عالم الذرّة

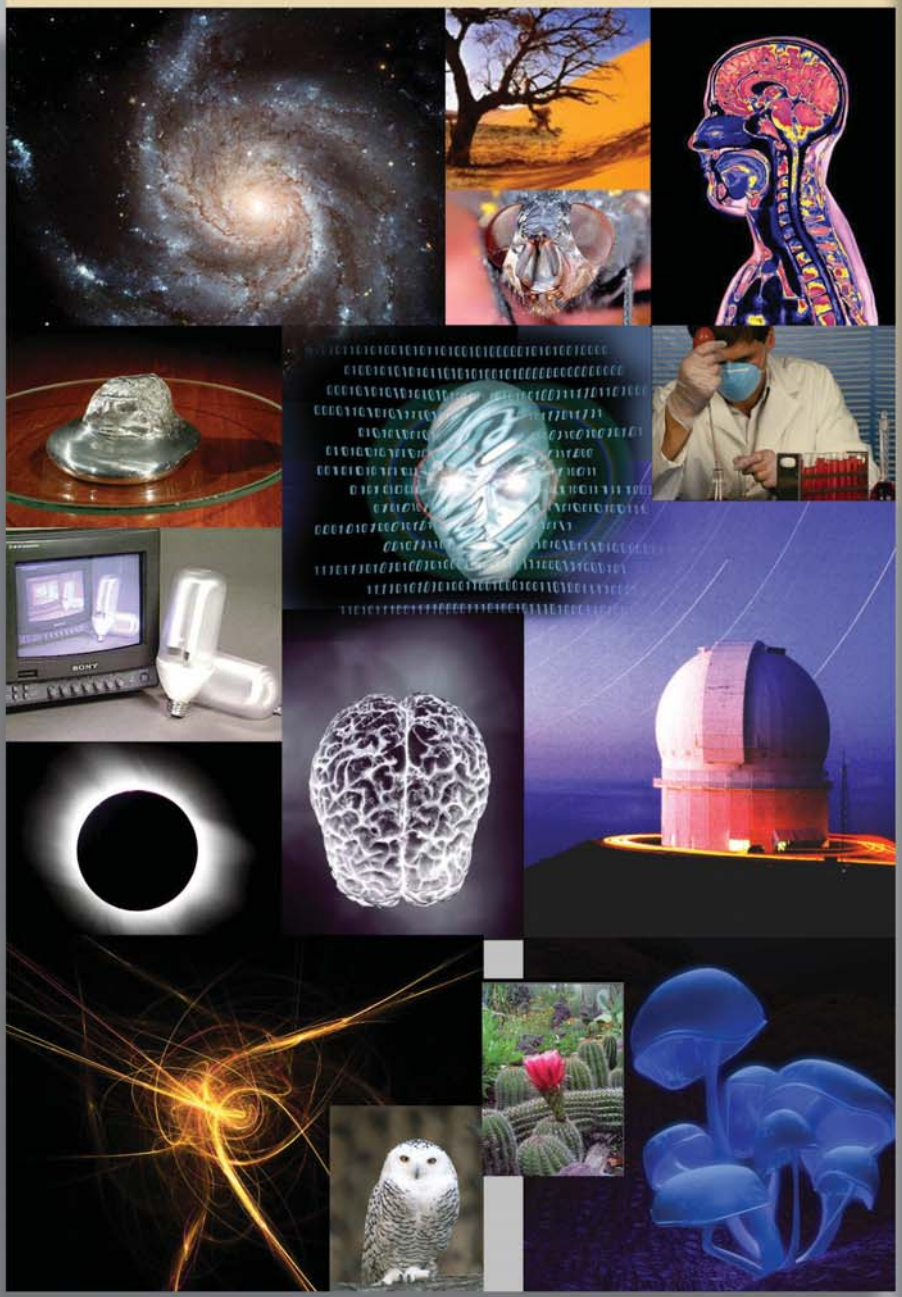
مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

NO. 124

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 كردعلي

أ. د. توفيق ياسين

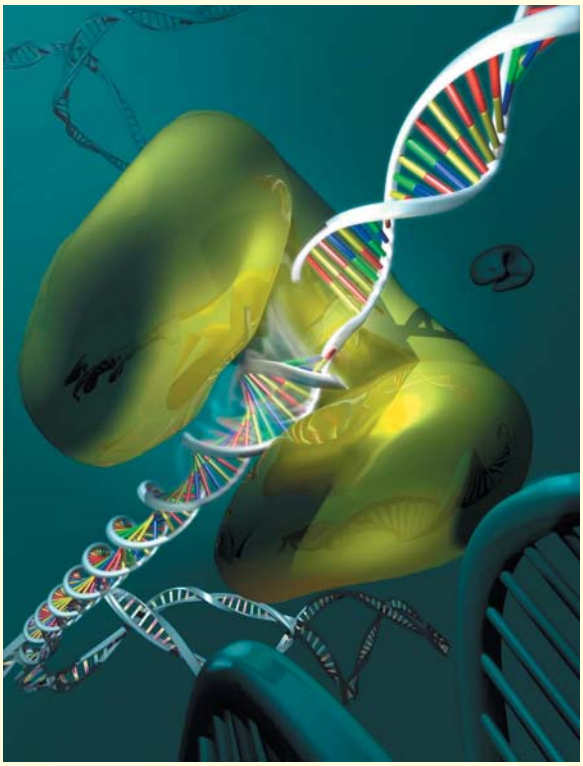
المحتويات

مقالات

7 **الكون الرقمي**

إمكانية حل لغز الثقالة الكمومية بأدوات المعلوماتية والحوسبة.

س. لويد



16 **ما وراء المادة العجيبة**

تمخّضت عن الخواص الرائعة للغرافين –وهي صفيحة سمكها ذرّة واحدة من الكربون تمَّ عزلها لأول مرة عام 2004– موجة من الاكتشافات في الفيزياء الأساسية. بيد أن ابن عمه الكيميائي الجديد، وهو الغرافان، يمكن أن يثبت مع ذلك أنه أكثر روعة.

ك. نوفوزيلوف

21 **التطورات الحديثة والاتجاهات البازغة في إشارات الهرمونات النباتية**

آ. سانتنير، م. إستيل

أخبار علمية

32 **تغيير الاستراتيجية في الحرب على السرطان**

35 **إلى أي مدى سيصل عنف انتشار الأنفلونزا**

38 **أكثر من مجرد أمنيات**

40 **نظرة جديدة في فيزياء الجسيمات**

42 **إعادة النظر في رسائل الغازات النبيلة**

44 **تخطيط مسار التحفيز**

45 **كيف نعالج قلباً مريضاً**

47 **اتفاق تعاون في مجال الطاقة الكهرنووية**

إطلالة علمية

50 **الألماس**

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

ملخصات ورقات البحوث

59 حساب التدفق النتروني الحراري والسريع في مفاعل البحث السوري منسر باستخدام الكود MCNP-4C

59 التغيّرات النسخية في تآثر الشعير والمرض Cochliobolus sativus

60 أمثلة تصميم العاكس في المفاعل السوري منسر

60 توزعات التدفق النتروني الفراغي في مفاعل البحث السوري منسر لأربع مجموعات طاقية باستخدام الكودات WIMSD4 و CITATION

61 تأثير إضافة مسحوق الكربون على خواص البيتون الهيماتيتي المستخدم في التدريع الإشعاعي

61 نمذجة إصدار ليزر EMBED Equation.DSMT4 المضخوخ بديود ليزري والمزود بمفتاح الجودة المنفعل GaAs ومضاعف تواتر KTP بداخل التجويف اللّيزري

62 إنشاء نموذج فوكسل لفأرة لاستعماله في حسابات الجرعة الداخلية بطريقة مونت-كارلو (MCNP)

62 دراسة المقاومة للنحاس والحساسية للستربتومايسين لدى عزلات محلية من بكتريا Erwinia amylovora

ملخصات تقارير علمية

63 استخدام تقانات النظائر البيئية في تقييم موارد المياه الجوفية في منطقة الجزيرة السورية العليا

63 الدم والإمراضية الدموية

64 النباتات والمجتمعات النباتية الملحية والمتحملة للملوحة في سورية

64 انبثاق الرادون من بعض مواد الإكساء المستخدمة في سورية

65 تقييم بعض أصول الكرمة وأصنافها لتحمل الجفاف في الزجاج

65 دراسة مرض اللفحة النارية في بعض أشجار الفاكهة في سورية

66 دراسة إمكانية استخدام مقياس الجرعة الهلامي FXG في كشف الأشعة فوق البنفسجية

66 دراسة مقارنة لمقدرة رحلان بروتينات التخزين بطريقتي A-PAGE و SDS-PAGE وتقنيتي الدنا المعتمدتين على الـ PCR: RAPDs و ISSRs في الكشف عن علاقات القرابة الوراثية بين أنواع الـ L. Triticum والـ Aegilops L.

67 دراسة اللونانية في أفلام بوليميرية لاخطية

67 تعيين قيم الوفرة الطبيعية لنظائر الآزوت ^{15}N والكربون ^{13}C في عدد من الأشجار والشجيرات المثبتة وغير المثبتة للآزوت الجوي

إرشادات منشودة إلى المشاركين في المجلة

حول علامات الترقيم وبعض الحالات الأخرى عند كتابة النصوص باستخدام الحاسوب

بقلم أ. د. زياد القطب

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

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

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

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

البند الأول

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- مثال: أين ذهبت المادة المضادة بكاملها؟

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

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

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

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

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

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

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

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

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

- مثال: – المقدمة.

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

- مثال: مركبات عضوية–معدنية.

وكذلك توضع بين رقمين.

- مثال: انظر المراجع 161-154.

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

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

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

- مثال: نيسان/أبريل.

البند الثاني (حالات أخرى):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

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

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

E-mail: tapo@aec.org.sy

ISSN 1607-985X

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 17نيسان

-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

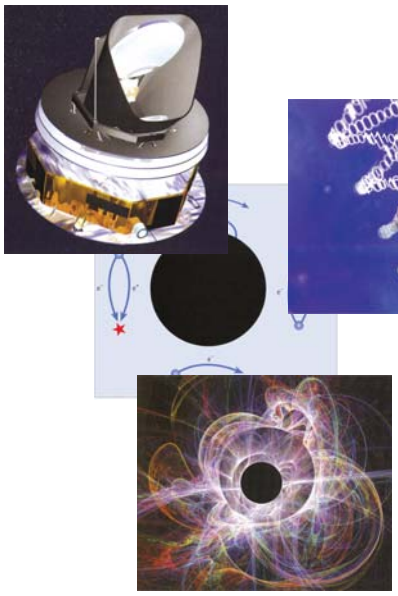
سوريا : 50 ل.س مصـر : 3 جنيهات لبـنان : 3000ل.ل الجزائر : 100 دينار

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

الإعلانات

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

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



الكون الرقمي

*ينظر سِثْ لويد **Seth Lioyd** إلى إمكانية حل لغز الثقالة الكمومية بأدوات المعلوماتية والحوسبة.*

الكلمات المفتاحية: ثقالة كمومية، حد هندسي كمومي، إشعاعات هاوكينغ، مبدأ الهولوغرافيا، حوسبة كمومية، طبيعة رقمية، أفق الحدث.

■ **سث لويد هو مدير مركز نظرية المعلوماتية الكمومية المتطرفة في معهد مساتشوستس للتقانة، في كامبردج بالولايات المتحدة.**

في عصر You Tube وغوغل Google، أصبحت المعلوماتية مفتاح كل شيء. فمنذ أن بنيت الحواسيب الرقمية التي عملت أول مرة في أواسط القرن العشرين، مرّت قدرتها الحوسبية بطفرات ووثبات إلى حدٍّ أن قدرة معالجة المعلومات للحواسيب كافةً على سطح البسيطة أصبحت تقارن، من بعض الأوجه، بقدرة معالجة المعلومات لكل سكان العالم.

إن المعلوماتية والحوسبة ليستا فقط ظاهرتين اجتماعيتين وتقنيتين. فالمعلوماتية تهجع في قلب قانون الفيزياء. والمقدار الفيزيائي المسمى الإنتروبية هو في الحقيقة معلومات عن الحركات المجهرية للمادة، فكل ذرّة وجسيم عنصري يحمل معه بتّات من المعلومات. وعندما يتصادم جسيمان، تتقلّب هذه البتات، وإلى الحد الذي يمكن معه فهم أي عملية فيزيائية، يمكن فهم هذه العملية بلغة التفاعل بين المعلومات/الإنتروبية والطاقة.

وعلى كل حال، ليست كل العمليات الفيزيائية مفهومة. فالميكانيك الكمومي يدرس سلوك المادة في مقاييس صغيرة. والنسبية العامة تصف سلوك المادة في مقاييس كبيرة. وإن ضمّ الميكانيك الكمومي والنسبية العامة بطريقة مناسبة هو إحدى المعضلات الأساسية الرائعة في الفيزياء، برغم الحقيقة بأن كلتا النظريتين قد صيغتا قبل نحو قرنٍ مضى.

نظرة خاطفة: المعلومات الكمومية والثقالة الكمومية

- يمكن فهم أي عملية فيزيائية بعبارات التفاعل بين المعلوماتية/الإنتروبية والطاقة. ومن المعقول استكشاف ما إن كان باستطاعة نظرية المعلوماتية إلقاء الضوء على معضلة توحيد الميكانيك الكمومي والنسبية العامة.
- إن أحد أهم مضامين الميكانيك الكمومي هو أن الطبيعةَ رقميةٌ بشكل أساسي.
- يمكن أن يعبر عن الخاصيات المعروفة للثقالة الكمومية كمبدأ الهولوغرافيا (التصوير التجسيمي) وإشعاع هاوكينغ والحد الهندسي الكمومي بدلالة المعلوماتية.
- وهذا يقترح صورة حوسبية للكون –يتألف الكون من معلومات/بتات واقعة في الفضاء وأحداث/انقلاب البتات التي تحدث في الزمكان space-time.
- في نظرية الثقالة الكمومية المصاغة من مبادىء المعلوماتية، حيث تذهب البتات وكيف تنقلب لتولد الهندسة، والعلاقات الداخلية بين البتات الكمومية تؤدي إلى تأثرات بين الجسيمات العنصرية.

نُشر هذا المقال في مجلة Physics world, Vol 21, 11 November 2008، ترجمة د. مصطفى حموليلا، عضو هيئة التحرير.

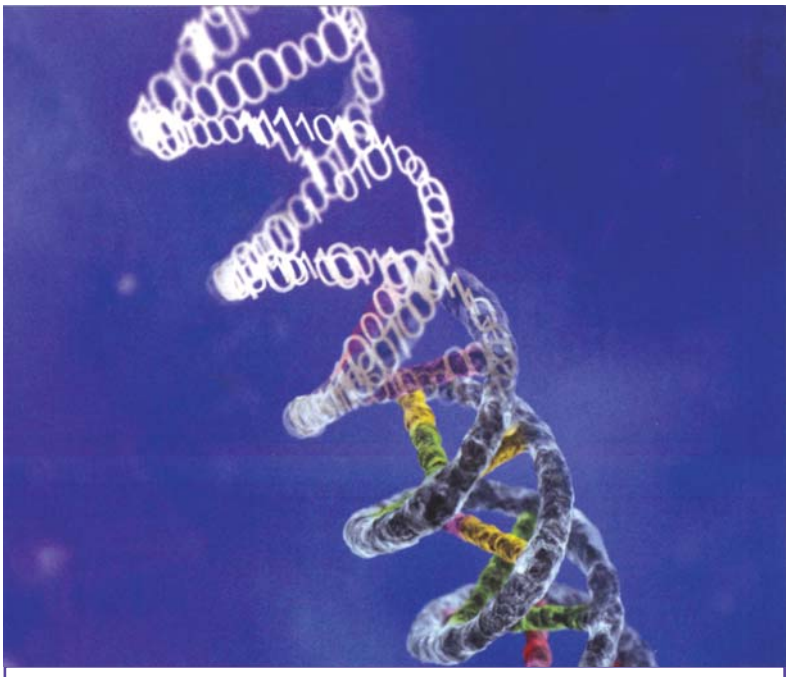
وإذا أخذنا في الحسبان مقدرة فكرة المعلوماتية في الفيزياء، فمن المعقول تفحص ما إن كانت تقانات نظرية المعلوماتية في مقدورها إلقاء الضوء على معضلة ضم الميكانيك الكمومي إلى الثقالة والنسبية العامة. ففي السنوات الخمس عشرة الأخيرة مكننا ظهور نظرية المعلومات الكمومية من فهم كثيرٍ من مظاهر الثقالة الكمومية بعبارات المعلوماتية، سواء استطعنا بناء نظرية كاملة للثقالة الكمومية، بعباراتِ المعلوماتية الكمومية، أم لا، وسيبقى ذلك رهن المستقبل وعلينا الانتظار.

المعلوماتية والإنتروبية

إن الصياغة الأساسية لنظرية المعلوماتية تطورت في الجزء الأخير من القرن التاسع عشر على أيادي الفيزيائيين الإحصائيين الكبار: جيمس كلارك ماكسويل James Clerk Maxwell، ولودفيك بولتزمان Ludwig Boltzmann وجوسيا ويلارد جيبس Josiah Willard Gibbs. وكان هؤلاء الباحثون يحاولون تطوير صيغةٍ رياضياتية للمقدار الفيزيائي المعروف بالإنتروبية. إن الإنتروبية والطاقة هما المقداران الأساسيان في الترموديناميك، وهي النظرية التي توضح السلوك الماكروي (الماكروسكوبي) للمادة. وما اكتشفه ماكسويل، وبولتزمان وجيبس هو أن الإنتروبية هي في الحقيقة معلوماتية.

غالباً ما توصف الإنتروبية على أنها مقياس لمقدار الاضطرابات المجهرية (الماكروسكوبية) في نظام فيزيائي مثل الغاز. ولتقدير هذه الفوضى، بيّن ماكسويل، وبولتزمان وجيبس أن الإنتروبية S، تتناسب مع لغاريتم عدد الحالات المجهرية للذرّات في الغاز، W. وإن العبارة المحدّدة للإنتروبية، وهي $S = k\log W$، منقوشة على ضريح بولتزمان. وتسمى k ثابتة بولتزمان، وهي تربط المقياس الحسابي الصرف للإنتروبية مع مقياس الإنتروبية في الترموديناميك بدلالة الطاقة المنسوبة إلى درجة الحرارة الواحدة (dQ/T). (ومن سخرية القدر فإن هذه العلاقة الخاصة للإنتروبية، مع القيمة الحسابية للثابتة k، التي هي $1.38 \times 10^{-23}JK^{-1}$، قد وجدها أول مرة ماكس بلانك، ولكنها كتبت في مكان آخر على شاهدة ضريح بولتزمان. على كل حال بولتزمان لم يكن في وضع للاعتراض).

وفيما بعد، في القرن العشرين، بدأ الباحثون مثل هاري نيكويست Harry Nyquist، ورالف هارتلي Ralph Hartley وكلود شانون Claude Shannon بتطوير النظرية الرياضية الرسمية



كتاب الحياة إن المعلومات الوراثية هي واحدة من أبدع العبارات عن الطبيعة الرقمية للكون.

للمعلوماتية، وتبين لهم أن أي منظومة فيزيائية (جملة فيزيائية) يمكن أن تسجل $I = \log_2 W$ بتة من المعلومات. فمثلاً لنطاق مغنطيسي في القرص الصلب لحاسوبك حالتان ممكنتان –فوق وتحت– وهكذا فكل نطاق يمكن أن يسجل بتة من المعلومات. ونطاقان على هذا النحو لديهما أربع حالات ممكنة، ويمكن أن يسجلا بتتين. وثلاث نطاقات لديها ثماني حالات، يمكن أن تسجل ثلاث بتات وهكذا. وبلغة المعلوماتية، فإن الإنتروبية الترموديناميكية لنظام فيزيائي مثل الغاز تكون مساوية: k/log(2) مضروبة بعدد بتات المعلومات المسجلة بدرجات حرية الغاز المجهرية. فكل ذرّة من الغاز في الجو تسجل بضع عشرات البتات. وذرّات الهيليوم في بالون طفل تسجل نحو عدد أفوغادرو من بتات المعلومات، أي 6.022×10^{23}، وهذا بتقريب أولي لعدد البتات على كل الأقراص الصلبة للحواسيب الموجودة في العالم.

إن الاكتشاف ذا المفعول الرجعي بأن الإنتروبية هي في الحقيقة معلوماتية يعني أن المعلوماتية وديناميكاتها تشكل جزءاً جوهرياً من الكون. فكل جسيم عنصري يحمل بتات من المعلومات. ولكي نفهم كيف يتصرف الكون علينا أن نفهم كيف تتقلب هذه البتات.

المعلوماتية والميكانيك الكمومي

ينص قانون الترموديناميك الأول على أن الطاقة منحفظة،

ويقضي القانون الثاني للترموديناميك بعدم تناقص الإنتروبية، وهذان القانونان يشكلان حجر الأساس في الفيزياء. ولو لم يكن هناك سوى هذين الحجرين الأساسيين لكان صرح الفيزياء غير مستقر إلى حدٍّ ما. ومن حسن الحظ أن هناك حجرين أساسيين آخرين هما الميكانيك الكمومي والنسبية اللذان بانضمامهما إلى القانونين الأول والثاني، يجعلان الفيزياء واحدة من أكثر أشكال المعرفة الإنسانية في الوجود استقراراً ورسوخاً.

لقد اقترح الميكانيك الكمومي رسمياً في العام 1900 ماكس بلانك، الذي كان يحاول فهم الإنتروبية. وعلى وجه الخصوص، ففي الورقة ذاتها التي دوَّن فيها أول مرة الصيغة التي تُشرِّف ضريح بولتزمان، كان يحاول حساب عدد الحالات المجهرية في جملة فيزيائية. والجملة الفيزيائية الخاصة التي كانت في ذهن بلانك كانت ما يسمى إشعاع الجسم الأسود، وهي الأمواج الكهرطيسية التي كان يصدرها جسم ساخن مثل الموقد أو المدفأة. والصعوبة هنا هي أنه على وجه الموقد كانت هذه الأمواج الكهرطيسية تتذبذب عدداً لانهائياً من المرات وبأشكال مختلفة، أي أن القيمة الجليّة لعدد الحالات المجهرية هي اللانهاية.

لقد اقترح بلانك حلاً لهذه المسألة مخالفاً للحدس. وما فكر فيه بلانك، هو ماذا سيقع فيما لو كان الضوء يمتلك، إضافة إلى طبيعته المشابهة للموجة، صفات تشبه صفات الجسيمات أيضاً؟ ماذا لو كان الضوء يَرِدُ قطعاً صغيرة ثخينة، أو كمّات quanta؟ إن مثل هذا الضوء المكمّى سيصبح متقطعاً، في الأساس، وليس مستمراً كما افترض في معادلات مكسويل. ونتيجة لهذا التقطيع أو الاستكمام يصبح لإشعاعات الجسم الأسود عدد محدود فقط من الحالات المجهرية. وقد بين بلانك أنه لو كان الضوء مؤلفاً من جسيمات من الطاقة مساوية لتواتر الضوء مضروباً بثابت بلانك $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js لما غدت الإنتروبية لإشعاعات الجسم الأسود محدودة، لكن تعلقها بدرجة الحرارة سيتلاءم مع نتائج التجارب التي أجريت من قبل. لقد كانت المعلوماتية جزءاً من الميكانيك الكمومي منذ البداية.

إن اكتشاف بلانك يعني ضمناً أن الجمل الفيزيائية تمتلك كمية محدودة من المعلومات: فالجملة التي لها حجم محدد وطاقة محددة يمكنها فقط أن تحتوي عدداً محدداً من البتات. وهذه الطبيعة المتقطعة والرقمية للكون هي أهم ما يتضمّنه الميكانيك الكمومي. وعندما تثبت القوانين الميكانيكية الكمومية التي تتحكم في الجسيمات العنصرية، على سبيل المثال، فإن الطبيعة الرقمية للكون تقتضي إمكانية وجود عدد منته فقط من العناصر: أي إن عدد الذرّات المستقرة المختلفة هو عدد محدود (منته). وبالمثل عندما يثبت عدد العناصر الأساسية، فإن عدداً محدداً فقط من الجزيئات ذو وزن جزيئي محدد. وهذه الطبيعة الرقمية للكون تجد إحدى عباراتها الأكثر أناقة في الشفرة الوراثية: فطاق جديلة الدنا DNA البشرية تحوي بتتين في الزوج القاعدي base pair وتسجل نحو ستة ملايين بتة في أزواجها الأساسية البالغة ثلاثة بلايين زوج. فالمعلومات الوراثية عنك تتسع لها سواقة ومضانية flash drive واحدة سعتها غيغا بايت واحدة.

لا يقتصر الميكانيك الكمومي على جعل الطبيعة رقمية فحسب، بل يجعلها متنوعة غريبة أيضاً. فقد بين بلانك أن الأمواج الكهرطيسية يمكن اعتبارها كما لو كانت مؤلفةً من جسيمات. وبالمثل فإن الجسيمات تبدو مصحوبة بالأمواج التي كانت متعلقة باحتمال إيجاد الجسيمات في الأماكن المختلفة. وهذه "المثّنويّة المؤلفة من الموجة والجسيم" هي في جوهرها تعاكس البديهة: وليس لها مقابل في التجارب الإنسانية العادية. فمثلاً عندما تحوي جملةٌ جسيمين كموميين مثل الإلكترون والبروتون الموجودين في ذرّة الهدروجين، فإن الموجتين المقابلتين للجسيمين تكونان عادة "مشبوكتين entangled" بطريقة غريبة: فإحداهما لا تستطيع قياس سبين الإلكترون دون أن تؤثر حسب الظاهر على سبين البروتون أيضاً. ومن الممكن كذلك توليد فوتونات مشبوكة وإرسالها بعيداً في اتجاهين متعاكسين. وقد أُجري القياسُ، على سبيل المثال، بعد سنة على أحد الفوتونين الذي يبدو أنه أثر في الفوتون الآخر في اللحظة ذاتها، ومع ذلك فإن الفوتونين متباعدان الآن بمقدار سنتين ضوئيتين. وقد سمى آينشتاين التشابك entanglement "بالفعل الشبحي عن بعد" "spooky action at a distance". ومن حسن الحظ، رغم الغرابة ومعاكسة الحدس، فإن التشابك لا يمكن أن يستخدم لإرسال إشارات أسرع من سرعة الضوء، على الأقل في الشروط الفيزيائية الاعتيادية.

وإن الغرابة الكمومية كما هي مجسدة في التشابك ليست صعبة الفهم حدسياً فحسب، بل صعبة المحاكاة أيضاً على الحاسوب التقليدي –وإلى الدرجة التي تمتلك بها الحواسيب التقليدية الحدس، فإن الميكانيك الكمومي ينتهك ذلك الحدس. ففي السنوات الأخيرة، على كل حال، صمَّم الباحثون وبنوا حواسيب كمومية تستطيع بفعالية استثمار التشابك لتنفيذ المسائل التي لا تستطيع الحواسيب التقليدية عملها. هذا وإن الحواسيب الكمومية جيدة تماماً في شيء واحد هو أنها تستطيع محاكاة الجمل الكمومية. وهذا سيؤدي دوراً هاماً في ربط المعلومات الكمومية بالثقالة.

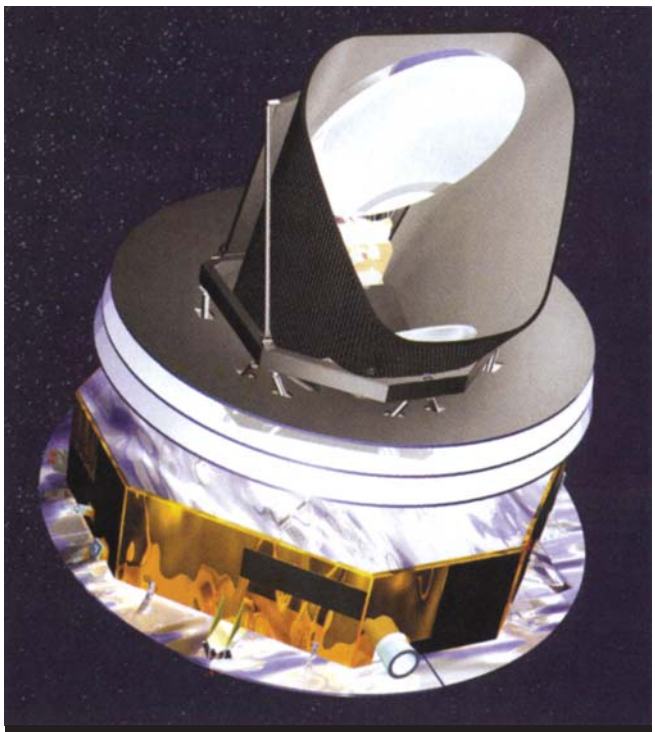
النسبيّة العامة والميكانيك الكمومي

لو كانت نظرية نيوتن في الثقالة صحيحة، لما أحدث الاستكمام الثقالي أية صعوبة خاصة. فالنسخة المكمّاة لجسمين يتفاعلان تثاقلياً ستكون في الأساس هي نفسها كما لو كانت في استكمام ذرة الهدروجين. وعلى كل حال، وكما بين آينشتاين، فإن نظرية الثقالة النيوتنية ليست صحيحة: وعلى وجه الخصوص، فإن النظرية النيوتنية لا تأخذ في الحسبان الانتشار المحدود لسرعة الضوء المتَضَمَّنة في النسبية الخاصة.

لقد أسس آينشتاين نظرية النسبية الخاصة على المطلب بأن قوانين الفيزياء تبدو ثابتة في كل الجمل الإحداثية التي تتحرك في خط مستقيم وبسرعة نسبية ثابتة. ولبناء نظرية ثقالة نسبوية، افترض آينشتاين أن قوانين الفيزياء لها الشكل نفسه في أي جملة للإحداثيات حتى ولو كانت جمل الإحداثيات معقدة كتلك التي تتضمن مراقبين تسارعهم عالٍ. وهذا المطلب لعدم التغير invariance في جملة الإحداثيات العامة، أو ما يسمى "توافق التغير العام" "general covariance" قاد آينشتاين إلى نظرية فيها هندسةُ المكان والزمن بحد ذاتها مقداراً حركياً dynamic quantity: فالمسافات في المكان وكذلك الفترات الزمنية يمكن أن تتغير، وتنحني، وتهتز.

وقد فسَّرت النظريةُ الناتجة من النسبية العامة بنجاح المبادرة الشاذة الملحوظة لأوج مسار كوكب عطارد، وتوقعت كيف سينحني الضوء أثناء مروره قرب الشمس، وقد تأكدت هذه المشاهدة مؤخراً بالرصد أثناء الكسوف الشمسي. ولسوء الحظ، فإن النسبية العامة، برغم أناقتها وصحتها ظاهرياً، لم تثبت خروجها على الاستكمام إلا بصعوبة، إن هناك الكثير من الأسباب التي تبين لماذا لا تمتزج النسبية العامة مع الميكانيك الكمومي (مثل الماء والزيت، كما يقول عدد من الفيزيائيين– مبينين لماذا هُم فيزيائيون وليسو روائيين). وفي النهاية، تبدو المسألة في أن الميكانيك الكمومي هو نظرية للحوادث التي تجري في الزمن: وهو ليس نظرية ديناميكية (تحريكية) للزمن. وفي الحقيقة، فإن الزمن ليس بحد ذاته مقداراً قابلاً للرصد في الميكانيك الكمومي. وإنه من الصعب استكمام الأشياء غير القابلة للرصد.

دعونا ننظر إلى ما يحدث إذا حاول أحدنا وضع الثقالة والميكانيك الكمومي معاً. فالميكانيك الكمومي هام في المقاييس الصغيرة: فمثلاً، إن المقياس الكمومي المترافق مع إلكترون هو 2.43×10^{-12} m. وكلما كبرت الكتلة صَغُرَ هذا المقياس الكمومي. والنسبية العامة هامة عند المقاييس التي تُحْدثُ فيها كثافة المادة انحناءً ملحوظاً في المكان وفي



نظرة إلى الوراء ساتل بلانك الذي أعدّ للإطلاق في العام القادم سيقيس الخلفية الكونية للأمواج المكروية ويحاول رصد تأثيرات الفيزياء على مقياس سلم بلانك.

