناجمة عن الكوليرا مثلاً، إلى معالجة فموية عن طريق شرب محلول من كلور الصوديوم. وهذه الطريقة البسيطة تنقذ ملايين الأطفال سنوياً في دول العالم النامي.

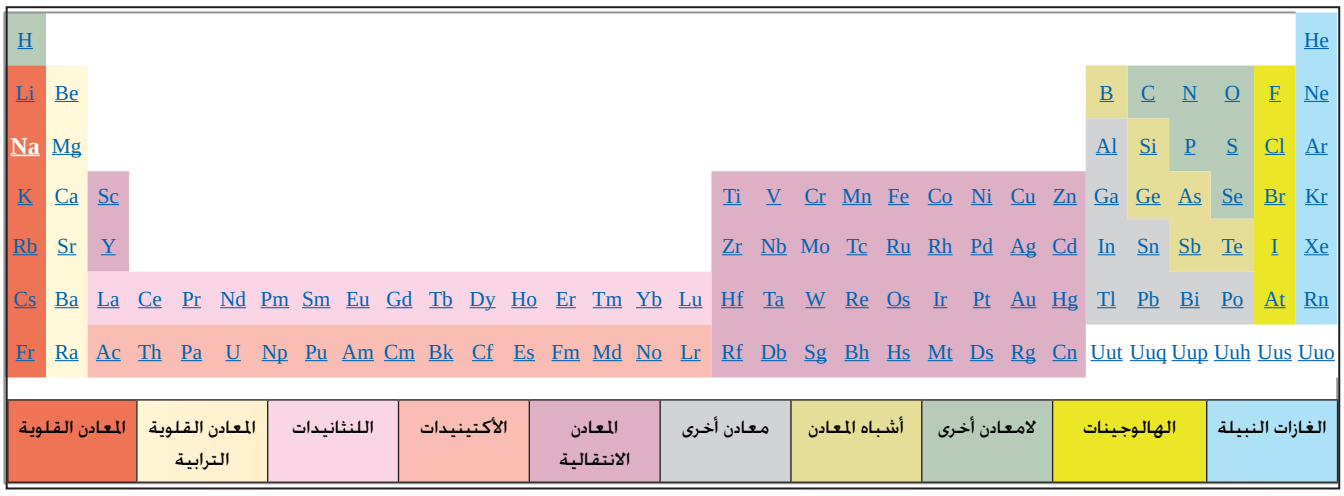
تحذيرات

يجب اتخاذ أقصى درجات الحذر عند التعامل مع الصوديوم المعدني، فهو عنصر قابل للانفجار عند ملامسته للماء، ويتحول بسرعة إلى هدروكسيد الصوديوم كمادة شديدة التخريش. كما أن بودرة الصوديوم المعدني تكون قابلة للاحتراق بوجود الهواء أو الأكسجين. لذا، يجب حفظ الصوديوم إما في وسط خامل، مثل النتروجين أو الأرغون، أو ضمن سائل هدروكربوني، مثل الزيت المعدني أو الكيروسين.

مركّبات الصوديوم

$NaAlO_2$ · $NaBH_3(CN)$ · $NaBH_4$ · $NaBr$ · $NaBrO_4$ · $NaCH_3COO$ · $NaCN$ · $NaC_6H_5CO_2$ · $NaC_6H_4(OH)CO_2$ · $NaCl$ · $NaClO$ · $NaClO_2$ · $NaClO_3$ · $NaClO_4$ · NaF · NaH · $NaHCO_3$ · $NaHSO_3$ · $NaHSO_4$ · NaI · $NaIO_3$ · $NaIO_4$ · $NaMnO_4$ · $NaNH_2$ · $NaNO_2$ · $NaNO_3$ · NaN_3 · $NaOH$ · NaO_2 · $NaPO_2H_2$ · $NaReO_4$ · $NaSCN$ · $NaSH$ · $NaTcO_4$ · $NaVO_3$ · Na_2CO_3 · $Na_2C_2O_4$ · Na_2CrO_4 · $Na_2Cr_2O_7$ · Na_2MnO_4 · Na_2MoO_4 · Na_2O · Na_2O_2 · $Na_2O(UO_3)_2$ · Na_2S · Na_2SO_3 · Na_2SO_4 · $Na_2S_2O_3$ · $Na_2S_2O_4$ · $Na_2S_2O_5$ · $Na_2S_2O_6$ · $Na_2S_2O_7$ · $Na_2S_2O_8$ · Na_2Se · Na_2SeO_3 · Na_2SeO_4 · Na_2SiO_3 · Na_2Te · Na_2TeO_3 · $Na_2Ti_3O_7$ · $Na_2U_2O_7$ · $NaWO_4$ · $Na_2Zn(OH)_4$ · Na_3N · Na_3P · Na_3VO_4 · $Na_4Fe(CN)_6$ · $Na_5P_3O_{10}$

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه



إنشاء بنية تحتية لبرامج الطاقة النووية

احتياجات

يعجز ما يقارب 1.6 بليون شخص في العالم عن الوصول إلى خدمات الطاقة الحديثة، وقليلة هي مظاهر التطور (سواء ما يتعلق بالشروط الضرورية للحياة أم الرعاية الصحية أم الإنتاج الصناعي) التي يمكن الحصول عليها دون التزود بالطاقة اللازمة. فمفتاح التقدم سيكمن بوصل ما لم يوصل بعد.

وفي هذا الإطار، عبّر العديد من أعضاء الوكالة الدولية للطاقة الذرية عن اهتمامهم بالطاقة النووية كجزء من التنوع الطاقيّ. هناك عوامل عديدة تفرض التوجّه نحو الطاقة النووية: متطلّبات الأمان الطاقيّ، وخفض إصدارات غازات الدفيئة، والأداء القوي والمستدام للمحطات النووية.

فعلى كلّ دولة انتقاء خياراتها الطاقيّة الخاصة بها. وفي حالة الدول المهتمة لجعل الطاقة النووية جزءاً من استراتيجياتها في التطور المستدام، تظل الوكالة الدولية للطاقة الذرّية جاهزة لتقديم مجالٍ واسعٍ من برامج المساعدة.

كيف يمكن للوكالة تقديم المساعدة؟

تستجيب الوكالة لطلب إدخال الطاقة النووية عن طريق:

- منهجيات ومعايير
- زيادة المساعدة التقنية
- ورشات العمل
- مراجعة الخدمات
- بناء القدرات
- شبكات المعرفة

وتُقدَّم نشاطات المساعدة في مجالات مثل:

- التنظيم الطاقيّ
- تطوير البنى التحتية الوطنية
- تطوير المصادر البشرية
- التشريع الوطني
- إنشاء محطات الطاقة النووية
- الوقاية والأمان النوويين
- هيكلة تنظيمية
- وسائل الحماية
- تهيئة الضمانات
- المساعدة التقنية

وتتضمن المراجعات الخدمية:

- مراجعة البنية التحتية النووية المتكاملة Integrated Nuclear Infrastructure Review (INIR)
- خدمة المراجعة الرقابية المنظّمة المتكاملة Integrated Regulatory Review Service (IRRS)

مواضيع دليل الإرشاد

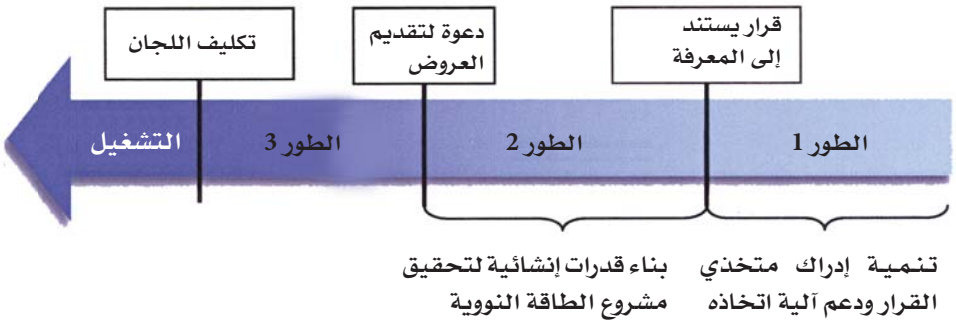
- معالم تطوير البنية التحتية الوطنية الخاصة بالطاقة النووية.
- تقييم حالة تطور البنية التحتية الوطنية.
- مسؤوليات وإمكانات تنظيم إنجاز برنامج الطاقة النووية.
- معايير الأمان في إنشاء بنية تحتية لبرنامج الطاقة النووية الوطني.

جميع الوثائق متوفّرة على موقع الوكالة

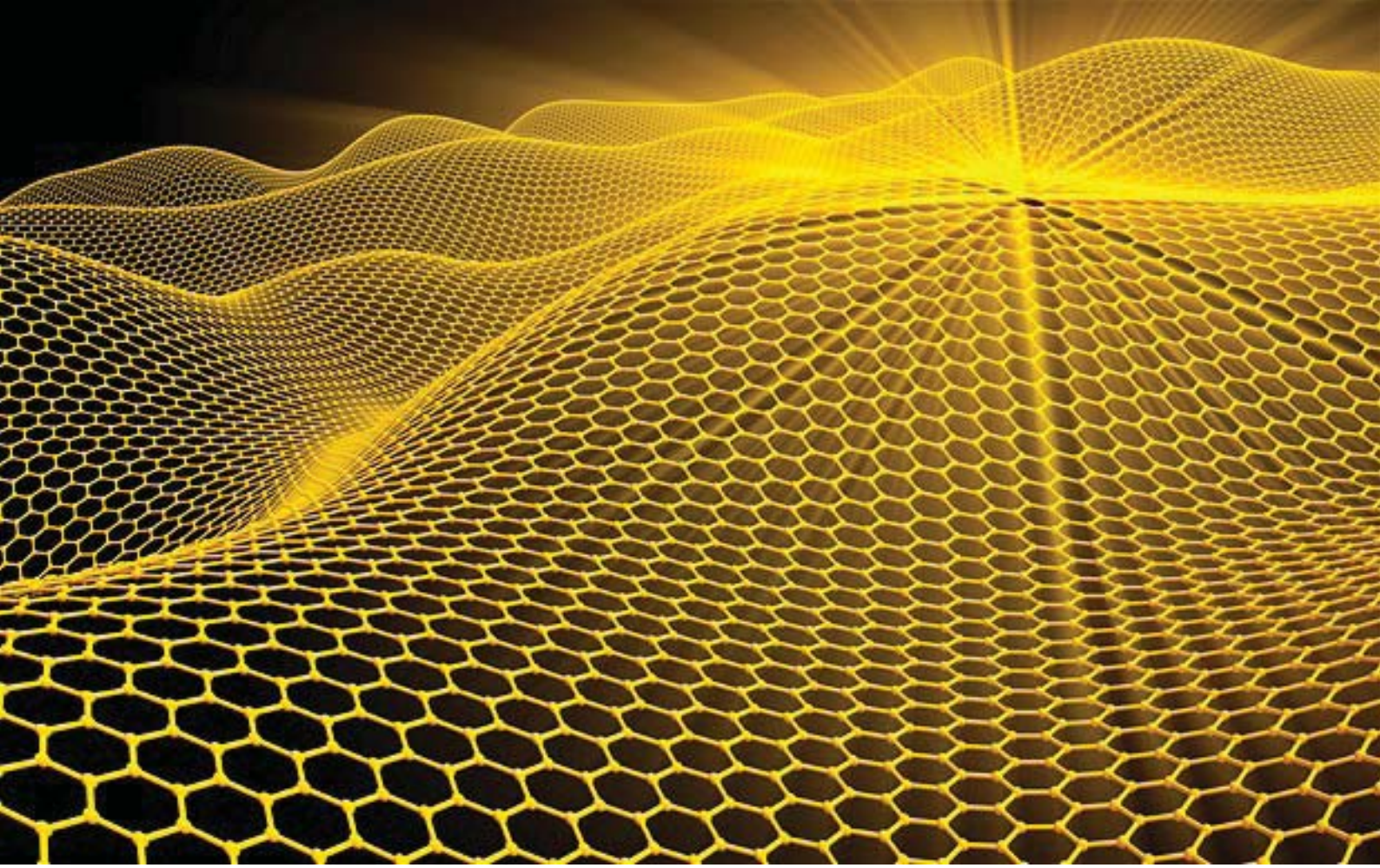
مقاربة معالم الوكالة

تغطي تحضيرات البنية التحتية الوطنية لدعم برنامج طاقة نووية حيزاً واسعاً من الكفاءات التقنية والمنشآت والنشاطات. فقد طوّرت الوكالة مقاربة متكاملة تركز على بناء منشآت خدمة الطاقة النووية وتسليمها، آخذة بعين الاعتبار التعقيدات والتعهدات البعيدة المدى.