الزمن. وأكثر الأمثلة تطرفاً على هذا الانحناء هو الثقب الأسود –وهو جسم كثيف إلى درجة أن الضوء لا يستطيع الإفلات منه. ويشكل جسم ما ثقباً أسود عندما يُضغطُ إلى نصف قطرٍ أصغر مما يسمى نصف قطر شوارتز شايلد الخاص به Schwarzschild radius (نسبة إلى الفيزيائي الألماني Karl Schwarzschild)، وهو نصف القطر الذي يتناسب طردياً مع كتلته. (فمثلاً، نصف قطر شوارتز شايلد للشمس يساوي 3 km). وعندئذ يأخذ كل من الميكانيك الكمومي والنسبية العامة دوره، ومن ثم في مقاييس للطول يكون المقياس الكمومي للجزيء هو من نفس مرتبة نصف قطر شوارز شايلد له. ويكون مقياس الطول الناتج 1.616×10^{-35} m، ومقياس الزمن هو 5.391×10^{-44} s ومقياس الكتلة هو 2.176×10^{-8} kg، والتي تشكل معاً مقياس (سلم) بلانك. وهذا هو المقياس الذي تكون عنده النسبية العامة والميكانيك الكمومي هامين كليهما.

يشمل سلم بلانك مسافات صغيرة جداً وكثافات للطاقة عالية جداً، لذلك من الصعب سبرها تجريبياً. ومن الجميل جداً أن الأماكن الوحيدة في الكون التي توجد فيها كثافات للطاقة من مقياس بلانك هي التفرّدات sigularities في مراكز الثقوب السوداء التي يصعب قياسها مباشرة (يستطيع المرء "قياس" هذه التفردات عن طريق

السقوط البسيط في الثقب الأسود، لكن بعدئذ لن يكون من السهل إرسال ما يكتشفه المرء لنشره في Physical Review Letters). ففي اللحظة المبكرة جداً من وجود الكون ربما كانت كثافة الكون كافية لاختبار سلم بلانك، وهي الحالة التي قد يمكننا فيها رصد آثار دينامية لسلم بلانك في البقايا الكونية المتخلفة عن الانفجار العظيم Big Bang. وسيبدأ قريباً ما سمي مرصد ساتل بلانك، الذي ستطلقه في العام القادم وكالة الفضاء الأوربية، بمحاولة سريعة لرؤية هذه الآثار.

إن وجود سلّم بلانك يوحي ببنية حبيبية أساسية للكون. وكما أشار بلانك، فإن الكموم يمكن أن يحمل قدّاً قليلاً من المعلومات؛ ويوفر سلم بلانك حجماً كافياً لأصغر كموم ممكن. وهذا السلم الأصغري يوحي أن الكون يمكن أن يكون من حيث الأساس رقمياً في سلم بلانك. وفي كل الأحوال، لما كان سلم بلانك صغيراً إلى هذه الدرجة، فإن هذا التقطع الجوهري ليس على هذا القدر من التحديد: فلتر واحد من الكوكاكولا ما يزال يحوي أكثر من 10^{100} بتة غوغل googol bits.

الثقوب السوداء وإشعاعات هاوكينغ

من أشهر نتائج دراسة الثقالة الكمومية اكتشاف ستيفن هاوكينغ Stephen Hawking في العام 1974 أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً (Nature 248, 30-31). ففي النسبية العامة التقليدية حيث تتحرك الحقول الكلاسيكية في الزمكان المنحني، لا يهرب شيء من الثقوب السوداء، ولا حتى الضوء. والثقب الأسود يشبه الـ "Roach Motel": فما يدخل فيه لا يخرج. وعندما حلل هاوكينغ سلوك الثقوب السوداء بلغة الحقول الكمومية المتحركة على منحنيات الزمكان، اكتشف أثراً رائعاً: فالثقوب السوداء تشع في الحقيقة، وأكثر من ذلك فإن الإشعاع الصادر من الثقوب السوداء يأخذ شكل إشعاعات جسم أسود كمّاتها quanta ذات طول موجي متوسط من مرتبة نصف قطر ثقوب شوارتز تشايلد.

إن هذا المَعْلَم غير المتوقع سمح لهاوكينغ بتحليل ترموديناميك الثقوب السوداء. وقد سبق لجاكوب بيكنشتاين Jacob Bekenstein أن اقترح أنه يمكن للثقوب السوداء أن تكون مصحوبة بإنتروبية، وأن هذه الإنتروبية يجب أن تكون متناسبة مع مساحة أفق الثقب الأسود (والأفق هو حدود "منطقة اللاعودة للثقب") (1973 Phy. Rev D7 2333-2346). سمح اكتشاف هاوكينغ لإصدار الإشعاع من الجسم الأسود بتعيين درجة حرارة الثقب الأسود. وباستخدام درجة الحرارة تلك، بيّن هاوكينغ بعدئذ أن إنتروبية ثقب أسود كانت في الواقع مساوية لثابتة بولتزمان مضروبة في مساحة الأفق مقسومة على أربعة أمثال مربع طول بلانك.

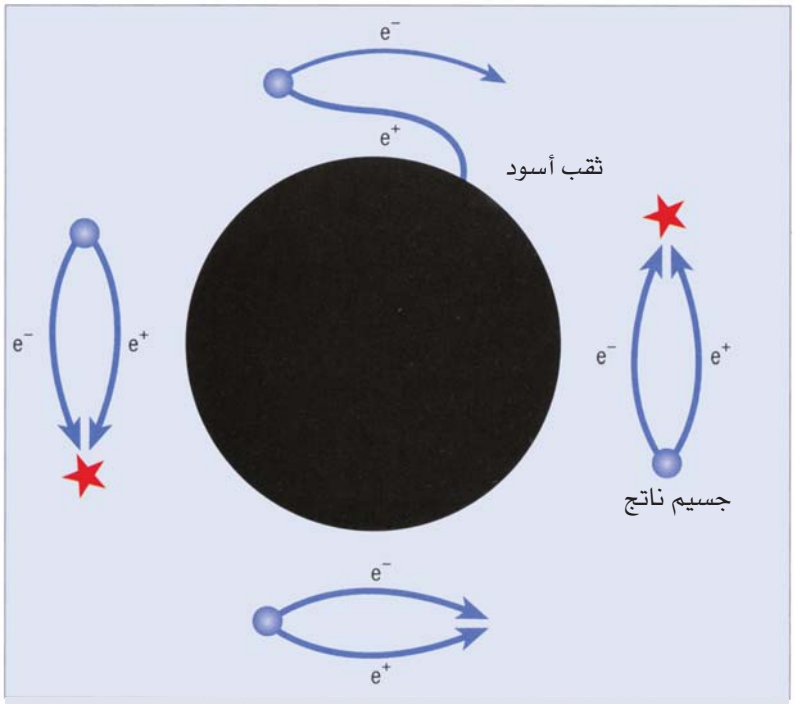
على أية حال، ما هي بالضبط إنتروبية الثقب الأسود؟ إن تحاليل هاوكينغ بلغة فيزياء الحقول الكمومية في الزمكان المنحني لا تزودنا بإجابة فورية بدهية (على الأقل بالنسبة للناس غير هاوكينغ). ففي حالة غازٍ ما، يكون لتعريف الإنتروبية تفسير حدسي مباشر: فالإنتروبية تتناسب مع عدد البتات اللازمة لوصف حالة الغاز المجهرية، وبالدقة التي يسمح بها الميكانيك الكمومي. لكن ما هي الحالة المجهرية لثقب أسود؟ لا أحد يعرف.

إن أحد التفاسير الممكنة هو أن إنتروبية ثقب أسود تتناسب مع عدد البتات المطلوبة لتوصيف كل الطرق الممكنة لتشكيل ثقب أسود من جسيمات أولية. إن الحالة مشوشة بسبب الخيارات المعتادة لكيفية وصف الثقوب السوداء. إن كيفية وصف المرء لثقب أسود يعتمد على وجهة نظره، فإذا كان الشخص راصداً غير محظوظ وسقط في الثقب الأسود، فستكون لديه وسيلة الوصول إلى مادة أخرى ومعلومات قد سقطت في الثقب، على الأقل، إلى النقطة التي يُسحب فيها إلى التفرد المركزي في الثقب الأسود. وبالمقابل، فإن مراقباً عطالياً خارجياً يدور حول الثقب الأسود من مسافة آمنة يرى الظاهرة الغريبة لمادة تتباطأ أثناء سقوطها في الثقب، والساعات الجدارية الساقطة في الثقب تتباطأ أكثر فأكثر أثناء وصولها الأفق، حتى تتجمد كلياً عند الأفق نفسه. والضوء الساقط في الثقب يتذبذب إلى الأمام وإلى الخلف متباطئاً شيئاً فشيئاً حتى يتجمد في المكان أيضاً عند بلوغه الأفق. وفي الحقيقة، فإن الراصد الدائر لا يرى مطلقاً أي شيء يسقط فعلياً عبر الأفق: وبدلاً من ذلك فإن المادة والطاقة تتجمدان في الزمان مع اقترابهما من الأفق. وإن بتات المعلومات التي تُحدد الحالة المجهرية لهذه المادة والطاقة، تتجمدان أيضاً عند الأفق. في هذه

إنها الكوك إن لتراً من الكوكاكولا يمكن أن يحتوي على أكثر من 10^{100} بتة.

الصورة يمكن تفسير نتيجة هاوكينغ بأنها تعني أن المعلومات التي تسقط في ثقب أسود يمكن أن يظن أنها تستقر في أفق الثقب بكثافة قدرها تقريباً بتة واحدة لكل مربع طول بلانك.

هل تحوي إشعاعات هاوكينغ المنبعثة من الثقب إذن معلومات عن كيفية نشوء الكون؟ لا أحد يعلم علم اليقين، فحسابات هاوكينغ الأصلية لا تقول شيئاً. وفي نظرية الحقل الكمومي، ليس الفراغ خالياً: إنه ممتلىء بحشد من أزواج الجسيمات الافتراضية والجسيمات المضادة. وبسبب مبدأ الارتياب للطاقة والزمن، هناك مقدار من الطاقة في الخلاء كافٍ كي تقفز الجسيمات إلى الوجود مع جسيماتها المضادة: وبعدئذ تعود الجسيمات والجسيمات المضادة ثانيةً ليفني بعضهما بعضاً بعد جزء ضئيل من الثانية. وقد بيّن هاوكينغ أنه بوجود أفق الثقب الأسود يستطيع أحد عنصري الزوج الافتراضي السقوط خلال الأفق، وبذلك يمنع حدوث الإفناء المتبادل ثانية. ويكتسب عضو الزوج الآخر الطاقةَ من الثقب: وهو "يرتقي" من جسيم افتراضي إلى جسيم حقيقي. ويهرب إلى اللانهاية. وبما أن الثقب قد أعطى الطاقة إلى الجسيم الهارب فإن كتلته تكون قد نقصت.



إشعاعات هاوكينغ إذا نَتج زوج من جسيمات افتراضية خارج أفق الحدث لثقب أسود، يمكن لأحد الزوجين أن يسقط في الثقب الأسود، في حين ينجو الآخر، جاعلاً الثقب الأسود يخسر كتلة.

وقد بين هاوكينغ أن الجسيمات الناجية من الثقب تشبه تماماً إشعاعات الجسم الأسود. ولكن في حساباته، فإن المعلومات التي يحملها هذا الإشعاع ليست معلومات الطريقة التي تكوّن بها الثقب. بل إنها معلومات عن عدد أنصاف أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة التي سقطت في الثقب. وإن جزيئَيْ إشعاعات هاوكينغ، الناجية، والساقطة فيه مترابطان أحدهما بالآخر إلى درجة كبيرة: فإذا رصدنا إلكتروناً ناجياً من الثقب الأسود، على سبيل المثال، علمنا عندئذ أن الجسيم الذي سقط فيه كان بوزترونا. فإذا كان لذلك الإلكترون سبينٌ نحو الأعلى فينتج من انحفاظ الاندفاع الزاوي، أن للبوزترون سبيناً نحو الأسفل. إن هذا الترابط هو مؤشر إلى أن جزيئي إشعاعات هاوكينغ متشابكُ أحدهما بالآخر: وإن قياس جسيم خارج الثقب الأسود يحدد بشكل فعال هوية الجسيم الآخر في داخل الثقب. وبالمثل، إذا قام مراقب في داخل الثقب بقياس على الجسيم الساقط من إشعاع هاوكينغ، فإنه يحدد بشكل فعال هوية إشعاع هاوكينغ الخارج. ولاحظ أن مثل هذا القياس لا يسمح للراصد في الثقب بإرسال معلومات عبر الأفق. وكما ذكرنا آنفاً، فإن التشابك رغم كونه شبحياً، لا يسمح للمعلومات أن ترسل بأسرع من سرعة الضوء في الشروط الفيزيائية الاعتيادية. وبالقرب من أفق ثقب أسود كبير، تسلك الفيزياء عادة طرقاً نظامية، مفهومةً جيداً: فالقياسات التي أجريت على إشعاعات هاوكينغ الساقطة فيه، تماماً داخل الأفق، لا تسمح للمعلومات بالإفلات.

وعلى كل حال، ودون أي مبالغة في التخيل، هل التفرد عند مركز الثقب الأسود يوافق شروطاً فيزيائية اعتيادية. إن ما يحدث هناك هو ما قد يخمنه أي شخص. وإحدى الإمكانات هي أن المعلومات عن المادة التي شكلت الثقب اندمجت بالمعلومات في إشعاع هاوكينغ الساقط فيه ومن ثم تصورت في حالة ما، أي في حالة معدومة الشحنة، وعزم زاوي،...وغيرها. وفي هذه الحالة، وكما بيّن جاري هورويتز Gary Horowitz في عام 2004 من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا وجوان مالداسينا Juan Maldacena من معهد الدراسة المتقدمة في برنستون (*JHEP*02(2004)008) أن الفعل الشبحي عن بُعد المتجسّد في التشابك يمكن أن يؤدي إلى انتقال حقيقي للمعلومات بأسرع من سرعة الضوء. ويمكن للمعلومات بالفعل أن تهرب من الثقب بعملية تشبه عملية النقل الميكانيكي-

الكمومي عن بعد quantum-mechanical teleportation. وفي النقل الكمومي عن بعد quantum teleportation، تخرب المعلومات في أحد المواقع (التفرد مثلاً) ويعاد تشكيلها في مكان آخر (خارج الأفق مثلاً). وعادة تتطلب عملية النقل الكمومي عن بعد معلوماتٍ تقليدية تسمح بإرسالها بين المكانيين في الواقع ويعاد تشكيلها (المعلومات). ولكنْ في الحالة التي يكون فيها إسقاط التفرد وحالة المادة وإشعاع هاوكينغ على حالةٍ نوعية، يُستَبْعَد هذا المطلب ولا حاجة لإرسال معلومات تقليدية لإعادة تشكيل المعلومات خارج الأفق. وحديثاً بيّنتُ في هذه الحالة عملياً، أن كل المعلومات عن كيفية تشكل الثقب الأسود تهرب من الثقب في عملية التبخر [2006 Phys. Rev Lett 96 061302] (وهي عادة ليست أكثر من نصف بتة من المعلومات تضيع إلى الأبد).

إن آلية هورويتز–مالداسينا لهروب المعلومات من الثقب الأسود تتطلب حدوث أشياء غير طبيعية في تفرّد الثقب الأسود. لكننا نتوقع عن ذلك أن تحدث هناك أشياء غير طبيعية ثانية. وإن تحديد ما إن كانت هذه الآلية تحدث في الثقوب السوداء الحقيقية يتطلب إما نظرية صارمة عما يحدث في التفرد أو بعض التجارب الحاذقة والخطرة إلى حدّ ما.

مبدأ الهولوغرافيا (التصوير المجسم)

تمثل الثقوب السوداء رزم المادة الأكثر كثافة في الكون، فلو كانت تمثل أيضاً رزم المعلومات فإن هذا يؤدي إلى أن مجالاً في الفضاء لا يمكن أن يحتوي على بتات المعلومات بقدر أكبر منها في مساحة محيط المجال مقسومة على 4ln2 مرة من مربع طول بلانك. إن "مبدأ الهولوغرافيا" كما سمي من قبل مخترعيه جيراردت هوفت Gerard 't Hooft من جامعة أوترخت في هولندا وليونارد سَسْكيند Leonard Susskind من جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة، يقتضي أن الكثافة العظمى للمعلومات في منطقة ما تكون عادة أقل بكثيرٍ من حجم المنطقة مقسوماً على مكعب طول بلانك: فليتر الكوكاكولا يمكن أن يحتوي بالفعل على ما لا يزيد على نحو 10^{67} بتة (مفترضين زجاجة كولا كروية مع كتلةٍ لثقبٍ أسود قدرها قرابة 10^{30} كغ).

وفي حين لا يوجد برهان على مبدأ الهولوغرافيا، فإنه يبدو مقبولاً ظاهرياً إلى حدّ كافٍ. وأحد مبررات المبدأ الهولوغرافي في أن حسابات هاوكينغ تشمل إشعاعات الثقوب السوداء إلى الفضاء الخالي، فكل سطح ثنائي البعد –وليس فقط آفاق الثقب الأسود– يخترق عدداً محدداً من أزواج جسيمات الخلاء –والجسيمات المضادة بحيث يقع كل نصف من الزوج على الجانب المقابل للسطح. ومع ذلك فإن سطحاً اعتيادياً ليس لديه القدرة على رفع أحد الجسيمين (الزوجين) من جسيم افتراضي إلى جسيم حقيقي، فالجسيمات الافتراضية تبقى متشابكة. وكل زوج مؤلف من الجسيمين والجسيم المضاد يسهم بقليل من بتات التشابك. وعدد الأزواج التي شُرِّحت أو فُصلتْ لأنصافٍ بالسطح يعتمد على كثافة الطاقة العظمى التي يستطيع الحصول عليها وفق النظرية أو، ما يكافىء ذلك، وفق مقاس الطريق الأقصر الممكن بلوغه. فإذا كان مقاس الطول هذا مُعطى بسلم بلانك، عندئذ يمكن لكل سطح ثنائي البعد أن يكون مترافقاً بمقدار من المعلومات، حسب التشابك، يساوي تقريباً مساحة السطح مقسومة على مربع طول بلانك.

الحد الهندسي الكمومي

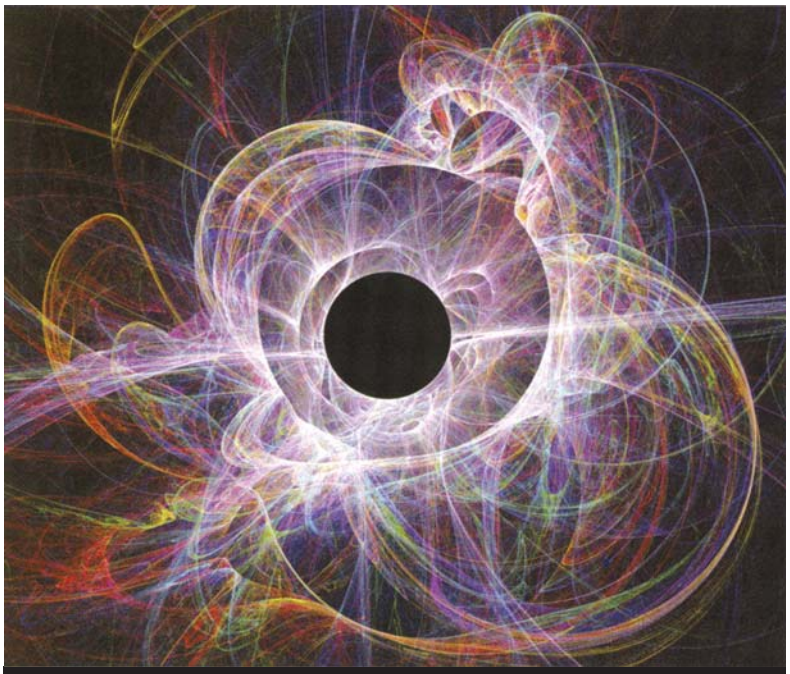
كما بين مكسويل وبولتزمان، أن كل ذرّة وجسيم أولي تحمل معها بتات من المعلومات. وفي كل مرة يتصادم فيها جسيمان، تتحول هذه البتات وتعالج: أي إن البتات تتقلّب. يضع المبدأ الهولوغرافي حداً كمياً على عدد البتات التي يمكن أن توجد في حجم ثلاثي الأبعاد من

آخذين بعين الاعتبار العلاقة الصميمية ظاهرياً بين البتات الكمومية والثقالة، التي تجعل من المعقول محاولة بناء نظرية واضحة للثقالة بلغة المعلوماتية الكمومية.

الفضاء. وعلى كل حال، وكما بين آينشتاين لنا فإن الكون لا يتألف فقط من فضاء ثلاثي الأبعاد، بل من فضاء الزمان والمكان رباعي الأبعاد (الزمكان). ومنذ سنوات قليلة مضت، استخلصت نتيجة تضع حداً على عدد الحوادث التي يمكن أن تأخذ مجراها في حجم رباعي الأبعاد للمكان والزمان (*Science*, 306 1330 2004).

إنها تأخذ الطاقة لتقلب بتة. وكلما كانت الطاقة التي تملكها البتة أكبر، زاد إمكان انقلابها أسرع فأسرع. ففي العام 1996

صاغ كل من نورمان ماركولوس Norman Margolus من معهد مساتشوستس للتقانة وليف ليفيتين Lev Levitin من جامعة بوسطن هذا الحدْس (*Anm. NY Acad. Sci.* 480 487-497) بإثبات مبرهنةٍ تنص على أن قلب بتةٍ يستغرق مقداراً من الزمن يتناسب مع الطاقة المستخدمة لقلبها. وإذا نظر أحدنا إلى البتات في الحواسيب الكمومية المتوفرة، لوجد أنها تنقلب بالضبط بالسرعة المستخرجة من قبل ماركولوس وليفيتين. إن مبرهنة ماركولوس وليفيتين لا تطبّق فقط على انقلاب البتات، بل على أي عملية تتحول فيها الجملة الفيزيائية من حالة إلى حالة أخرى مميّزة. وهذا يعني أن مبرهنة ماركولوس–ليفيتين تضع حداً لسرعة الحوادث.



عمر المعلومات يمكن توحيد الميكانيك الكمومي والنسبية العامة عن طريق لغة المعلوماتية الكمومية.

تقتضي مبرهنة ماركولوس–ليفيتين أنه كلما زادت الطاقة ازداد عدد تقلبات البتات التي يمكن إيواؤها. هناك، في كل الأحوال، حدٌّ لمقدار الطاقة التي يمكن حشوها في حجم من الفضاء. فإذا أمكن احتواء الحجم ضمن كرة، فإن الكثافة العظمى للطاقة عندئذ خلال هذا الحجم لا يمكن أن تكون أكبر من كثافة الثقب الأسود. وبضم هذهِ الكثافة العظمى للطاقة إلى مبرهنة ماركولوس–ليفيتين نحصل على الحد الهندسي الكمومي وهو: العدد الأعظمي للحوادث/أي لتقلبات البتات التي يمكن أن تحدث خلال حيز من الفضاء على مر الزمن وهو يتناسب مع نصف قطر الكرة مضروباً بطول الفترة الزمنية، ومقسوماً على طول بلانك مضروباً بزمن بلانك.

إن الحد الهندسي الكمومي مكملٌ للمبدأ الهولوغرافي: فالهولوغرافيا تحدد البتات والحد الهندسي الكمومي يقيد تقلبات البتات. يمكن أن يُظن بالمبدأ الهولوغرافي بأنه يقتضي الشرط التالي: أنه إذا أُسقطت كل البتات في حجم ثلاثي الأبعاد على الحد الثنائي البعد لحجم ما، عندئذ لا تكون كثافة البتات على الحد أكبر من مساحة ذلك السطح الحدودي المتاخم للحجم مقسومة على مربع طول بلانك (مضروبة بعامل). إن للحد الهندسي الكمومي تفسيراً "إسقاطياً" مشابهاً: إذا أُسقطت كل الحوادث في حجم رباعي الأبعاد في المكان والزمان على "ملاءةٍ عالمية" ثنائية البعد تمتد حول ذلك الحجم، فعندئذ لا تكون كثافة الحوادث المسقطة على الملاءة العالمية أكثر من مساحة الملاءة العالمية مقسومة على طول بلانك وزمن بلانك.

إن اتحاد المبدأ الهولوغرافي بالحد الهندسي الكمومي يوحي بصورةٍ حسابية كاملة للكون. يتألف الكون من معلومات/بتات موضعةٍ في الفضاء، ومن حوادثَ/تقلبات البتات، تجري في الزمكان. ونظراً لمحدودية مقدار الزمن منذ الانفجار العظيم (14 بليون سنة تقريباً) فإن قسمنا من الكون يحوي أفقاً: فنحن نستطيع حتى الآن أن ننظر بعيداً إلى خارج الفضاء وأن نعود بالزمن إلى الخلف إلى ما قبل أن يكون ما نراه منزاحاً نحو الأحمر في العدم (اللاوجود). وهكذا فإن الهولوغرافيا تحدد عدد البتات ضمن الأفق إلى ما يقارب 10^{123}. وبالمثل فإن الحد الهندسي الكمومي يقيد عدد تقلبات البتات التي حدثت على مدى عمر الكون لتكون أقل من 10^{123}. إن عدد البتات الأعظمي والعدد الأعظمي لتقلبات البتات هما العدد ذاته. وهذا التطابق يمكن أن يبدو لأول وهلة مدهشاً غير أن له تفسيراً فيزيائياً جاهزاً: ولنفترض، كما في حالة الثقب الأسود، أن معظم البتات في الكون تسكن في أزواج افتراضية من الجسيمات الافتراضية والجسيمات المضادة في سلم بلانك قد شطرت إلى نصفين بالأفق. فهناك 10^{123} بتة من التشابك المتأصل

في مثل هذه الأزواج. ومن وجهة نظرنا فإن تلك الجسيمات الافتراضية من مقاس سلم بلانك منزاحة بشدة نحو الأحمر إلى حد أن أطوال أمواجها، في الحقيقة، هي أساساً المسافة إلى الأفق. وطبقاً لهذا، تستغرق كل من هذه البتات تقريباً عمر الكون لكي تنقلب. وبالنتيجة، فإن عدد البتات وعدد تقلب البتات في الكون هما شيء واحد من حيث المبدأ.

الحوسبة الكمومية والثقالة الكمومية

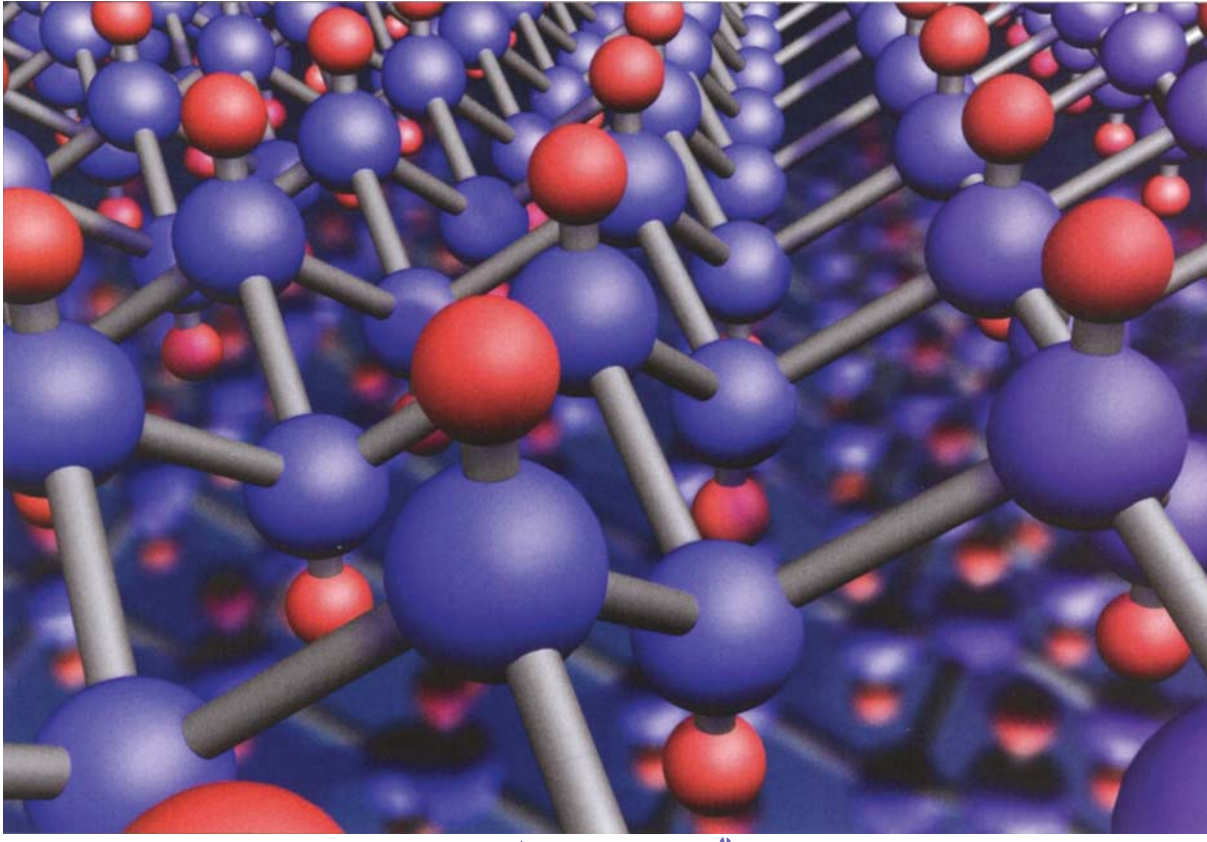
نحن لا نعرف الكثير عن كيفية توحيد الميكانيك الكمومي والثقالة. لكن الأشياء التي نعرفها حقاً إشعاعات هاوكينغ، والهولوغرافيا، والحد الهندسي الكمومي –معبر عنها بلغة المعلوماتية. واستناداً إلى العلاقة الحميمة ظاهرياً بين البتات الكمومية والثقالة، فإن من المعقول محاولة بناء نظرية كمومية جلية للثقالة بلغة المعلومات الكمومية. فلقد حاولتُ بناء مثل هذه النظرية عام 2005 (arXiv:quant-ph/0501135). وفي هذه النظرية تبرز البنية الأساسية للزمكان (الزمان والمكان)، ومعها سلوك الجسيمات الأولية من حوسبةٍ كمومية. تُرى، إلى أين تذهب البتات، وكيف تنقلب لتوليد الهندسة، وكيف تؤدي العلاقات بين البتات الكمومية إلى تأثرات بين الجسيمات الأولية؟ وبسبب قابلية الحواسيب الكمومية محاكاة الأنظمة الكمومية الأخرى، فإن إعادة إنتاج سلوك النموذج المعياري للجسيمات الأولية بواسطة حوسبةٍ كمومية تعد مسألة مباشرة نسبياً.

إن انقلاب كل بتة في الحوسبة يشكل حادثة، وإن هندسة الزمان والمكان (الزمكان) مع سلوك المادة يتألف من تتالٍ خاص لتقلب البتات. ولما كان هذا التتالي لا يعتمد على كيفية اختيار المرء الإحداثيات لتتضمن تقلبات البتات، فإن النظرية الناتجة تخضع آلياً لمبدأ توافق التغير العام general covariance، وبذلك تُبرز معادلات آينشتاين في الحد نصف التقليدي. ولما كانت النظرية مبنية ببساطة على أساس المعلوماتية، فإنها تخضع للمبدأ الهولوغرافي والحد الهندسي الكمومي.

إن النظرية تولّد عدداً من التنبؤات النوعية التي يمكن أن تختبر بالرصد أو بالتجربة. وقد اقترح كل من روجر بنروز Roger Penrose من جامعة أكسفورد وت هوفت t Hooft أن الثقالة الكمومية يجب أن تؤدي إلى ضجيج وإزالة الترابط متأصلين للمادة الكمومية: وبالمقابل، تتنبأ النظرية الحوسبية، بأنه لا ينبغي لمثل هذه الإزالة للترابط المتأصل أن تأخذ مجراها. ولما كان الحدّ الهندسي الكمومي يقيد عدد تقلبات البتات التي كانت قد أخذت مجراها منذ الانفجار العظيم بالعدد 10^{123}، فإن النظرية الحوسبية تتنبأ بحبيبية جوهرية (متأصلة) في الزمان والمكان بمقياس طول متوسط قدره 5×10^{-5} m. (لاحظ أن هذا هو البعد الوسطي بين الحوادث على امتداد الكون: فهنا على الأرض، حيث كثافة الطاقة أعلى كثيراً من متوسط كثافة الطاقة في الكون، يكون البعد بين الحوادث أصغر بكثير. إن مثل هذه الحبيبية المتأصلة في الفضاء بين المجرات قد يكون لها أثر قابل لرصد انتشار الضوء من المجرات البعيدة. وأخيراً، لا توجد في النظرية الحوسبية هندسة مستقلة عن المادة: إن الحقل التثاقلي لا يُظهر استقلالية ترجّحاته الكمومية. وبسبب عدم وجود مثل هذه التقلبات، لا يمكن أن تمتد بالتوسع لتثير تغيرات في خلفية الأمواج المكروية الكونية والتي ستظهر بوضوح كأمواج تثاقلية. وطبقاً لهذا فإن نظرية الحوسبة الكمومية تتنبأ بأن مرصد بلانك لن يسجل مثل هذه التقلبات.