يتركز دعم الوكالة الآن في مجال التطوير على الطورين 1 و2.



نُشرة صادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية IAEA، قسم التعاون الفني، ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير



ترجمة وإعداد: د. عادل حرفوش
رئاسة هيئة التحرير

الغرافن

وضعه الحالي وآفاقه المستقبلية

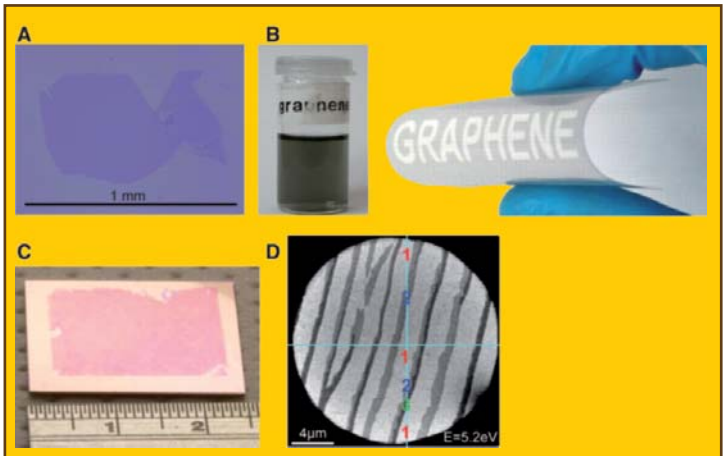
الغرافن مادة مدهشة بما لها من ميزات منسوبة لاسمه. إنها المادة الأرقّ المعروفة في الكون والأقوى بين المواد المقيسة حتى الآن. تبدي حاملات شحنتها حركية ذاتية هائلة، مع كتلة فعّالة معدومة، وبإمكان حاملات شحنتها الانتقال لعدة مكرومترات في جوٍّ من الحرارة الاعتيادية دون أن تتبعثر. يمكن للغرافن أن يتحمل تيارات كهربائية شدّاتها أكبر بست مرات مما يتحمله النحاس، ويُظهر ناقلية حرارية وقساوة قياسيتين، كما أنه غير نفوذ للغازات، ويوفّق بين خصائص متناقضة مثل الهشاشة وقابلية السحب. تُوصّف معادلة ديراك انتقال الإلكترونات في الغرافن، ويسمح هذا الانتقال بدراسة الظواهر الكمومية النسبية في تجارب مخبرية. تحلّل هذه المراجعة التوجهات الحديثة في أبحاث الغرافن وتطبيقاته، وتسعى إلى تحديد المسارات المستقبلية التي يمكن أن تتطور في هذا الحقل.

تطوَّر

البحث في موضوع الغرافن في الواقع بسرعة فائقة. فتُنشر حوله ورقات عدة كلّ يوم، وإذا ما اعتبرنا التوقعات المنشورة في الورقات العلمية، فإن كمية المطبوعات حول الغرافن ستحافظ على تزايد سريع خلال السنوات القليلة القادمة، وهذا ما يجعل الغرافن موضوع صراع حقيقي للمحافظة على هذا التطور. هناك قادمون جدد لا يمتلكون وجهة نظر شاملة حوله وغير مدركين للبراهين السابقة والمشاكل المعالجة، في حين أظهر عمداء هذا المجال البحثي بالفعل إشارات تدل على نسيانهم لنشراتهم السابقة. ولمواجهة هذا السبق في النجاح، تمَّ نشر مراجعات عدة في العامين الماضيين، وهناك كتب قيد الطباعة حول الغرافن. وتمّت مؤخراً مناقشة الخصائص الإلكترونية للغرافن عبر مراجعة نظرية موسّعة، وللأسف يتطلّب هذا المصدر المعلوماتي مراجعة ما بأقرب وقت ممكن. نُشرت ورقات أكثر تخصصاً ناقشت مواضيع مثل مفعول هول الكمومي في الغرافن وخصائص رامان فيه ونمو فلم منه على ركازة من الكربون والسليكون. ورغم الكمية الكبيرة من المنشورات المتوافرة، أو ربما بسببها، بلغ البحث في موضوع الغرافن مرحلة تتطلّب تحديثاً استراتيجياً لتغطية التقدم الأخير والتوجهات البازغة والفرص المفتوحة. تتوجه هذه النشرة لخدمة هذه الغاية دونما تكرار ما يتوافر من معلومات في المراجعات السابقة، قدر الإمكان.

فرص متنامية

الغرافن هو عبارة عن مستوٍ ذرّي أحادي من الغرافيت، وهو معزول عن بيئته بشكل كافٍ ليكون قائماً بذاته، وهذا شيء أساسي. وبالتأكيد، إن وجود مستويات ذرّية كمكونات لبلّورات ضخمة هو أمر معروف لكل منّا، لكن غير المعروف هو مواد لها ثخانة ذرّة واحدة فقط مثل الغرافن. والسبب الرئيسي في ذلك هو أن الطبيعة تمانع بشكل قاطع نمو بلّورات ذات أبعاد قليلة (low-D). يتضمن النمو البلّوري فيما يتضمن درجات حرارة عالية وبالتالي تقلبات حرارية تشوه استقرار الأجسام ذوات البعد العياني الوحيد والثنائي، 1D و 2D. يمكن لشخص ما تنمية جزيئات وبلّورات بمقاس النانومتر، غير أنه، ونظراً لنموها الجانبي، تتكامل الكثافة الفونونية فيها لتغطي الفراغ الثلاثي الأبعاد 3D المتاح لنموِّ الاهتزازات الحرارية بشكل سريع، ليشمل نموها مقاساً عيانياً. إن هذا الفعل يُخضع البلّورات ثنائية البعد لتَدخُلَ في تنوعٍ من بنىً مستقرة ثلاثية الأبعاد.



الشكل 1. تصنيع الغرافن: (A) بلّورة غرافن كبيرة حُضِّرت بوساطة تقنية الشريط السكوتلندي فوق رقاقة من السليكون المؤكسد. (B) الصورة اليسارية: معلق من بلّورات مكروية من الغرافن حُضّرت بوساطة التشظية فوق الصوتية في الكلوروفورم. الصورة اليمينية: يمكن لمثل هذه المعلقات أن تُطبع على ركازات متنوعة. إن الأفلام الناتجة قوية وتبقى عالية الناقلية حتى لوتعرضت للثني. (C) الرقاقات الأولى المحضَّرة حالياً كبلّورات متعددة من الغرافن على هيئة أفلام تتضمن طبقة واحدة وحتى خمس طبقات، ونُمِّيت على النيكل، ونقلت على رقاقة من السليكون. (D) رقاقة من كربيد السليكون صنعت بشكل فني مع مصاطب ذرّية مغطاة بطبقة غرافيتية وحيدة.

إن استحالة تنمية بلّورات 2D لا يعني بالفعل أنه لا يمكن تحقيقها صنعياً. يبدو هذا الأمر عادياً عند توفر مهارة ما. في الواقع، يمكن إنماء طبقة وحيدة داخل بلّورة أخرى أو على سطحها (كجزء من نظام ثلاثي الأبعاد) ومن ثم قشط الطبقة عند درجات حرارة منخفضة بشكل كافٍ بحيث لا تستطيع التقلبات الحرارية كسر الروابط الذرّية حتى في بلّورات 2D وإحالتها إلى شكل 3D.

يمكن لهذه الاعتبارات أن تسمح بمسارين أساسيين لتصنيع بلّورات 2D (الشكل 1). يتمثل المسار الأول بشطر

ميكانيكي للمواد المتراصفة بقوة مثل الغرافيت المترسب على شكل طبقات ذرّية (الشكل 1A). وهذا هو ما حصل عند عزل الغرافن وإخضاعه للدراسة. رغم رهافة هذه الطريقة وطول الزمن اللازم لإجرائها، يمكن للمهارة اليدوية أن تقود إلى بلّورات ذات مواصفات بنيوية وإلكترونية عالية، مما يؤدي عادة للحصول على سماكة من مرتبة المليمترات. وعلى الأرجح، ما تزال هذه التقنية خياراً محتملاً في البحث الأساسي وفي البرهنة على نبائط فكرية في المستقبل المنظور. على سبيل المثال، وبدلاً من قشط الغرافيت يدوياً، تبدو هناك إمكانية لأتمتة هذه العملية أيضاً عن طريق استخدام التشطير بالأمواج فوق الصوتية. تقود هذه العملية إلى الحصول على معلقات مستقرة من بلّورات غرافن تحت مكرومترية (الشكل 1B)، ويمكن استخدامها لتصنيع أفلام ومواد تركيبيّة وبصورة مماثلة التشطير فوق الصوتي للغرافيت المقلقل كيميائياً حيث تكون المستويات الذرّية مسبقاً متفككة جزئياً بالإقحام مما يجعل التشطير أكثر كفاءة. يسمح استخدام الصوتيات بإنتاج الغرافن بكميات صناعية.

أما المسار البديل فيتمثل في البدء مع طبقات الغرافيت المنمّاة بشكل تنضيدي epitaxially فوق قمم بلّورات أخرى (الشكل 1C). إنها حالة تنمية ثلاثية الأبعاد تستمر خلالها الطبقات التنضيدية بالارتباط مع الركازة التحتية وبالتالي يتم تخميد الاهتزازات المُحطِّمة للرابطة. وبعد أن يتم تبريد بنية الطبقات التنضيدية هذه، يمكن استبعاد الركازة بوساطة تقنية التنميش الكيميائي. ومن الناحية التقنية، إن هذه العملية مماثلة لتصنيع أغشية SiN، على سبيل المثال. ورغم ذلك، إن الحصول على بلّورات بسمك ذرّة وحيدة لم يكن ممكناً، ولم يقدِم أحد على تجريب هذا المسار حتى وقت قريب. إن عزل طبقات تنضيدية، ووضعها فوق ركازات ضعيفة الترابط، أصبح الآن واضحاً، غير أن ذلك لم يتحقق إلاّ في العام الماضي.

ومع تقدُّم سريع التواتر، يبدو أن إنتاج رقائق الغرافن أمر متفق عليه وأن هذا المنتج قيد التداول. لنتخيل التقانة التالية: لنبدأ مع رقاقة تنغستين (011) وبنصف قطر يصل إلى عدة إنشات ونعمل على تنمية تنضيدية لفلم رقيق من النيكل (111) على السطح. ويجب متابعة ذلك بترسيب بخار كيميائي لطبقة وحيدة من الكربون (يمكن لنمو الغرافن على النيكل أن ينتهي ذاتياً مع تشكل شبيكة صغيرة غير منتظمة). وبهذه الطريقة تمّت تنمية بلّورات من الغرافن من مرتبة رقاقة وحيدة (مرتبطة بالنيكل بشكل كيميائي). علاوة على ذلك، يمكن ترسيب بوليمير أو أي فلم آخر على السطح، ويُحفر النيكل كطبقة تمّ الاستغناء عنها، وهكذا نحصل على طبقة وحيدة من الغرافن فوق ركازة عازلة، وتظل رقاقة التنغستين المُكلفَة جاهزة للاستخدام في جولة جديدة. لم تُنجز حلقة التصنيع بشكل كامل حتى الآن وربما ستختلف عن الحلقة التخيلية المشار إليها أعلاه (فمثلاً، يمكن استعمال النحاس بدلاً من النيكل). مع ذلك، جرى مسبقاً تنمية رقاقات من غرافن ذي طبقات قليلة متتابعة على أفلام نيكل متعدد البلّورات وحُمّلت على رقاقات من البلاستيك والسليكون (الشكل 1C). أظهرت هذه الأفلام حركية حمل μ تصل إلى 4000 $cm^2V^{-1}s^{-1}$، وهي قيمة قريبة مما يبديه الغرافن المشطور.