التكميم السابق، مستقبل التكميم

إن نظرية الحوسبة الكمومية للثقالة هي تخمينية، على أقل تقدير (ولهذا هي شيء جيد يصنع تنبؤات نوعية يمكن دحضها). لكن أيا كانت نظرية الميكانيك الكمومي والنسبية العامة الصحيحة فإنها يحتمل أن تصون الصفات المعروفة للميكانيك الكمومي وللثقالة، وبالتحديد إشعاعات هاوكينغ، والهولوغرافيا والحد الهندسي الكمومي. ولأن هذه الصفات المعروفة تنشأ من العلاقة الصميمية بين النسبية العامة والمعلوماتية الكمومية، فإنني أتوقع أن هاتين النظريتين ستحافظان على تشابكهما.



ما وراء المادة العجيبة

تمخّضت عن الخواص الرائعة للغرافين –وهي صفيحة سمكها ذرّة واحدة من الكربون تمَّ عزلها لأول مرة عام 2004 –موجة من الاكتشافات في الفيزياء الأساسية. بيد أن ابن عمه الكيميائي الجديد، وهو الغرافان، يمكن أن يثبت مع ذلك أنه أكثر روعة. هذا ما يوضحه كوستيا نوفوزيلوف Kostya Novoselov.

الكلمات المفتاحية: غرافين، غرافان، كربون.

عندما تود الطبيعة أن تختار عنصراً كأساس للحياة، فإنها تختار الكربون. وإذا كان من الضروري أن أخمّن لماذا، فسأقول بأن السبب عائد إلى الاستعمالات المتعددة الرائعة للكربون.

إن الارتباط بين ذرّات الكربون قوي بشكل استثنائي؛ وفي الواقع، إن المواد الأقوى على وجه الأرض جميعها مصنوع من الكربون. ومن ناحية ثانية، فإن الارتباط بين الكربون والعناصر الأخرى، برغم استقراره، يمكن تغييره بسهولة بتفاعلات كيميائية. وغالباً تكون المركّبات الناتجة مختلف بعضها عن بعض بشكل عجيب. فعلى سبيل المثال، يمكن لزوجين من ذرّات الكربون مرتبطين معاً أن يقبلا ذرّة أو ذرّتين أو ثلاث ذرّات من الهدروجين فيشكلا المواد الكيميائية: إيتين ethyne، إيتن ethEne وإيتان ethane وهي مواد كيميائية مستعملة في اللحام والتخدير وصنع الفودكا بالترتيب.

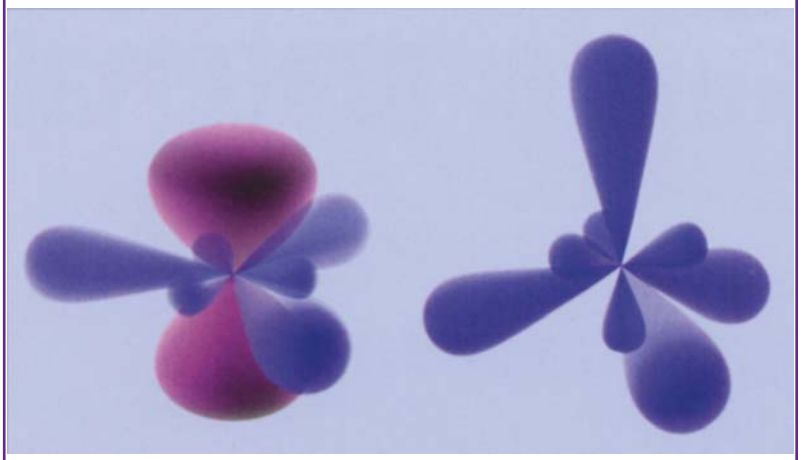
يوجد الكربون النقي بعدة أشكال مختلفة، متضمنة الماس، الغرافيت، بكمنسترفلورين والعضو الجديد من العائلة الغرافين graphene –وهو صفيحة من الكربون البلّوري سمكها ذرّة واحدة جرى الحصول عليها منذ خمس سنوات فقط. ففي الماس تكون كل ذرّة من الكربون مرتبطة مع أربع ذرّات أخرى، وجميع الإلكترونات الأربعة في الطبقة الخارجية مشاركة في ضم الذرّات بعضها إلى

نُشر هذا المقال في مجلة Physics world, Vol 22, August 2009، ترجمة د. أحمد حاج سعيد، عضو هيئة التحرير.

بعض. وهذا يعني أن الماس عازل، وهكذا فهو مضجر (على الأقل من الناحية الفيزيائية). وبالمقابل، يملك الغرافين إلكتروناً واحداً مشاعاً ومتروكاً، في حين ترتبط كل ذرّة كربون مع ثلاث ذرّات أخرى، مما يجعله موصلاً كهربائياً ممتازاً (انظر الشكل 1).

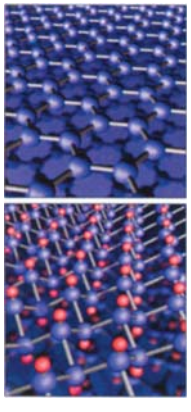
ومع ذلك، فإن هذه الموصلية بعيدة عن أن تكون الشيء الرائع الوحيد للغرافين. فبنيته الوحيدة الطبقة التي تشبه قرص النحل تجعل منه أيضاً لبنة بناء لأشكال أخرى من الكربون. فمثلاً ليس الغرافيت في أقلام الرصاص إلاّ طبقات غرافين مكدّسة، في حين تكون جزيئات بكمنستر فلّورين عبارة عن كرات نانومترية الحجم من الغرافين المتجمع. ولربما أكثر الأشياء عجباً عن الغرافين وجوده الفعلي. فلسنوات عدة، افترض الباحثون أن هذه البلّورة الذرّية ثنائية البعد لا يمكن أن توجد في حالة حرة. بيد أن مجموعة من الباحثين يقودها أندريه غايم Andre Geim وكاتب المقال وجدوا عام 2004 طريقة بسيطة للحصول على الغرافين من شق عيّنة من الغرافيت بواسطة شريط دَبق.

الشكل 1- أبعاد الكربون الجديدة



يُنتج تغيّر تشكيل المدارات الإلكترونية في دارات الكربون بصورة مدهشة أشكالاً مختلفة من الكربون النقي. ففي الماس (على اليمين)، يكون لجميع الإلكترونات الأربعة في الطبقة الخارجية لذرّات الكربون دور في تشكيل روبط-σ (التهجين Sp^3). تبلغ الزاوية بين هذه الروابط 109° تقريباً. وهكذا يشكل الماس بلّورات ثلاثية الأبعاد. ومن أجل ذرّات الكربون في الغرافين (على اليسار) تشكل ثلاثة إلكترونات فقط روابط-σ (التهجين sp^2) تقع في مستوٍ بزوايا 120° بين كلٍّ منهما. وهكذا تكوّن بنية مسطحة. وأما الإلكترون الرابع فيكون مشاعاً مشكلاً روابط-π الأضعف ويجعل الغرافين موصلاً ممتازاً. تبيّن الغيوم الزرقاء هنا مدارات-σ، في حين تمثل الغيوم الأرجوانية مدارات-π.

مكّن ذلك الاختراق عدداً كبيراً من العلماء حول العالم أن يبدؤوا بدراسة الغرافين وخواصه التي استمرت في إثارة الدهشة. وعلى العموم، فإن خلو بلّوراته من العيب وانتظامها الرائع جعله من أرقّ الأجسام التي يمكن وجودها، وهو، في الوقت نفسه، أقوى بمئة مرة من بنية الفولاذ –وهذا ما جعله أقوى مادة في الطبيعة. إن الغرافين أيضاً شفاف وخامل كيميائياً، وهو كذلك عالي الموصلية. إن مثل هذه التوليفة غير العادية من الخواص جعلت البلّورة الثنائية البعد جذابة لتشكيلة واسعة من التطبيقات. فمن الممكن استخدامها في مطيافية الإلكترونات النافذة التي تتطلّب مواد رقيقة جداً وموصلة وقوية لدعم الجزيئات الحيوية موضوع الدراسة، واستخدامها في ترانزستورات التواترات العالية التي يحتاج تشغيلها إلى حوامل شحنة ذات حركة عالية، واستخدامها في الإلكترودات الموصلة الشفافة من أجل شاشات البلورات السائلة والخلايا الشمسية.



أبناء عمومة الكربون
بنية الغرافين في الأعلى
بنية الغرافان في الأسفل

على أية حال، ومن حيث التطبيقات الإلكترونية، يكون الغرافين في بعض الأحيان موصلاً جيداً إلى حدٍّ ما. فبالرغم من أن بنية العُصابة الإلكترونية للغرافين تنتج آثاراً عديدة لها أهميتها الكبيرة وكونها جديدة بالنسبة لفيزياء المادة الكثيفة، فإنها أيضاً تجعل الغرافين موصلاً إلى درجة عالية مما يجعل من الصعب تصنيع ترانزستورات قائمة على الغرافين ملائمة للتطبيقات في الدارات المتكاملة. لا يمكن إيقاف الإلكترونات في الغرافين: إنها تخترق أي حواجز كمونية مما يجعل الترانزستورات سَرِبة حتى ولو كانت في حال الإطفاء. ولتحسين كفاءة ترانزستورات الغرافين، وللحصول على مرونة إضافية عند بناء بنى نانوية من الغرافين، فإننا بحاجة لإيجاد طريقة لتخفيض موصلية هذه "المادة العجيبة".

إحدى الطرق للتوصل إلى ذلك هي الاستفادة من تعدد الاستعمال الملازم للكربون. فبارتباط الإلكترونات الموصلة إلى أنواع كيميائية

أخرى، نستطيع أن نحصل على مركّب كربوني شبيه بالغرافين يلعب دور العازل. إن المرشح الأبسط والمباشر لتشكيل رابطة إضافية مع الكربون هو الهدروجين. وتماماً كما يحدث عند تحويل الإيتن إلى الإيتان. فإن تعريض الغرافين إلى الهدروجين الذرّي ينتج مادة سُمّيت الغرافان graphane والتي تمَّ إنتاجها لأول مرة منذ أقل من عام من قِبَل مجموعة من جامعة مانشستر في المملكة المتحدة. يمكن لهذا التغيّر البسيط أن يفتح عالماً جديداً كلية من الكيمياء القائمة على الغرافين، مؤدياً بذلك إلى بلّورات ثنائية البعد جديدة لها خواص مسبقة التحديد، وإلى قدرة على توليف خواص المادة الإلكترونية والضوئية والميكانيكية وغيرها حسب احتياجات المرء.

بناء جزيء أفضل

إن مفتاح فهم سبب توصيل الغرافين للكهرباء بشكل جيد، بينما الغرافان ليس كذلك، يكمن في بنى عصابتهما الإلكترونية. وبشكل عام، يمكن تقسيم جميع المواد إلى عوازل ومعادن وأنصاف معادن، ذلك اعتماداً على ما إذا كانت عُصابتها الإلكترونية الأعلى المشغولة بالإلكترونات مليئة ومفصولة عن العُصابة التالية (الفارغة) بفرجة طاقة، أو إذا كانت مشغولة بشكل جزئي، أو مملوءة بشكل كامل ولكنها تتراكب مع العُصابة الإلكترونية التالية. تنتج الإلكترونات التي تربط ذرّات الكربون في الغرافين (والمعروفة بإلكترونات-σ) بنية عُصابة من النوع العازل مع فرجة تبلغ عدة إلكترونات فولط بين آخر العُصابات المشغولة والعُصابة الفارغة (انظر الشكل 2). وكذلك، فإن الإلكترونات الباقية "غير المتوضّعة" (وتسمى إلكترونات-π) ليس لها دور في هذا الارتباط وتؤدي إلى ظاهرة مختلفة جداً تدعى بنية عُصابة نصف معدن ذات التراكب صفر. وفي هذه الحالة، تمس العُصابات المملوءة كلياً والعُصابات الفارغة بعضها بعضاً. إن الخواص الموصلية لأنصاف المعادن من التراكب صفر هذه ليست عادية. فقد حيّرت العلماء النظريين والتجريبيين منذ لوحظ الغرافين لأول مرة. وأما في الغرافان، فإن إلكترونات-π مرتبطة بشكل قوي مع ذرّات الهدروجين، وهكذا تكون جميع عصابات-π غير موجودة. وهذا ما يشكل فرجة كبيرة تفصل العُصابة المشغولة الأعلى عن العُصابة غير المشغولة الأدنى. تماماً كما هو الحال في العوازل.

إن إضافة الهدروجين إلى الغرافين، طبعاً، ليس هو الطريق الوحيدة لفتح فرجة عُصابية للوصول إلى العازل. فيمكن للمرء أيضاً خلق فرجة بصنع بنىً من الغرافين ببعد نانوي مثل نقاط كمومية أو شرائط نانوية. فإذا كانت هذه البنى أصغر من طول موجة الإلكترون، فعندئذ لا تكون إلكترونات الطاقة المنخفضة (التي لها أطوال موجة أكبر)، ملائمة للدخول بسهولة، وهكذا تصبح المادة عازلاً. وعلى أية حال، فإنه من الصعب في الوقت الحالي ضبط شكل مثل هذه البنى في المختبر.

وبالمقابل، إن الحصول على الغرافان سهل نسبياً. ففي التجارب الأولى، عرّض فريق الباحثين في مانشستر الغرافين الأصلي إلى تيار من الهدروجين الذرّي ووجدوا أن عدداً من خواصه الفيزيائية تتغيّر جذرياً، أولها أن الغرافين المعدني أصبح عازلاً مع مقاومة إلى مجال الغيغا أوم عند 4K، وهي درجة الهيليوم السائل. بيّنت دراسة انعراج الإلكترونات أن ثابت الشبيكة في المستوي للمادة الجديدة –المسافة بين ذرّات الكربون في البلّورة بعد إسقاطها على مستوي العيّنة– تقلصت بنسبة مئوية قليلة مقارنة مع الغرافين. وبشكل مشجع، أثبتت الدراسات المماثلة أن البنية البلّورية للمادة الجديدة قد احتفظت بالتناظر السداسي الوجوه للغرافين. ومن هنا، فإن الطريقة السهلة قد أنتجت حقاً شكلاً جديداً بلّورياً من الهدروكربون.

ومع ذلك، بقي هنالك عدد من المسائل لتفسير هذه النتائج التجريبية. لقد أنجزت معظم التجارب باستخدام الغرافين الموجود على ركازة من السليكا (SiO_2)، مما يجعل أحد الجوانب متعذراً عن الهدرجة، في حين يتطلّب التنبؤ بالتشكيلة الأكثر ثباتاً للهدروجين على سطح الغرافين أن يكون الهدروجين على الجانبين. وبالرغم من أن دراسة انعراج الإلكترونات قد أنجزت باستعمال غرافين منفصل عما حوله ويمكن الوصول إليه من الجانبين، فإن ثابت الشبيكة حتى في هذه الحالة تغيّر بين مواقع مختلفة من سطح البلّورة (رغم أن التباعدات كانت دائماً أقل مما هو الحال في الغرافين). ومن الممكن أن يدل هذا على أن ترتيبات من الهدروجين على السطح أكثر تعقيداً موجودة عند الممارسة. إن التحدي الآن هو توسيع دراستنا لدراسة خواص أخرى كالنقل الإلكتروني والبصريات في الغرافين المهدرج والمنفصل عمّا حوله. وفي الوقت نفسه، يتوقع كاتب المقال أنهم سيرون سلوكاً عازلاً أفضل مع عدم انتظام أقل بكثير في مثل هذه العيّنات.

تحقيق التحوّل

إحدى السمات المهمّة للغرافان هي أنه يمكن أن يتحوّل ثانية بسهولة إلى الغرافين النقي: فيسبِّب تطويعه البسيط بالحرارة تبعثر

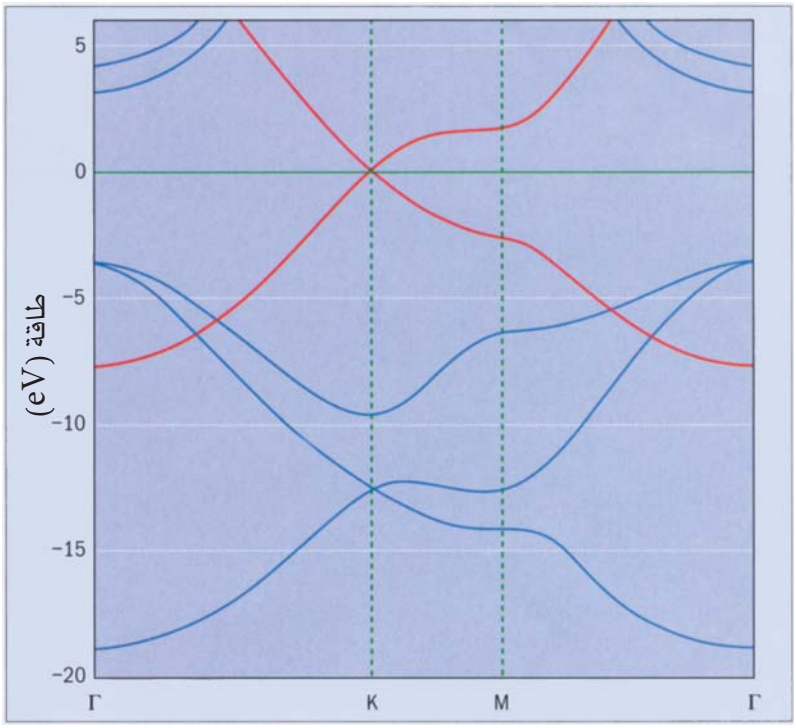
الهدروجين تاركاً الغرافين الأصلي سليماً. إن النشرة الأولى التي ذكر فيها الغرافان في مجلة Science عام 2009 أشارت إلى أنه من الممكن استعادة جميع خواص الغرافين من الغرافان بهذه العملية البسيطة. وهذا ما مهّد الطريق إلى هندسة العُصابة الإلكترونية العكوسة (أو الممكن محوها). إن ملاحظة كلٍّ من الغرافان و"عكوسيته" مهمّة جداً في هذا الحقل بمجمله، وبالرغم من أن هنالك حاجة لمزيد من الأبحاث فإن كاتب المقال يعتقد بأن تأثير هذه النتائج سيكون على ثلاثة جوانب.

الأول: أنه من الممكن تغيير طريقة تشكيل مختلف البنى النانوية للغرافين –مثل الشرائط النانوية، وتماسات النقط الكمومية والنقط الكمومية. ففي الماضي كان تشكيل هذه البنى بالتنميش غير المتقن باستخدام البلازما الفعّالة لحرق أجزاء من الغرافين. وهذه الطريقة تشبه استعمال المقص لعمل أشكال من قطعة من ورق. ولكننا اليوم نستطيع بدلاً عن ذلك أن نحصل على هذه البنى بتغطية الغرافين بالهدروجين عدا تلك المساحات التي تتطلّب (مثلاً) موصلية عالية (انظر الشكل 3). إن التصوير الزيتي أو الدهان بالهدروجين أسهل بكثير، ومن المتوقع أن ينتج شيئاً "أنعم" –شيئاً يتغيّر بشكل أسهل مقارنة مع شيء منتج بطريقة الحرق الفجة. إن التجارب على الطريقة الجديدة آتية، وقد تمَّ الحصول على نتائج مشجّعة في مختبرات عدة بما فيها مجموعة يوتنغ YuTing في جامعة نانيانغ التكنولوجية في سنغافورة Nanyang Technological University in Singapore وكذلك في مانشستر.

وعلاوة على ذلك، يمكن للمرء، في حالة إمكانية ترتيب الهدروجين نفسه على طول اتجاهات بلّورية معيّنة، أن يُحدث بنىً نانوية من الغرافين موجّهة بشكل بلّوري. فمثلاً، يتنبأ النظريون بأن الشرائط النانوية الكاملة التعرج ستكون دائماً معدنية، وتلك التي حوافها على شكل كرسي بذراعين بشكل تام –اتجاهاتها عمودية على هذا التعرج– يمكن أن تكون عازلة. ومهما يكن، فإن الكلمة المفتاح هنا هي تام "perfect" –فإذا انحرف شكل الحافة ولو قليلاً عن اتجاه بلّوري معين، فإن ذلك يؤدي إلى تغيّرات مثيرة في الخواص الإلكترونية. إن مثل هذا الكمال لا يمكن الحصول عليه باستخدام تقنيات الطباعة الحجرية الحالية (أعلى–أسفل). ولكن تفاعل الغرافين مع الهدروجين يقدم أسلوباً مختلفاً جداً أو ذاتي التنظيم، من المؤمل أن يثبت أنه أكثر فعالية.

والملابسة الأخرى لعكوسية غرافين–غرافان هي أنه يمكن للمرء بتغيير تركيز الهدروجين الممتز على الغرافين أن يدفع هذه المنظومة إلى التحول معدن–عازل. يمثل الغرافين حالة فريدة: فخلافاً لجميع

الشكل 2- بنية العُصابة الإلكترونية للغرافين



تنشأ الخطوط الزرقاء من الإلكترونات المرتبطة في المدارات–σ، التي تنتج بنية عصابة من النوع العازل مع فرجة تبلغ 5 eV بين السوية العليا المشغولة كلياً (دون سوية فيرمي المشار إليها بالخط الأخضر عند الطاقة صفر) والسوية الفارغة المقيسة التي تليها (فوق سوية فيرمي). وفي المقابل، إن الإلكترونات–π غير متوضعة، منتجة بنية عُصابية (الخطوط الحمراء) حيث تتلامس العُصابات المشغولة كلياً والعُصابات الفارغة كلياً بعضها مع بعض. وعلى أية حال، ففي الغرافان، المكوّن من الغرافين المضاف إليه الهدروجين، تكون إلكترونات–π مرتبطة بقوة مع ذرّات الهدروجين. وهكذا تكون عُصابات–π غير موجودة، مما يعني بأن الغرافان يعمل كعازل. تمثل الحروف هنا على محور–X نقاط التناظر العالي في الخلية الأولية في الفراغ المقلوب، والمعروف بمنطقة بريلّوين Brillouin (التي لها شكل سداسي الأوجه للغرافين). Γ هي مركز المنطقة، في حين توجد K عند الذروة وتوجد M عند مركز الحافة.

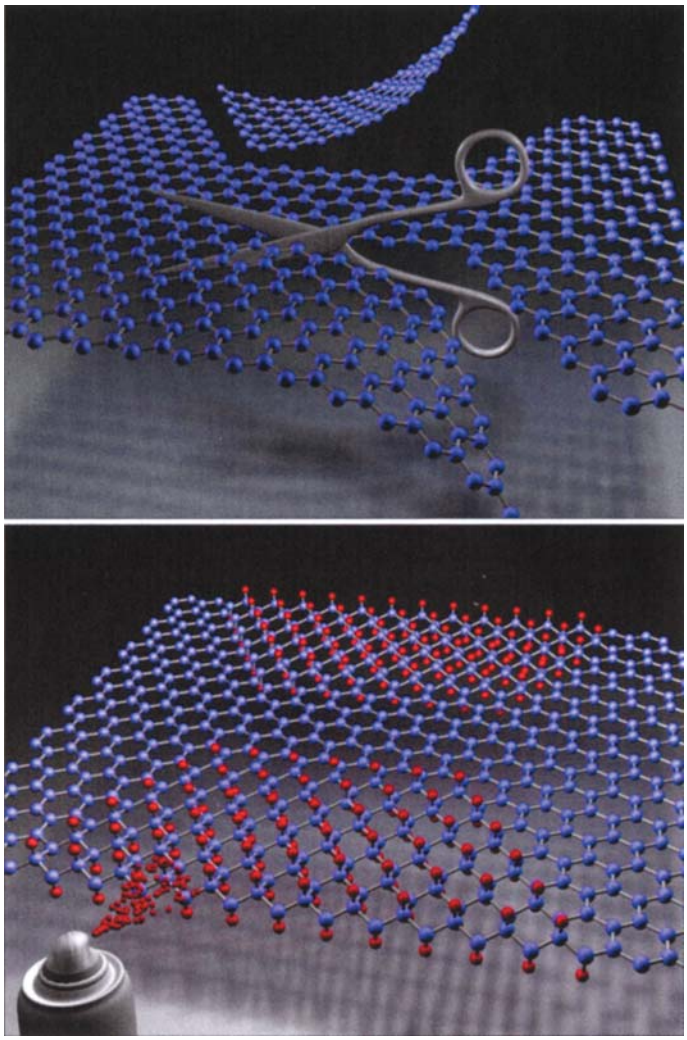
المنظومات الثنائية البعد 2D المعروفة، فإن أشباه الجسيمات الحاملة للشحنة خلاله غير متوضعة. يمكن تتبع توضيح هذا التأثير بالرجوع إلى مفارقة كلاين Klein، وهي لغز غامض منذ عهد بعيد في الفيزياء النسبوية والتي لها صلة بتبعثر الإلكترونات على حاجز كموني أو العبور النفقي خلاله. فبإضافة الهدروجين تدريجياً إلى الغرافين، يمكننا أن نقود المنظومة من حالة عدم التوضع إلى التوضع، ونتحرّى ماذا يحدث أثناء الانتقال.

والنتيجة الأخيرة –والتي من المحتمل أنها الأكثر أهمية– في ظهور الغرافان أنه فتح بوابات فيضان التعديلات الكيميائية للغرافين، ولظهور بلّورات ذرّية ثنائية البعد جديدة لها خواص محددة سلفاً. توجد مسبقاً نهايتان للطيف: الغرافين المعدني في إحدى النهايات والغرافان العازل في النهاية الأخرى. فهل نستطيع أن نجد حدّاً فاصلاً بينهما، ولنقل، أنصاف عوازل قائمة على الغرافين ومواد جديدة أخرى؟ من المؤكد أن هذا ممكن لدرجة ما. فمثلاً إن فلورة الغرافين –أي إدخال ذرّات الفلور بدل الهدروجين– يتوقع أن يتم مباشرة، ويعود الفضل في ذلك إلى غاز الفلور الفعّال. لقد بدأت التجارب لاستكشاف هذا الأمر، مع أن التجارب الأولية أيضاً أثبتت انفتاح فرجة إلكترونية كبيرة ومن خواص ميكانيكية تتغيّر بشكل مثير.

وبينما تكون خواص التوصيل للغرافين وللغرافان مهمّة، فمن الممكن من حيث المبدأ أيضاً تعديل الخواص الضوئية والميكانيكية للمركّبات القائمة على الغرافين. تصوّر دارة متكاملة تقليدية تحوي تقريباً نصف العناصر الموجودة في الجدول الدوري. أليس من المرغوب فيه لو نستطيع الحصول على مثل هذه الدارة باستخدام مادة واحدة مثل الغرافين، تعدَّل محلياً للتوصل إلى خواص نوعية حسب الحاجة؟ فنستطيع مثلاً استعمال الغرافين النقي في الوصلات الداخلية، والغرافان (أو أي شيء آخر يملك فرجة عُصابية) من أجل الترانزستورات، والغرافين المغنطيسي (إذا تمكنّا من الحصول عليه) في الحقن السبيني أو في ضبط توجه السبين الإلكتروني.

وأما ما وراء الإلكترونيات، فإن المدى الممكن للتطبيقات أوسع، فالقدرة على ضبط المقاومية والإنفاذية الضوئية وعلم المواد ستكون جميعها مهمّة للنبائط الفوتونية، مثل الخلايا الشمسية وشاشات البلّورة السائلة مثلاً، وتغيير الخواص الميكانيكية والكمون السطحي هي في قلب تعميم المواد التركيبية. لقد كشفت التعديلات الكيميائية للغرافين –والغرافان هو المثال الأول– بعداً جديداً كاملاً للبحث. والإمكانات لا نهاية لها عملياً.

الشكل 3- الحصول على الشكل



إن الطريقة التقليدية لتشكيل بنى نانوية من الغرافين هي تنميش البلازما الفعّال، والتي تضاهي قطع البنى من الورقة بواسطة المقص (في الأعلى): تحرق القطع غير المطلوبة بسهولة بالأكسجين. الطريقة البديلة هي ترذيذ الهدروجين الذرّي على المساحات التي نود أن تكون غير موصلة (في الأسفل)، تاركين شريط الغرافين محاطاً بالغرافان.

التطورات الحديثة والاتجاهات البازغة في إشارات الهرمونات النباتية

يُنظَّم نمو النبات وتطوره من قبل مجموعة من جزيئات صغيرة غير مرتبطة بنائياً تسمى الهرمونات النباتية. ازداد عدد الهرمونات النباتية المعروفة خلال الخمس عشرة سنة الماضية، من خمسة إلى عشرة على الأقل. إضافة إلى ذلك، تم تحديد العديد من البروتينات الداخلة في مسارات نقل الإشارة للهرمونات النباتية بما يشمل مستقبلات لكثير من الهرمونات الرئيسة. ومن المثير أن مسار يوبيكوتين- بروتيوزوم يلعب دورا مركزياً في معظم مسارات نقل الإشارة. بالإضافة لذلك، تؤكد الدراسات الحديثة أن نقل إشارة الهرمون يدخل في مستويات عديدة خلال مراحل نمو النبات وتطوره.

الكلمات المفتاحية: هرمونات نباتية، نقل الإشارة، مستقبلات، تفاعل هرموني.

■ آرون سانتنير
شركة Molecular Kinetics, 6201 La Pas Trail, Suite 160, Indianapolis, Indiana 46268, USA.

■ مارك إستيل
جامعة كاليفورنيا سان دييغو، شعبة البيولوجيا التطورية والخلية 9500 Gilman Drive, La Jolla, California 92093, USA.

لأن النباتات لا تستطيع الحركة (نمط حياة ثابت)، فإنها يجب أن تتكيف مع العديد من المحفزات الخارجية وتنظم نموها وتطورها تبعاً لذلك. تلعب الهرمونات النباتية، وهي مجموعة من الجزيئات الصغيرة غير المرتبطة بنائياً، دوراً مركزياً في ربط المشعرات البيئية المتنوعة مع برنامج النبات الوراثي. الهرمونات النباتية التقليدية التي تم تحديدها خلال النصف الأول من القرن العشرين هي الأوكسينات و حمض الأبسيسيك و السيتوكينينات و الجبرالين والإيثيلين. وفيما بعد تم التعرف على عدد من المركبات الإضافية التي عرفت كهرمونات ومنها براسينوستيروئيدات والجاسمونيت وحمض الساليسيك وأوكسيد النيتريك والسترغولاكتونات (جدول 1). تستخدم النباتات أيضاً عدداً من الهرمونات البيبتيدية لتنظيم استجابات نمو متنوعة، ولكن هذا الصف من الهرمونات هو خارج سياقنا هنا. مع تطبيق الطرائق الوراثية، بشكل أساسي على نبات الأرابيدوبسس ثاليانا Arabidopsis thaliana، تم توضيح مناحٍ عديدة من بيولوجيا الهرمونات. تدخل معظم الهرمونات في سيرورات مختلفة عديدة خلال مراحل نمو النبات وتطوره. ينعكس هذا التعقيد في مساهمات التصنيع الهرموني والنقل ومسارات نقل الإشارة، وأيضاً في تنوع التداخلات بين الهرمونات للتحكم في استجابات النمو.

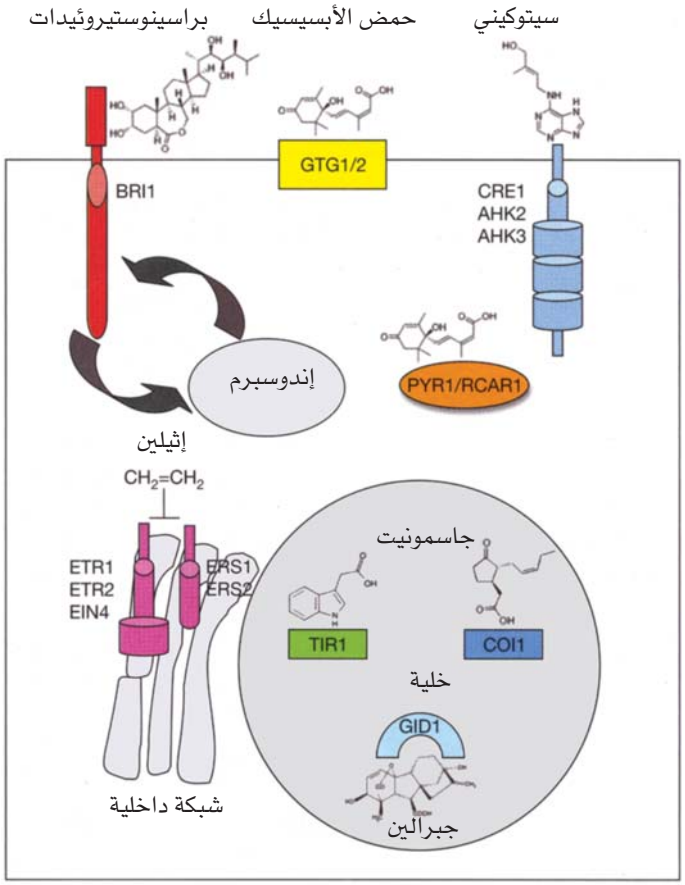
نجم عن دراسات المسح الوراثي تحديد العديد من البروتينات الداخلة في نقل إشارة الهرمونات وساهم تحليل هذه الهرمونات بشكل معنوي في نماذجنا الحالية لفعل الهرمونات. إحدى النتائج

نُشر هذا المقال في مجلة Physics world, Vol 21, 11 November 2008، ترجمة د. نزار ميرعلي، عضو هيئة التحرير.

جدول 1: مستقبلات الهرمونات النباتية

الهرمون	نمط المستقبل	المستقبلات
أوكسين	بروتين F-Box	TIR1,AFBs
حمض الأبسيسيك	بروتين G- شيلاناز	GTG1,GTG2,GCR2*,CHLH*
سيتوكينين	منظمات من مكونين	CRE1,AHK2,AHK3
جبرالينات	تشبه الليباز الذي يستجيب للهرمون	GID1
الإيثيلين	منظمات من مكونين	ETR1,ERS1,ETR2,EIN4,ERS2
براسينوستيرويدات	مستقبل ذو تكرارية غنية بالليوسين يشبه الكينازات	BR1
جمض الجاسمونيك	بروتين F-Box	COI1
حمض الساليسيليك	غير معروف	
أوكسيد النيتريك	غير معروف	
ستريغولاكتونات	غير معروف	

الحديثة والمثيرة بشكل خاص هي تحديد مستقبلات الأوكسينات والجبريللينات والجاسمونيت وحمض الأبسيسيك (الشكل 1). ومع أن فهمنا لايزال بعيداً عن الكمال، فإن استقبال إشارة الهرمون ونقلها قد سمح بمقارنات بين الهرمونات. ومن هذه المقارنات أصبح واضحاً أن بعض الهرمونات (السيتوكينينات والإيثيلين والبراسينوستيروئيدات) تستخدم آليات نقل إشارة محددة بشكل جيد. من ناحية أخرى، فإن تحديد مستقبلات الأوكسينات والجاسمونيت وبروتينات نقل إشارة الجبرالينات وتوصيفها قد أظهر آلية جديدة لفهم الهرمونات والتي يلعب فيها مسار اليوبيكوتين والبروتيوزوم دوراً مركزياً.



الشكل 1: مواقع استقبال الهرمونات النباتية.

BRI1 هو مستقبل مترافق مع غشاء يتنقل بين الغشاء البلاسمي وحجيرات الإندوسبرم. تلتحم المنطقة خارج الخلية الغنية بتكراريات الليوسين مع البراسينوستيروئيدات وينقل الإشارة عبر منطقة الكيناز داخل الخلية. GTG1 و GTG2 هي بروتينات G- من نوع GPCR التي تلتحم حمض الأبسيسيك. لها فعالية أنزيمية ملازمة من نوع GTPase ولكنها أيضا تتفاعل مع تحت الحزمة الوحيدة Gα في الأرابيدوبسس. PYR1/RCAR1 هو مستقبل ينحل في ABA ويكبح PP2C فوسفاتاز بوجود الـ ABA. مستقبلات السيتوكينين CRE1 و AHK2 و AHK3 مترافقة مع الأغشية البلازمية وتستقبل السيتوكينين عبر أجزائها خارج الخلية. يحفز التحام السيتوكينين سلسلة الفسفرة التي تنتقل بالنتيجة لمنظمات الاستجابة في الخلية. ومثل مستقبلات السيتوكينين فإن مستقبلات الإيثيلين المعروفة هي منظمات من مكونين. كل المستقبلات الخمسة هي نشيطة في الشبكة الداخلية وتنقل إشارتها عبر جزء مشترك نزولاً يدعى CTR1. TIR1 و COI1 هما من بروتينات F-Box والتي تعتبر مكونات ضرورية لنمط SCF من الليغاز E3 وتتعرف على الهرمونين النباتيين الأوكسين وحمض الجاسمونيك على التتالي. GID1 هو مستقبل للجبرالينات متموضع في النواة، وتنتج عن الجبرالينات التي تلتحم مع GID1 زيادة في تحطم بروتينات DELLA.

إضافة لهذا التقدم، فقد نجم عن مقارنة مسارات نقل إشارة الهرمون بين أعضاء المملكة النباتية التي أمكن الوصول إليها من الناحية التطورية تبصرٌ هام عن صيانة مسارات نقل إشارة الهرمونات ونشوئها. ساعد في تسهيل فهم هذه المقارنات المشاريع الواسعة النطاق لسلسلة الجينومات مثل تلك الخاصة بالطحالب Physcomitrella patens والسرخسيات Selaginella والأرابيدوبسس Arabidopsis thaliana والرز Oriza sativa. على سبيل المثال، فإن جينوم الطحالب (أحد أسلاف النبات القديمة) يرمِّز (يكوِّد) بروتينات تعمل على نقل إشارة الأوكسينات وحمض الأبسيسيك والسيتوكينينات، بينما لا يحوي جينوم الأشنيات الخضراء مثل ذلك مما يدل على أن هذه المسارات قد ظهرت عندما احتلت النباتات الأرض. بالمقابل، فإن مقارنة جينوم الطحالب مع جينومات نباتية أكثر تطوراً يدل على أن آليات نقل الإشارة للجبرالينات والإيثيلين والبراسينوستيروئيدات ربما لم تنشأ حتى بعد الانفصال التطوري بين الطحالب والنباتات الوعائية. وسوف تتوسع هذه الملاحظات عندما يتحدد المزيد من مكونات نقل إشارة الهرمونات ويتوفر المزيد من سلسلة الجينومات.

هذا زمن مثير في حقل بيولوجيا الهرمونات النباتية لأن معرفتنا عن التصنيع الحيوي للهرمونات وعمليات الاستقلاب (الأيض) والنقل والاستشعار واستقبال الإشارة والاستجابة قد نمت بشكل أسي خلال السنوات القليلة الماضية. وبالنتيجة فقد كُتِبَت مقالات مراجعة حديثة لهرمونات فردية تغطي مواضيع من عمليات الاستقلاب والنقل إلى استقبال الإشارة. نستعرض هنا بعض التقدم في نقل إشارة الهرمونات النباتية، ونركز على مستقبلات الهرمونات المحددة حديثاً وعلى الدور الواسع لتحول البروتينات المنظمة في مسارات نقل الإشارة في الهرمونات النباتية، ونناقش أيضاً بعض الطرائق التي تتكامل فيها مسارات الهرمونات خلال نمو النبات وتطوره.

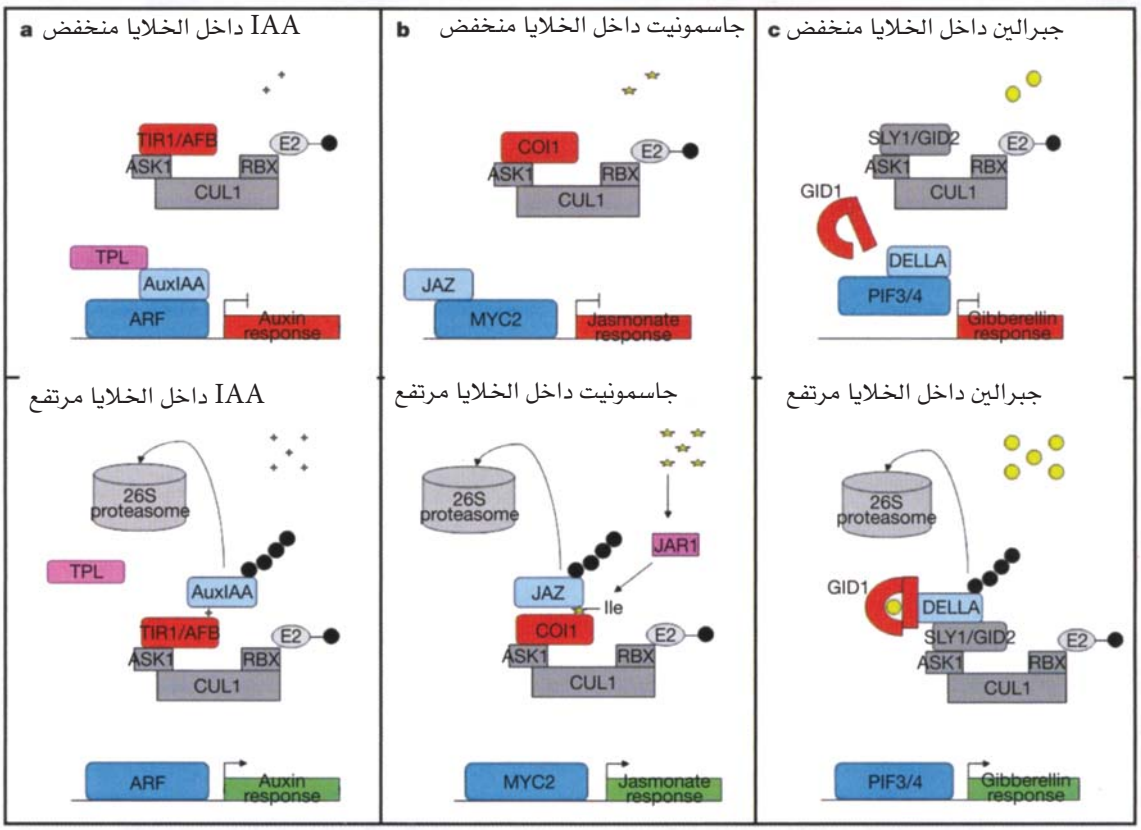
استشعار الأوكسين من قبل صنف جديد من المستقبلات

الأوكسين ذو دور أساسي في تنظيم نمو النبات وتطوره من المرحلة الجنينية وحتى النضج. ولما كانت بروتينات نقل إشارة هذه الهرمونات الأكثر تحديدا في النبات، فإن مستقبلات الأوكسين وجدت أولاً خلال عمليات مسح الطفرات. وفي هذه الحالة كان المسح على بادرات الأرابيدوبسس ذات الاستجابة المعدلة للأوكسين أو مانعات نقل الأوكسين. تم تحديد عدد كبير من الطفرات المقاومة للأوكسين والتي تعطلت فيها أجزاء Skp1/Cullin/F-box (SCF) يوبيكوتين ليغاز (E3) أو البروتينات التي تنظم نشاط [29] SCF.

إن E3 ليغاز هي الأنزيمات الأخيرة في مسار توحيد اليوبيكوتين والبروتين وتحدد نوعية المسار. في حالة نمط SCF ليغاز E3، تتفاعل بروتينات F-box مباشرة مع الركيزة محددة نوعية الركيزة للمعقد. تم التعرف أولاً على دور SCFs في نقل إشارة الأوكسين بتحديد بروتين من F-box يدعى TIR1. تعطي الطفرات المتنحية من TIR1 صفة المقاومة للأوكسينات مما يعني أنه هناك حاجة للبروتين في تحطيم المنظمات السلبية لاستجابة الأوكسين. وكان الحدث الرئيس في تحديد مسار نقل الإشارة للأوكسين هو الاكتشاف بأن SCF^{TIR1} يرتبط مباشرة مع تنظيم انتساخ الأوكسين.

يتم التحكم بالاستجابة لنسخ الأوكسين من قبل عائلتين كبيرتين من عوامل الانتساخ: بروتينات أوكسين/إندول-3-أسيتيك أسيد (Aux/IAA) وعوامل الاستجابة للأوكسين (ARFs) (والتي يوجد منها في الأرابيدوبسس 29 و23 عضواً، على التتالي). تلحم تربط ARFs مثيرات مورثات الاستجابة للأوكسين فإما أن تُفَعِّل أو تمنع الانتساخ اعتماداً على نوع الـ ARF[33]. تلتحم بروتينات Aux/IAA على ARFs في الجزء المشترك من كلا البروتينين والمسمى الجزء III و IV وتكبح انتساخ الأوكسين المنظم. من المهم بمكان أن بروتينات Aux/IAA قصيرة العمر، ويتعزز تحللها بالأوكسين ويعتمد على TIR1. تم عزل عدد كبير من الطفرات من مورثات Aux/IAA التي استعادت وظائفها، وفي كل حالة تؤثر الطفرات على الثمالات ضمن منطقة محافظة جداً تسمى الجزء II، وأوضحت الدراسات البيوكيميائية أن الجزء II يلتحم مع TIR1 وأن هذا الالتحام يتعزز بالأوكسين.

بالرغم من أن هذه النتائج اقترحت آلية تعتمد على الأوكسين في منع كبح الانتساخ، فإنه لا يزال غير واضح كيف يثير الأوكسين تفاعل SCF^{TIR1} و Aux/IAA، وتبين في النهاية أن TIR1 نفسه يلحم الأوكسينات النشطة بيولوجيا بشكل مباشر ونوعي. يزيد الأوكسين الملتحم مع TIR1 من ثباتية معقد Aux/IAA-TIR1.



الشكل 2: هناك حاجة لـ SCFs لنقل إشارة كل من الأوكسين والجاسمونيت والجبرالين.

a. عائلة TIR1/AFB من بروتينات F-Box هي مستقبلات الأوكسين. TIR1 هو مكون من المعقد SCF الذي يتألف أيضا من ASK و CUL و RBX. يثبت التحام الأوكسين معقد TIR1-AUX/IAA وينجم عن ذلك تحطم الـ AUX/IAAs والتي تحرر بدورها TPL وتسمح بالانتساخ الذي يعتمد على الـARF.**b.** التحام JA-Ile مع COI1 يحض على التحام الـ JAZ والتثبيط ubiquitination. وينجم عن ذلك العودة عن كبح انتساخ مورثات الاستجابة للجاسمونيت المعتمد على MYC2. **C.** يحض التحام الجبرالين على مستقبل GID1 تشكيل معقد GID1–DELLA. ويحض التحام GID1- DELLA التفاعل بين النهاية الكاربونية لبروتين DELLA و$SCF^{SLY1/GID2}$. يحض تحطيم الـ DELLAs تحرير الـ PIFs مما يسمح باستجابات الجبرالين للالتحام مع الدنا. في كل لوح، المستقبل الهرموني ملون بالأحمر، ركيزة البروتين باللون الأزرق، الرموز التي تمثل الهرمونات بالأصفر ومكونات مسار بروتيوزوم اليوبيكوتين باللون الرمادي. الدوائر السوداء تمثل اليوبيكوتين.

أظهرت دراسات بنية TIR1، بوجود الأوكسين والببتيد المحيط بالجزء II، كيف أن الأوكسين يحفز تحطم Aux/IAA. يلتحم جيب مفرد كاره للماء على سطح منطقة التكراريات الغنية باللوسين من TIR1 مع كل من الأوكسين والجزء II من الببتيد. يلتحم الأوكسين مع الثمالات في قاعدة هذا الجيب ويساهم في التحام بروتين /Aux IAA. يتفاعل الجزء II من Aux/IAA مع ثمالات TIR1 الواقعة مباشرة فوق الأوكسين مالئة ما بقي من الجيب. هنالك معنى واحد مهم للبنية وهو أن كلاً من TIR1 و Aux/IAAs يبدو أنهما يساهمان في تحقيق درجة التحام عالية الألفة مع الأوكسين. وفي هذا المعنى، يبدو من المناسب أكثر أن يُدعى TIR1 و Aux/IAA مستقبلي بروتين متشاركان. إذا كان ذلك صحيحاً فإنه يعني أن مجموعات مختلفة من بروتينات F-box والركيزة يمكن أن تكون لها خصائص التحام فريدة مع الأوكسين.

لأبحاث الأوكسين تاريخ طويل وكان للاكتشاف بأن TIR1 يعمل كمستقبل للأوكسين آثار كبيرة في مناح عدة. يدل العمل على أن بروتينات F-box ، وربما أنزيمات الليغاز E3 الأخرى، تستطيع

أن تعمل كمستقبلات للجزيئات الصغيرة. في الحقيقة، أوضحت الدراسات أن هذا ربما يكون صحيحاً (انظر نقل إشارة الجاسمونيت بالأسفل). علاوة على ذلك، فإن الاكتشاف بأن جزيئاً صغيراً يمكن أن يعزز معنوياً التفاعل بين E3 وركيزته يقدم إستراتيجية جديدة لتطوير أدوية تستهدف مسار يوبيكوتين– بروتيوزوم. وأخيراً، فإن المعرفة المفصلة لوظيفة مستقبل الأوكسين يمكن أن تحفز تطوير منظمات نمو نباتية جديدة.

ألقت النتائج الحديثة أيضا ضوءاً جديداً على آلية كبح Aux/IAA. أظهرت دراسات سابقة أن هناك حاجة للجزء I المحافظ في بروتينات Aux/IAA من أجل كبح الانتساخ ولكن لم تكن آلية الكبح واضحة. يحوي الجزء I في معظم Aux/IAAs على محفز كبح للماء مرافق لمعامل استجابة إيثيليني ذات قطبية محبة وغير الماء. في العام 2008 أظهر بروتين دعي TOPLESS (TPL) أنه يترافق مع الجزء I من بروتين Aux/IAA IAA12 وبأنه يقوم بوظيفة كابح انتساخ تشاركي [41]. تدعم هذه النتائج نموذجاً مطوَّراً تعمل فيه بروتينات Aux/IAA ككوابح للانتساخ الذي يتوسطه الـ ARF وذلك بتجنيد TPL أو أي عوامل قريبة تقوم بكبح انتساخ تشاركي إلى معقد البروتين المتعدد. يعمل الأوكسين على وقف كبح الانتساخ بتعزيز عملية الـ ubiquitination والتحلل اللاحق لبروتينات Aux/IAA من خلال فعل SCF^{TIR1}. وفي حال غياب بروتينات Aux/IAA، فإن TPL لايترافق مع معززات المورثات المنظمة لعمل الأوكسين (شكل 2). تبقى بعض الأسئلة الهامة حول هذا النموذج، فعلى سبيل المثال، من غير المعلوم فيما إذا كان SCF^{TIR1} يتفاعل مع Aux/IAA عندما يكونان في معقد مع TPL وARF، أو مع ARF بمفرده أو ربما لوحده. بالإضافة لذلك، فإن كل فرد من هذه البروتينات يشكل جزءاً من عائلة كبيرة (6 TIR1/AFBs و 29 Aux/IAAs و 23 ARFs و 5 أقارب من TPL/TOPLESS) وقد بُدئ الآن باستكشاف إلى أي مدى تكون هذه التفاعلات نوعية بين أعضاء العائلات المختلفة.

استشعار الجاسمونيت مشابه لاستشعار الأوكسين

من الواضح الآن أن TIR1 وأقرب أقربائه بروتينات نقل إشارة الأوكسين F-box (AFBs) تخدم كمستقبلات للأوكسين. يحتوي جينوم الآرابيدوبسس حوالي 700 F-box بروتين، وهذا يطرح السؤال التالي: هل تقوم بروتينات F-box أخرى بالعمل كمستقبلات للهرمونات النباتية؟ تقترح نتائج البحوث الحديثة حول فهم الجاسمونيت والتأكيد بشدة أن الجاسمونيت والأوكسين يشتركان بآلية محافظة لاستشعار الهرمون والاستجابة له.

إن حمض الجاسمونيك الأوكسيليبيني ومواده الأيضية المعروفة عموماً كجاسمونيت هي جزيئات إشارة نباتية هامة تتوسط الاستجابة للإجهادات الحيوية واللاحيوية وأيضاً في مناحي النمو والتطور. إحدى الطفرات التي ساعدت في تعريف دور الجاسمونيت في نمو النبات هي طفرة الأرابيدوبسس التي لاتستجيب للكورونيتين المرمزة (coi1). إن الكورونيتين هو سم نباتي قريب من الجاسمونيت من الناحيتين البنائية والبيولوجية. وأن طفرة coi1 مقاومة لكل من الكورونيتين وميثيل جاسمونيت ومسؤولة أيضاً عن العقم الذكري. أوضحت دراسات متتالية أن طفرات coi1 تشوش استجابة الجاسمونيت في كل المناحي، مما يدل على أن لـ COI1 دوراً أساسياً في عملية نقل الإشارة للجاسمونيت. تكود COI1 بروتيناً من F-box يعتبر ذا درجة قرابة عالية من TIR1. اقترحت هذه النتائج أن الاستجابة للجاسمونيت تحتاج إلى تحطيم كوابح تعتمد على SCF^{COI1} بنفس الطريقة التي يستهدف فيها SCF^{TIR1} الـAux/IAAs، ولكن لم تكن ركائز SCF^{COI1} معروفة حتى العام 2007.

تغير ذلك عندما تم تحديد عائلة جديدة من منظمات الانتساخ التي سميت بروتينات JAZ (جاسمونيت منطقة ZIM). أظهرت هذه المجموعات البحثية تحطم عدة بروتينات JAZ كاملة الطول في طريقة تعتمد على البروتيوزوم بعد معاملتها بالجاسمونيت، ولكنها كانت ثابتة في خلفية coi1 مما يشير إلى دور لـ SCF^{COI1} في مسار تحطيم الـ JAZ. إضافة إلى ذلك، فقد تم إظهار أن أعضاء من عائلة JAZ تتفاعل مع COI1 في الزجاج وفي اختبار هجين الخميرة الثنائي [14,13]. بالحقيقة، أظهرت نتائج التحاليل البيوكيميائية أن الكورونيتين الموسوم إشعاعياً يلتحم مع معقدات COI1-JAZ بدرجة ذات ألفة عالية. من المثير للاهتمام، أن هذه الدراسات أظهرت أيضاً أن الجاسمونيت المقترن مع الإيزوليوسين (JA-Ile) هو الجزيء الفعَّال [45]. وبأخذ جميع المعطيات، تشير

البيانات إلى أن SCF^{COI1} يخدم كمستقبل لـ JA-Ile لكي يجعل التفاعل بين بروتينات F-box وركيزتها ثابتاً.

لا ينتهي التشابه بين إشارة الأوكسين وإشارة الجاسمونيت عند ذلك. لا تملك بروتينات JAZ منطقة التحام دنا واضحة، مما يدعو لاقتراح أن تكون آثارها على الانتساخ غير مباشرة. تشير مقايسات السحب للأسفل وهجين الخميرة الثنائي إلى أن منطقة الكاربوكسيل الطرفية لـ JAZ3 (المعروفة أيضا بـ JAI) تتفاعل مع التسلسلات الطرفية عند النهاية الأمينية لـMYC2، وهو عامل انتساخ موصف جيداً يعدل من الانتساخ الذي يتوسطه الجاسمونيت. وهذا يرجح احتمال أن JAI/JAZ3 يوقف بشكل مباشر وظيفة MYC2. إن تحطم JAI/JAZ3 عن طريق SCF^{COI1} كاستجابة للجاسمونيت سوف يسمح لـ MYC2 بأن يفعِّل أو يكبح مورثات الهدف في منطقة الإشارة للجاسمونيت. تزيد العديد من مورثات JAZ بنفسها من تعديلها كاستجابة للجاسمونيت، مما يشير إلى وجود آلية تغذية راجعة سلبية تحد من الاستجابة للجاسمونيت، مرة أخرى بشكل مشابه كثيراً لمسار إشارة الأوكسين (شكل 2).

اليوبيكوتنة ظاهرة ارتداد

توضح مستقبلات الأوكسين وحمض الجاسمونيك المحددة حديثا بشكل جلي أهمية مسارات يوبيكوتين- بروتيوزوم في نقل إشارة الهرمون. ولكن من الواضح أيضاً أن تحول مسار البروتين الهدف هو مكون أساسي في العديد من مسارات نقل إشارة هرمونات أخرى.

نقل إشارة الجبرالين: يلعب الجبرالين مثل الأوكسين دوراً رئيساً في سيرورات نمو متنوعة ويشمل ذلك تطور البذور واستطالة الأعضاء والتحكم بوقت الإزهار. توضح البيانات الفيزيولوجية أن استجابات الجبرالين تنظم سلبيا من قبل بروتينات DELLA. (أخذت بروتينات DELLA اسمها من المنطقة الطرفية لـN المحافظة في[18] DELLA). أوضحت الدراسات الحديثة التي استكشفت إدماج إشارات الضوء والجبرالين خلال استطالة الخلايا نموذجاً لتنظيم نمو يتوسطه DELLA. تبين أن بروتينات DELLA تتفاعل بشكل مباشر مع منطقة التحام الدنا في عاملي انتساخ رئيسين في اللولب المضاعف (PIF3 وPIF4) لتفصلهما إلى معقدات خاملة. إن تراكم الجبرالين يوقف ثباتية DELLAs ويحرر كلاً من PIF3 وPIF4 لتفعِّل انتساخ مورثات الهدف الخاصة بهما. من المحتمل أن DELLAs تنظم فعالية عوامل انتساخ أخرى عديدة بهذه الآلية حيث إن كلاً من PIF3 وPIF4 هما أعضاء في تحت عائلات أكبر من بروتينات أساسية مضاعفة اللولب والتي تملك مناطق التحام دنا مشابهة.

ينجم عن الطفرات في داخل منطقة الـ DELLA لبروتينات DELLA نمط ظاهري سائد يستعيد وظيفته بعدم الاستجابة للجبرالين. أبعد من ذلك، وجد أن الـ DELLAs تتراكم في طفرات الأرابيدوبسس والرز التي يصيبها عيب في مورثات بروتينات F-box وهي sleepy1 (sly1) ومورثة التقزم التي لاتستجيب للجبرالين (gid2) على التتالي. وبالتالي وكما لوحظ في إشارة الأوكسين والجاسمونيت، يبدو أن الجبرالين ينظم وفرة عائلة كبح الانتساخ بتحفيز تثبيط البروتين (اليوبيكوتنة ubiquitination) من خلال فعالية الليغاز نمط SCF.

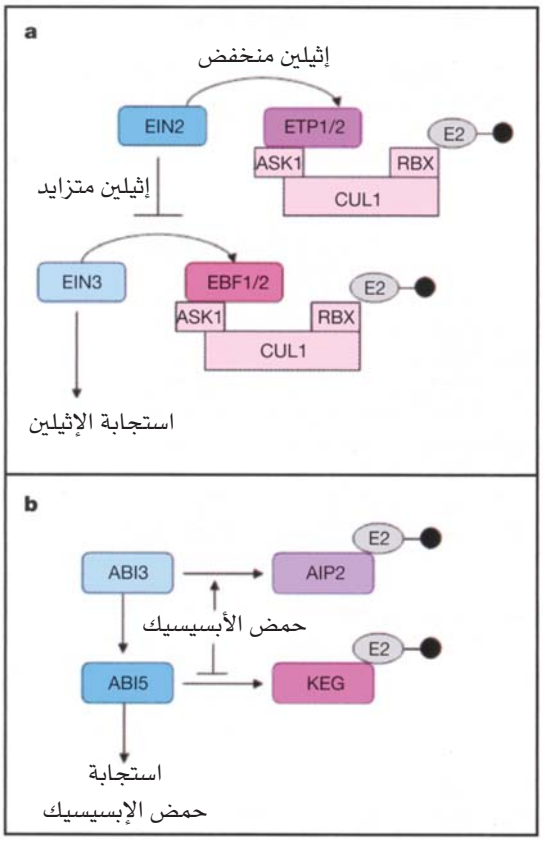
تم تحديد مستقبل الجبرالين لأول مرة في مسح وراثي لطفرات الإشارة في الرز. لا تستجيب الطفرة gid1 المتقزمة أبدا للمعاملة بالجبرالين، مما يعطي دلالة على دور رئيس للبروتين في نقل إشارة الجبرالين. يتموضع بروتين GID1 في النواة ويلتحم مع الجبريلينات النشطة بيولوجيا. تم تحديد ثلاث مورثات قريبة (orthologous) وهي GID1a وGID1b وGID1c في الأرابيدوبسس وتم الحصول على طفرات في كل مورثة وجمعت لدراسة تأثيرها على الاستجابة للجبرالين [51,50]. لا تستجيب الطفرة الثلاثية gid1a-cللجبرالين، مما يدعو لاقتراح أن كل استجابات الجبرالين تحتاج بروتينات GID1 فعالة في كل من الرز والأرابيدوبسس.

تتفاعل بروتينات GID1 مع بروتينات DELLA بطريقة تعتمد على الجبرالين. إضافة إلى ذلك، فإن التعبير المشترك لمستقبل GID1 يعزز التفاعل بين بروتينات DELLA وبروتينات F-box SLY1/ GID2 [51]. تدعو هذه البيانات لاقتراح أن DELLAs قادرة أكثر على التفاعل مع $SCF^{GID2/SLY}$ عندما تكون في معقد مع GID1 ملتحم مع الجبرالين. و يؤدي هذا التفاعل بالنهاية إلى اليوبيكونية ubiquitination وتحطيم كابح الـ DELLA وبالتالي إلى تحفيز الانتساخ الذي يتوسطه الجبرالين (شكل 2).

تم ذكر بنية كل من GID1 للرز و GID1a للأرابيدوبسس حديثاً ودعمت البنى هذا النموذج. وجد أن لـ GID1 تشابهاً في التسلسل والبنية مع أعضاء عائلة الليباز الحساسة للهرمونات، و تشكل البنية الأولية لـ GID1 (مثل الليبازات الحساسة للهرمونات) جيب التحام عميق يتم التحكم بالدخول إليه بغطاء مرن في النهاية الطرفية لـN. من المحتمل أن يؤثر الجبرالين الملتحم مع GID1 في البروتين ليجعله بصيغة مضغوطة بحيث يطوى الغطاء الطرفي لـN على جيب منطقة التحام الجبرالين. يتحقق التفاعل بين DELLA وGID1 من خلال ثلاثة تكراريات محافظة في منطقة DELLA (DELLA وVHYNP و LExLE) والتي تتصل مباشرة مع الغطاء الطرفي لـN الخاص بـ GID1. ليس واضحاً كيف تعزز الصيغ المعقدة تفاعل $SCF^{SLY/GID2}$ –DELLA، ولكن يمكن أن تشمل تغيرات بنيوية في المنطقة الطرفية الكاربوكسيلية GRAS لبروتينات DELLA.

نقل إشارة حمض الأبسيسيك أوضحت كثير من الأبحاث الحديثة آليات افتراضية لاستقبال حمض الأبسيسيك، ومؤخراً تم وصف عدد من المستقبلات المحتملة لحمض الأبسيسيك ولكن بعض هذه الدراسات كانت متناقضة. إحدى المرشحات التي ذكر أن لها فعالية التحام نوعية مع حمض الأبسيسيك هي تحت الحزمة H من magnesium protoporphyrin-IX chelatase (CHLH) والمعروفة أيضا بـGUN5 في الأرابيدوبسس. أظهرت هذه المجموعة بيانات تشير إلى أن نباتات الأرابيدوبسس ذات المستويات المنخفضة من CHLH يتصف إنباتها بعدم الاستجابة لحمض الأبسيسيك وبأنماط ظاهرية ذات فتحات مسام بينما النباتات التي لديها فرط تعبير CHLH لديها حساسية فائقة لحمض الأبسيسيك في هذه المقايسات. ولكن GUN5 هو موقع غير تقليدي لاستشعار حمض الأبسيسيك لأنه متموضع في الصانعات الخضراء. علاوة على ذلك، ذكرت دراسة حديثة أن CHLH في الشعير لم تلتحم مع حمض الأبسيسيك وبأن الطفرات ذات المستويات المنخفضة من CHLH لم تعط النمط الظاهري الخاص بحمض الأبسيسيك، مما يثير الشكوك حول الفكرة بأن هذا البروتين هو مستقبل لحمض الأبسيسيك.

إن المرشح الثاني كمستقبل لحمض الأبسيسيك هو بروتين G المرتبط مع مستقبل يدعى GCR2 وهذا الاقتراح هو أيضا مثار



الشكل 3: الليغاز E3 في نقل إشارة الإيثيلين وحمض الأبسيسيك.

a. يتم تنظيم بروتينين مفتاحيين في مسار نقل إشارة الإيثيلين من قبل النمط SCF- من أنزيمات الليغاز E3. في غياب الإيثيلين، تبقى مستويات EIN2 منخفضة بوساطة SCF^{ETP1} و SCF^{ETP2}. وعندما يزداد مستوى الإيثيلين ينخفض تعبير ETP1/2 ويزداد مستوى EIN2. وبشكل مترافق يزداد أيضا مستوى EIN3 ويعود ذلك جزئيا إلى فعل EIN2 على تحلل EIN3 بوساطة SCFEBF1/2. **b.** يتم ضبط مستويات ABI3 و ABI2 من قبل أنزيمات E3 الحلقية AIP2 و KEG على التتالي. يدفع حمض الأبسيسيك تحلل ABI3 ويمنع تحلل ABI5 لدفع استجابة حمض الأبسيسيك. الدوائر السوداء تدل على التحلل.