إلى أي مدىً يسمح ذلك بنمو طبقات الغرافن على ركازة من SiC (الشكل 1D)؟ لقد اعتبر هذا المسار متميزاً في صناعة رقاقات الغرافن من أجل التطبيقات الإلكترونية، وعلى الأغلب لأن SiC يوفر ركازة عازلة بشكل آلي. لكن وقبل كل شيء، يجب أن نميّز بين نمطين مختلفين من الغرافن على SiC. يتكون النمط الأول من طبقات منفردة ومزدوجة تنمو على نهاية حافة سطح Si، والنمط الثاني عبارة عن غرافن متعدد الطبقات ومتنام تنضيدياً بشكل سريع على سطح الكربون. ففي النمط الأول، ترتبط طبقات الكربون بالركازة بشكل ضعيف لا يسمح ببقاء الطيف الخطي للغرافن (>0.2 eV) بعيداً من نقطة تعادل الشحنة neutrality point (NP). رغم ذلك، يؤدي التآثر مع الركازة إلى تطعيم قوي (~10^{13} cm^{-2}) وشوش طيفي عند طاقات منخفضة. تحسّنت حديثاً المواصفة البلّورية وتجانس التغطية في أفلام السطح السليكوني، وبدأت قيم μ الاقتراب من قيم الغرافن المنتقل من النيكل. أما عن السطح الكربوني، فربما يجب على طبقاته المتعددة التنضيدية أن تأخذ شكل غرافن التفافي لأنها غير منتظمة الالتفاف ومتباعدة بمسافات أكبر بقليل مما هي عليه في حالة الغرافيت. يظهر الغرافن الالتفافي ما يشابه طيف ديراك للغرافن الخالي من التشوه والقليل التطعيم وذي الخاصية الإلكترونية العالية بشكل استثنائي (μ ≈ 250,000 cm^2 V^{-1} s^{-1} في درجة الحرارة الطبيعية). يمكن إسناد هذه الميزات إلى ضعف

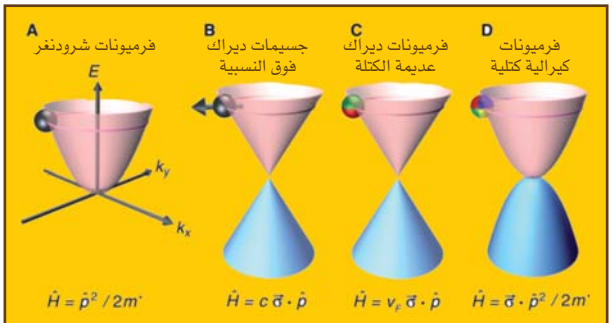
التزاوج الإلكتروني بين الطبقات الداخلية، وحمايتها من البيئة المحيطة بواسطة الطبقات الخارجية وغياب التجعدات المكروسكوبية. وعند مسح حقل كهربائي خارجي لزوج من طبقات قريبة من السطح، من الممكن أن يوفر الغرافين الالتفافي إمكانية محدودة في مجال الإلكترونيات لكنها مهمّة من وجهات نظر أخرى، وبخاصة من أجل دراسات أساسية قريبة من نقطة التعادل الكهربائي.

وبأي طريقة يمكن فيها الآن توقع إنتاج كميات من الغرافين الخام أو على شكل رقاقات، فإن هذه التحديات التي برزت خلال السنتين الأخيرتين قد تضاءلت فجأة، إن لم نقل تبخرت. ويعود الفضل في ذلك إلى التطورات الحديثة في تقنيات التنمية والنقل والتطعيم.

التفسير الكمومي الحديث

إن المظهر الأكثر استكشافاً في فيزياء الغرافين هو خصائصه الإلكترونية. ورغم المراجعة الحديثة لهذا الجانب، إلاّ أن أهميته تفرض ضرورة استعراضه هنا بشكل سريع. فانطلاقاً من أكثر التوقعات شيوعاً، هناك ميزات عدة تجعل الخصائص الإلكترونية للغرافين فريدة ومختلفة عما تتمتع به أية منظومة أخرى لمادة كثيفة معروفة. بالتأكيد، إن أولى هذه الخصائص وأكثرها نقاشاً هو الطيف الإلكتروني للغرافين. تَفقد الإلكترونات المنتشرة عبر شبيكة مشابهة لخلية النحل كتلتها الفعّالة بشكل كامل، وهو ما ينتج عنه أشباه جسيمية quasiparticles توصّفها معادلة ديراك بدلاً من معادلة شرودنغر، إذ إن هذه الأخيرة، الناجحة جداً في فهم الخواص الكمومية للمواد الأخرى، غير قادرة على فهم حاملات الشحنة المنعدمة الكتلة السكونية في الغرافين. يوضح الشكل 2 ملخصاً بصرياً لمقدار توسع المجال الكمومي بعد الاكتشاف التجريبي للغرافين. ثانياً، تنتشر الأمواج الإلكترونية عبر طبقة من الغرافين ذات ثخانة وحيدة الذرّة، مما يجعلها سهلة المنال ويمكن التعامل معها من قبل مسابر مسح متنوعة، إضافة إلى حساسيتها تجاه حواف مواد أخرى مثل المواد ذات العازلية العالية k- والفائقة النقل والمغنطيسية الحديدية وغيرها. توفر هذه الميزة إمكانات مغرية بالمقارنة مع المنظومات الإلكترونية الثنائية البعد العادية 2D electronic systems (2DES). ثالثاً، يظهر الغرافين مواصفة إلكترونية باهرة. إذ يمكن لإلكتروناته أن تغطي مسافات تحت مكرومترية دون أن تتبعثر، وذلك حتى في عيّنات متوضّعة على ركازة خشنة ذرّياً ومغطاة بمُمتزّات وبدرجة الحرارة الطبيعية. رابعاً، وكنتيجة لوجود حاملات عديمة الكتلة وقليلة التبعثر، تكون التأثيرات الكمومية في الغرافين قوية ويمكنها الاستمرار حتى في درجة الحرارة الطبيعية.

تركزت الدراسات الأولية للخصائص الإلكترونية للغرافين على معرفة ما يمكن أن تستفيده الفيزياء الحديثة من استعمال معادلة ديراك في تشكيلة المادة الكثيفة المرجعية. إن إعادة تأهيل الميكانيك الكهربائي الكمومي هذه في حالة



الشكل 2. حديقة شبه جسيمية: (A) توصَف عادة حاملات الشحنة في فيزياء المادة الكثيفة بوساطة معادلة شرودنغر مع كتلة فعّالة m^* مختلفة عن كتلة الإلكترون الحر ($\hat{p}$ هي معامل العزم). (B) جسيمات نسبية عند حدّ كتلة الراحة الصفرية تتبع معادلة ديراك، حيث c هي سرعة الضوء و $\vec{\sigma}$ هي مصفوفة باولي. (C) تسمى حاملات الشحنة في الغرافين فرميونات ديراك عديمة الكتلة وهي موصَفة بوساطة مضاهي 2D في معادلة ديراك، مع سرعة فرمي مقدارها $v_F \approx 1 \times 10^6$ m/s التي تلعب دور سرعة الضوء والمصفوفة 2D بسبين زائف $\vec{\sigma}$، وهي توصَف شبكتين ثانويتين في شبكة نحل العسل. وبالتشبه مع السبين الحقيقي الذي بإمكانه تغيير التوجه بين اليمين والشمال، يكون السبين الزائف دليلاً يشير إلى أي من الشبكتين الثانويتين يستقر شبه الجسيم. يمكن الإشارة إلى السبين الزائف باستعمال اللون (أي، الأحمر والأخضر). (D) يوفر لنا الغرافين الثنائي الطبقة نمطاً آخر من أشباه جسيمية ليس لها مشابهات. إنها فرميونات ديراك الكتلية الموصَفة بالأحرى بهاملتونيّ شاذ يجمع مميزات معادلتي شرودنغر وديراك. يغير السبين الزائف دليله اللوني أربع مرات عندما يتحرك بين أربع شبكات ثانوية كربونية.

الغرافن قادت بشكل سريع إلى فهم مفعول هول الكمومي لنصف العدد الصحيح half-integer quantum Hall effect وإلى توقعات مثل ظواهر نفق كلين Klein tunneling وزيترباوغانغ zitterbewegung ونتائج منتج شوينغر Schwinger والانهيار الذرّي الحرج، وتفاعلات كازيمير Casimir فيما بين المُتزّات على الغرافن. ومن ناحية تجريبية، اقتصر البرهان بتفصيلٍ كافٍ على حالة نفق كلين فقط. إضافة إلى ذلك، أظهرت خصائص النقل في نبائط من الغرافن الحقيقي أنها أكثر تعقيداً من كونها ميكانيك كهربائي كمومي نظري، وما زال هناك بعض المسائل الأساسية المتعلقة بالخصائص الإلكترونية للغرافن بحاجة إلى أجوبة. فعلى سبيل المثال، ليس هناك إجماع حالياً حول آلية التبعثر التي تحدّ من قيمة μ والفهم القليل لخصائص النقل بالقرب من NP [وبخاصة عند سوية لانداو Landau الصفرية] وعدم وجود وثوقية في العديد من آثار التفاعل المتوقعة.

وعلى المدى القريب، ما يوجه تتابع العديد من الأبحاث مستقبلاً هو فهمنا لمنظومات أخرى منخفضة البعد، وذلك من خلال إعادة تأهيل النتائج والظواهر المعروفة. إن قضايا الغرافن المعتمدة على الكوانتوم ووصلات p-n والشرائط النانوية ونقاط التماس الكمومية، وبشكل خاص النقل المغنطيسي قرب NP، لم تلقَ الاهتمام الذي تستحق. هذا ومن السهل أن نتنبأ بالعودة إلى دراسات جرت سابقاً بتقنية 2DES حول الشبكات الفائقة الجانبية والتبئير المغنطيسي والبصريات الإلكترونية، وتداخلات عديدة ومفاعيل باليستية، تلك التقنية التي يمكن لها ولحسن الحظ أن تكون أكثر إثارة في الغرافن أو في توضيح فيزيائه. ومن بين التوقعات العادية الأخرى نذكر البصريات المغنطيسية والإلكترونية، إذ يوفر الغرافن فرصاً عديدة غيرُ مستثمرةٍ بَعد.

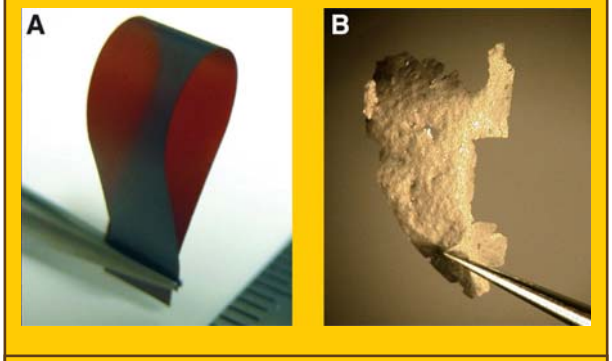
يُعدُّ الغرافن مادة مطواعة من وجهة نظر بنيوية، ويمكن تعديل خصائصه الإلكترونية والبصرية والفونونية بشكل كبير بوساطة الإجهاد والتشويه. فعلى سبيل المثال، يسمح الإجهاد بإنشاء حقول قياس موضعية وحتى بتبديل بنية الروابط في الغرافن. والبحث متزايد في مجال ليّ الغرافن وثنيه ولفّه. وإضافة إلى ذلك، يشكّل كلٌّ من الغرافن والغرافن الملتوي حلماً فسيحاً من أجل مجهرية مسبارية ماسحة، ويمكن بناء تجارب عديدة لتحقيق شاشات عرض فائقة وكشف عزوم مغنطيسية موضعية وتخطيط وظائف موجية في حقول مكمّمة، وغير ذلك. هذا وتوجد تأثرات تفاعلية في طبقات ثنائية منشطرة. وتشكل مشاهدة هذه التفاعلات تحدّياً تجريبياً غير أنها قد تقود إلى فيزياء أكثر تميزاً من حالات 2DES الأخرى. وعلى حدود الاستكشاف يقع مفعول هول الكمومي الجزئي، الذي فرضت إمكانيةُ البحثِ عنه قلقاً لدى الباحثين الذين لاحظوا من وقت لآخر ميزات شبه عتبةٍ عند الحشوات الجزئية، وذلك فقط لإيجادها غير قابلة للتكرار في نبائط مختلفة.