جدل بسبب عدم الاتفاق على وجود المنطقة عبر الغشائية المقترحة GCR2. إضافة على ذلك، فشلت التحاليل الوراثية لطفرات gcr2 في الكشف عن نمط ظاهري ذي علاقة مع حمض الأبسيسيك، وأشارت بعض الدراسات الكيميائية إلى أن GCR2 لاتلتحم مع حمض الأبسيسيك أساساً. عند هذه النقطة، يبدو من غير المرجح أن تلعب GCR2 كمستقبل لحمض الأبسيسيك.

تظهر ثلاث مقالات حديثة جداً وعداً أكبر، ففي دراسة من مخبرآسمان، تم إقحام زوج آخر من بروتين G مرتبط مع مستقبلات في استجابة حمض الأبسيسيك GTG1 و[16] GTG2. يشير الدليل الوراثي إلى أن GTG1 وGTG2 يعملان بشكل زائد على الحاجة لتوسيط استجابات حمض الأبسيسيك خلال الإنبات والإزهار واستطالة الجذور وإغلاق السم. ربما بشكل أكثر أهمية تم توضيح أن كلاً من GTG1 وGTG2 يلتحمان بشكل نوعي مع حمض الأبسيسيك الفعّال بيولوجياً في مقايسات الالتحام في الزجاج. علاوة على ذلك، وقعت ثوابت الفصل لالتحام حمض الأبسيسيك حوالي 35nM لـ GTG1 وحوالي 41nM لـ GTG2 ضمن المدى المناسب فيزيولوجياً.

وأخيراً، هناك مقالتان أخريان تقدمان دليلاً قوياً على أن عائلة من بروتينات START تلعب دوراً كمستقبلات لحمض الأبسيسيك. ابتدأت إحدى هاتين الدراستين مع اكتشاف تضادية انتقائية لحمض الأبسيسيك تدعى pyrabactin، حيث توصل مسح وراثي لأهداف البيراباكتين إلى تحديد المورثة المسماة PYRABACTIN RESISTANCE 1 (PYR1) والتي ترمز عضواً من تحت عائلة السيكليز في منطقة START للعائلة الكبيرة. تعتبر الطفرات التي ينقصها PYR1 وعضوان إضافيان على الأقل من عائلة PYR1-LIKE (PYL)، مقاومة بشدة لحمض الأبسيسيك. ولتتعلم أكثر عن وظيفة هذه البروتينات، قامت مجموعة كاتلر بمسح هجين الخميرة الثنائي باستخدام PYR1 كمصيدة. تحصّلوا على HAB1، وهو عضو من عائلة بروتينات الفوسفاتاز PP2C المعروفة بأنها تنظم إشارة حمض الأبسيسيك وكان أكثرها توصيفا هو ABI1. بشكل مثير للملاحظة، يعتمد التفاعل بين بروتينات PYR1 و PP2C على حمض الأبسيسيك، وإضافة على ذلك، يمنع التحام PYR1 من فعالية الفوسفاتاز. وفي الوقت نفسه كانت مجموعة غريل تمسح بروتينات ABI1 المتفاعلة في الخميرة، وميزوا بروتيناً يدعى RCAR1 والذي تبين أنه مطابق لـ.PYL9 مثل PYR1، يتفاعل RCAR1 مع ABI1 بطريقة معتمدة على حمض الأبسيسيك ويمنع نشاطه. تدعو هذه الدراسات مجتمعة لاقتراح نموذج مدهش يحتاج فيه نقل إشارة حمض الأبسيسيك إلى قمع لـ PP2Cs من خلال فعل PYR1/ RCAR1 والبروتينات القريبة. لاتزال العلاقة بين GTGs و PYR1/ RCAR1 غير معروفة حتى الآن، ولكن استجابات حمض الأبسيسيك متنوعة ويمكن لهذا التنوع أن يحتاج إلى مواقع متعددة للاستقبال.

إن مراحل نقل الإشارة التي تتوسط استقبال حمض الأبسيسيك والاستجابة غير واضحة ولكن مسار اليوبكيوتين– بروتيوزوم معروف بأنه مهم (الشكل 3). هناك أنزيما ربط حلقيان (RING E3 ligases، ABI3) وبروتين الرب (AIP2) و Keep on Going (KEG) يحضضان نقل الإشارة العادية لحمض الأبسيسيك من خلال تنظيم وفرة عوامل انتساخ الاستجابة لحمض الأبسيسيك يسميان ABA-Insesitive 3 (ABI3) و ABA-Insesitive 5 (ABI5) تنخفض مستويات ABI3 عندما تزداد مستويات حمض الأبسيسيك في الخلايا. إن الآلية الدقيقة غير معروفة ولكن هناك دليل يدعو لاقتراح أن حمض الأبسيسيك يزيد مستويات انتساخ AIP2 والبروتين. وهذه الزيادة في مستويات AIP2 تحفز تثبيط اليوبيكوتنة وتحلل الـ ABI3 بما يساهم في تحلله المتسارع. بشكل معاكس، يحمي حمض الأبسيسيك ABI5 من التحطيم الذي يتوسطه اليوبيكوتين مما يسبب في زيادة مستويات ABI5 كاستجابة للهرمون. وجد أن لـ KEG علاقة بتنظيم ABI5، وأن نقل إشارة حمض الأبسيسيك قد تمنع تعرّف أو تثبيط ABI5 من قبل [67] KEG. إن بادرات keg ذات نمط ظاهري شديد يشمل توقف النمو مباشرة بعد الإنبات، وتخفيض مستويات ABI5 في طفرات keg ينقذ بعض الأعراض الظاهرية وليس كلها، مما يدعو لاقتراح دور أوسع لـ KEG في نقل إشارة حمض الأبسيسيك الذي يمكن أيضاً أن ينسحب على عوامل انتساخ أخرى تستجيب لحمض الأبسيسيك.

نقل إشارة الإيثيلين يعتمد نقل إشارة الإيثيلين أيضا على تنظيم تحول البروتين. إن ETHYLENE INSENSITIVE 3 (EIN3) هو منظم إيجابي لعملية الانتساخ وهناك حاجة له لانتساخ مورثات عوامل الاستجابة للإيثيلين. تنظم مستويات EIN3 من خلال فعل بروتينين على الأقل من البروتينات المرتبطة بـEIN3، F-box الملتحم مع F-box (EBF1) و EBF2. يُعتقد بأن SCF^{EBF1} يقمع مستويات EIN3 عندما يكون الإيثيلين منخفضاً. تم اقتراح وظيفتين افتراضيتين لـ SCF^{EBF2} ربما يمنع SCF^{EBF2} التراكم الزائد لـ EIN3 أو ربما ينزعه عندما تنقص مستويات الإيثيلين (شكل 3). يُعتقد أن الاستجابات

الطبيعية للإيثيلين تقلل من تحطم EIN3 من قبل SCF^{EBF1} و SCF^{EBF2} وبالتالي تزيد مستويات EIN3 داخل الخلايا المستجيبة.

أظهر زوج آخر من بروتينات F-box ETP1 و ETP2 حديثاً أنهما يحفزان تحطيم بروتين إشارة الإيثيلين EIN2 بوجود الإيثيلين. عندما يتواجد الإيثيلين، ينخفض تعبير كل من ETP1 و ETP2 بما يسمح بتراكم EIN2، وبذا فإن مسار اليوبيكوتين له علاقة بنقل إشارة الإيثيلين في نقاط عديدة في المسار.

نقل إشارة الستريغولاكتون كان هنالك اعتقاد منذ سنوات عديدة بأن الأوكسين والسيتوكينين يلعبان دور الوسيط الرئيس في تفرع السيقان. ولكن أشارت دراسات على سلاسل من الطفرات التي شملت كلا من ramosus (rms) في البازلاء، القزمة dwarf (d) في الرز، نمو جانبي أكثر more axillary growth (max) في الأرابيدوبسس، وتخفيض السيادة القمية decreased apical dominance (dad) في البيتونيا إلى أن النمو الزائد في البراعم الجانبية يثبط أيضاً من قبل هرمون غير محدد. تم تحديد عدد من المورثات المتأثرة ووجد أنها تكود CAROTENOID CLEAVAGE DIOXYGENASE 7 (max3, rms5, d17) أو CCD8 (max4, rms1, d10, and dad1) ، مما يدعولاقتراح أن الهرمون كان ذا علاقة مع المواد الكاروتينية. وحديثاً جداً أظهرت مجموعتان مستقلتان أن مستوى الستريغولاكتون، مشتق كاروتيني، انخفض في الطفرات المقزمة من الرزd وفي طفرة البازلاء rms1. في سياق تفرع السيقان، من الممتع ملاحظة وجود حاجة لبروتين F-box يدعى MAX2/RMS4 للاستجابة للستريغولاكتون. نتوقع أن نتعلم قريباً فيما إذا كان MAX2/RMS4 هو مستقبل الستريغولاكتون.

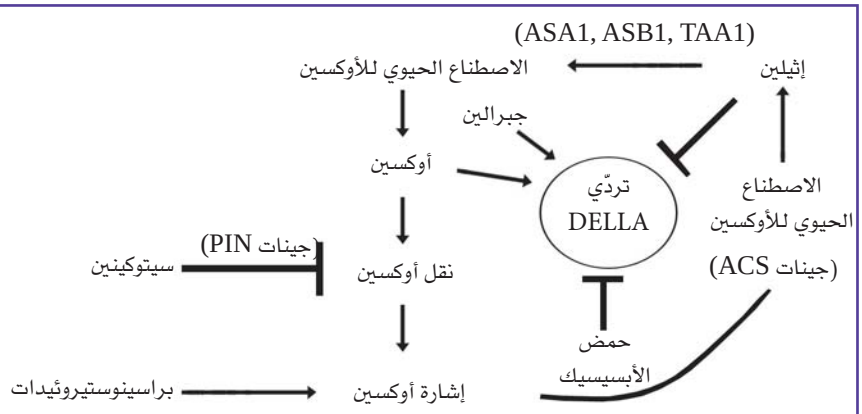
تكامل نقل إشارة الهرمونات

إن التخاطب بين الهرمونات هو حقل أبحاث فعال جداً استفاد من التوضيحات الحديثة لمسارات نقل إشارة الهرمونات. بالرغم من تحسن معرفتنا حول المكونات الجزيئية والمسارات التي تتوسط استجابات الهرمونات بشكل كبير جداً في السنوات الأخيرة، إلا أن الآليات الجزيئية لتفاعل الهرمونات لا تزال مفهومة بشكل ضعيف، ويجب أن تشهد السنوات القادمة تركيزا أكبر على وظيفة كل مسار هرمون ضمن سياق شبكات تنظيم أكبر.

يأتي الدليل على التخاطب بين الهرمونات بشكل أساسي من تحليل الأنماط الظاهرية للطفرات. تظهر الطفرات التي تأثرت في مسار هرمون واحد، بشكل متكرر، تغيرات أيضاً في استجابتها لهرمونات أخرى. على سبيل المثال، تُظهر الطفرات المرتبطة بالأوكسين مثل tir1 و aux1 و pin2 تعديلاً بالاستجابة لهرمونات أخرى بما يشمل الإيثيلين وحمض الأبسيسيك. يبدو واضحاً من هذه الدراسات ومن كثير غيرها أن التخاطب بين الهرمونات هو معقد بقدر ما هو مهم. تتفاعل كل الهرمونات النباتية بشكل شبه أكيد مع واحد أو أكثر من الهرمونات الإضافية التي تؤثر على التمثيل أو النقل أو الاستجابة، ويعتمد نمط التفاعل غالباً على النسيج و مرحلة النمو والظروف البيئية، وهذا يقدم تقريباً عدداً لانهائياً من الاحتمالات الممكنة للتنظيم. بالرغم من وجود العديد من الحالات الموثقة عن التخاطب، إلا أن معرفتنا الحالية بتفاعل الهرمونات لا تزال ضعيفة تماماً. وسنناقش هنا بعض الاستراتيجيات العريضة لتكامل الاستجابات الهرمونية من خلال أمثلة من المراجع الحديثة.

أصبح واضحا نشوء آليات متنوعة لتتعاون في تفعيل المسارات الهرمونية خلال التطور (الشكل 4)، والمثال الصارخ على ذلك هو تنظيم بناء الهرمون من خلال هرمون تفاعلي، وتتوضح هذه الآلية بالإيثيلين والأوكسين. أظهرت قياسات معدل التمثيل الحيوي للأوكسين بعد المعاملة بالإيثيلين، أن الإيثيلين يحفز مسار الاصطناع الحيوي للأوكسين. بالفعل، يتم التحكم بالعديد من المورثات التي يحتاج إليها للاصطناع الحيوي للأوكسين انتساخياً من قبل الإيثيلين. تكوِّد هذه المورثات كلاً من تحت الحزم ألفا وبيتا الخاصة بتمثيل الآنثرهنيليت (ASA1 و ASB1) وبعائلة محددة حديثاً من تريبتوفان أمينوترانسفيراز (TAA1) تعمل هذه الأنزيمات في تصنيع التربتوفان وفي مسار التمثيل الحيوي لأوكسين إندول-3-بيروفيك على التتالي.

يمكن أن يؤثر الأوكسين على الاصطناع الحيوي للإيثيلين أيضاً، ومن الأنزيمات المحددة في مسار الاصطناع الحيوي للإيثيلين 1- أمينوسيكلوبروبان-1-كاربوكسيلات سينتاز (ACS). يوجد في الأرابيدوبسس 9 مورثات ACS تستطيع أن تجمع ثنائيات متطابقة homodimerize أو ثنائيات متغايرة heterodimerize لتشكل أنزيمات فعالة. وجد أن العديد من مورثات ACS ينظم بالمعاملة



الشكل 4: تكامل الهرمون.

يحافظ كل من الأوكسين والإيثيلين على توازن مهم في الخلايا، جزئيا بتنظيم الاصطناع. كلا الهرمونين له دور في التحكم الانتساخي على مورثات أساسية في الاصطناع الحيوي. والآلية الثانية للتخاطب من خلال التحكم في نقل الهرمون. السيتوكينين والأوكسين متضادان خلال بدء تشكل الجذور الجانبية. ولمنع تشكل الجذور الجانبية، يكبح السيتوكينين تعبير PIN وبذلك يمنع تشكل تدرج الأوكسين الضروري لتشكل الجذور الجانبية. يتعاون كل من البراسينوستيروئيدات والأوكسين جزئياً في النمو، من خلال تنظيم مجموعة مورثات متداخلة. بالإضافة لذلك، تعدل فسفرة الـ ARF2 بوساطة البراسينوستيروئيد المنظم من قبل الكيناز، فعالية الـ ARF2. أخيراً يتقارب كل من الأوكسين والإيثيلين وحمض الأبسيسيك مع بروتينات DELLA.

بالأوكسين على مستوى الانتساخ. كما وجد للأوكسين دور في إنتاج حمض الجاسمونيك في الأزهار، حيث أوضحت تحاليل الطفرات للنباتات الثنائية الطفرات من نوع arf6 arf8 دوراً في التعاون في الانتقال من الأزهار غير الناضجة إلى الأزهار الناضجة. يرتفع مستوى الجاسمونيت خلال تطور الأعضاء الزهرية، إلى أعلى قيمة قبل تفتح المآبر وينخفض بعدها، و أظهرت القياسات المباشرة أن إنتاج الجاسمونيت انخفض في طفرات arf6 arf8 في كل مراحل النمو الزهري. أكثر من ذلك، بينت دراسات التعبير المورثي أن عدداً من مورثات التمثيل الحيوي المعروفة للجاسمونيت انخفضت درجة تعبيرها في طفرات arf6 arf8 مما يظهر دوراً تنظيمياً للأوكسين في إنتاج الجاسمونيت.

يحدث التفاعل الهرموني أيضاً على مستوى توزع الهرمون. ومثال توضيحي لهذا النوع من التخاطب هو الفعل التضادي للأوكسين والسيتوكينين خلال تشكل الجذور الجانبية، فمن المعروف بشكل واسع أن نقل الأوكسين القطبي وتأسيس التدرج في مستويات الأوكسين هو عامل محدد في نمو النبات والتنميط الشكلي، وخلال تطور الجذور يحفز الأوكسين بدء الجذور الجانبية بينما يعاكس السيتوكينين هذه الاستجابة. وإحدى الطرق التي يقوم فيها السيتوكينين بهذا الفعل هي بالتأثير على تعبير مورثات PIN الحاملة لانبثاق الأوكسين. تعمل خمس مورثات PIN على الأقل مجتمعةً لتأسيس معدلات متفاوتة من الأوكسين في الجذور من خلال التحكم في اتجاه نقل الأوكسين القطبي. بتخفيض تعبير PIN فإن السيتوكينين يعرقل تشكل معدلات الأوكسين المحلية المتدرجة في الخلايا المؤسسة للجذور الجانبية وبالتالي يمنع بدء الجذور الجانبية.

من المعروف أيضاً أن مسارات نقل الإشارة الهرمونية تتفاعل على مستوى التعبير المورثي. على سبيل المثال، تظهر الدراسات وجود تداخل معنوي بين مجموعات مورثات الاستجابة لكل من الأوكسين والبراسينوستيروئيد. بشكل عام، إن المورثات الهدف المشتركة التي تكبح بالأوكسينات تكبح أيضا بالبراسينوستيروئيدات والمورثات التي تفعل بالأوكسينات تفعل أيضاً بالبراسينوستيروئيدات مما يدعو لاقتراح وجود تعاون بين مساري نقل الإشارة. علاوة على ذلك، أظهر النمط الانتساخي في الطفرات ذات العوز للبراسينوستيروئيد brx وجود عدد قليل جداً من مورثات الأوكسينات التي استجابت بشكل طبيعي للأوكسين. وعلى العكس من ذلك، فإن الكثير من مورثات الاستجابة للبراسينوستيروئيد يتم تعطيل تعديلها في طفرة yucca التي تنتج الأوكسين بشكل زائد. إن أخذ جميع البيانات يدعو لاقتراح أن مسارات نقل الإشارة لكل من الأوكسين والبراسينوستيروئيد غالباً ما تلتقي على مجموعة من مورثات الهدف المشتركة. تم مؤخراً توضيح آلية جزيئية لهذا الالتقاء ينظم فيها تنظيم مباشر للبراسينوستيروئيد المنظم BIN2 كيناز لفعالية ARF2. وARF2 هو عامل استجابة للأوكسين يمنع انتساخ مورثات الاستجابة للأوكسين. تخرب فسفرة ARF2 التي يقوم بها BIN2 التحام الدنا مما يؤدي لتعطيل الـ ARF2 وتاليا لزيادة في انتساخ مورثات الاستجابة للأوكسين.

هناك مثال شائع آخر عن استراتيجية التخاطب يكمن في التحكم في المكونات المفتاحية لمسارات نقل الإشارة من قبل

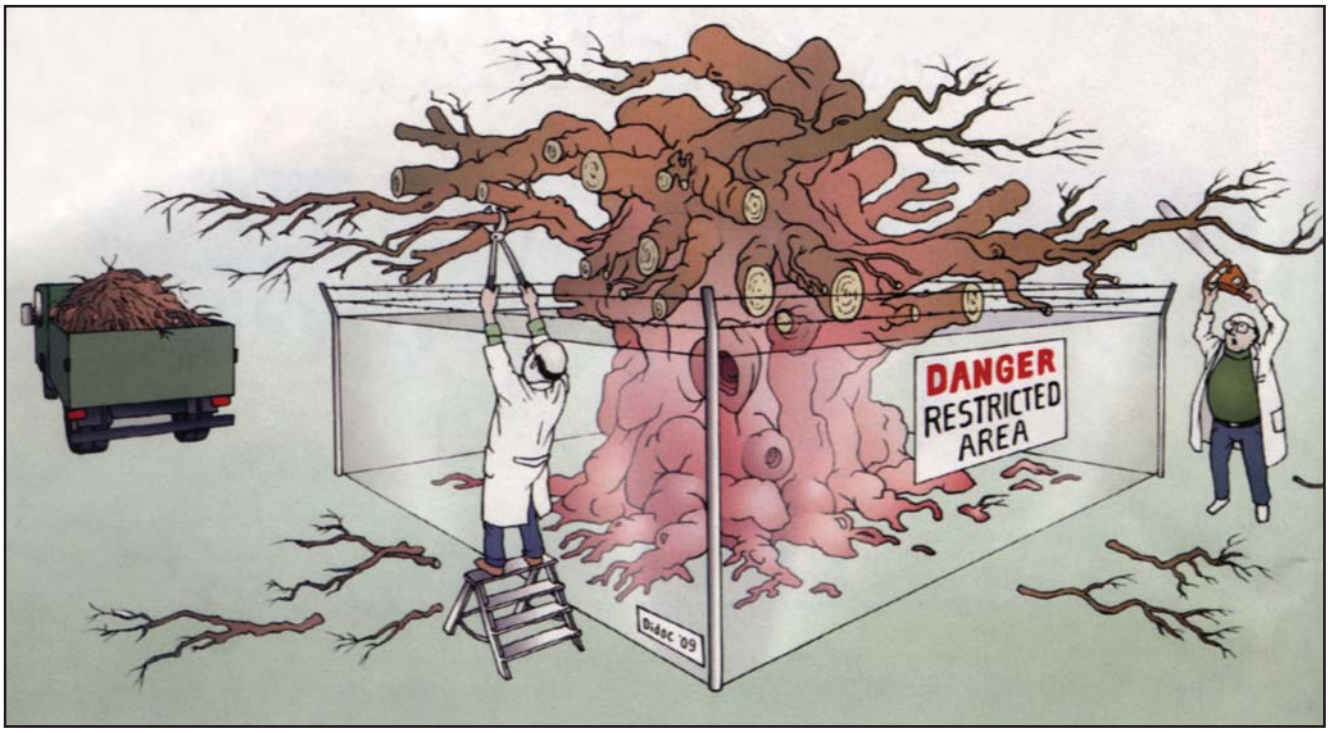
إشارات هرمونات أخرى. كما ذكر سابقاً، فإن بروتينات DELLA هي عوامل تنظيم مركزية لمسار نقل الإشارة الذي يتوسطه الجبرالين ويبدو أنه عقدة تخاطب مشتركة لعدد من الهرمونات المتفاعلة بما يشمل الأوكسين والإيثيلين وحمض الأبسيسيك. من المعروف أن نقل إشارة الجبرالين خلال استطالة الجذور يحتاج إلى الأوكسين بسبب أن تعطيل نقل الأوكسين القطبي أو إشارته يخفض من تأثير الجبرالين على استطالة الجذور، كما تترافق استجابة النمو الموهنة مع انخفاض تحطيم RGA (بروتين DELLA نوعي) في خلايا الجذور. تشير هذه الملاحظات إلى أن الأوكسين يحفز عدم الثباتية المحدثة من قبل الجبرالين لبعض بروتينات DELLA بأن تؤثر على الاستجابات للجبرالين.

وبشكل مشابه، فإن الإيثيلين يمكن أن يستهدف بروتينات DELLA لتطبيق أفعال مضادة مع الجبرالين خلال نمو الجذور. تظهر الطفرة التي لاتستجيب للجبرالين gai/rga نمو جذور لا تستجيب للإيثيلين، مما يشير إلى أن الإيثيلين يعدل نمو الجذور بطريقة تعتمد على DELLA. يعمل حمض الأبسيسيك والجبرالين في جذور الأرابيدوبسس بطريقة تضادية خلال نمو الجذور، فلقد تم إيضاح أن تطبيق حمض الأبسيسيك يعمل على تثبيت بروتين DELLA RGA ويمنع التحطيم المحدث بالجبرالين، إضافة إلى ذلك، وجد أن طفرات الـ DELLA الأعلى مرتبة مقاومة لآثار حمض الأبسيسيك على منع النمو. لا تعتبر بروتينات DELLA عقدةً لدخول إشارات هرمونية متنوعة فقط، ولكنها أيضاً تتوسط مسارات نقل إشارة الهرمون بالإضافة للاستجابة للجبرالين. ولقد ظهر حديثا دور لبروتينات DELLA كمعدّلات في الاستجابات المناعية النباتية، وأظهرت الدراسات الوراثية أن بروتينات DELLA تزيد من حساسية المتطفلات الشرسة virulent biotrophs ومن مقاومة الرميات necrotrophs، وعُزيت هذه الملاحظات جزئياً على الأقل لتعديل التوازن بين نقل إشارة حمض الساليسيك والجاسمونيت.

هذه مجرد بعض من الاستراتيجيات المشتركة المستخدمة للتعاون في إشارات الهرمون، فالشبكة التنظيمية التي تصل بين المسارات الفردية هي أكثر تعقيدا بكثير بحيث أن التفاعلات الهرمونية يمكن أن تنتج نواتج مختلفة تبعاً للعضو ومرحلة التطور والظروف البيئية، وسيكون من الأساسي متابعة الجهود لوصف الشبكة التنظيمية للهرمونات النباتية لفهم ونمو النبات وتطوره والتنبؤ به.

ملاحظات ختامية

هذا زمن مثير جداً لعلماء بيولوجيا الهرمونات النباتية لأن معدل الاكتشافات قد توسع أسياً في السنوات الأخيرة. تضاعف عدد الهرمونات ذات الجزيئات الصغيرة المعرفة خلال الخمس عشرة سنة الماضية، وتم تحديد مستقبلات مرشحة لكل الهرمونات التقليدية ولقليل من الهرمونات الأحدث. نحن نعلم الآن بنية بعض المستقبلات، مما سيؤدي لنماذج حديثة مثيرة من استقبال الهرمون وفرص جديدة لاصطناع منظمات نمو غير معهودة. بشكل مشابه، تم تحقيق تقدم كبير في معرفتنا عن مكونات نقل الإشارة نزولاً وعن بعض تداخلاتها. وبتحركنا إلى الأمام سيكون أمامنا تحد رئيس وهو فهم كيف تتكامل مسارات نقل الإشارة خلال تحكم الظروف البيئية في نمو النبات. لنأخذ مثالاً واحداً الأوكسين والجبرالين والبراسينوستيروئيدات كلها معروفة بأنها تحفز استطالة بادرة الأرابيدوبسس. ولكن المساهمة النسبية لكل من مسارات نقل الإشارة في تنظيم النمو من قبل الضوء والحرارة أو الساعة البيولوجية هي غير أكيدة، وبشكل مشابه، فإنه ليس معلوماً فيما إذا كانت تحتاج استطالة الخلية في البادرة نفس المجموعة من المورثات بغض النظر عن إشارة النمو. ستحتاج الإجابات عن هذه الأسئلة وغيرها إلى توصيف دقيق لاستجابات النمو بالترافق مع توفر معلومات عن التغيرات المترافقة على مستويي الانتساخ والترجمة وبشكل مثالي على المستوى الخلوي. يمكن أن تستخدم الوسائل الحسابية لتحديد نماذج المورثات المترافقة مع استجابات نمو متنوعة، وبالنهاية، يمكن أن تستخدم هذه المعلومات لتطوير نماذج تنبؤية عن نمو النبات وتطوره والتي ستكون وسائل لا تقدر بثمن للزراعة الحديثة.



تغيير الاستراتيجية في الحرب على السرطان

ينتظر المرضى والسياسيون بقلق ويطلبون بإلحاح علاجاً للسرطان. لكن محاولة السيطرة على المرض يمكن أن تثبت أنها أفضل من العمل على علاجه كما يقول روبرت أ. غاتينبي.

منذ أكثر من مئة عام قدم الألماني باول إيرليتش Paul Ehrlich، الحائز على جائزة نوبل، مفهوم الرصاصات السحرية وعنى بها المركبات التي يمكن أن تأخذ بنى هندسية مناسبة تجعلها قادرة على انتقاء الهدف وقتل الورم أو المرض الناتج عن المتعضيات (كائنات حية) دون ترك أي أثر على الخلايا السليمة في الجسم. وعلى ما يبدو فإن نجاح المضادات الحيوية خلال الخمسين سنة اللاحقة كان تأييداً قوياً لفكرة إيرليتش. في الواقع، إن التأثير والثبات اللذين حققتهما الأدوية على البكتريا أدى إلى استمرار الحرب على السرطان اعتماداً على الافتراض المطلق بأن الرصاصات السحرية ستكون موجودة يوماً ما لعلاج هذا المرض.

تشير الدروس المستخلصة من التعامل مع الأنواع الغريبة، إضافة إلى النماذج الرياضية الحديثة للديناميك التطوري للورم، إلى أن استئصال أوسع السرطانات انتشاراً قد يكون مستحيلاً. وما هو أهم هو أن محاولة القيام باستئصالها قد تزيد المشكلة سوءاً.

في عام 1854، وهو عام ولادة إيرليتش، لوحظت في إيلينوي، وللمرة الأولى الفراشة المعينيّة الظهر plutella xylostella. انتشرت هذه الفراشة التي تتغذى يرقاتها على الخضار كالملفوف و وريقات البرسيلس خلال خمسة عقود على امتداد أمريكا الشمالية وهي تغزو الآن باستمرار الأمريكيتين وأوربا وآسيا وأستراليا. اتخذت خطوات في محاولة للقضاء على هذه الفراشة باستخدام كيماويات متعددة

متنوعة تقلل كثافتها إلا أن تأثير هذه الكيماويات كان سريع الزوال، وفي عام 1980 وجد علماء الأحياء (البيولوجيون) سلالات من هذه الفراشة مقاومة لكل أنواع المبيدات المعروفة.

وعلى مدى العقدين الماضيين، تخلّى المزارعون عن جهودهم في التخلص منها. وعوضاً عن ذلك، فإن أغلب المزارعين يستعملون المبيدات فقط عندما يتخطى غزو هذه الفراشة للمحاصيل مستوى العتبة وذلك بهدف الحصول على غلّة مرضية لا أكثر.

تحت شعار (الإدارة المتكاملة للوباء)، تمّت الآن وبنجاح السيطرة على مئات من الأنواع الحشرية الغازية وفقاً لاستراتيجيات تحصر وتحدّ من كثافة وجودها، في حين أن أصنافاً قليلة فقط تمّ التخلص منها. ففي عام 1960، على سبيل المثال، تمّ التخلص من الحلزون الإفريقي Achatina fulica من ميامي وفلوريدا، ولكن لا بد من الإيضاح أن هذا الحلزون يمكن إمساكه بسهولة وهو لهذا السبب ينتشر في القليل من ساحات المدينة فقط. وقد أظهرت التجربة على مدى قرنين من الزمن أن الغالبية العظمى من الأصناف الغازية هي أصناف متغايرة الخواص بشكل بسيط وذات قدرة على الانتشار والتكيّف بحيث لا يمكن التخلص منها.

تكيّف وإخضاع

تختلف ديناميكية الأصناف الدخيلة والسرطانات الغازية بطرق عديدة ماكرة وواضحة، ومع ذلك فهناك أمثلة أخرى هامة مشابهة. تشبه عملية غزو الأوبئة (الحشرات) بما فيها من انتشار وتكاثر وهجرة وتطور العملية التي تسمح للخلايا السرطانية أن تنتشر من الورم الأولي إلى الخلايا المحاذية أو إلى مواضع جديدة في الجسم عن طريق النظام اللمفاوي أو الأوعية الدموية. علاوة على ذلك، فإن قدرة الخلايا الورمية على التكيّف ضمن نطاق واسع مع الشروط البيئية بما في ذلك الكيماويات السامة تشابه جداً القدرات التطورية التي تظهرها الأصناف الغازية.

وكما هو الحال بالنسبة للأصناف الغازية فإن التخلص من السرطانات المنتشرة يعتبر أمراً نادراً. فيمكن على سبيل المثال أن نعالج بشكل مستمر باستخدام التداوي الكيميائي القاسي كلاً من لمفوما هودغكيند وسرطانات الخصية واللوكيميا الشديدة الخطر. ولكن وكما الحلزون الإفريقي فإن هذه الخلايا الخبيثة يبدو أنها ذات خواص تجعلها مستجيبة للعلاج بشكل استثنائي. ومن ذلك أن بعض الخلايا ليست متغايرة الخواص فهي بالتالي ذات قدرة محدودة على التكيف.

يعد استئصال التجمعات الكبيرة والمتنوعة وذات القدرة على التكيف الموجودة في السرطانات تحدياً كبيراً. يحتوي سنتيمتر واحد من السرطان يزن حوالي واحد غرام على ما يقرب 10^{+9} خلية متحولة مما يعني أنه يوجد في عشرة غرامات من الورم خلايا سرطانية تفوق عدد سكان الأرض. إن التوزع غير المتساوي للخلية والاختلافات في الأنساب الجينية وضغوط الانتقاء الميكروبيئي يعني أن الخلايا خلال الورم تكون مختلفة في الخلق الجيني والخواص الجديدة الملاحظة. تعد الخلايا نظاماً معقداً فهي تحتوي على خلايا سليمة بالإضافة إلى مناطق تدفق منخفض للدم والأكسجين الكافي حيث تكون الخلايا السرطانية محمية نسبياً من تأثير العلاج الكيميائي. وإذا كان تدفق الدم ضئيلاً، على سبيل المثال، عندها يمكن أن يتم تحرير العقاقير إلى الخلايا.

تطور أكثر مخادعة

الهدف النموذجي في مداواة السرطان يشبه العلاجات المضادة للبكتريا، أي قتل خلايا الورم قدر المستطاع بافتراض أن هذا سيكون، بأفضل تقدير، علاجاً للمرض، وبأسوأ تقدير، سيبقى المريض حياً لأطول أجل ممكن. في الواقع، حاول علماء الأورام لأكثر من 50 سنة أن يجدوا وسيلة تعطي فيها الجرعات الأكبر دائماً معالجة قاتلة للخلايا أكثر. لكن وكما تتكيف الأصناف الغازية بشكل متناسق مع المبيدات بغض النظر عن تركيزها وبراعة تصميمها تتكيف الخلايا السرطانية مع العلاج. في الحقيقة، تشير التشابهات ما بين الخلايا السرطانية والأصناف الغازية إلى أن المبادئ لمداواة ناجحة للسرطان قد لا تكمن في الرصاصات السحرية للميكروبيولوجيا وإنما في الديناميك التطوري لعلم البيئة التطبيقي.

تدعم التجارب في الجسم الحي invivo هذه الفكرة عن طريق المحاكاة الحاسوبية والنماذج الرياضية المطورة حديثاً لدينامية تطور الورم. وهذه توحي أن الجهود في استئصال السرطانات ربما شأنها أن تعجل بنشوء مقاومة الورم وعودته من جديد مما يقلل من فرص المرضى بالبقاء على قيد الحياة.

يبرز السبب الكامن وراء هذه التطورات من مكون لبيولوجيا الورم لم يبحث عاقبة مقاومة العلاج بشكل اعتيادي: تدفع خلايا السرطان ثمناً عندما تطور مقاومة لعلاج المرض فعلى سبيل المثال: يمكن للخلية السرطانية في تصديها للدواء الكيميائي أن تزيد معدل

ترميم الـ DNA أو أن تقوم بشكل نشيط بضخ العقار خارجها عبر الغشاء الخلوي. في التداويات المستهدفة، والتي يتداخل فيها الدواء مع التأشير الجزيئي اللازم للتكاثر والاستمرار، قد تتكيف الخلايا من خلال تنشيط أو من خلال طرق اختيارية فوق تنظيمية. كل هذه الاستراتيجيات تستخدم طاقة أعلى كان يمكنها بشكل أو بآخر أن تقوم بالاجتياح إلى داخل الخلايا غير السرطانية أو بالتكاثر مما يقلل من انسجام الخلية. وكلما كانت الآليات أكثر تعقيداً كان تعداد الخلايا المقاومة أقل انسجاماً.

هناك ملاحظات عديدة تؤيد أن الخلايا السرطانية تدفع تكلفة المقاومة. ففي البيئات المخبرية تفقد الخلايا المقاومة للتداوي ولمثبطات تيروزين كيناز (نمط من المداواة المستهدفة) مقاومتها عندما تزال الكيمياويات. تكون الخطوط في الخلية متماثلة باستثناء حساسيتها لمثبطات التيروزين كيناز، وتنمو التجمعات المقاومة ببطء أكثر من تلك الحساسة للمثبطات. على سبيل المثال، تكون خلايا سرطان الرئة المقاومة للعلاج أقل قدرة على التكاثر من مثيلاتها الحساسة تجاه العقار.

توجد الأشكال المقاومة عادة في الأورام غير المعرضة للعلاج بعد وتظهر عادة بأعداد قليلة، مما يوحي أن الخلايا المقاومة غير قادرة على منافسة الخلايا الحساسة للعقار، إلا أنها في الواقع تكافح لكي تتكاثر عند وجود هذين النوعين من الخلايا معاً.

تظهر نماذجنا أنه في غياب المداواة تتكاثر الخلايا التي لم تطور مقاومتها على حساب الخلايا المقاومة الأقل انسجاماً. وعند قتل عدد كبير من الخلايا الحساسة بالمداواة الكيميائية القاسية تصبح الأنواع المقاومة قادرة على التكاثر بشكل غير محدود. هذا يعني أن الجرعات العالية من التداوي الكيميائي يمكن أن ترفع احتمال أن يصبح الورم غير مستجيب للتدواي فيما بعد.

وكما أن الاستعمال الحكيم للمبيدات يمكن تطبيقه للسيطرة على الأصناف الغازية بشكل ناجح فإن استراتيجية المداواة في علاج السرطان تعتمد على المحافظة على حجم ثابت للورم يمكن تقبله من شأنها أن تزيد في أجل المريض من خلال السماح للخلايا الحساسة أن تعترض نمو الخلايا المقاومة. لتقييم واختبار هذه الفكرة قمنا بمعالجة سرطان المبيض لدى الإنسان من خلال اختباره على الفئران مستخدمين جرعات مداواة كيميائية تقليدية عالية. فوجدنا أن السرطان يرتد بسرعة أيضاً يعود ويقتل الفئران. وعندما عالجنا الفئران بجرعات دوائية على نحو مستمر معدّة لتحافظ على حجم الورم ثابتاً، لم تشفَ الفئران إلا أنها استمرت على قيد الحياة.

مفترسات الجسد

إن تصميم مداواة تقوم على الحفاظ على كتلة الورم ثابتة وليس على استئصاله سيتطلب أمداً طويلاً، وهذه المداواة متعددة الوجوه الكامنة وراء التأثيرات المباشرة القاتلة للخلايا في أي علاج. سيحتاج الباحثون إلى تحديد الآليات التي تكسَب بها خلايا السرطان المقاومة وإلى فهم ماذا يكلفها ذلك. وسيحتاجون أيضاً إلى فهم للديناميك التطوري للتجمعات المقاومة، ومن ثم تصميم استراتيجيات تعترض وتستغل الخصائص التكيفيّة للخلايا.

المشكلة الواضحة لدى المرضى المعرضين إلى مستويات من الأدوية المطيلة للأجل هي تراكم السمية. ولكن وبالتوازي مع تنظيم أفضل للمفترسات والجرثوميات المستعملة حالياً في السيطرة على الأصناف الغازية فإن النظام المناعي يقدم مصدراً كافياً غنياً بالمفترسات كالخلايا T اللمفية التي بإمكانها أن تحافظ على حجم ثابت للورم السرطاني من خلال قتل خلايا الورم وانتقاء تكيف أكثر انسجاماً.

أنا لا أقترح أن يتخلى باحثو السرطان عن أبحاثهم فيما يخص مداواة أكثر فعالية للسرطان أو حتى فيما يخص شفاءه. ولكن بدلاً من التركيز بشكل حصري على تحقيق هذا النصر المجيد، فإن على الباحثين أن يستفيدوا من المعطيات المساعدة في الحالات الملائمة لهذه الأزمة القلقة.

يتفق علماء الأورام الآن أن الاستراتيجية الموجهة إلى السيطرة على السرطان أثبتت تأثيراً على السرطان أكثر من محاولة الشفاء منه. إلا أن فكرة عدم قتل العدد الأعظمي من خلايا الورم ستكون صعبة القبول لدى المرضى والأطباء على حد سواء.

تعتبر الحرب على السرطان القائمة على افتراض الرصاصات السحرية والهجمات القاتلة باستخدام التداوي الكيميائي منهجاً محبطاً. على أي حال، لا توجد الرصاصات السحرية في المعارك ضد السرطان... والتطور هو الذي يملي قواعد العمل.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 459, 28 May 2009.

ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إلى أي مدى سيصل عنف انتشار الأنفلونزا

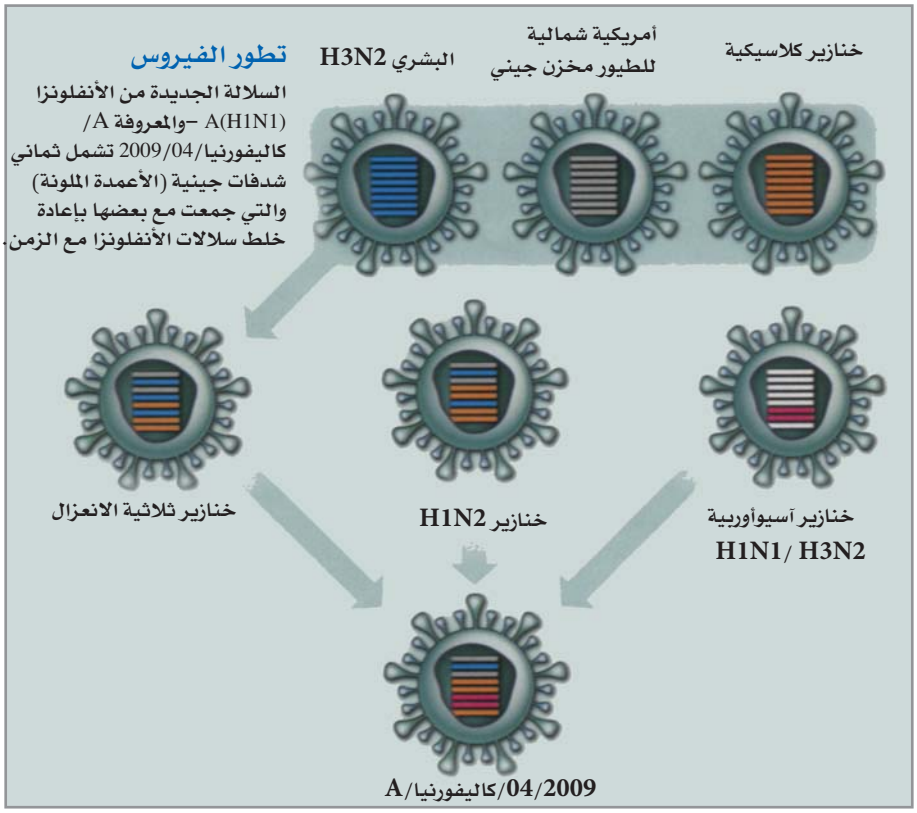
يتسابق اختصاصيّو الوبائيات لإثبات أرقامٍ عن انتشار H1N1 في الكرة الأرضية.

بقيت منظمة الصحّة العالمية (WHO) على وشك إعلان وبائيّة H1N1 وهو الفيروس المرتبط بأنفلونزا الخنازير. حقق العلماء ومؤسسات الصحة العامة تقدّماً في بدء فهم تفشّي المرض، ولكن بقيت هناك أسئلة أساسية حول مدى العنف الذي سيصبح عليه المرض.

في الوقت الذي أُرْسِلَتْ فيه مجلة Nature إلى الطباعة، وسّع الفيروس انتشاره إلى 21 بلداً في خمس قارات وبأعداد وصلت إلى 1124 حالة مثبتة و26 حالة وفاة*. بقيت منظمة الصحّة العالمية على إنذارها الوبائيّ، وعلى الطور الخامس من أصل ستة أطوار وذلك، بعد أن رفعت الطور من 3 ثم إلى 4 بعد حالات الانتقال من الإنسان إلى الإنسان في الأمريكتين.

يقول إرا لونجني Ira Longini اختصاصيّ الوبائيات في جامعة واشنطن، كلية الصحة العامة في سياتل Seatlle: "لقد اجتزنا طور الاحتواء containment تماماً ونحن الآن في طور التلطيف أو التخفيف mitigation".

إن التحدي الرئيسي الذي يواجه العلماء الآن هو تقدير مدى عنف أية جائحة، حيث أن الأطوار الوبائية لمنظمة الصحة العالمية تشير فقط إلى مدى الانتشار الجغرافي لمرض جديد. أمّا الخطط الوبائية للحكومات فتهتم بصورة أكبر في مدى شدتها لتقدير استجاباتهم (المستقبلية). فالولايات المتحدة، على سبيل المثال، لديها خطط استجابة مختلفة تعتمد على موقع الوافدة على سلم شدة يشبه ذلك الذي تقدر به شدة الأعاصير وهو يتراوح من الفئة 1 (تشير إلى معدلات وفاة أقل من 0.1%) إلى الفئة 5 (تشير إلى معدلات وفاة 2% أو أكثر).



معظم الحالات التي تم كشفها حتى الآن، كانت معتدلة مع حالات قليلة من الموت نسبة إلى عددها الملاحظ. غير أن هناك نقصاً في التوثيق بالنسبة إلى المكسيك، حيث حدثت معظم الإصابات، أمّا أرقام الحالات في الدول الأخرى فمازالت ضئيلة إحصائياً لتكشف مستويات في معدلات الوفاة حتى 1–2% وأخفض من وافدة أنفلونزا H1N1 لعام 1918.

لقد بدأ الباحثون، على كل حال، معالجة الأرقام الأوليّة لمتغيّرات رئيسية أخرى للانتشار بما فيها معدل التكاثر الأساسي R_0، وهو

* وصل عدد الإصابات بإنفلونزا الخنازير حتى تاريخ 2009/11/2 إلى 602232 حالة، وبلغ عدد الوفيات 7222 وفاة.

وحدة صحية متنقلة تفحص حاملي الأعراض

عبارة عن عدد الحالات الجديدة التي سيسبّبها الفرد المصاب. تقترح تقديرات لونجيني التقريبية الأولية للنتائج الميدانية مثل نتائج الإصابات في مدارس نيويورك، على سبيل المثال، قيمة حالية لـ R_0 هي 1.4. "عند هذا الحد لا يبدو الفيروس قابلاً للانتقال بصورة مشابهة للسلالات الوبائية السابقة" حسب قوله. لقد قُدِّرَ معدل الإنتاجية عام 1918 بما لا يقل عن أربعة، أمّا بالنسبة للأنفلونزا الفصلية فالأرقام النموذجية تتراوح بين 1.5 إلى 3.

ويقترح لونجيني أيضاً أن فترة الحضانة –وهو الوقت الذي ينقضي قبل أن يبدأ المصاب بإصابة الآخرين (العدوى)– ربما يكون بين 3 و5 أيام، لكنه أقرب إلى 3. كلّما كان R_0 أعلى وقصرت فترة الحضانة كان الانتشار أسرع وصعبت السيطرة على المرض.

إن إحدى الطرق ذات الصلة في النظر إلى الفيروس هي معدل الهجوم الثانوي، الذي يمكن تقديره من النتائج الميدانية بالنظر إلى معدل وقوع مجموعة أو حشد محدد نسبياً مثل سكان منزل أو طلاب مدرسة يصابون بالمرض بعد التعرض للتماس. ووفقاً لما تقوله أني شوشات Anne Schuchat من المركز الأمريكي لمراقبة الأمراض ومنع انتشارها (CDC) في أتلانتا، جورجيا، فإن معدل الإصابة الثانوية الحالي هو حوالي 25–30%. لكن هذا الرقم من الممكن أن يتغيّر.

خلال أسبوعين فقط من ظهور المرض يستعمل الباحثون النتائج الواردة عن انتقاله وعن إصاباته لنمذجة حوارات (سيناريوهات) محتملة لتطوره واستهداف إجراءات للسيطرة عليه أو تلطيف مستوياته الإمراضية، حسب قول مارك لبسيتش Marc Lipsitch من كلية هارفارد Harvard للصحة العامة.

يقول لبسيتش الذي يعمل مع CDC كجزء من "الفريق B" المكون من باحثين أكاديميين ومستشارين خارجيين "إنّ وجهة نظري الشخصية هي أنه من المبكر جداً الجزم فيما ستكون عليه الشدة" وأحد الأسباب التي يبدو معها المرض معتدلاً هو أنه كانت هناك حالة وفاة واحدة في الولايات المتحدة من بين 286 إصابة. ومعدل موت كهذا والذي سُجّل بعد أسبوع واحد من التأكد من الإصابة، يمكن أن يُظْهِرَ معدلاً منخفضاً للموت الحقيقي لأنه يهمل احتساب المرضى الذين استمروا مرضى ثم ماتوا بعد ذلك. وقد ظهرت هذه الثغرة عام 2003 حين نشر معدل وفاة المرضى المصابين بـ SARS (مرض تنفسي حاد وشديد) في آسيا في البداية بنسبة ضئيلة إلا أن دراسات المتابعة بينت أن هذه النسبة تقارب 20%.

يتذكر الخبراء أيضاً أن الوباء عام 1918 بدأ بموجة مرضية معتدلة أول العام ليعود عنيفاً في نهاية العام نفسه. ويقول شوشات:"أنا مهتم على وجه الخصوص فيما سيحصل في الخريف المقبل".

يعتبر التقدير المستمر لمعدلات الوفيات في قمة الأولويات بالنسبة للعلماء ومؤسسات الصحة العامة وسوف تكون المهمة أسهل مع تزايد أعداد الإصابات.

يقول ستيفان مورس Stephen Morse، اختصاصيّ الوبائيات في جامعة كولومبيا في مدينة نيويورك: "يعتبر عدم اليقين تحدياً أساسياً،

ونحن لا نتنبأ بصورة جيدة عن الأنفلونزا، كما أنّ هناك حدّة متزايدة في الفيروس –نراها في عدد أكبر من الحالات الخطيرة– تظهر بصورة خاصة لدى الأصحاء من اليافعين البالغين، وهذا سيكون دافعاً لرد فعل متزايد". في 4 أيار/مايو سجلت 62% من الحالات في الولايات المتحدة فيمن تقل أعمارهم عن 18 عاماً.

يقول المسؤولون في المكسيك إنهم سيخفضون مستوى الإنذار وسيبدؤون بإزالة بعض القيود عن الاجتماعات العامة بما فيها إغلاق المطاعم. ويصف لونجنين إجراءات البلد بالمناسبة لوقف انتشار مرض جديد ويقول: "لقد قامت المكسيك بعمل عظيم بالأخذ بطرق وضع المسافات الاجتماعية وطرق الاحتواء الضرورية للمساعدة على إيقاف الانتقال. وتهدف إجراءات التخفيف أيضاً إلى جعل الخلل الاجتماعي في حده الأدنى وفي جعل توفر الرعاية الطبية في حدها الأعلى وذلك بمحاولة تجنب أي مريض من العمل، أو إغراق المستشفيات في الوقت نفسه.

ومن الأمور الحاسمة يجب كسب الوقت حتى ينضج إنتاج اللقاح. تبحث منظمة الصحة العالمية في كيفية إنتاج لقاح ضد السلالة السارية H1N1 الآن بما فيها احتمال قطع الإنتاج الجاري للقاح الأنفلونزا الموسمية للتعبئة لإنتاج لقاح السلالة الجديدة. وسيكون الحد الأقرب لصناعة لقاح H1N1 هو أربعة إلى ستة أشهر. وبالنسبة للحاضر فإن المرض قابل للعلاج بواسطة عقاقير مثل زاناميفير (Relenza) Zanamivir واوسلتاميفير (Tamiflu) Oseltamivir

التاريخ المضطرب لفيروس A(H1N1)

إن التحليل الوراثي للسلالة A(H1N1) لأنفلونزا الخنازير يشير إلى أنه خليط على الأقل من فيروسين للأنفلونزا واللذين انتشرا بصورة مستقلة في الخنازير في أمريكا الشمالية وآسيا الأوربية ولمدة 10–20 عاماً، قبل اختلاطهما وقفزهما إلى الإنسان. تختلط فيروسات الأنفلونزا في الخنازير في جميع الأوقات، والحدث الذي نشأت عنه هذه السلالة بالتحديد ربما حصل قبل بداية 2009 –وغالباً حوالي أيلول –2008 حسب تقدير فريق دولي من الباحثين قاده Andrew Rambaut أندرو رامبوت من جامعة أدنبرة في المملكة المتحدة و Oliver Pybus اوليفر بايبس من جامعة أكسفورد في المملكة المتحدة وميخائيل وروبي Michael Worobey من جامعة اريزونا في Tucson وجافين سميث Gavin Smith من جامعة هونغ كونغ (انظر..Bio ed.Uc.Uk http://influenza). يبدو أن هذه النتيجة تتوافق مع الحدّة المنخفضة لهذه السلالة حتى الآن حيث أنها تعني أن الفيروس قد تتقّل عدة أشهر قبل اكتشافه كما يقول بايبس.

وجد هؤلاء إضافة إلى باحثين آخرين بمن فيهم راؤل رابادان Raul Rabadan من جامعة كولومبيا في نيويورك وستيفن سالزبيرغ Steven Salzberg، من جامعة ماريلاند Maryland College Park، أن ست شدفات وراثية لأنفلونزا الخنازير جاءت غالباً من سلالة أنفلونزا الخنازير الأمريكية، وأن الشدفتين المتبقيتين ربما جاءت من السلالة الآسيوأوربية (انظر المخطط). وتحتوي السلالتان الأبويتان الأمريكية الشمالية والآسيوأوربية جينات من فيروسات أنفلونزا أصابت سابقاً الطيور والبشر.

تقول نانسي كوكس Nancy Cox، مديرة قسم الأنفلونزا للمركز الأمريكي لمنع ومقاومة الأمراض في Atlanta أتلانتا–جورجيا أن الفيروس يبدو متماثلاً على اختلاف المرضى. "جميع الجينات لجميع الفيروسات التي قمنا باختبارها حتى الآن متماثلة من 99 إلى 100%"، كما أفادت كوكس للصحافيين في 1 أيار، "وأنه سيكون من الأسهل إنتاج لقاحات لأن الفيروسات التي تنتشر كثيرة التشابه".

وتضيف كوكس أن الفيروس لا يحتوي أياً من المعلمات الوراثية للعدوانية التي لوحظت من تحليل جائحة سلالة أنفلونزا 1918. ولكنها ذكرت أنّ "هناك الكثير ممّا لا نفهمه حتى الآن عن عنف وحدة فيروس 1918 وعن فيروسات الأنفلونزا الأخرى التي لها صورة سريرية أكثر شدة في البشر".

الحقيقة القائلة بأن السلالات الأبوية لأنفلونزا الخنازير وجدت دائماً في أمريكا الشمالية وآسيا الأوربية لا تعني أن فيروساً جديداً نشأ في أي من المكانين، لأن الفيروسات وكذلك الخنازير غالباً ما تتحرك عبر الحدود الدولية.

سيراقب العلماء الآن ليروا فيما إذا كانت السلالة H1N1 ستختلط مع السلالات الفصلية للأنفلونزا البشرية. إذا أصيب الناس بكل من الأنفلونزا الفصلية وبأنفلونزا الخنازيرية معاً، فإن الفيروسين يمكن أن يجتمعا في فيروس جديد بصفات غير متوقعة.

"سيكون هناك بعض الديناميكيات المشوقة حينما يتفاعل A(H1N1) مع فيروس الأنفلونزا الفصلية"، كما يقول رامبوت.

رفع علماء آخرون أيضاً احتمال إعادة التصنيف مع سلالة أنفلونزا الطيور H5N1 والتي لازالت تحوم منذ 2003.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 459, 7 May 2009.

ترجمة د. نجم الدين شرابي، عضو هيئة التحرير.

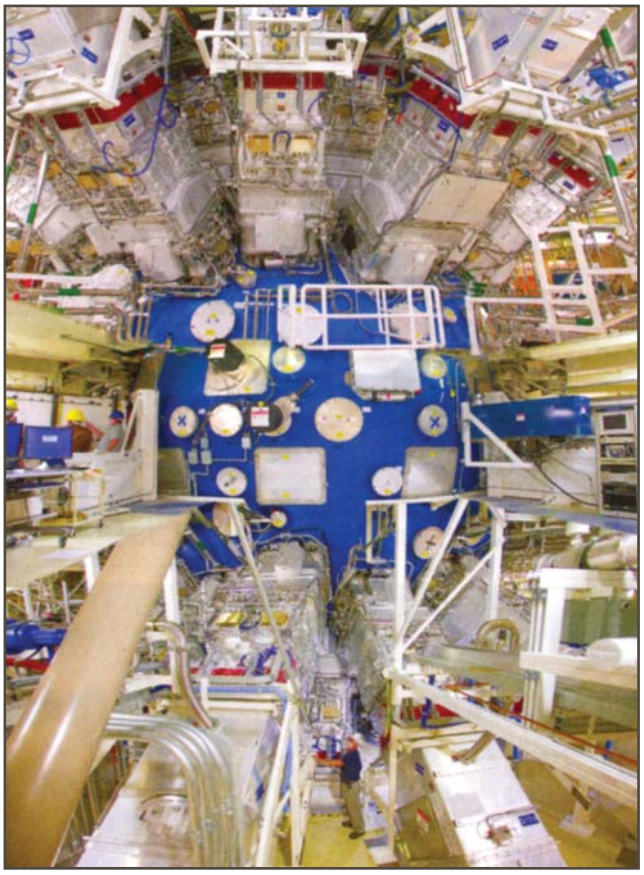
أكثر من مجرد أمنيات

هذا عرض وتحليل لكتاب بعنوان: "شمس في زجاجة: القصة الغريبة للاندماج وعلم الأمنيات: Sun in a Bottle The Strange History of Fusion and the Science of Wishful Thinking"، من تأليف الكاتب شارل سيف عن الاندماج، وقام بهذا العرض Cris W Barnes.

إن الفكرة الرائعة الهادفة إلى تسخير طاقة الاندماج، التي تشكل مصدر طاقة النجوم، لخدمة البشرية على الأرض كانت دائماً وما تزال فكرة شديدة الجاذبية. وإن قصة بحث الاندماج مليئة بالحكايات المهمة، بدءاً من اكتشافه وحتى الإنجاز الحديث في الولايات المتحدة لمنشأة الإشعال الوطنية National Ignition Facility (NIF)، التي تمثّل الآن أكبر ليزر في العالم (انظر Physics World , March 2009, page 7). وللأسف، تظهر على المستوى الشعبي رواية جديدة، شمس في زجاجة، التي تعيد في الأغلب رواية قصص قديمة عن إخفاقات الاندماج الشهيرة، بدءاً من التجهيزات الأولية الغامضة في الأرجنتين ومروراً بالهزيمة الكاملة للاندماج البارد في نهاية ثمانينيات القرن الماضي. وكعالم كرَّس حياته المهنية لفيزياء البلازما والاندماج، أُشكِّل، على الأقل مِن وجهة نظر الكاتب شارل سيف Charles Seife، جزءاً من مجتمع باحثين "غير قادرين على تخليص أنفسهم من خداع ذاتهم المفرط". وبعد قراءة الكتاب بدا لي أنني أمام خيارين: هل أنا مخادع أم أنني غير كفءٍ؟

يبدأ الكتاب بإعادة صياغة جديدة حول التطوير البدئي للأسلحة النوويّة في الولايات المتحدة الأمريكية، ويتابع عرض سلسلة من أحداث وسلسلة من الوقائع بشخصيات تمثّل العديد من الإضاءات الخافتة من تاريخ الاندماج. أعطت الكلمات التي وردت في عناوين الفصول، مثل "واحدات أشعة الشمس" و"قنابل خلّبيّة" و"كتف واهن" و"أسرار"، نكهة لهذه القصة. كما عُرض بتفصيل موسّع انتشار مخططات عن حصر بلازما الاندماج، وتزايد فزع العلماء عندما بدؤوا يفهمون تضاعف الآليات التي يمكن بموجبها للبلازما أن تفقد الطاقة، وكذلك الأثر السّيئ لسجل التجهيزات الجديدة الباهظة التكلفة والتي فشلت في الحفاظ على وعودها الأساسية.

إن سيف هو أستاذ صحافة في جامعة نيويورك، يُقرأ له بصورة حسنة ويكتب عبارات جيدة. غير أن غالبية القصة في الكتاب،



شمس في زجاجة: القصة الغريبة للاندماج وعلم الأمنيات

كانت قد وصِّفت بشكل أفضل في أعمال سابقة، مثل كتاب ريتشارد رودس Richard Rhodes بعنوان "تصنيع القنبلة الذرية والشمس العاتمة The Making of Atomic Bomb and Dark Sun": إشارة إلى القنبلة الهدروجينيّة، أو كتاب جون ليزا برومبرغ عن الاندماج: "علم وسياسة وابتكار مصدر جديد للطاقة". غير أن أي شخص يملك بعض المعرفة في هذا المجال سيجد مفاجأة صغيرة في هذا الكتاب، وحتى أن بعض من لم يقرؤوا أبداً حول الاندماج أو البلازمات قد يتأثرون بقصص هذا الكتاب ويهتمّون بها. ففكرة استخدام القنابل النووية في مشاريع هندسية مدنية ضخمة، والضجيج الإعلامي الذي أحاط بالإعلانات التي أطلقها العلماء المتطرفون من الأرجنتين وحتى أوتا Utah في الولايات المتحدة حول اختراقات الاندماج، والشروح الواضحة للاضطرابات المغنطيسية والهدروديناميكية التي خلطت الأوراق في هذا المجال، كلّ ذلك سيكون مهمّاً لغير المختصين أيضاً. كما أن

الفصل المتعلق بالاندماج الكهركيميائي (النسخة الأصلية لـ "الاندماج البارد" التي عرضها ستانلي بونز Stanley Pons ومارتن فليشمان Martin Fleishmann قبل 20 عاماً) يحكي الرواية الكاملة للقصة كما حدثت آنذاك، رغم فقدها الطابع الغني في العرض المتعصب لهذا الموضوع الذي مازال من الممكن إيجاده على الإنترنت.

اتخذت الحكاية في الفصل المعنون "مشكلة الفقاعة Bubble trouble" منحى شخصياً. وهنا، روى سيف قصة كيف أن مجموعة مختبر أوك ريدج الوطني الذي يقوده روزي تاليارخان Rusi Taleyarkhan ادعت بأنها لاحظت الإصدار النتروني الناجم عن تألق صوتي sonoluminescence للأستون الموسوم بالديتريوم. نشرت تقارير المجموعة في العام 2002 بمجلة ساينس، حيث كان يعمل سيف كصحفي. غير أن حكاية القصة هذه المرة ظهرت بطابع جديد، وساعدت وجهة نظر الكاتب المتفرّدة والدقيقة في جعل القصة مثيرة للقراءة. وللأسف، يجب على سيف أن يعترف أنه فشل في طرح الأسئلة المناسبة في تحقيقاته آنذاك، وأنه الآن غير قادر على أن يكشف أسماء العلماء الذين أوصوا في الأصل بنشر النتائج التي تعذر الحصول عليها مرة أخرى. ولم يتطرق سيف لاعتقاد ما يزال سائداً لدى قلة من الباحثين بأن فقاعات الانفجار يمكنها فعلاً بلوغ درجات حرارة الاندماج النووي.

بالتأكيد، كانت هناك نقاط ضعف في بحث الاندماج، وأنا لا أنكر أن "خداع النفس بالأماني wishful thinking" عامل مشترك بيننا نحن المشتركون بالتطلع إلى الاندماج. في الحقيقة، أنا مولع بالقول أن نجاح جميع مخططات الاندماج المقترحة يتطلب معجزة على الأقل، ورغم ذلك يجب ألاّ ننتقد مفاهيم الحاجة للمعجزات، إنما حريّ بنا أن ننظر إليها من حيث العدد والمقدار المطلوب.

لكن هناك أيضاً نقاط مضيئة في تاريخ الاندماج. فالبحث البلازمي المدعوم بتمويلات مغامرة في جنوب كاليفورنيا قد أدّى إلى بعض الانعطافات والتحوّلات المهمّة في الاندماج التي حصلت بدءاً من خمسينيات القرن الماضي وحتى يومنا الحالي، والتي تضمنت أيضاً ولادة شركة جنرال أتوميكس General Atomics، وهي شركة جدُّ ناجحة وذات تقانة منتجة تقوم بأعمال بحثية كبيرة في مجال الاندماج وغيره. كما أن تجارب إنتاج النترونات في مفاعل توكاماك لاختبار الاندماج Tokamak Fusion Test Reactor في جامعة برينستون، أدّت إلى نجاحات مهمة في بداية تسعينيات القرن الماضي، وكنت فخوراً بانخراطي في هذه التجارب. وهناك أيضاً القصة الرائعة للحملة التي قادتها الولايات المتحدة حول نظرية النقل في التوكاماك والتي حدثت في العام 1988 من خلال بحث دام عقداً من الزمن بهدف التحكّم بالنقل الدوّامي للبلازما. ففي البداية كان الجميع تقريباً يعتقد أن البحث غير علمي، غير أنه في العام 1997 أدّى تطبيق جانبيات سرعة القص المعكوس reversed-shear velocity profiles –وهي عملية تتغير فيها قيمة تدفق المادة وحتى جهة هذا التدفق عبر البلازما– إلاّ أنّ الحصر لم يعد يشكّل المشكلة الأساسية في الاندماج المغنط.

أنا لا أنكر أن "التفكير التـوّاق wishful thinking" هو عامل مشترك بيننا نحن المشتركون بالتطلع إلى الاندماج.