يمكن أن يستغرق استكمال البرنامج التمهيدي بضع سنوات، وستتعلق سرعة التطورات بشكل أساسي بتقدم تنمية الرقاقات وبتحسن مواصفة العينة. غير أن الحصول على رقاقات قدُّها من مرتبة الإنش مع قيم لـ μ في مجال المليون يُعدُّ حلماً ليس بعيد المنال، وعند بلوغ ذلك يمكن مشاهدة العديد من الظواهر الجسيمية والفيزياء الحديثة التي يصعب تصورها بهذه المرحلة.

قضايا كيميائية

يشكل الغرافن تجسيداً جوهرياً للسطح: فهو عبارة عن سطحين لا يوجد بينهما شيء. ورغم أن فيزياء السطح هذه تحتل مركز الاهتمام، فكيمياؤه ما تزال غير مستكشفة إلى حدٍّ بعيد. وما تعلّمناه حتى الآن حول كيمياء الغرافن، بالمقارنة مع سطح الغرافيت، هو أن الغرافن بإمكانه امتزاز تنوع من الذرّات والجزيئات (مثل، NO_2, NH_3, K, OH) والتخلي عنها (انتزاز). وغالباً ما تعمل المُتزّات الضعيفة الارتباط كمانحات ومتقبّلات، وتقود في أغلب الأحيان إلى تبدُّلات في تركيز الحامل، إلى حدٍّ يجعل الغرافن شديد الناقلية. وهناك مُتزّات أخرى مثل H^+ أو OH^- تعمل على زيادة

حالات متموضعة («فجوة بينية») قريبة من NP، مما يُنتج مشتقات ضعيفة الناقلية مثل أكسيد الغرافن والغرافن وحيد الجوار. وبالرغم من هذه التسميات الجديدة، لا تشكّل هذه المشتقات مركّبات كيميائية جديدة إنما هي عبارة عن الغرافن نفسه مزخرف بشكل عشوائي بالمُمتزّات. يسمح التّلدين الحراري أو المعالجة الكيميائية بإرجاع الغرافن إلى حالته الأولية مع بقاء تشوهات بسيطة نسبياً. يعود سبب احتمال التغيّر العكوس هذا إلى بقاء الترتيب الذرّي القوي مستقراً دون تغيّر خلال التفاعلات الكيميائية.



الشكل 3. مشتقات الغرافن: (A) صفيحة من أكسيد الغرافن المؤكسد وهي متينة وقابلة للثني وشفّافة وعازلة. (B) ورقة مصنوعة بالطريقة نفسها مثل (A) بدءاً من معلق الغرافن وهي مسامية وهشة وعاتمة وصلبة.

وضمن هذا المنظور العلمي للسطح، تبدو كيمياء الغرافن مشابهة لكيمياء الغرافيت، ويمكن استخدام هذا الأخير كدليل عمل، رغم وجود فروقات أساسية في الوقت نفسه، أولها، هو أن التبدّلات المحرَّضة كيميائياً في خواص الغرافن تكون أكثر وضوحاً، وذلك بسبب غياب المساهمة المبهمة الناجمة عن الكتلة. وثانيها، هو أنه، وبشكل مخالف لسطح الغرافيت، لا يكون الغرافن مسطحاً إنما يبدي تجعدات من مرتبة النانومتر. ويمكن للإجهاد والتقعر المرافق أن يُنشئ نشاطات موضعية واضحة تماماً. وثالثها، هو أنه يمكن للكواشف أن ترتبط بسطحي الغرافن على حدٍّ سواء، الأمر الذي يغيّر في الاعتبارات الطاقية، ويسمح بتشكل روابط قد تكون غير مستقرة في حالة وجود سطح وحيد.

هناك خيار آخر لوجهة النظر الكيميائية المتعلقة بالسطح يتمثّل في اعتبار الغرافن كجزيء مسطح ضخم (كما اقتُرح لأول مرة من قبل لينوس باولينغ Linus Pauling). وكأي جزيء آخر، يمكن للغرافن أن يشارك في تفاعلات كيميائية. والفرق المهمّ بين وجهتي النظر هو أنه في الحالة الأخيرة، يتوقع ضمنياً أن ترتبط المُمتزّات بالكربون المتراص وفق نسب اتحاد كيميائي، أي بشكل دوري وليس بشكل عشوائي. ويجب أن يؤدي ذلك إلى بلّورات ثنائية البعد جديدة مترافقة ببنىً إلكترونية مميزة وبخصائص كهربائية وبصرية وكيميائية مختلفة. والمثال الأول المعروف هو الغرافان graphane، أي المركّب الهدروكربوني الثنائي البعد الذي يشتمل على ذرّة هدروجين مرتبطة بكلٍّ من مواقع شبيكة خلية النحل. وهناك الكثير من بلّورات أخرى معتمدة على الغرافن والتي يمكن تشكّلها بسبب كون المُمتزّات قابلة للتنظيم ذاتياً عبر بنىً دورية، مماثلة لحالة الغرافيت، المعروف تماماً ببناه السطحية الفائقة. وبدلاً من التطعيم بذرّة هدروجين (كما في الغرافان)، يبدو أن مرشحين آخرين مثل F^+ و OH^-، ومجموعات وظيفية أخرى عديدة قابلة لأن تكون مرشحة للبحث من أجل تشكيل بلّورات جديدة ثنائية البعد معتمدة على الغرافن.

من المحتمل أن تلعب كيمياء الغرافن دوراً مهمّاً متزايداً في التطورات المستقبلية. فعلى سبيل المثال، توفر المشتقات المركبة وفق نسب اتحادية طريقةً للتحكم بالبنية الإلكترونية، التي تعتبر مهمّة لتطبيقات عديدة بما فيها الإلكترونية. ومن المحتمل أن يتم تحريض التغيّر الكيميائي في مواقع موضعية أيضاً. تخيل، إذاً، دارة غرافن كاملة تكون فيها الموصلات البينية من الغرافن المحتفظ بنقائه، في حين تعدل المناطق الأخرى لتكون نصف ناقلة وتقوم بمهمّة ترانزستورات. يجب ألاّ نهمل أبداً المشتقات غير المنتظمة المعتمدة على الغرافن. فربما يمكن تصنيفها بالغرافينات الوظيفية، وهي مناسبة لتطبيقات نوعية. تشكل صفائح الغرافن مثالاً رائعاً لبيان أهمية هذا التوظيف. فإذا صنعت الصفائح بدءاً من معلق من رقاقات غير وظيفية، نحصل على مادة مسامية وشديدة الهشاشة. مع ذلك، فإن صنعت الصفيحة نفسها من أكسيد الغرافن تكون كثيفة وصلبة وقوية. ففي الحالة الأخيرة هذه، تقوم المجموعات الوظيفية بربط الوريقات المنفردة بعضها مع بعض، مما يؤدي إلى بنية غير متباينة عن اللولو، المعروف بقوته. وبدلاً من الرابطة الأراغونية (وهي رابطة تتشكل

في كربونات الكالسيوم عند تعرض هذا المركّب لضغوط عالية) في اللولو التي يوفرها غراء من بوليمير حيوي، فإن صفائح أكسيد الغرافن، وبخاصة نموذجها المُرجَع، تَستعمِل روابط تتمثل بغرزات ذات أبعاد ذرّية مُولِّدةً أقوى مواد نانوية معروفة.

على الرغم من وفرة النتائج والتطبيقات الممكنة، فإن كيمياء الغرافن لم تحظَ حتى الآن إلاّ باهتمام قليل من قبل الكيميائيين المحترفين. وأحد الأسباب هو أن الغرافن لا يمثل سطحاً نموذجياً ولا جزيئاً نموذجياً. لكن العقبة الرئيسية هي قلة العيّنات المناسبة للكيمياء التقليدية. إن التطورات الأخيرة في تصنيع معلقات الغرافن قد فتحت طريقاً إلى منظومة كيمياء الطور السائل، ولحسن الحظ، إن المعونة المحترفة التي انتظرها الباحثون طويلاً في مجال الغرافن قد جاءت الآن.

الجمال النائم

من المألوف في هذه الأيام البدء بتقارير حول الغرافن بتعريفه كمنظومة إلكترونية فريدة. إن هذا التعبير يقلل من شأن الغرافن. إن 2DES، وحتى أشباه الجسيمات التي رجّحها ديراك، كانت معروفة من قبل، غير أن المواد ذات الثخانة الذرّية لم تكن معروفة. وبهذا الخصوص، فقد شكل الغرافن فئة خاصة به، غير أن ما هو معروف عن خصائصه غير الإلكترونية ما يزال قليلاً. إن الوضع الآن متغيّر بشكل سريع، ويقود إلى أبعاد جديدة رائعة في أبحاث الغرافن.

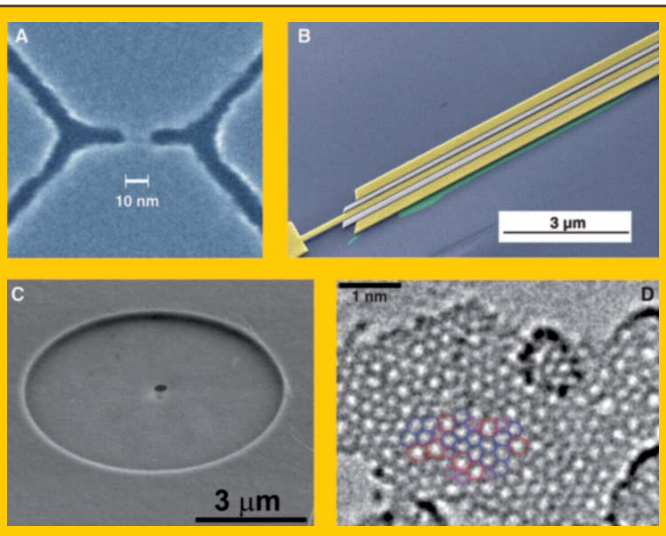
نُشرت في العام الماضي القياسات الأولى لخصائص الغرافن الميكانيكية والحرارية. لقد تمَّ التوصل إلى رقم يقارب 40 N/m، وهو ما يقترب من الحدّ النظري، وسُجّلت قيم كلٍّ من الناقلية الحرارية في درجة الحرارة الطبيعية ما يقارب $5000\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$ ونموذج يونغ 1.0 TPa تقريباً، على التوالي. يمكن مطُّ بلّورة الغرافن بنسبة 20% أكثر من أي بلّورة أخرى. جرى توقع هذه الملاحظات جزئياً اعتماداً على دراسات سابقة على أنابيب الكربون النانوية والغرافيت، اللذين يتشكلان من صفائح الغرافن. وإلى حدٍّ ما، يمكن أن تُعزى القيم المرتفعة الملاحظة في الغرافن إلى الغياب الافتراضي للتشوهات البلّورية في العيّنات التي حضرت بالتحطم الميكروميكانيكي. والأكثر إثارة للفضول هي تلك القيم التي ليس لها ما يماثلها. على سبيل المثال، وخلافاً لأي مادة أخرى، ينفرد الغرافن بزيادة T عن جميع قيم T في المواد الأخرى، وذلك بسبب سيطرة الفونونات الغشائية على البعد الثنائي 2D. وكذلك، يبدي الغرافن قابلية الانطواء (يلاحظ عادة وجود ثنيات وطيات) والهشاشة في آن معاً. [ينكسر الغرافن مثل زجاج شديد القساوة]. تكون الأفكار العامة جملة متناقضة، لكن الغرافن يجمع كلا الخاصتين. وغير المسبوق أيضاً هو ملاحظة أن الفلم الذي لا تزيد ثخانته عن ذرّة واحدة غير نفوذ للغازات، بما في ذلك الهليوم. وعندما تصبح الوريقات جاهزة، سيشكل ذلك انفجاراً من الاهتمامات في الجزيئات الحيوية والانتقال الأيوني عبر الغرافن وأغشيته ذات التصميم المسامي.

وبالحديث عن الخواص غير الإلكترونية، فنحن لا نعلم عن مثل هذه الأشياء الأساسية حول الغرافن، مثل كيفية انصهاره على سبيل المثال. فلا درجة الانصهار ولا درجة الانتقال الطوري كانتا معلومتين بالنسبة لنا. فمن المعروف أن الأفلام الفائقة الرقة تبدي درجات انصهار متناقصة بشكل سريع مع تناقص الثخانة. يمكن أن تكون الديناميكية الحرارية لبلّورات ثنائية البعد في فضاء ثلاثي البعد مختلفة جداً عنها للأفلام الثخينة، وقد تكون أقرب شبهاً لفيزياء الأغشية السريعة التأثر. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يحصل الانصهار عبر جيل من التشوهات المزدوجة وأن يتعلق بالقدّ الجانبي، مماثلاً لانتقال كوسترليتز- ثوليس Kostrlitz-Thouless transition. لقد أعاقت القدود الصغيرة للبلّورات المتاحة التقدم في دراسة الخواص الديناميكية الحرارية، لكن الوضع يمكن ان يتغيّر في القريب العاجل. ومن ناحية أخرى، يبدو أن التقدم النظري بقي بطيئاً لأن القدود الصغيرة أثبتت أيضاً أنها مشكلة في الديناميك الحراري الجزيئي وفي مقاربات رقمية أخرى، مما يعيق فهم الفيزياء الضمنية عند دراسة بلّورات ذات نانومترات قليلة في قدِّها.

كبر وبساطة

تمّت مناقشة التطبيقات المحتملة للغرافن سابقاً، وخلال العامين الماضيين جرى تقدم أساسي بمناحٍ عدة. والفارق الرئيسي بين الآن وبين ما تمّ سابقاً هو مجيء تقانات إنتاج الغرافن بكميات ضخمة. لقد غير ذلك المنظرَ بكامله من خلال جعل موضوع التطبيقات أقل اتساماً بطابع المضاربة والإقرار بتطوير مفاهيم جديدة غير قابلة للتصور مسبقاً.

إن غالبية الإشاعات الحالية تحيط بالمظاهر العامة البعيدة المدى في إلكترونيات الحاسوب. وإن التطبيقات الفورية، وغالباً ما تكون بسيطة، هي أقل مناقشة وتبقى غير ملحوظة حتى من قبل مجموعات من مجتمع الغرافن. والمثال الحدّي في التفكير الشعبي هو فكرة أن الغرافن أصبح مادة إلكترونية أساسية إلى جانب عصر السليكون. برغم أن هذه الإمكانية غير واردة، فهي حتى الآن وراء الأفق وأنه لا يمكن تقييمها بشكل صحيح. وبأقل ما يكون، تتطلّب الدارات التكاملية المعتمدة على الغرافن قناة نقل لتكون قريبة تماماً خارج المقام. اقتُرحت مخططات عديدة للتعامل مع طيف الغرافن العديم الفجوات، وحديثاً، تمّت البرهنة على وجود ترانزستورات بأشرطة نانوية ذات نسب تيارات تشغيل وإطفاء عالية في درجة الحرارة الطبيعية (الشكل 4A). مع ذلك، يبقى مشهد باطن الغرافن بعيداً دائماً. لا يعود ذلك لكون الغرافن سريع الانهيار، بل بالأحرى بسبب نقص النبائط التجريبية لتحديد بنىً ذات دقة ذرّية. تبدو الحاجة لجهود أكثر في هذا المنحى، لكن يُتوقع أن يكون الاجتهاد بطيئاً ومتعلقاً بتطورات تقنية خارج مجال البحث.



الشكل 4. من الآمال إلى الحقيقة: (A) شرائط نانوية من الغرافن ذات مقاس دون 10 nm وتعرض فعل ترانزستور مع نسب عالية للإطفاء والتشغيل. يظهر التصوير المكروي بالمسح الإلكتروني مثل هذا الشريط المنفذ بطباعة حجرية بحزمة إلكترونية. إن التحكم بعرض هذا الشريط وبنية حافته مع دقة ذرّية يشكل تحدياً مروعاً في مجال التوجه نحو إلكترونيات معتمدة على الغرافن. (B) إن جميع الأسس متوافرة من أجل تصنيع منظومات من ترانزستورات ذات إلكترونات سريعة التحرك. تظهر الصورة المكروية ذات اللون الشكلي تماسات المنبع والمصرف باللون الأصفر وبوابتين علويتين باللون الرمادي والأرضية الممثلة للغرافن باللون الأخضر. (C) منظومات كهروميكانيكية نانوية: ما نراه هو مرنان طبلي مكون من فلم ثخانته 10 nm من أكسيد الغرافن المُرجَع الذي يغطي عمقاً من رقاقة السليكون. (D)جاهز للاستعمال: توفر أغشية الغرافن دعماً مثالياً لمكروسكوبات النقل الإلكتروني. فالجزء المركزي هو طبقة وحيدة من الكربون غير المتبلور. ويَظهر الغرافن نفسه في هذه الصورة فقط كأرضية رمادية (انظر الجزء العلوي). تبدو ذرّات الكربون غامقة في الطبقة غير المتبلَورة، وتشكل صفوفاً عشوائية من الأشكال الخماسية والسداسية والسباعية، كما توضحها الخطوط الملونة. كما تظهر ذرّات الأكسجين بشكل واضح على الغرافن.

والمثال المخالف هو استعمال الغرافن في مجهرية إلكترونية نافذة transmission electron microscopy (TES). إنه تطبيق بيئي ملائم صغير جداً، إنما هو حقيقي. توفر الأغشية المنفردة، أي ذات ثخانة ذرّية واحدة وكتلة ذرّية منخفضة، الداعم الأكثر تخيّلاً لمقدرة الفصل الذرّية في المجهرية الإلكترونية النافذة. والآن، مع توافر بلّورات مكرومترية القدّ في محلول، وبسبب رخصها وسهولة توضعها على شبكات مرجعية وبأفلام قابلة للانتقال من معدن إلى سطح مثل هذه الشبكات، كُتِبَ على أغشية الغرافن أن تصبح أداة تقليدية في المجهرية الإلكترونية النافذة (الشكل 4D).

إن المسافة بين أحلام الغرافن والحقيقة

الحالية مرهونة بالتطبيقات. إن مثل هذا التطبيق لا هو كبير ولا هو عادي: ترنزستورات قياسية ذات تواتر فائق خاص. تسيطر في هذا المجال حالياً نبائط معروفة تعتمد على GaAs كترانزستورات ذات حركة إلكترونية سريعة high-electron mobility transistors (HEMTs)، والتي تستعمل بشكل واسع في تقانات الاتصال. يوفر الغرافن إمكانية توسيع مجال تشغيل HEMTs لتشمل تواترات من مرتبة تيراهرتز. إن الأسس التي تسمح بذلك معروفة تماماً: يقدم الغرافن نقلاً قذفياً في درجة الحرارة الطبيعية بحيث يستغرق نقل الشحنة بين منبع وتماسات التصريف 0.1 بيكوثانية فقط من أجل قناة نموذجية طولها 100 نانومتر. يمكن لإلكترودات الدخل والخرج أن توضع على مسافة عدة نانومترات فوق الغرافن، مما يسمح بقنوات أقصر وحتى بنقل أسرع. وبرغم أن طيف الغرافن الخالي من الفجوات يقود إلى نسب منخفضة للتشغيل والإطفاء بين 10 و 100، إلاّ أن هذه النسب تُعدُّ كافية للإلكترونيات القياسية. إن المشاكل التجريبية هي ما يعيق تقدم استعمال الغرافن في تقنية HEMTs للوصول إلى مجال الأمواج المكروية. وأولى اختبارات التواتر في ترانزستورات الغرافن لم تنشر إلاّ حديثاً. فالقنوات الطويلة وانخفاض سرعة الانتقال في هذه التجارب هي التي أدت إلى إيقاف التواترات عند أقل من 30 GHz، أي أقل بكثير من المجال التشغيلي لتقنية HEMTs المعتمدة على GaAs. ومع ذلك، فإن القياس الملاحظ في التواتر التشغيلي كتابع لطول القناة ولم يشيران إلى إمكانية الوصول إلى مجال تيراهرتز. ومع رقائق الغرافن المنظورة، تتجه هذه الجهود نحو التكثيف، وتحظى نبائط HEMTs والتواترات الفائقة الأخرى كما في حالة القواطع والمقومات بفرصٍ للوصول إلى السوق.

التربع فوق منجم الغرافن

كان هناك ثورة أفكار تقترح استعمال الغرافن في كلّ افتراض محتمل. وغالباً ما قادَ هذه الأفكار التشابه الجزئي مع الأنابيب الكربونية التي تتابع خدمتها كدليل في البحث عن تطبيقات جديدة. فعلى سبيل المثال، تُعدُّ بودرة الغرافن حشوة ممتازة للمواد المركّبة. كما نشرت تقارير أيضاً حول مكثفات وبطاريات وموصّلات ومصدرات حقول تعتمد جميعها على الغرافن، غير أنه من المبكر القول ما إذا كان الغرافن قادراً على منافسة مواد أخرى، بما في ذلك الأنابيب النانوية. وبتوقع أقل، انتشر الغرافن كمرشح مناسب للاستعمال في الإلكترونيات البصرية. وتوفر معلقات الغرافن طريقة رخيصة لتصنيع طلاءات تعتمد على الغرافن في عمليات الطباعة أو الغَزْل (الشكل 1B). وخيار آخر هو نقل أفلام تمّت تنميتها على النيكل. وغالباً ما اقترحت هذه الطلاءات كمنافس لأكسيد القصدير والإنديوم indium tin oxide (ITO)، وهو المركّب المرجعي في صناعة الخلايا الشمسية وشاشات البلّورات السائلة، وغير ذلك. من ناحية أخرى، تظهر أفلام الغرافن مقاومةً أوميةً من مرتبة مئات عدة في النفوذية المرجعية القريبة من 80%. وتشكل هذه المقاومة مرتبة مضاعفة أعلى من مقاومة ITO، وهذا غير مقبول في تطبيقات عدة (مثل حالة الخلايا الشمسية). وبقي أن نرى ما إذا كانت الناقلية قابلة للتحسّن إلى المجال المطلوب. ورغم ما قيل، تظل طلاءات الغرافن متفوقة ببعض المزايا عن ITO. فهي ثابتة كيميائياً وقوية ومطواعة، ويمكنها حتى أن تنثني، مما يمنحها فرصة جيدة لنيل السبق في تطبيقات شاشات اللّمس والشاشات القابلة للّي.

هناك أيضاً اهتمام سريع التنامي في الغرافن كمادة أساس في المنظومات الكهرميكانيكية النانوية nanoelectromechanical systems (NEMS)، إذ إن الإضاءة والصلابة هي خصائص رئيسية مأمولة في NEMS في تطبيقات التحسّس. توفر أجهزة تضخيم الصوت المعتمدة على الغرافن كتلاً خاملة ضعيفة وتواترات فائقة، وبالمقارنة مع الأنابيب النانوية، توفر موصلات ذات مقاومة منخفضة وهي ميزة أساسية لمواءمة المعاوقة في الدارات الخارجية. أظهرت أغشية الغرافن حتى الآن معاملات نوعية تقارب 100 عند تواترات 100 MHz. وهناك مشجعات إضافية وهي معطيات تتعلق بطبلات تضخيم الصوت المصنوعة من أفلام أكسيد الغرافن المُرجَع. تظهر هذه المنظومات الكهرميكانيكية النانوية ذات الثخانات النانومترية والمتعددة البلّورات نمذجة يونغ عالية (قابلة للمقارنة مع ما يبديها الغرافن) ومعاملات نوعية تقارب 4000 في درجة الحرارة الطبيعية. يمكن إنتاج الأفلام على هيئة رقاقات ومن ثم معالجتها بتقانات تصنيع مكروية

مرجعية. ويجب أن تسمح التطورات الإضافية للمنظومات الكهرميكانيكية النانوية المصنوعة من الغرافن بمهاجمة مثل هذه التحديات كالتحسّس الخامل تجاه الذرّات المنفردة والكشف عن اهتزازات صفرية.