بين الإضاءات الخافتة والأدوار الخاطئة، كنت سأستمتع ببحث صحفي رائع في قصص عديدة لم تذكر قط سابقاً، مثل "عملية الضوء الأسود blacklight process" التي تستخدم الطاقة اللاطية لذرة الهدروجين والمتضمنة أعداداً كوانتية جزئية، وامتصاص الأمواج المكروية الشاذة والحرارة الناجمة من بلازما أنابيب الكربون النانوية –وكلاهما يمثلان مجالين ساحرين للمعالجة. إن بعضاً من هذه القصص ما يزال حاضراً حتى يومنا هذا في قلوب وعقول المتحمّسين حول العالم. إن هذا الرتل من الأفكار التي ترفض مغادرة الواقع ربما كانت تشكل موضوعاً ثرّاً لهذا الكتاب، غير أن ذلك لم يذكر.

وماذا عن مستقبل الاندماج؟ في آذار/مارس من هذا العام أصبح الليزر الأكبر في العالم حقيقة واقعة في NIF (منشأة الإشعال الوطنية، قائمة في مختبر لورنس ليفرمور الوطني في ليفرمور بكاليفورنيا) تتجاوز طاقة الحزمة الليزرية فيه واحد ميغا جول. ومع المخاطرة بخداع النفس المفرط، فأنا أيضاً سأجادل حول إمكانية استخدام النترونات الناجمة عن الاندماج لتخفيض النفاية النوويّة أو تحسين ممانعة انتشار منظومات الانشطار. إن التقييدات التقنية على فيزياء البلازما لمثل هذه المنظومات الهجينة مخالفة لمتطلبات إنتاج الطاقة من اندماج صرف (انظر Physics World, March, p. 9). هناك العديد من الباحثين الذين يتفحصون بنشاط الإمكانية التقنية لهذه المنظومات، على أمل أن يساعدوا في تخفيض إصدارات الكربون في الجو. وأنا سعيد باستمرار لرؤية إبداعات زملائي علماء الاندماج يكتشفون ويطورون أفكاراً وتقانات جديدة

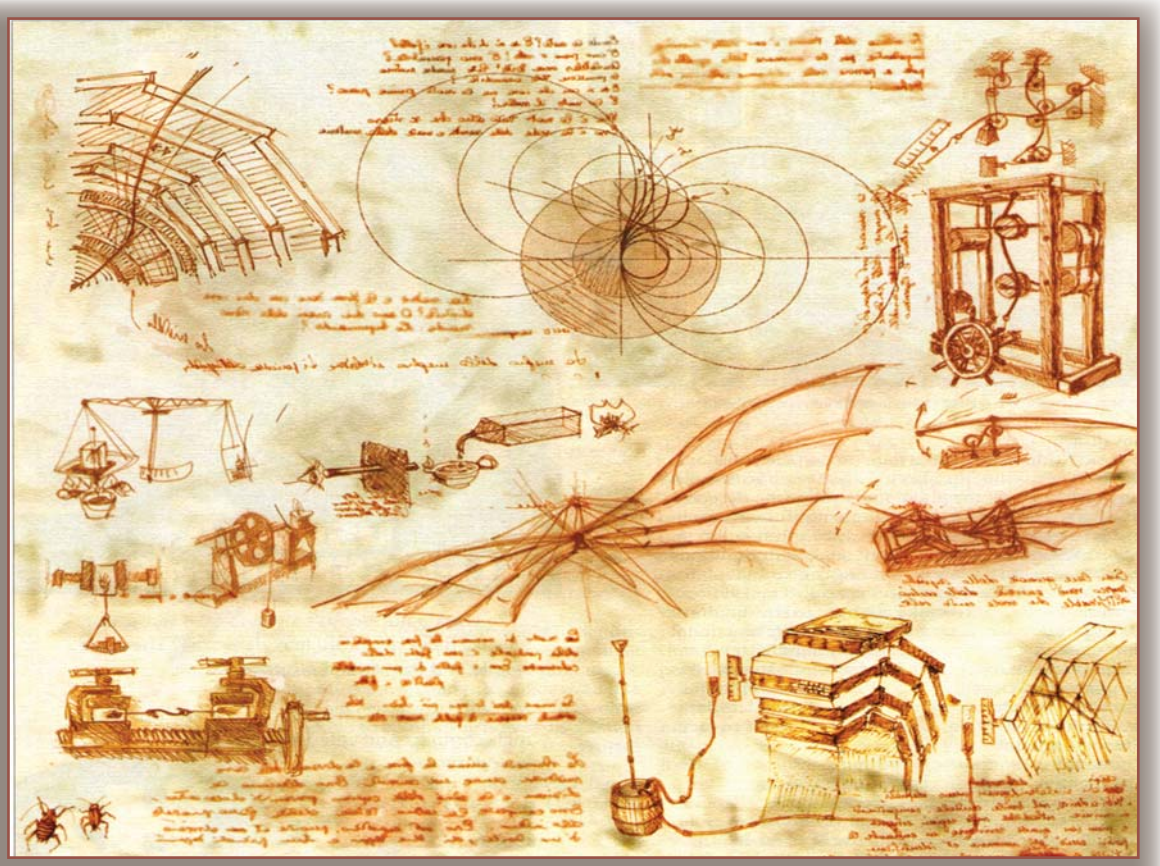
لتجاوز العقبات التي فرضتها الطبيعة قبل وعد الاندماج. هذه هي جميع القصص المهمة غير المروّية التي كان يمكن أن تشكل حكاية أكثر توازناً وحداثة.

نعم، إلى هذا الحد، كانت قصة الاندماج مجهولة، كما هو حال العلم بكامله. وأنا أسلّم بـ "الأمنيات" لأن الرؤية القوية والمثيرة تساعد باستمرار في تركيز وتوجيه الجهود. إن قرّاء هذا الكتاب سيكتشفون خداعاً أو عجزاً مؤكدين. لكن هناك قصة أفضل لتحكى، ومعظمها قصة ناجحة لتقدّم علمي، وأنا فخور لكوني واحداً من مجموعة تعبر عنها.

Cris W Barnes: هو معاون رئيس شعبة في قسم الفيزياء في مختبر لوس آلاموس الوطني في الولايات المتحدة. انخرط في دراسة الاندماج المغنطيسي، والاندماج بالحصر العطالي، واندماج في السلاح الحراري النووي وفي إظهار مساهمته في الاندماج البارد.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 459, 7 May 2009.

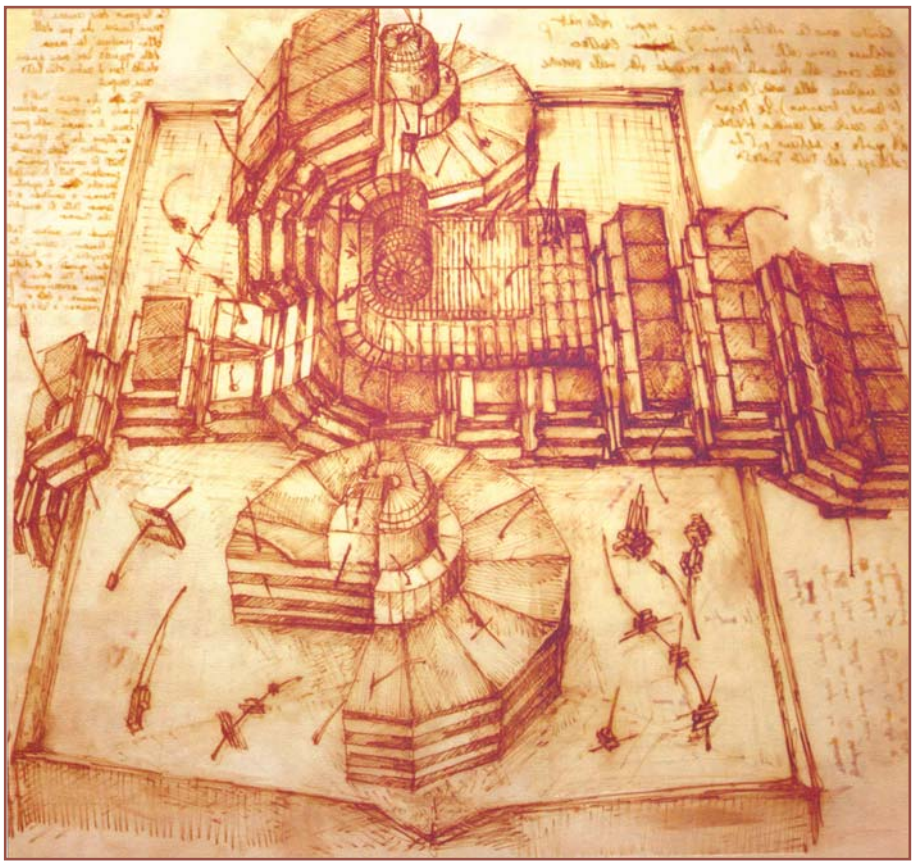
ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير.



نظرة جديدة في فيزياء الجسيمات

قبل أن يطلق كارلس بيرسي سنو Charles Percy Snow بزمن طويل مفهوم الثقافتين سادت الثقافة الواحدة التي كان من أبرز أعلامها صاحب النهضة العظيمة ليوناردو داڤينشي Leonardo da Vinci. رأى داڤينشي أنه لا حدود تفصل بين الفن والعلم (أو ما كان يعرف بالخلفية الفلسفية الطبيعية في القرن السادس عشر).

امتلأت مسودات داڤينشي بالمخطوطات والتصاميم والملاحظات التي تظهر الطبيعة الموسوعية لعبقرية داڤينشي. اتخذ داڤينشي الإلهام الفني كسبيل إلى اختراعاته كما اتخذ العالم الطبيعي



كمشروع فني جوهري. صمم داڤينشي آلاف المخطوطات التفصيلية التي توجز بعضاً من أكثر اختراعاته تأثيراً بما في ذلك آلات الطيران والجسور والآلات الحاسبة والدبابات وخلايا الطاقة الشمسية.

غالبية هذه المخطوطات كانت مخطوطات غير عملية وقلة منها قد رأت النور اليوم ولكنها جميعاً تحمل السمة المميزة لطاقات داڤينشي الإبداعية اللا محدودة. يعمل اليوم سيرجيو سيتولين Sergio Cittolin، وهو مهندس في مختبر فيزياء الجسيمات قرب جنيف CERN، في المساعدة على إبقاء تراث داڤينشي حياً.

يشغل سيتولين منصب مدير مشروع منظومة الإقلاع وتحصيل المعلومات في تجربة السوار الميوني المتراص (CMS)، وهي واحدة من أربعة مكاشيف ضخمة ستقوم بتسجيل تصادمات الجسيمات لدى المختبر الذي فيه المصادم الهدروني الكبير الجديد. وضع سيتولين سلسلة من الرسومات، على طريقة داڤينشي، لمختلف أنظمة CMS التي ستقوم بترشيح الحوادث الفريدة للجسيمات وانتقائها والتي قد تشير إلى فيزياء جديدة، ينجزها فكر طليق حر التخيل كفكر داڤينشي الذي تعمّد أن يكتب بخط يده نصوصاً غير مقروءة إلا إذا أخذ خيالها في المرآة. تزين هذه الرسومات غلاف التقارير التقنية عن CMS، والتي تعد التقدير المناسب لفريق من العاملين على واحد من أكثر الآلات كفاءة والمصممة لأعظم المهندسين والمخترعين عبر الزمن.

يظهر الرسم في اليسار بعض المقادير الفيزيائية (مسارات–اندفاع–طاقة) التي ينبغي على كل مكشاف ثانوي أن يقيسها وتقوم خوارزمية برمجية باستخراج الوسطاء الفيزيائية من خلال التصور الآلي. تعامل مسارات الجسيمات المشحونة كما لو أنها أسلاك مرنة. ويقاس مدى انحناء السلك (الذي يدل على اندفاعات المسار) من خلال شد السلك بالحبال والبكرات والأوزان (في اليمين). وبالنسبة لطاقات الوابل الكهرطيسي المغروس في البلورات المسعرية يتم استخراجها من خلال تسخين المسارات وشدها بالأوزان (في الوسط وإلى اليسار من الصورة)

ولمعايرة البلورات تستخدم أجهزة ضوئية مجهزة بشمعات، كما يستخدم نظام الأنبوب المائي في ترتيب أجزاء المكشاف (في الأسفل وإلى اليمين من الصورة)، في حين يمثل الرسم الهندسي المركزي حزمة مسارات الجسيم المشحون كتابع لاندفاعه في حقل مغنطيسي سواري مثالي. تمثل الحشرات (في الأسفل وإلى اليسار) لمسة فنية هزلية تشير إلى الأخطاء في البرمجيات.

يظهر الرسم أعلاه تحليلاً لمكشاف CMS. وكما يبدو في الرسم تكون المنظومات الثانوية للمكشاف مفتوحة من الأعلى وقد نزعت كل الأجسام الدخيلة الأخرى (المسارات، تجمعات الجسيمات، وابل الطاقة) وذلك لتحديد سبب الفناء (طبيعة الاصطدام). ينبغي إعادة هذا التحليل للمكشاف بلايين من المرات حتى يتم إيجاد حادثة القاتل الاستثنائي. تظهر هذه الصورة على الغلاف المقترح المقدم عن التقنية البرمجية وأداء مكشاف CMS للعام 2006م.

نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World, November 2008.

ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إعادة النظر في رسائل الغازات النبيلة

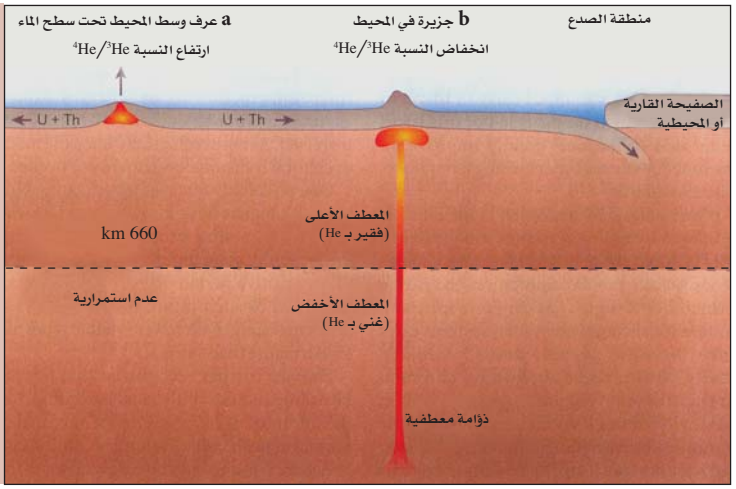
إن الغازات النبيلة الصادرة من أعماق جوف الكرة الأرضية تصدر رسائل متضاربة لأولئك المهتمين بحل غموضها. والنموذج الذي يَعِد بالمساعدة على توضيح هذا الغموض هو الآن في متناول اليد.

يهتم الجيوكيميائيون منذ زمن بعيد بالإصدارات التي تنبعث من باطن الكرة الأرضية. وبصورة خاصة، فإن تحليل الغازات المنبعثة من معطف mantle الأرض أبرز بجلاء نماذج لبنية الكرة الأرضية. وأخيراً، ظهر أن هذه المعطيات أقرب إلى التناقض منها إلى التوضيح، بيد أن غونرمان Gonnermann وموكهوبادهياي Mukhopadhyay عند إعادتهما النظر في اللغز، وبإضافتهما تحريفاً جديداً على المفهوم القديم قد ساعدا على التوصل إلى الاتفاق مرة أخرى مع ما يحويه كوكبنا في باطنه من الغاز.

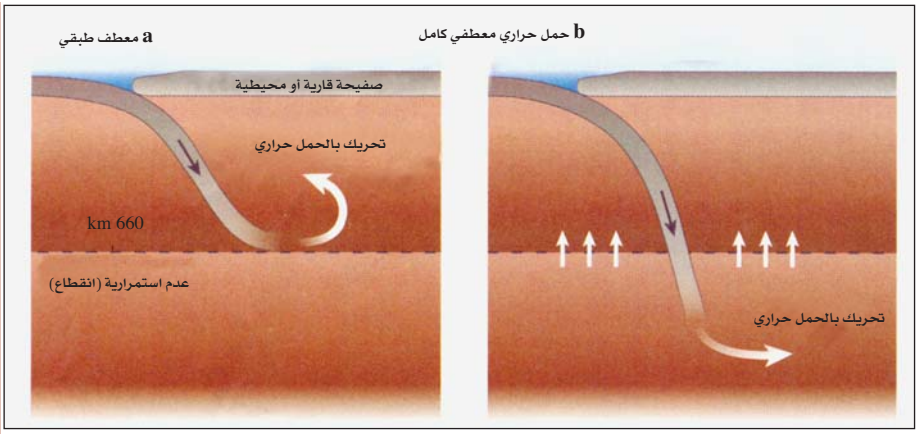
يتم بصورة مستمرة فقدان الغاز من داخل الأرض محمولاً إلى السطح مع الصهارة (ماغما) الناتجة من انصهار المعطف الضحل. تقدم الوفرة والتراكيب النظيرية للكميات الضئيلة من الغازات النبيلة المندفعة مفتاح لغز نشوء الأرض. وفي هذا الحقل من الدراسة، فإن التغيرية النظيرية الطبيعية للهليوم كان لها دور مؤثر بشكل خاص. يوجد للهليوم نظيران مستقران ^{3}He و^{4}He. لقد اكتمل احتواء الأرض من ^{3}He أثناء تشكل الكوكب، بينما يجري إنتاج ^{4}He على الدوام طوال تاريخ الأرض نتيجة اضمحلال نكليدات اليورانيوم والثوريوم المشعة الموجودة طبيعياً. وهكذا فإن النسبة $^{4}He/^{3}He$ تزداد مع الزمن بمقدار يعتمد على النسبة $^{4}He/(U+Th)$.

من المعترف به تماماً أن نسب $^{4}He/^{3}He$ للصهارة في كثير من جزر المحيطات (مثل جزيرة هاواي) أخفض بشكل ظاهر من الصهارة المندفعة من الأعراف ridges وسط المحيط تحت سطح الماء. كان يعتقد أن هذه المشاهدة تعكس «إزالة الغازات» من المعطف العلوي للأرض نتيجة انصهار القشرة وتشكلها عند أعراف وسط المحيط مسوقة بانتشار الصفائح التكتونية (الشكل 1a). تنقل الصهارة الهليوم واليورانيوم والثوريوم من المعطف إلى السطح. ومع أن الهليوم يُفقد في النهاية في الغلاف الجوي فإن اليورانيوم والثوريوم غير القابلين للتبخر يبقيان في القشرة حيث يعودان فيما بعد إلى المعطف بعملية الانغراس (subduction) الصفيحي. ومن هنا، فإن المعطف المتضمَّن في الدورة التكتونية للصفيحة يحقّق نسبة $(U+Th)/He$ أعلى وبالتالي تصل نسب $^{4}He/^{3}He$ إلى قيمة أعلى من أي «معطف أولي» لم يُمَسّ بعد. وهكذا يؤخذ انخفاض النسبة $^{4}He/^{3}He$ المشاهدة في بعض جزر المحيط على أنها تعكس منشأها من مثل هذا المصدر الأولي الذي كان قد عزل بالحمل الحراري عن بقية المعطف. وهذا ينسجم مع فكرة أن جزر المحيط هي المظهر السطحي لذؤابة المعطف التي ترتفع بالطفو الحراري عن الطبقة الحدودية العميقة الساخنة، كما هي الحال في حمم البراكين (الشكل 1b).

يمكن أن يسمح الخيال لنذهب بحماسة أبعد ضمن هذا النموذج المفهومي الجذّاب. أوحت التقديرات السابقة لتركيب القشرة القارّية أنَّ من المحتمل كون مصدرها من انصهار الثلث العلوي من المعطف. وهذا الكسر يتوافق بشكل خيال مع النسبة من المعطف التي هي فوق الوجه الزلزالي الملاحظ على عمق 660 كيلومتراً. وهكذا ولدت الفكرة الغامضة للمعطف الطبقي مع عدم استمرارية الـ 660



الشكل 1: النسب النظيرية والمعطف الأرضي.
(a) عندما تتمزق صفائح المحيط عند أعراف وسط المحيط، يرتفع المعطف العلوي من مكانه وينصهر جزئياً. ينتقل اليورانيوم والثوريوم والهليوم في هذا الجزء من المعطف إلى الصهارة التي تهاجر إلى السطح لتشكل القشرة. يُفقد الهليوم أثناء تبلور الصهارة، ولكن اليورانيوم والثوريوم يبقيان في القشرة ويعودان إلى المعطف بانغماس صفيحي (الشكل 2). وهكذا يصبح المعطف العلوي منزوعاً من الغاز وتزداد النسبة $(U+Th)/He$، والتي تنتقل مع الزمن إلى نسب $^{4}He/^{3}He$ أعلى، (b) وبالعكس، تبيّن جزر المحيط نسبة $^{4}He/^{3}He$ منخفضة، على اعتقاد أن هذا يعكس مصدر معطف عميق من ذؤابات المعطف الذي تحته.



الشكل 2: وصلة الانغماس. **(a)** تتضمن نماذج نشوء الغاز النبيل تقليدياً أن المعطف الأعلى فقط هو المنزوع الغاز فعلاً، مع انقطاع زلزالي يبلغ عمقه 660 كيلومتراً منتجاً معطفاً طبقيّاً ويوضح حدوداً لانغماس الصفائح ومجرى المادة إلى المعطف العميق. **(b)** تقدِّم الصور الزلزلية، على أية حال، الآن دليلاً قوياً بأن الصفائح يمكن أن تنفذ إلى داخل المعطف الأخفض مترافقة مع جريان معاكس التيار ومنتجة حملاً حرارياً لجميع المعطف. يبيّن نموذج غونرمان وموكهوبادهياي، مخالفاً بذلك جميع التوقعات، هذا النمط من الحمل الحراري لجميع المعطف، منسجماً بذلك تماماً مع شواهد نظائر الهليوم والغازات النبيلة الأخرى.

كيلومتراً فاصلة المعطف العلوي المستنزف عن المعطف الأولي الأخفض (الشكل 2a). إن معرفتنا عن المعطف الأخفض هو أن النسبة $^{3}He/^{4}He$ منخفضة وقد اكتسبت هذه النسبة أهمية رمزية، حتى وكأنه قد عُبِّر عنها تقليدياً بطريق معاكس لجميع نسب النظائر الأخرى المتولدة بالإشعاع. (أي مثل $^{4}He/^{3}He$ مع النظير الناتج من الاضمحلال الإشعاعي للمخرج).

ورغم أن نموذج المعطف الطبقي أيضاً ساعد في تفسير عدد من المشاهدات الأخرى المهمة للغازات النبيلة، فقد أثبت أنه غير منسجم مع التقييدات الجيوكيميائية الموجودة في كثير من عناصر الجدول الدوري الأخرى، هنالك القليل من الأدلة عن المعطف الأولي الموجود فعلاً كما هو مقيّم من وفرة العناصر غير الطيارة الواسعة الانتشار والنسب النظيرية. وفوق ذلك، فقد أثبتت دراسات علم الزلازل بصورة مقنعة بأن عدم استمرارية الـ 660 كيلومتراً ليست هي الحدود لجريان المعطف، وبالتالي أصبح من الصعب الدفاع عن الفكرة بأن المعطف الأولي يمكن أن يُحفَظ في المعطف الأخفض (الشكل 2b). وهكذا، يناقش بعض الباحثين من أجل آلية تفسر النسب المنخفضة لـ $^{4}He/^{3}He$ في المعطف بشكل مختلف كلياً. وعلى الرغم من ذلك فإن أسطورة الغاز النبيل لها جذور عميقة وقد أعاد آخرون ترسيخ المعطف الطبقي بحدودية أعمق، أو اقترحوا بأننا نعيش في زمن فريد حيث الطبقية الطويلة الأمد لم تكن سوى مجرد ثغرة. وهكذا بدا بشكل متزايد أن قياسات الغاز النبيل تطرح أسئلة عن فهم أعماق الأرض أكثر من أن تقدم أجوبة.

عالج غونرمان ومكهوبادهياي هذه الأمور بدقة بسيطة مثيرة. لقد اقترحا حلاً بأن المعطف الأخفض غير معزول بل إنه مجرد راكد. إن هذا الاقتراح معقول لأن من المعتقد أن لزوجة المعطف تزداد بشكل كبير مع العمق. أنشأ المؤلفان نموذجاً يسمح فيه التبادل بين المعطف الضحل والمعطف العميق، مع حصول انغماس صفيحي خلال عدم استمرارية الـ 660 كيلومتراً، وإنتاج التيار المعاكس المرافق (الشكل 2b) معطفاً أكثر تجانساً وأقل طبقية. ولكن المشكلة ليست في أخذ العملية كلها أو تركها مع وجود انغماس عميق محدد إلى دفق متواضع يتفق مع الملاحظات السسمولوجية. استكشف المؤلفان فضاء الوسطاء حيث يمكن لنموذجهم أن يستخرج نسب نظير الهليوم لبازلت أعراف وسط المحيط وجزر المحيط. إن المداخيل للتوصل إلى الحلول الناجحة تنسجم تماماً مع التعقيدات المستقلة عن جملة الغاز الأرضي والنسب النظيرية للعناصر غير الطيارة مثل النيوديوم (مثلاً $^{143}Nd/^{144}Nd$).

يتألف نموذج المؤلفَين من توازن كتلة رائع، شبيه بالذي استخدم لإنتاج المدى الطبيعي للتراكيب النظيرية في المنظومات الأخرى. إنه ليس نموذجاً حركياً، ولكن المتطلبات لحلول النموذج الناجح لا تبدو مرهقة، حتى ولو كانت تحتاج بشكل واضح للاستكشاف باستخدام محاكيات عددية للحمل الحراري. السمة الأساسية هو أن المعطف ليس طبقياً ولكنه ليس متجانساً ويظهر أيضاً أنه معقول بشكل فائق، ولربما من المدهش أن مثل هذه الفكرة لم تستكشف مسبقاً بشكل كافٍ. ومع ذلك فإن كثيراً من الأفكار لا تبدو واضحة إلا بعد أن تظهر بأنها فعّالة.

وقبل الإحساس بالراحة التامة، على أية حال، يجب التذكر بأن هنالك غموضاً عن الكزينون ونظائره التسعة حتى يمكن التمسك بها. ولربما من سخرية القدر أن يأتي عمل غونرمان وموكهوبادهياي في الوقت الذي يكون جمهور علوم الأرض متمسكين بدليل مثير للانتباه «للخزان المخبأ» الذي تشكل عند قاعدة المعطف خلال أول ثلاثين مليون عاماً من ولادة الأرض، أي قبل 4.5 بليون سنة. وهكذا يبدو أن لدينا حالياً وفرة من المخابئ للغازات النبيلة، وعدة حلول ممكنة لمعضلاتنا المتقلبة.

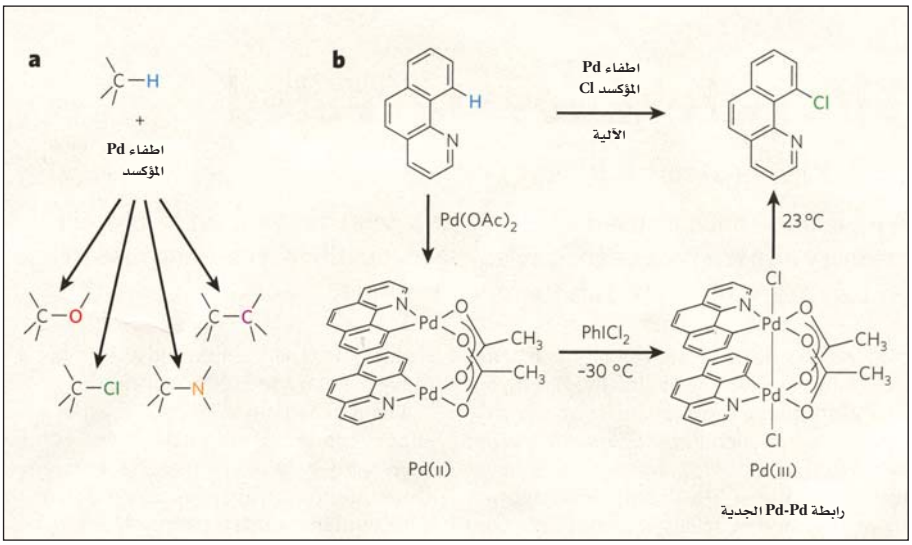
نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 459, 28 May 2009.

ترجمة د. أحمد الحاج سعيد، عضو هيئة التحرير.

تخطيط مسار التحفيز

يستطيع الكيميائيون في حفّازات البلاديوم، التعامل مع روابط الكربون – هدروجين الخاملة بصورة عادية بغية بناء جزيئات نافعة من كتالات blocks بناء بسيطة. أمّا كيف توجّه الحفّازات هذه العملية فقد أصبح الأمر الآن أكثر وضوحاً.

تعتبر روابط الكربون – هدروجين واحدة من أكثر أنواع الوشائج شيوعاً في الجزيئات العضوية. ولكنها لا تتفاعل تحت معظم الشروط الكيميائية، لذا لا يؤمل منها أن تقدم بصورة عامة شيئاً مفيداً من أجل بناء جزيئات معقدة. وعليه، فقد كان هدف الكيمياء الاصطناعية منذ وقت طويل تحويل الروابط C-H إلى مجموعات وظيفية من الذرات يمكن التعامل معها بسهولة. هنالك معقدات محددة من المعادن الانتقالية تستطيع تحريض روابط الكربون – هدروجين الخاملة نموذجياً لتتفاعل بطرق مختلفة، وكان الهدف هو إيجاد مركبات معدنية تعمل كحفازات كُفُؤ، بحيث يكفي استخدام كميات ضئيلة منها لإتمام العمل (إن المعادن المستعملة بشكل عام غالية الثمن جداً). إن التحدي الأبعد هو الحاجة إلى حفّازات ناجحة، تكون قادرة على التقاط رابطة C-H واحدة من عدة روابط في الجزيء.



الشكل 1: تحويلات الروابط هدروجين – كربون المحفزة بالبلاديوم. **(a)** باستخدام حفّاز البلاديوم بالترافق مع مؤكسد مناسب، يمكن عادة إحلال مجموعات من مختلف الضروب المفيدة محل الروابط **C-H** غير الفعّالة. إن مثل هذا النوع من العملية يستطيع أن يبسّط إلى حد كبير بناء جزيئات صيدلانية ومنتجات طبيعية حيوية فعّالة.

(b) أنجز باورز وريتر خطوة خطوة تحليل تفاعل محفّز بالبلاديوم يحوّل الروابط **C-H** إلى الروابط **C-C1**. إن إقحام خلات البلاديوم **$pd(OAc)_2$** في الرابطة **C-H** ينتج مادة متوسطة فيها ذرتان من البلاديوم، كل منهما في حالة الأكسدة (+2) كما هو متوقع. والذي يدعو إلى الدهشة هو أن المعالجة في درجة حرارة منخفضة مع ثنائي كلوريد أيودبنزين القائم على الكلور كمؤكسد ينتج معقداً حيث تكون ذرتا البلاديوم مرتبطتين بعضهما مع بعض وكل واحدة منهما مؤكسدة بإلكترون واحد. لم تشاهد المتوسطات **pd(III)** هذه آخذة دورها في التفاعلات الحفزية مسبقاً. وأخيراً، يحرر المعقد المعزول منتجاً مكلوراً بعد تسخينه إلى درجة حرارة المحيط.

حصل التقدم المهم مع اكتشاف سلسلة من تحويلات رابطة C-H لاتتطلب إلا كمية حفزية من معقد البلاديوم، مع عميل مؤكسد يؤدي إلى نتيجة عالية المردود والانتقائية. ومن الممكن بتغير نوع المؤكسِد المستعمل المرافق لحفّازات البلاديوم، تشكيل روابط جديدة من كربون – أكسجين، كربون – نتروجين – هالوجين، وكربون–كربون (الشكل 1 a). إن الآلية الدقيقة التي يؤدي بها البلاديوم هذا العمل الفذ هي موضوع دراسة مكثفة وجدال.

وجاء في Nature Chemistry، أن باورز powers وريتّر ritter أدليا بدلوهما بتقديم اقتراح جريء حول هذه الآلية. إن تحليل كيفية انتقال الجزيئات من النقطة A إلى النقطة B شيء معقد بالطبع، وذلك لأننا لا نستطيع بشكل عام ملاحظة تآثر الجزيئات. وبدلاً من ذلك يجب على الكيميائيين أن يتفحصوا المواد المتوسطة على طول المسار من مادة البداية حتى المادة الناتجة للحصول عند تجميعها على نوع من خارطة الطريق الجزيئية. إن المتوسطات في التفاعل تكون غالباً غير مستقرة مما يجعل التحليل الكامل للعملية صعباً. ومع ذلك نجح باورز وريتّر في عزل بنى المتوسطات الرئيسة وتحديدها في عملية تحفيز بلاديوم معينة من أجل استبدال روابط C-H. وبهذا العمل ألقيا الضوء على هذا الصنف من التحويلات بطريقة توحي بدراسات

مستقبلية قد تسهل تطوير حفّازات أكثر قدرة.