ومن بين التطبيقات الأخرى التي تستحق الذكر نشير إلى الحسّاسات الإلكترونية وذواكر المقاومة المتنوعة. ونظراً لما هو معروف عن حساسية الغرافن العالية لبيئته المجاورة، فقد تمّت البرهنة الآن على أن الحسّاسات قادرة على كشف جزيئات غازية منفردة. فلنتصور صفاً من نبائط غرافينية، وكل واحدة تقوم بوظيفة مختلفة للتفاعل مع مواد كيميائية أو جزيئات حيوية مختلفة. وعن مثل هذا التوظيف في حالة الأنابيب النانوية، فقد تمّ البحث بشكل مكثف فيها، وأضاف الغرافن إمكانية تصنيع كميات كبيرة من نبائط مشابهة. وعلاوة على ذلك، هناك تقارير مغرية حول ذواكر طيارة نانوية تتحمل فيها الأسلاك المعتمدة على الغرافن قواطع مقاومة عكوسة عن طريق تطبيق تتابع من نبضات تيار كهربائي، على سبيل المثال. لا تزال الآلية المسؤولة عن هذا التطبيق مجهولة إلى حدٍّ كبير، لكن مثل هذه القواطع النانومترية توفر بديلاً جذاباً لذواكر الطور المتبدّل، وتستحق اهتماماً إضافياً. كما أنه توجد تقارير مشجعة حول ذواكر كهرمغنطيسية تعتمد على الغرافن، وذلك نظراً لبساطة مبدئية في تشغيلها.

مواقع جديدة في أرض فسيحة

غيّر الغرافن حالته بشكل سريع من مادة غير منتظرة، وفي بعض الأحيان كقادم جديد غير مرغوب به، إلى نجم صاعد وبطل سائد. إن الارتياب المهني الذي سيطر في البدء على قناعة باحثين عديدين فيما يتعلق بتطبيقات الغرافن بدأ يتبخر تدريجياً تحت ضغط التطورات الحديثة. ومع ذلك، إنه ثروة فيزياء حديثة (تمّت ملاحظتها وتوقعها والأمل فيها) غيّرت توجه الوضع الحالي. أصبح البحث الآن في مجال الخواص الإلكترونية للغرافن ناضجاً بل ومن غير المرجح أن يبدأ خموده في وقت قريب، وبخاصة بسبب الفرص غير المستثمرة المحتملة للتحكم بالنقل الكمومي بوساطة الهندسة الأصيلة والتعديلات البنيوية المتنوعة. وحتى بعد ذلك، سيتابع الغرافن الصمود في دورِ صناعة فيزياء المادة الكثيفة. ينطلق الآن البحث في مجال الخواص غير الإلكترونية للغرافن، ويجب أن يقود ذلك إلى ظواهر جديدة مستدامة، إن لم نقل أنه يضخم الضجيج الذي يثيره الغرافن.

استخدام PIXE لتوصيف أمفورات لبنانية مستخرجة من موقع جية الأثري

PIXE CHARACTERIZATION OF LEBANESE EXCAVATED AMPHORAE FROM JIYEH ARCHEOLOGICAL SITE

إلياس بكرجي
قسم الكيمياء

ملخص

شرع بعمليات التنقيب في الموقع الأثري جية الذي يقع في شمال صيدا، ويعود للفترة اليونانية الرومانية. أظهر التقصي الأولي إمكانية وجود مركز إنتاج (تصنيع)، جرى تحليل نحو أربعين كسرة بواسطة تقنية انبعاث أشعة إكس المحرضة بالبروتونات PIXE بهدف تحديد هوية وتوصيف التركيب العنصري لأربعة أنواع من الأمفورات، حيث استخدم المسرع الترادفي 1.7 ميغا فولط في بيروت. أدت إجراءات التحليل إلى تحديد ما يقارب أربعة وعشرين عنصراً في طيف واحد متضمنةً العناصر الرئيسية، والصغرى، وعناصر الأثر. استخدم التركيب العنصري المزود من تقنية PIXE والمعتمد على الاثني عشر عنصراً الأكثر وفرة الممتدة من Mg إلى Zr في برنامج التحليل الإحصائي المتعدد المتغيرات. وهكذا فإن العينات المدروسة صنفت ضمن مجموعات محددة بشكل واضح.

الكلمات المفتاحية: PIXE، علم الآثار، أمفورات لبنانية، تحليل عنقودي، Gupix.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 2010.

العوامل المناخية المتحكمة بالخصائص الكيميائية والنظائرية للأمطار في سورية

CLIMATIC FACTORS CONTROLLING CHEMICAL AND ISOTOPIC CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION IN SYRIA

د. بولس أبو زخم، رانيا الحافظ
قسم الجيولوجيا

ملخص

تم قياس التركيب الكيميائي والنظائري للعينات المطرية المركبة المأخوذة شهريا من 13 محطة مناخية منتشرة في سورية خلال دورتين هيدرولوجيتين اعتباراً من عام 1991 إلى عام 1993. أظهرت التحاليل الكيميائية للعينات المطرية المأخوذة من محطات مطرية عدة تعرضَها للتلوث الناتج عن المصانع والعواصف الرملية. أما التغيرات المكانية والزمانية للمحتوى النظائري فقد وجد أنه قابل للمقارنة مع المحتوى النظائري في دول الجوار كالأردن وغيره. وقد وجد أن المحتوى النظائري الموزون لقيم الأوكسجين-18 والديتريوم يبلغ –7.5 و –39.11‰ على التوالي، وقيمة فرط الديتريوم 21 ‰. يمكن تقسيم القيم الخاصة للنظائر إلى مجموعتين: تمثل المجموعة الأولى الأمطار الشتوية التي تكون قريبة من الخط المطري للبحر المتوسط (MMWL). وبالتالي بالنسبة للأمطار الشتوية، تظهر عملية تكاثف بخار ماء البحر المتوسط سيطرة على عملية التجزئة النظائرية. أما المجموعة الثانية فتمثل أمطار الربيع وتتوزع على طول خط تبخري تحت خط أمطار البحر المتوسط (MMWL) وبذلك فهي تدل على تأثير تبخر تحت الغيوم. وجد أن قيمة فرط الديتريوم أخفض في شمال سورية (19.9 ‰ في طرطوس و18.1 ‰ في جرابلس) منها في جنوب البلاد (23.4 ‰ في السويداء و 24.1 ‰ في أزرع) حيث تسيطر كتل هوائية من البحر المتوسط. تكون قيمة فرط الديتريوم في الأمطار في الدول المجاورة قريبة أيضاً من القيمة المتوسطة لشرق حوض البحر المتوسط 22‰ كما هو الحال في الأردن حيث تكون القيمة 23 ‰ والتي تدل على أن بخار ماء البحر المتوسط لكل هذه البلدان هو المصدر المسيطر للأمطار. وجد أن محتوى التريتيوم في الأمطار يتزايد مع المسافة اعتباراً من الشاطىء (5.3 وحدة تريتيوم TU في محطة طرطوس الشاطئية و8.8 TU في محطة تدمر القارية). يدل انخفاض محتوى التريتيوم وارتفاع محتوى فرط الديتريوم في المحطات الشاطئية بشكل واضح على تأثير مصدر رطوبة الهواء من البحر المتوسط.

الكلمات المفتاحية: نظائر بيئية، أمطار، عوامل مناخية، حوض البحر المتوسط، سورية.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Hydrological Processes.

التحليل المتكامل لنظام الطاقة السوري لأمثلة خيارات التزود باستخدام منهجية MESSAGE

FORMULATING AN OPTIMAL LONG-TERM ENERGY SUPPLY STRATEGY FOR SYRIA USING MESSAGE APPROACH

د. علي حينون، محمد خضر سيف الدين، السموءل المصطفى،
قسم الهندسة النووية

ملخص

تقدم هذه الدراسة تحليلاً متكاملاً لنظام الطاقة السوري بهدف تحديد خيارات التزود الأمثل استناداً إلى معيار التكلفة الأقل الكفيلة بمجابهة الطلب المستقبلي على الطاقة والكهرباء في سورية للعقود الثلاثة القادمة (2003-2030). وقد جرت نمذجة نظام الطاقة الوطني بمختلف مستوياته انطلاقاً من مستوى الطاقة النهائية وانتهاءً بالمصادر الطاقية مروراً بالمراحل الوسيطة وتكنولوجيا التحول الطاقي.

تشير النتائج إلى أن الطلب على الطاقة الأولية سينمو بمعدل وسطي سنوي يقرب من 4.8% ليصل إلى حوالي 68 مليون طن من النفط المكافئ بحلول عام 2030؛ كما تدل خطة التوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي على أن الاستطاعة المركبة ستنمو من 6885 MW عام 2003 إلى حوالي 19500 MW عام 2030. وتوضح معالم استراتيجية التزود بأن نظام الطاقة السوري سيستمر بالاعتماد على الوقود الأحفوري –ممثلاً بالنفط و الغاز– لضمان تلبية احتياجاته من حوامل الطاقة بشكل آمن ومستقر مع لحظ مساهمة محدودة للطاقات المتجددة والطاقة النووية في نهاية فترة الدراسة. من جهةٍ أخرى تشير النتائج إلى ارتفاع نسبة مشاركة الغاز الطبيعي تدريجياً حتى عام 2020، ثم تسجل بعدها تراجعاً مطرداً حتى نهاية فترة الدراسة. وبالنظر لتناقص كميات النفط المستخرجة مع تزايد الطلب الداخلي فمن المتوقع أن تتراجع كميات النفط القابلة للتصدير بحيث تتلاشى بحلول عام 2012، وسيزداد بعدها اعتماد سورية على الطاقة المستوردة بحيث تصل نسبة الاستيراد إلى حوالي 63% من الطلب على الطاقة الأولية لعام 2030. ومن ثم فإن التطور المستقبلي بعيد المدى لقطاع الطاقة في سورية يشير إلى تحدياتٍ كبيرة ستواجه الاقتصاد الوطني. من جهةٍ أخرى فقد أظهرت دراسة الحساسية مدى أهمية معامل التشغيل ومعدل الفائدة بالنسبة لمساهمة المحطات الريحية في عملية التوليد الكهربائية المستقبلية. بالمقابل فقد بينت دراسة الحساسية عدم تأثر مساهمة الخيار النووي في خطة التوسع المثلى لدى زيادة تكاليف الإنشاء العاجلة بنسبة وصلت إلى 85% من القيمة المرجعية.

الكلمات المفتاحية: استراتيجية التزود بالطاقة، البرنامج MESSAGE، الحد الأدنى للتكاليف، مخطط التوسع الأمثل.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Energy, 2010.

انبثاق الرادون من بعض مواد الإكساء المستخدمة في سورية

RADON EXHALATION FROM SOME FINISHING MATERIALS FREQUENTLY USED IN SYRIA

رياض شويكاني، غسان رجا
قسم الوقاية والأمان

ملخص

تُعد مواد البناء أحد المصادر الرئيسية لغاز الرادون في المنازل. لذلك فإن تقدير انبثاق غاز الرادون من هذه المواد سوف يساعد في التنبؤ عن وجود المنازل التي فيها خطر كامن للرادون.

تم جمع عينات من السيراميك والرخام من السوق المحلية. حيث تمت دراسة العلاقة ما بين انبثاق الرادون من هذه المواد ومحتوى الراديوم-226. أظهرت النتائج عدم وجود علاقة بين محتوى الراديوم ومعدل انبثاق الرادون، ولم تتجاوز معدلات انبثاق الرادون الحدود المسموح بها من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية.