وفي حال اعتبار آليات التفاعل، يهتم الكيمائيون بشكل كبير بجريان الإلكترونات من ذرة إلى أخرى ولمتابعة التطورات حّددوا حالة أكسدة لكل ذرة كقياس مسجل بشكل غير دقيق ومرتبط بشحنة الذرة. تكون حالات الأكسدة بشكل خاص مفيدة من أجل التنبؤ بفاعلية المعقدات المعدنية ومدى قربها من المنطق. وفي التفاعلات التي يكون فيها البلاديوم هو الحفّاز، فإن حالة أكسدته تكون صفراً أو +2، ويُدل عليها بـ pd (o) أو pd (II)، وغالباً ما تتراوح الحالة بينهما.

أوحى سانفورد Sanford وزملاؤه في اقتراح استُقبل في البدء بالشكوك بأن البلاديوم من النوع pd (Iv) يمكن أن يلعب الدور المركزي في تحويلات الرابطة C-H التأكسدية. لقد جمعوا دليلاً جوهرياً لهذه النظرية بتحليلهم بشكل مستقل معقدات pd (Iv) ذات الصلة لتحويلات التفاعل المقترحة مبينين بأن أنواع البلاّديوم المحضّرة تقود إلى المنتج المرغوب. قدمت التحريات المفصلة سوية عالية من فهم تشكل المنتج من الشكل pd (Iv)، والسؤال المتبقي، على أية حال، هو فيما إذا كانت المعقدات الاصطناعية قريبة بشكل كاف من المتوسطات الحقيقية في التفاعلات الحفزية، حيث تُستخدم شروط متباينة في كل حالة. وبكلمة أخرى، إذا ما غيّرت الطريق إلى النهاية فإنك يمكن أن تتوقف عند مكان مختلف على طول الطريق، ولو أن نقطة النهاية تكون نفسها.

واجه باورز وريتر هذا الأمر بتطبيق شروط قريبة جداً من تلك التي استُعملت في تفاعل هلجنة الرابطة C-H المحفّزة بالبلاديوم (الشكل b1). وبضبط التفاعل عند درجة حرارة منخفضة استطاع المؤلفان عزل معقد البلاديوم المتوسط وتعيين بنيته بواسطة علم البلورات بأشعة–X. وبدلاً من إيجاد نوع البلاديوم Pb (IV)، لاحظا معقداً يحتوي على ذرتي بلاديوم مرتبطتين بعضهما مع بعض، وكلٌ منهما في حالة أكسدة (3+). إن هذا النوع من ضروب الارتباط pd(III) – pd(III) (والموصوفة بالثنائية المعدنية) نادر جداً ولم يظهر مسبقاً في التفاعلات الحفزية. وبتحليل السرعة التي شكل المعقد المعزول فيها المنتج، بيّن المؤلفان أن من المحتمل أن تكون خطوة التفاعل النهائية قد حصلت مباشرة من المتوسط الملاحظ pd (III) وبذلك ألقت ضوءاً على أهميته في التحفيز.

وبأخذ كل ما تم، فإن نتائج باورز وريتّر تقترح وبشكل قوي بأن أنواع pd (III) الثنائية المعدن هي المتوسطات في التحويلات التأكسدية المحفزة بالبلاّديوم لروابط C-H الممثلة في دراستهم. لاشك أن تقريرهم أزاح جزءاً من الستار الذي يخفي الصورة الجزيئية المعقدة لهذا النوع من التفاعل. ومن الطبيعي أن نتيجة الآلية الحقيقية لكل تفاعل بعيدة عن الحسم، والاقتراحات السابقة الوثيقة الصلة بالموضوع بما فيها المتوسطات pd(Iv) يجب ألا تهمل. وتستطيع الدراسات المستقبلية أن تفك التعمية حول أيٍّ من بارامترات التفاعل تلك التي تُملي السلوك المفضل للعمليات المختلفة، وعلاوة على ذلك، فإن فعالية معقدات البلاّديوم pd(II) الملاحظة حديثاً يجب أن تولد شرارة التحريات عن تفاعلات أكثر، بما فيها هذه الأنواع المهمة.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 459, 18 June 2009.

ترجمة د. أحمد حاج سعيد، عضو هيئة التحرير.

كيف نعالج قلباً مريضاً

أدلة حول الكيفية التي تشكل فيها قلوب البشر تلميحاً لدى طرق تؤدي إلى معالجات مبنية على الخلايا.

إن الأمراض القلبية تقضي على البشر أكثر من أية حالات أخرى، ومع ذلك فإن معالجات الخلايا ما تزال محبطة ومحيرة. قدَّم كينيث تشاين Kenneth Chien من مشفى ماساشوستس في بوسطن و زملاؤه تقريراً عن اكتشاف يمكن أن يقرّب هذا العلاج من الحقيقة: خلايا السلف البشرية human progenitor cells التي تولِّد أنواعاً مختلفة من أنسجة القلب. لكن عمل تشاين بقي بعيداً عن المستشفى، غير أن التجارب السريرية لأنواع أخرى من الخلايا على أمراض القلب المزمنة أعطت نتائج مختلطة. هذا، وقد أفادت كريستين موميري Christine Mummery الباحثة في الخلايا الجذعية من جامعة ليدين في هولندا: «حتى المدافعون المتحمسون لهذا الموضوع يطالبون بالفائدة المعتدلة على المدى الطويل». وهذا يطرح السؤال عن أي أنواع الخلايا، إذا وجدت، تستطيع أن تحوّل بحث الخلايا الجذعية إلى حقيقة بالنسبة للمرضى الذين يعانون من أمراض قلبية.

إن فريق تشاين تعرَّف سابقاً في تجاربه على الفئران على الخلايا القلبية السلف والتي أعطت عامل انتساخ يُسمّى (Isl1)، وفي آخر ورقة علمية لهم وجدوا أن هذه الخلايا توجد أيضاً في البشر. وبعد التعرُّف على تعداد الخلايا في النسيج الجنيني في البشر، صنع الباحثون هذه الخلايا من خلايا جذعية مضغية بشرية، وبيّنوا أن هذه الخلايا متعددة القدرات– أي يمكن أن تولِّد خلايا سلف أكثر أيضاً مثل أنواع الخلايا القلبية الأساسية لعضلة القلب، والعضلات الملساء، وخلايا الأوعية الدموية.

إن هذا العمل يزودنا بتفسير عن الكيفية التي تتميز بها الخلايا القلبية بعضها عن بعض. وعلى الرغم من أن هذه الخلايا تستمر فقط ليومين عند الفئران، غير أنها تدوم لأسابيع في الأجنّة البشرية. هذا يعني أن هذه الخلايا لا تتمايز مباشرة إلى الأنواع الرئيسية في النسيج القلبي، بل إن القلب يتكون من مجموعة من الخلايا متعددة القدرات والتي تدوم وتتمايز كلما نما القلب. وتقترح النتائج أن طريقة فعّالة في معالجة الخلايا يمكن أن «تجعل خلايا السلف الأصيلة تعمل، لأن هذه هي الطريقة التي بُني بها القلب في المقام الأول»، هذا ما يقوله السيد تشاين.

إن فيليب ميناتشي Philippe Menasche، وهو جرّاح قلبي في المشفى الأوربي في باريس، لديه بعض الشكوك حول البحث، حيث يقول إن هذا العمل هو ورقة بحث ممتع وأساسي، ولكنه يقول: «عندما تتعرّف على مثل هذه الخلايا السلف، فإن أول سؤال سوف تطرحه هو: هل من الممكن أن تعزل هذه الخلايا المختارة وتستعملها لمعالجة المرضى؟ وهذا مستحيل لأن المؤشر (Isl1) هو بروتين مسؤول عن عمل الجينات ولذلك يجب أن يتمدّد هذا البروتين في داخل نواة الخلية. وإن معظم التقانات النشيطة التي تعمل على تنقية الخلايا تقوم بذلك من خلال البروتينات الموجودة على سطح الخلية.

المراحل المبكرة

حالياً كان على تشاين أن يستعمل واسماً مفلوراً مبنيّاً جينيّاً كدليل لتعريف الخلايا التي تنتج (Isl1). إن القلق في استعمال الخلايا المبنية جينيّاً، بالإضافة إلى إدراك أن هذه الخلايا غير مطابقة لجينات المرضى، يجعلها أقل ملاءَمة في الاختبارات السريرية. ولكن من ناحية أخرى، يمكن أن يساعد على انتقاء أدوية القلب الفعّالة، وأيضاً يساعد على نمذجة أمراض الطفولة الخلقية حيث يكون القلب مشوهاً. ويتمنّى تشاين من الباحثين في آخر الأمر أن يتعرّفوا على مجموعة من الإشارات السطحية التي يمكن أن تعزل هذه الخلايا بشكل موثوق وبدون الرجوع إلى الهندسة الجينية.

وأضاف راج ماكّار Raj Makkar، وهو عالم بأمراض القلب في المركز الطبي Cedars-Sinai في لوس أنجلوس–كاليفورنيا، بأنه يجب

إن الخلايا الجذعية لديها الطريقة في معالجة القلوب المريضة

على الباحثين أن ينظروا إلى تأثيرات Isl1 على الخلايا الأخرى، بما في ذلك موضع أنسجة القلب المتضرّرة. واقترح أيضاً أن إضافة أو تفعيل Isl1 يمكن أن تجعل بعض هذه الخلايا والتي أجريت عليها اختبارات في العيادات السريرية أكثر فعالية.

إن الاختبارات الحالية لمعالجة أمراض القلب تستخدم خلايا مأخوذة من نقي العظام والقلب وخزعات من الهيكل العضلي. ولكن التركيز كان على الخلايا التي جُمعت من نقي العظام والتي تمّ أخذها من المرضى الذين سوف يتلقونها في النهاية. ويزعم ميناتشي أن هذه الخلايا لا تبدو قادرة على توليد خلايا خاصة بالعضلة القلبية والتي تسمى cardiomyoctytes، ولكن هذا لا يعني أنها غير مساعدة، ويقول: «لا يترتب على ذلك أنه ليس لديها أي تأثير.

تجري الآن عدة اختبارات على نطاق واسع لتحديد فيما إذا كان المريض سيتمكن من الاستفادة من خلايا نقي العظام عن طريق مفعول نظير الصمّاوي Paracrine effect، وهو حجب عوامل النمو التي تحفّز القلب على إنماء أوعية دموية جديدة، وبهذه الطريقة تتم المحافظة على النسيج الحالي للقلب. تقول موميري إن النتائج كانت غامضة فيما مضى: فالخلايا تبدو سليمة ولكنها غير فعّالة بشكل نوعي.

لكن آخرين يعتقدون أن فعالية هذه الخلايا لم يتم اختبارها كما

ينبغي. فعلى سبيل المثال، يقول ماكّار، إن الخلايا المأخوذة بسرعة بعد النوبة القلبية من غير المحتمل أن تبقى على قيد الحياة، وتأثيرها على المرضى قد يكون محجوباً فيما إذا تضمّنت التجربة مرضى معافين.

إن الأبحاث التي استخدمت خلايا العضلات الهيكلية كانت نتائجها مختلطة. ففي عام 2002، قاد ميناتشي تجربة سريرية واسعة حيث درس فيما إذا كان حقن العضلات الهيكلية إلى القلب يمكن أن يعيد للقلب عمله. وفي عام 2006، تمّ إيقاف تلك التجربة مبكراً وذلك لنقص فعاليتها، فقرّر ميناتشي العمل على الخلايا المأخوذة من الخلايا الجذعية الجينية. وبسهولة، يمكن لهذه أن تولّد خلايا عضلة قلبية خفاقة cardiomyoctytes في المختبر، ولكن يصعب اندماجها في أنسجة القلب المتضرّرة. ومن المشاكل التي اعترضت هذه التجربة: العمل على تنقية هذه الخلايا والحصول على عدد كافٍ منها، بالإضافة إلى أنه يجب التأكد من عدم مهاجمة هذه الخلايا من قبل الجهاز المناعي، والتحكم في إمكانية النمو غير المطلوب لهذه الخلايا– عدم الخوض في التأكد من أن هذه الخلايا المقدمة تخفق في الوقت الذي يعمل فيه القلب الضعيف.

إن معظم التجارب المتعلقة بنقي العظام تركز على الخلايا الجذعية المشكلة للدم، ولكن هناك نوع آخر للخلايا الجذعية موجود في نقي العظام يُدعى خلايا جذعية متعلقة باللحمة المتوسطة Mesenchymal حيث تمّت دراستها أيضاً.

أفاد جوشوا هير Joshwa Hare، من جامعة ميامي في فلوريدا، أن فريقه سوف يرسل تقريراً عن النتائج للمرحلة الثانية لتجربة الخلايا الجذعية المتعلقة باللحمة المتوسطة التي أجريت من قبل مركز أوسيريز للمعالجة في كولمبيا–ميرلاند، حيث تظهر هذه النتائج أن هذه الخلايا تُطعم لتكوّن خلايا عضلة قلبية وتساعد من خلال مفعول نظير الصمّاوي.

يعتقد هير أن الأطباء قد يستعملون في النهاية معالجات مختلفة للخلايا لمعالجة أمراض القلب. وإن الخلايا الجذعية المتعلقة باللحمة المتوسطة يمكن أن تستعمل كمعالجة الجيل الأول يتبعها معالجة بالخلايا المأخوذة من الخزعات القلبية، يتبعها أنواع خلايا أخرى لم تدخل بعد في مجال التجارب السريرية. هذا ، وقد تنبأ أن معالجة الخلايا القلبية سوف تتبع الطريق نفسه الذي سلكته المضادات الحيوية، وفي ذلك يقول هير: إن مجرد امتلاكنا الجيل الثالث من سيفالسبورين cephalosporins (مضاد حيوي) الآن فإن هذا لا يعني أن البنسلين فقد فعاليته.

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 460, 2 July 2009.

ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية.

اتفاق تعاون في مجال الطاقة الكهرنووية

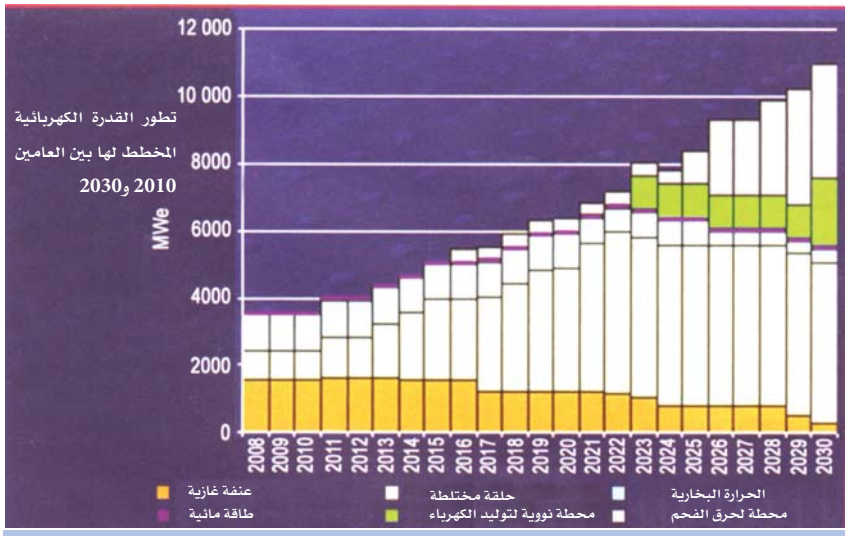
من بين الاتفاقيات المبرمة في أبريل/نيسان عام 2009 بين فرنسا وتونس بمناسبة الزيارة الرسمية لفرانسوا فيللون Francois Fillon تميّز منها ما يتعلق بالاستخدام السلمي للطاقة النووية الذي تمّ توقيعه خلال زيارة الرئيس ساركوزي إلى تونس في أبريل/نيسان عام 2008. توصل الفريقان إلى تشكيل "لجنة إرشاد un comite de pilotage" للتعاون الفرنسي التونسي في هذا المجال. استُدعي الجانب الفرنسي للمساعدة تحديداً في بناء قدرات تونسية بهدف بناء محطة طاقة كهربائية نووية (كهرنووية) في أفق العام 2020 (انظر التواريخ الأساسية في المؤطر المرافق).

تظهر حاجة تونس إلى الكهرباء بشكل متزايد، كما هو حال جميع دول جنوبي البحر المتوسط، وهذا ما أشار إليه نضال أورفلي Nidhal Ouerfelli الخبير في شؤون الطاقة والمسؤول عن التأهيل في المعهد الوطني للعلوم والتكنولوجيا النووية التابع لهيئة الطاقة الذرّية الفرنسية Institut National des Sciences & Techniqes Nucleaires du Commissarit d'Energie Atomique NSTN-CEA، خلال حوار في مؤتمر نظمه في باريس نادي التقانات في جمعية التونسيين في

التواريخ المفتاحية للمشروع

- نهاية **2011** هو تاريخ انتهاء دراسة جدوى المشروع وقرار تنفيذه.
- منتصف العام **2015** هو تاريخ اختيار المورد وتوقيع العقد.
- بداية العام **2018** هو تاريخ البدء بالأعمال البيتونية للبناء.
- **2023** هو عام التشغيل الصناعي للمحطة.

المدارس العليا L'Association des Tunisiens des Grandes Ecoles (ATUGE). من المعروف أن تونس تمتلك مصادر محدودة للطاقة الكهربائية، وهي في طريقها للنضوب، ومنها الغاز المستورد من الجزائر الذي يشكل حالياً 30% من مصادر الطاقة الكهربائية في تونس. ولتجاوز هذا النقص في المصادر الطاقية تتطلّع الشركة التونسية للكهرباء والغاز la Societe Tunisienne de l'Electricite et du Gaz (STEG) إلى إدخال الكربون في العام 2016، قبل التحول إلى الطاقة النووية (انظر الشكل 1).



الشكل 1- برنامج التزود بوسائل الإنتاج

فاستهلاك الكهرباء، الذي يتزايد في تونس بمعدل وسطي 4.3% كل عام، سيصل إلى 12200 غيغا واط ساعي هذا العام، وهذا ما يؤكده رباح جيراد، المدير العام المساعد للشركة التونسية للكهرباء والغاز. ففي العام 2007 بلغت القدرة المستثمرة لإنتاج الكهرباء 3313 ميغا واط، منها 1307 ميغا واط بوساطة العنفات الغازية و1090 ميغا واط من البخار الحراري و835 ميغا واط تدوير مختلط و62 ميغا واط طاقة مائية و19 ميغا واط طاقة هوائية.

كُلِّفت الشركة التونسية للكهرباء والغاز من قبل الحكومة في العام 2006 ببدء التعاون مع وزارة التعليم العالي والبحث العلمي والتقني لإجراء دراسات تهدف إلى إدخال محطة نووية لإنتاج الطاقة الكهربائية (كهرنووية) في تونس، وبحيث يتم استثمارها من قبل هذه الشركة تحديداً. اختارت تونس اللجوء إلى إنتاج الكهرباء بوساطة الطاقة النووية لأسباب عدة: اقتصادية (مساهمة بسيطة للوقود في تكلفة الإنتاج) واستراتيجية (الإنتاج الوطني من الوقود الأحفوري محدود) وبيئية (تقليل إطلاق CO_2) واقتصادية اجتماعية (تطوير الصناعة المحلية وزيادة الوظائف).

اختيار التقنية

تسعى الشركة التونسية للكهرباء والغاز للاستثمار بتقنية موثوقة من الجيل الثالث ذات قدرة إجمالية تتراوح بين 700 و1100 ميغا واط تتوضع على هيئة شريحتين متمايزتين في الموقع الواحد، وبحيث تكون المواقع المختارة على الشاطئ البحري، وهذا ما صرّح به السيد جيراد. تنوي الشركة التونسية للكهرباء والغاز التقدم بطلب عرض أسعار دولي من أجل التزود بمحطة نووية جاهزة إضافة لعقد صيانة تحدد مدته فيما بعد. سيكون الاستثمار كاملاً محصوراً بالشركة التونسية للكهرباء والغاز، مع احتمال طلب مساعدة أجنبية خلال السنوات الأولى للاستثمار. إن النص الكامل لطلب العروض الذي ستتبناه الجهات النووية التونسية سيتم تحريره وتدقيقه قبل نهاية العام 2011 من خلال دراسات الجدوى الاقتصادية التقنية.تشمل أنماط المفاعلات المقصودة بطلب العروض: AP1000 ذو التصميم الأمريكي Westinghouse العامل بالماء المضغوط PWR و1 ATMEA ذو الاستطاعة المتوسطة والعامل بالماء المضغوط و MHI وACR1000 من شركة ACEL العاملان بالماء الثقيل المضغوط (نمط Candu).

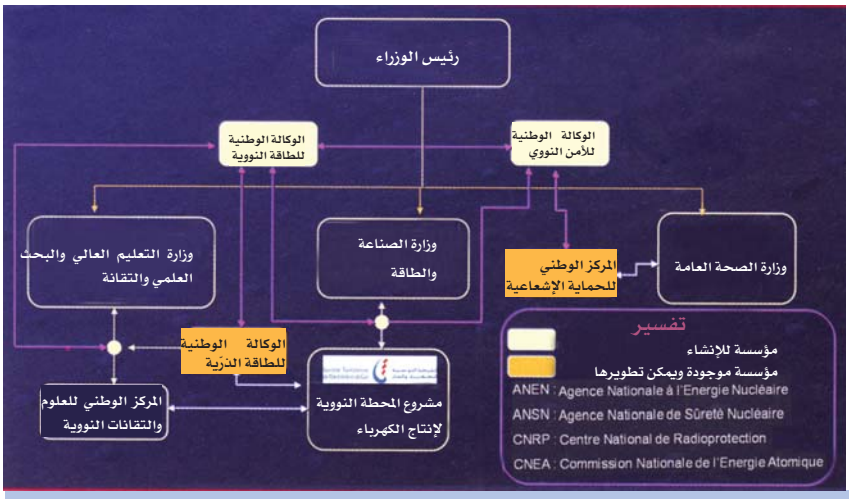
سيتم التمويل إما بوساطة مساعدة من المصنع أو بتمويل ذاتي. أما الكادر التشريعي فهو طور التدريب: إنشاء مجموعة للعمل التشريعي تحت إشراف الهيئة الوطنية للطاقة الذرّية la Commission National a l'Energie Atomique (CNEA)، وتحضير مشروع نص قانون وطني حول الاستخدام السلمي للطاقة النووية وتطبيقاتها، وتهيئة مشروع نص قرار لإنشاء وكالة وطنية للطاقة النووية Agence Nationale de l'Energie Nucleaire (ANEN)، وإعداد مشروع نص قرار لتحديد بنى ومساهمات وكالة وطنية للضمان النووي Agence Nationale de Surete Nucleaire (ANSN).

يلزم ما بين 12 و15 عاماً على الأقل لتحضير ما تتطلبه عملية الحصول على الكهرباء المولَّدة نووياً (كقوانين وجهات رقابية). وقد صرّح الرئيس ساركوزي في أيلول/سبتمبر عام 2007 أن فرنسا جاهزة لمساعدة الدول التي توفر ضمانات فيما يتعلق بعدم الانتشار والأمن بتزويدها ببرنامج للكهرباء المولَّدة نووياً. ويشير مارك بونشيه Marc Ponchet إلى أنه وبهدف تنظيم هذه المساعدة الفرنسية في جميع المراحل ما قبل الصناعية فقد أُحدثت الوكالة الفرنسية النووية الدولية l'Agence France Nucleaire Internationale (AFNI) في

كنف هيئة الطاقة الذرّية الفرنسية بأمر وزاري في 7 أيار/مايو عام 2008. لا تتدخّل هذه الوكالة في القضايا التجارية المحصورة بالصناعيين فقط. يميل مجلس الـ AFNI بشكل خاص إلى الأمور التقنية والتأسيسية إضافة إلى تكوين الكوادر التي تحقق توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرّية IAEA.

الاحتياجات من الموارد البشرية

يؤكد ديدييه كيشيمير Didier Kechemair، المدير المفوض بالعلاقات الدولية في هيئة الطاقة الذرّية الفرنسية، أنه من أجل الدول الراغبة في الدخول بالمجال النووي، مع برامج متعلقة بشريحة أو شريحتين صناعيتين وبضرورة إنشاء بنىً تحتية، فإن تطوير الموارد البشرية يشكل عنق الزجاجة. ويعتقد كيشيمير أن هذه الدول تحتاج على الأغلب إلى دعم بدئي من الخارج، ويجب أن يتهيئوا لتغييرات مناسبة في نظام التكوين المحلي إذا ما أرادوا الاعتماد على ذاتهم. ويضيف، إن الجيل الذي طوّر الحالة الفرنسية في سبعينيات القرن الماضي قد شارف على التقاعد، وإن ضرورة استبدالهم، إضافة إلى



الشكل 2: البنية الوظيفية لبرنامج الطاقة النووية.

ربح المكاسب الحالية في المجال النووي في العالم والدور الذي ترغب فرنسا بلعبه، يفرض توظيف آلاف العاملين وتهيئتهم سنوياً، بما في ذلك العاملين في الدول الطالبة لهذه التقانة.

فمن أجل شريحة صناعية نووية من نمط REP، تصل الحاجة الحقيقية إلى 500 شخص تقريباً، وذلك عدا مراحل الصيانة، حيث يتزايد هذا العدد بشكل كبير. ويتابع كيشيمير قائلاً: إن جزءاً فقط من الكادر يحتاج لتهيئته كخبراء جدد في المجال النووي، لكن تهيئة هؤلاء الخبراء الأساسيين يجب أن تتم بشكل مبكر (قبل ما يزيد على عشر سنوات من وصل المحطة النووية بالشبكة الكهربائية في حالة خبراء الأمان النووي)، ويجب ألاّ يستهان بفترة التهيئة. كما يجب إدخال خطة التهيئة في الاستثمار المالي للمشروع ثم في مرحلة التشغيل. ويتوقع أن تتراوح نسبة تكلفة التهيئة البدئية قبل وصل المحطة ما بين 0.1 و0.3% من تكلفة الاستثمار والتهيئة المستمرة خلال التشغيل بين 5 و7% من قيمة تكلفة الكادر في المحطة.

مهام المركز الوطني للعلوم والتقانات النووية

أنشئ المركز الوطني للعلوم والتقانات النووية عام 1993 لدعم التنمية الاقتصادية الاجتماعية من خلال السيطرة على التطبيقات السلمية للعلوم والتقانات النووية وتحفيزها، فهو يُعنى بالبحث والتطوير، وبتقديم الخدمات للمؤسسات الجامعية وللقطاعين العام والخاص وتقديم المشورة في قضايا الأمن النووي والحماية الإشعاعية، إضافة إلى جمع المعلومات وتسويقها. ومن بين مجالات خبراته نذكر القياسات الإشعاعية والتحاليل العنصرية والنظيرية، والمعالجة الإشعاعية للمنتجات الصناعية والصيدلانية والزراعية والأمن النووي.

الكادر المؤسّساتي

تشكّلت الهيئة الوطنية للطاقة الذرّية التونسية عام 1992، وتعتبر السلطة الأعلى فيما يتعلق بالمواد النووية، ويترأس هذه الهيئة الوزير المكلف بالبحث العلمي. وأشار السيد عادل طرابلسي، المدير العام للمركز الوطني للعلوم والتقانات النووية (انظر المؤطر)، أن السكرتاريا الدائمة للهيئة أُوكلت لهذا المركز، الذي يدير التعاون مع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية ويمثل البلد لدى الوكالة العربية للطاقة الذرّية وينظم تحقيق الاستراتيجية الوطنية في المجال النووي. كما يشير السيد عادل طرابلسي إلى أن المركز الوطني للحماية الإشعاعية، الذي تمّ إنشاؤه عام 1982، يقوم بدور مكتب سلطة الأمن النووي حالياً. يوضح الشكل 2 البنية الوظيفية لبرنامج الكهرباء النووية التونسي.

كما كُلّف المركز الوطني والتقانات النووية بدراسة الجدوى التقنية الاقتصادية لأنظمة متكاملة لإنتاج الكهرباء وتحلية المياه نووياً، وذلك من أجل توفير خيار للتوجهات التقانية والاقتصادية للحصول على الكهرباء ومياه الشرب في الجنوب التونسي قرابة العام 2020. والمعايير المحددة لاختيار مفاعل إنتاج الكهرباء من محطة نووية هي احتياجات الشبكة الكهربائية والتوصيلات المنظورة والتقانة المجربة، الموثوقة والقابلة للتطبيق، وضمان توفير المواد القابلة للاحتراق.

نُشر هذا الخبر في مجلة RGN, No: 3, 7 May-Juin 2009.

ترجمة د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير.

إطلالة علمية

الألماس

إعداد
أ. د. فؤاد العجل

مقدمة

يتكون الألْماس من الكربون، أحد العناصر الأكثر شيوعاً في الطبيعة. فهو شكل متبلور من الكربون النقي وأصلب مادة طبيعية على الإطلاق. عادة ما يكون عديم اللون تقريباً، وعندما يكون شفافاً وخالياً من العيوب يستخدم كحجر كريم نفيس. كما يستخدم أيضاً في الصناعة كمادة ساحجة.

أمّا اسمه العربي "ألْماس" فقد اشتُق من الكلمة اليونانية القديمة adamas التي تعني "لا يُقهر أو لا يُغلب". وهذا ما ذكره الأب أنستاس ماري الكرملي البغدادي في حاشية من حواشي كتابه، المنشور في القاهرة عام 1939، الذي عُني بتحرير كتاب قديم عنوانه: "نُخَب الذَّخائر في أحوال الجواهر" لمؤلّفه: محمد بن إبراهيم بن ساعد الأنصاري السنجاري المعروف بابن الأكفانيّ المتوفى سنة 749 للهجرة الموافقة لسنة 1348 ميلادية.

فقد ذكر الأب أنستاس في كتابه أنّ كلمة ألماس ليست كلمة عربية وإنّما اشتُقت من كلمة "adamas أدماس" اليونانية أُبدل فيها حرف الدال لاماً ساكنة. فالحرفان الألف واللام اللذان وردا في كلمة ألْماس هما من أصل الكلمة المعرّبة مثل أسماء غيرها من الأحجار الكريمة: ياقوت وزمرّد وعقيق. وإذا ما أريد إضافة "أل التعريف" إلى اسم هذا الحجر الكريم يصبح "الألْماس" ولذلك كان عنوان موضوع هذه الإطلالة العلمية: الألماس.

ألماسة بحجم الجوزة قدّر ثمنها بنحو 10 ملايين دولار

تاريخ الألماس الطبيعي

يعدّ الألماس أكثر الأحجار الكريمة شهرة بين الشعوب، فهو يرمز إلى الحب والثبات. إنّ بلّورات الألماس لا تجلب الحظ والنجاح فقط، كما يعتقد بعض الناس، وإنّما يستخدمها البعض كتعويذة معتقدين

بقابليتها على تحسين قدراتهم الجنسية وجذب الآخرين إليهم.

عرفت بلّورات الألماس الأولى في الهند منذ أكثر من 4000 سنة حيث استخلصت من الرواسب النهرية الطموية على طول ضفاف الأنهار: كريشنا والبينار والغودافاري. وقدّر الهندوس القدماء بلّورات الألماس تقديراً كبيراً حتى أنهم وضعوها في أعين تماثيل آلهتهم. واستعمل الصينيون الألماس لأول مرة منذ أكثر من 2000 سنة في نحت وقطع اليشب jade (حجر كريم). وعرف اليونانيون والرومان القدماء بلّورات الألماس واعتقدوا أنّها دموع الآلهة وشظايا النجوم الساقطة. أمّا ندرتها وديمومتها وجمالها فقد جعلتها مرغوبة بين الأسر الملكية في القرون الوسطى. وفي جنوب أفريقيا، كانت "الحصاة" التي وجدها طفل على ضفاف نهر أورانج ريفر في عام 1866 –والتي حدّدت فيما بعد على أنّها ألماسة تزن 21 قيراطاً– أول خطوة في اكتشاف الألماس في هذه البلاد. أمّا في الوقت الحاضر فقد تابع الناس اهتمامهم ببلّورات الألماس كرمز للثروة وكهدايا ثمينة تقدّم في المناسبات السعيدة كالزواج وغيره. لقد ازدادت شعبية الألماس زيادة كبيرة بدءاً من القرن التاسع عشر بسبب استخراجه المتزايد وتقنيات قطعه وصقله المحسَّنة وتنامي حملات التسويق الناجحة.

خواص الألماس