بالإضافة لذلك تم تقدير الجرعة السنوية الناتجة من الرادون وأشعة غاما الناتجين من النظائر المشعة الطبيعية الموجودة في السيراميك والرخام عند استخدامهما كمواد إكساء في المنازل، أظهرت النتائج أن الجرعة الإشعاعية لم تتجاوز 20 ميكروسيفرت و35 ميكروسيفرت للرادون وأشعة غاما على التوالي.

الكلمات المفتاحية: مواد البناء، رادون، انبثاق، جرعة إشعاعية.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Radiation Measurements.

انتقال مورثة الـ BCR إلى ناشئ الصبغي 2، حالة جديدة من الابيضاض النقوي المزمن مع انتقال صبغي معقد مختلف وصبغي فيلادلفيا.

BCR TRANSLOCATION TO DERIVATIVE CHROMOSOME 2, A NEW CASE OF CHRONIC MYELOID LEUKEMIA WITH COMPLEX VARIANT TRANSLOCATION AND PHILADELPHIA CHROMOSOME.

د. وليد الأشقر، عبد الصمد وفا، سهير الميداني
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

يشاهد التحام مورثة BCR/ABL النموذجي والمعروف في حادثة الانتقال الصبغي المعقد في 5-8% فقط من حالات الابيضاض النقوي المزمن. نعرض في هذا التقرير حالة ابيضاض نقوي مزمن مترافق مع تبدلات صبغية معقدة لم تلاحظ مسبقاً، وهي انتقال مورثة الـ (BCR) إلى الصبغي الناشئ عن الصبغي 2، بالإضافة لانتقال أربعة صبغيات تشارك فيه المناطق الصبغية التالية : 1p32 و 2q21، بالإضافة لمنطقتي 9q34 و22q11.2 المعتادتين. حددت هذه المناطق باستعمال الوراثة الخلوية الجزيئية.

الكلمات المفتاحية: صبغي فيلادلفيا معقد مختلف، تغيرات BCR/ABL، ابيضاض نقوي مزمن، تبدلات صبغية، وراثة خلوية، تهجين متألق في الموضع.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Oncology Letters*.

تحليل المعايير النوعية لنطاف ستة ثيران تظهر اختلافاً بالقدرة على دعم التطورالجنيني بالزجاج

ASSESSMENT OF SPERM QUALITY PARAMETERS OF SIX BULLS SHOWING DIFFERENT ABILITIES TO PROMOTE EMBRYO DEVELOPMENT IN VITRO

مازن العمر
قسم الزراعة
جوليان مايو، بنجمان فرهيغ، لورنس دوفوان، أيزابل دونه
وحدة العلوم البيطرية - معهد علوم الحياة – الجامعة الكاثوليكية- لوفان -بلجيكا

ملخص

أجريت تجارب لمعرفة المصادر المحتملة للاختلاف بين ستة ثيران تظهر نسباً مختلفة من الأكياس الأرومية بعد عملية الإخصاب بالزجاج. لم يلاحظ أي اختلاف معنوي بنسب الانقسام الأولي ونسب الأجنة في مرحلة 5-8 خلايا، في حين كانت مستويات الأكياس الأرومية مختلفة معنوياً بين الثيران في الأيام 6 و 7 و 8 بعد التلقيح ($P < 0.05$). تراوحت نسب الإخصاب بين 59.5 إلى 79.3 % ($P < 0.05$)، مع عدم وجود اختلاف في حالات تعدد النطاف. تم تحليل نسب النطاف المتحركة والمتحركة بشكل متقدم قبل الفصل بالبركول وبعده. سُجل تأثير إيجابي للبركول على كلا المعيارين ($P < 0.05$) والذي أدى إلى غياب الاختلاف بين الثيران بعد عملية الفصل. جرى تقييم حيوية النطاف وتفاعل الجسم الطرفي العفوي خلال 18 ساعة من التحضين ضمن وسط الإخصاب. لوحظ انخفاض حاد بحيوية النطاف لجميع الثيران بعد ساعتين من التحضين، وفقط 12.6 إلى 21.7 % من النطاف كانت ماتزال حية بعد 18 ساعة من التحضين. على العكس من ذلك، كانت نسب تفاعل الجسم الطرفي منخفضة لخمسة من الثيران الستة (< 15 % عند 18 ساعة تحضين). استنتج من هذه التجارب أن نسبة الإخصاب كانت المعيار الوحيد الذي يظهر بعض الارتباط مع نسب الكيسة الأرومية لجميع الثيران.

الكلمات المفتاحية: تفاعل الجسم الطرفي، نظام CASA، إخصاب.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Reproduction, Fertility and Development*.

عزل سلالتين فطريتين جديدتين منتجتين لأنزيم الكسيلاناز وتعريفهما

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF TWO NEW FUNGAL STRAINS FOR XYLANASE PRODUCTION

ياسر بكري

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ماسون ماكالي، فيليب تونارت

المركز الوالوني للصناعات البيولوجية، وحدة الصناعات الحيوية، كلية جامبلو الجامعية للعلوم الزراعية، جامبلو، بلجيكا

ملخص

تُعرف الفطور بقدرتها على إفراز الأنزيمات في البيئة. كان الهدف من هذا العمل تقييم إنتاج الكسيلاناز من الفطور المعزولة من التربة. جرت غربلة 136 عزلة فطرية من أجل إنتاج الكسيلاناز. تم تحديد هوية العزلتين الفطريتين الأعلى إنتاجية لأنزيم الكسيلاناز FSS117 وFSS129 اعتماداً على تحليل التسلسل النيوكليوتيدي للمورثة 5,8S. كان النوع الوراثي الأقرب، وفقاً لتحليل المورثة 5,8S، لكلا العزلتين الفطريتين Aspergillus tubingensis و Aspergillus terreus على التتالي. كان إنتاج أنزيم الكسيلاناز من العزلة الفطرية Aspergillus terreus FSS129 113 و 174 وحدة/مل، وذلك عند استخدام كسيلان البتولا وأغلفة أكواز الذرة كمصادر كربونية في الزراعة المغمورة لمدة 5 أيام على التتالي. كان مردود إنتاج أنزيم الكسيلاناز من العزلة FSS129 أعلى بمرتين تقريباً من الإنتاجية المثلى الواردة في المراجع العلمية. كانت درجة الحموضة المثلى لنشاط أنزيم الكسيلاناز المنتج من العزلة الفطرية FSS129 8 في حين كانت درجة الحرارة المثلى 65 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: Aspergillus tubingensis، Aspergillus terreus، كسيلاناز، زراعة مغمورة.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Applied Biochemistry & Biotechnology*.

فعل الخفض الضوئي لبولي (إيتيل أسيتيلين كربوكسيلات)

OPTICAL LIMITING ACTION IN POLY (ETHYLACETYLENECARBOXYLATE)

د. عبد الوهاب علاف، محمد درغام زيدان، علي الزير، دلال الناعمة، أحمد اللحام، د. زكي العجي.

قسم الكيمياء

ملخص

دُرس فعل الخفض الضوئي لبولي (إيتيل أسيتيلين كربوكسيلات) المنحل في ثنائي كلور الميتان وذلك بالتشعيع بليزر نبضي بتواتر 8 نانوثانية عند طول موجة 532 نانومتراً. جرت قياسات الخفض الضوئي على تراكيز مختلفة من هذا البوليمير بالمحل ثنائي كلور الميتان. كانت عتبة الكثافة الطاقية في التراكيز العالية عند 5 J/cm^2 مع نفوذية تقدر بنحو 20%. لم يلاحظ فعل الخفض الضوئي عند التراكيز المنخفضة جداً في محلول ثنائي كلور الإيتان، مما يؤهل البولي (إيتيل أسيتيلين كربوكسيلات) ليكون مخفضاً ضوئياً في تطبيقات مستقبلية.

الكلمات المفتاحية: خفض ضوئي، بوليمير، إيتيل أسيتيلين كربوكسيلات. بولي (إيتيل أسيتيلين كربوكسيلات).

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Revue Roumaine de Chimie, 2010*.

كفاءة طرائق معلمات الـIRAP و ITS-RFLP في تقصي التباين الوراثي للممرض Pyrenophora graminea

EFFICIENCY OF IRAP AND ITS-RFLP MARKER SYSTEMS IN ACCESSING GENETIC VARIATION OF PYRENOPHORA GRAMINEA

عماد الزين، محمد جوهر، د. محمد عماد الدين عرابي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

جرى تحديد فائدة المعلمات الجزيئية IRAP (العناصر المتناقلة ذات التعددية الشكلية المضخمة) و ITS -RFLP (الفراغات البينية المستنسخة المضخمة والمقيدة للدنا الريبوزومي) في تحليل 39 عزلة من الممرض Pyrenophora graminea. تمكنت كل طريقة معلم جزيئي من التمييز بين جميع العزلات عبر كشف التعددية الشكلية، وذلك على الرغم من تباين كفاءتها. أنتج كلٌ من IRAP و ITS-RFLP على التوالي 85% و 77% شدفاً ذات تعددية شكلية، وتطابقاً بمتوسط محتوى معلوماتي للتعددية الشكلية (PIC) تراوح ما بين 0.38 و 0.36. كان معدل مؤشر الجزيئي للمعلم الجزيئي IRAP (2.41) أعلى من ITS-RFLP (1.50). من ناحية أخرى، كانت الطبيعة النوعية للبيانات (QND) أعلى لدى المعلم ITS-RFLP (0.169) من المعلم IRAP (0.093). على أي حال، كان الارتباط بين قوالب التشابه معنوياً ($r = 0.34, P<0.05$). تقترح هذه النتائج دمج كلا المعلمين عند استخدامهما في تحليل شجرة القرابة الوراثية. تبعاً لمعرفتنا، تعد هذه الدراسة هي الدراسة الأولى التي تقوم على مقارنة هاتين الطريقتين المتطورتين من معلمات الدنا.

الكلمات المفتاحية: الفطر Pyrenophora graminea، المعلم الجزيئي IRAP، فراغات بينية مستنسخة، الدنا الريبوزومي.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Genetics & Molecular Biology*.

تزامن الطور في وصلات جوزفسون الشوشية المتبادلة الاقتران: تأثير اللاتناظر والترددات غير المتناسبة

PHASE SYNCHRONISATION IN MUTUALLY COUPLED CHAOTIC JOSEPHSON JUNCTIONS: EFFECT OF ASYMMETRY AND INCOMMENSURATE FREQUENCIES

د. سمير الخواجة
قسم الفيزياء

ملخص

جرت في هذه الورقة مزامنة وصلتي جوزفسون مقترنتين من نمط راتشيت ratchet خاضعتين لحقل شبه دوري quasiperiodic. ضمن حدود الاضطراب الضعيف بترددات صماء irrational تساوى الجذر التربيعي للعدد السامي π حيث يتحقق قفل طوري phase locking من أجل معاملات تخامد صغيرة مع ازدياد الاقتران بين كلتا الوصلتين. تبينَ أن الانتقال من حالة شوشية غير متزامنة إلى أخرى متزامنة لا يشمل ظهور جاذبات attractors أو اختفاءها، حيث يُظهِر تحليل التناظر المتبع للجملة كبح التأرجحات الكبيرة في الطور مع ازدياد الاقتران مما يسمح بحصول تزامن الشوش chaos synchronisation بين الوصلتين. وتشير الحسابات أيضاً إلى دوام الحالة المتزامنة من أجل شدات اقتران مرتفعة مع الأخذ بالحسبان خصوصية التناظر و المؤثر الخارجي والكمون.

الكلمات المفتاحية: تزامن الشوش، وصلة جوزفسون من نمط راتشيت، الهزازات المقترنة.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Acta Physica Polonica B*.

اصطناع أكاسيد المنغنيز وسيليكات الأنتموان ودراسة تطبيقها لامتصاص الثوريوم-234

Synthesis of manganese oxides and antimony silicates and their applications to take up Thorium-234

د. لينا العطّار، يوسف بدير
قسم الوقاية والأمان

ملخص

اختُبِرَت قدرة كلٍّ من مبادلات البرنسايت (أُكسيد المنغنيز الطبقي) وسيليكات الأنتموان وأشكالهما الكاتيونية لامتصاص الثوريوم، باستعمال طريقة الدفعات. أُجريت تجارب الامتصاص على تراكيز مختلفة من حمض الآزوت ومحاليل نترات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم، وذلك بهدف تحديد تأثير وجود مثل هذه الكاتيونات الموجودة في محاليل النفايات. جرى التعبير عن النتائج بدلالة معامل التوزّع. وقد مكّنت المعاملات الخطّية لمنحنيات اللوغاريتم العشري للنتائج من شرح ميكانيكية التبادل. عُزِيَ الفرق في معدل وآلية امتصاص الثوريوم على المبادلات المدروسة إلى تغيُّر في البُنى الهيكلية للمواد، إضافةً إلى كيمياء نظير الأكتنيد المدروس في الأوساط المائية. توسّع العمل ليشمل التحري عن تأثير درجة حموضة محلول الثوريوم في التحكّم بعملية الامتصاص.

برهن الشكل الهدروجيني لسيليكات الأنتموان أنه الأفضل في محاليل حمض الآزوت المختلفة. كما سهّلت البنية الطبقية المميهة للبرنسايت حركة الكاتيونات في الطبقة الداخلية له وفق حركية سريعة مع تغيّرات بنيوية طفيفة، الأمر الذي جعل هذه المادة ذات أهميّة فائقة لتبادل وكبح الكاتيونات في الأوساط الملحية. بينت النتائج أيضاً أن لأيون البوتاسيوم التأثير الأكبر وللكالسيوم التأثير الأقل على انتقائية البرنسايت للثوريوم، عند تواجدها كأيونات منافسة في المحلول. وبشكل معاكس، فإن أيونات الكالسيوم قد ثبّطت بشكل جليّ السلوك الامتصاصي لسيليكات الأنتموان ذات الشكل الكالسيومي تجاه الثوريوم. وأظهرت دراسة تأثير درجة حموضة محلول الثوريوم التغيّرات الميكروبلّورية التي جرت للبرنسايت أثناء القيام بالتجارب.

الكلمات المفتاحية: برنسايت، سيليكات الأنتموان، ثوريوم، امتصاص، تبادل أيوني، معالجة النفايات.

تحاليل الصيغة الصبغية للابيضاض النقوي المزمن والحاد

Karyotype Analysis of Chronic and Acute myeloid

د. وليد الأشقر
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

استقبل مختبرنا عيّنات نقي عظم لمرضى مصابين بابيضاض نقوي مزمن CML، أو الذين يبدون علامات المرض السريرية محولة من مختلف مشافي القطر وعيادات الأطباء الخاصة، استنبتت خلايا نقي العظم وسط معقم باستعمال وسط استنبات صُنعي مركب لمدة 23 ساعة بدون محرض انقسامي، وأخضعت هذه العيّنات لمراحل تثبيت مختلفة بهدف الحصول على انقسامات خلوية، درست من الناحية الوراثية الخلوية بطريقة التعصيب التربسيني بعصائب GTG ولونت بالغيميزا للكشف عن وجود التبدلات الصبغية المرافقة لهذا المرض (صبغي الفيلادلفيا، الانتقال بين الصبغيين بعصائب 9 و 22 أو تبدلات مرافقة)، كما طبق عليها تقانة التهجين المتألق في الموضع FISH باستعمال مسابر الـ DNA المميزة للابيضاض النقوي المزمن والحاد. وسجل للعيّنة الواحدة 10-20 انقساماً خلوياً باستعمال ماسح الانقسامات الأوتوماتيكي، وأعطي لكل مريض نتيجة مع صورة توضح حالته المرضية. نقدم في هذا التقرير دراسة إحصائية بعدد ونتائج الحالات المسجلة في كلّ عام.

الكلمات المفتاحية: طابع نووي، ابيضاض نقوي مزمن، ابيضاض نقوي حاد، شذوذات صبغية، تقانة تألق التهجين في الموضع.

تحديد معاملات تصحيح الفعالية والتوهين في قياسات مطيافية غاما للعيّنات الكبيرة اعتماداً على الإشعاع الذاتي

Efficiency and Attenuation Correction Factors Determination in Gamma Spectrometric Assay of Bulk Samples Using Self Radiation

د. خالد حداد، راتب البيات
قسم الهندسة النووية

ملخص

تُشكِّل مطيافية غاما أهم الوسائل وأقدرها لقياس نشاطات المواد المشعّة. و يُعدُّ تحديد معاملات تصحيح الفعالية والتوهين الذاتي من أصعب المشاكل التي تواجه تحليل غاما الطيفي للعيّنات الكبيرة. قُدِّمت في هذا العمل طريقة جديدة تجريبية سهلة لتحديد معاملات تصحيح الفعالية والتوهين الذاتي للعيّنات المشعّة الكبيرة المتجانسة اعتماداً على إشعاعها الذاتي. كما قُدِّمت دراسة تجريبية لتابعية معامل التوهين الذاتي لسُمْك العيّنة والتطبيقات العملية لنتائج هذه التابعية. أُجري العمل على عيّنات كبيرة من النورم النفطي ونترات اليورانيل. تطابقت عملياً نتائج الطرق المقدَّمة مع نتائج الطرق التقليدية.

الكلمات المفتاحية: مطيافية غاما، معامل تصحيح، عيّنة كبيرة، فعالية، توهين ذاتي.

معايرة الكواشف الهلامية لقياس الجرعات الإشعاعية المتوسطة ومقارنتها بالطرق المرجعية التقليدية

Standardization of gel detectors for measuring medium radiation doses in comparison with traditional reference methods

د. ممدوح برو، ميساء الزحيلي
قسم الوقاية والأمان

ملخص

تمَّ اقتراح تقنيات مختلفة من المقاييس الهلامية للجرعة كوسيلة لإجراء قياسات ثلاثية الأبعاد لتوزع الجرعة. اقترحت المقاييس الهلامية للجرعة من أجل قياسات الجرعة العلاجية والتي تكون فيها معايرة التقنية المستخدمة في قياس الجرعة من المتطلبات الأساسية لتحقيق تطبيقات عملية دقيقة. إن معايرة نظام قياس الجرعة يتطلّب إيجاد طريقة لمعايرة كلّ نوعٍ من هذه المواد الهلامية. هدف هذه الدراسة تعيين الناتج الكيميائي للمقياس الهلامي المتلون بالإشعاع (FXG) «أمونيوم كبريتات الحديدي والهلام البرتقالي». باستخدام بروتوكول قياس الجرعة في الماء [1]، تمَّت أولاً معايرة الحقل الإشعاعي، بعدها تمّت معايرة مقياس الجرعة العياري فريكي السائل. قيمة الناتج الكيميائي التي حصلنا عليها للفريكي هي $G(Fe^{3+})= 1.63\times10^{-6}$ [mol. J^{-1}]. أخيراً، تمّت معايرة مقياس الجرعة FXG استناداً للفريكي العياري السائل قبل حساب الناتج الكيميائي للنظام ومقارنته مع الناتج الكيميائي لنظام الفريكي. تُظهر النتائج أن $G(FXG)= 5832.18$ [m2.j-1]=17×εG(Fricke). مقارنةً مع نظام الفريكي، فإن مقياس الجرعة FXG يتمتع بحساسية أعلى. إضافةً إلى ذلك، تمَّت دراسة قابلية الإعادة للنظام وتقدير الارتياب المركب في الجداء εG والذي كانت قيمته التقديرية 6% عند مستوى وثوقية 95%. من جهة أخرى، تبيّن أنه لتحسين خصائص مقياس الجرعة FXG ولتحسين دقته في قياس الجرعة الإشعاعية ينبغي إجراء تصنيع محدد وموثق، وطريقة معايرة دقيقة، وتقنية جيدة للقراءات الضوئية بالإضافة إلى الاختيار الدقيق للمواد الكيميائية الفعّالة.

الكلمات المفتاحية: كاشف كيميائي، الناتج الكيميائي $G(Fe^{3+})$، الجرعة الممتصة في الماء D_w.

عزل سلالات فطرية من البيئة السورية ودراسة إمكانيتها لإنتاج أنزيم الكسيلاناز

Isolation and screening of fungus strains from Syria environment and study their potential for xylanase production

د. ياسر البكري
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

كان الهدف من هذا العمل هو عزل فطور من الترب السورية وتقييمها من حيث إنتاج أنزيم الكسيلاناز. جرى عزل 136 عزلة فطرية من الترب السورية ودراسة قدرتها على إنتاج أنزيم الكسيلاناز. تمّ تحديد هوية العزلتين الفطريتين الأعلى إنتاجية لأنزيم الكسيلاناز FSS117 وFSS129 اعتماداً على تحليل التسلسل النيوكليوتيدي للمورثة 5,8S. كان النوع الوراثي الأقرب وفقاً لتحليل المورثة 5,8S لكلتا العزلتين الفطريتين Aspergillus tubingensis وAspergillus terreus على التتالي. عند استخدام كسيلان البتولا وأغلفة أكواز الذرة كمصادر كربونية في الزراعة المغمورة لمدة 5 أيام، كان إنتاج أنزيم الكسيلاناز من العزلة الفطرية Aspergillus terreus FSS129 113 و 174 وحدة/مل على التتالي. كان مردود إنتاج أنزيم الكسيلاناز من العزلة FSS129 تقريباً أعلى بمرتين من الإنتاجية المثلى الواردة في المراجع العلمية. كانت درجة الحموضة المثلى لنشاط أنزيم الكسيلاناز المنتج من العزلة الفطرية FSS129 هي 8، في حين كانت درجة الحرارة المثلى 65 درجة مئوية.

الكلمات المفتاحية: فطور، أنزيم الكسيلاناز، زراعة مغمورة.

دراسة النشاط الإشعاعي وتراكيز بعض العناصر النزرة في الإسفنجيات المنتشرة على طول الشاطئ السوري

Radioactivity and concentration of some Trace elements in sponges distributed along the Syrian coast

د. محمد سعيد المصري، سامر ماميش، محمد عبد الحليم
قسم الوقاية والأمان

ملخص

جرت في هذا البحث دراسة النشاط الإشعاعي الطبيعي والصنعي (^{210}Po و ^{210}Pb و ^{40}K و ^{137}CS و ^{234}U و ^{238}U) وتراكيز بعض العناصر النزرة (Pb و Cd و Cu وZn) في سبعة أنواع من الإسفنجيات الأكثر انتشاراً وتوزعاً على طول الشاطئ السوري، جُمعت من أربع محطات موزعة على الساحل السوري: البسيط واللاذقية وبانياس وطرطوس. تمّ حساب معامل التركيز CF (Concentration Factor) لأهم النكليدات المشعة وبعض العناصر النزرة بهدف تحديد الأنواع التي يمكن اعتمادها كمشعرات حيوية لهذه النظائر المشعة والعناصر النزرة.

الكلمات المفتاحية: نكليدات مشعة طبيعية وصنعية، عناصر نزرة، إسفنجيات، شاطئ سوري، مؤشرات حيوية، معامل التركيز.

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 131

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Dirctor General of A.E.C.S

Editing Committee

(Editors In-chief)

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Ka'aka

(Members)

Prof. Dr. Haj Saeed

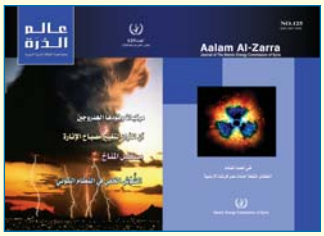
Prof. Dr. M. Hamo-leila

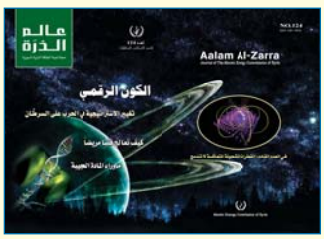
Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F.Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin





Aalam Al-Zarra

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

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

http://serversmiso.aecs.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية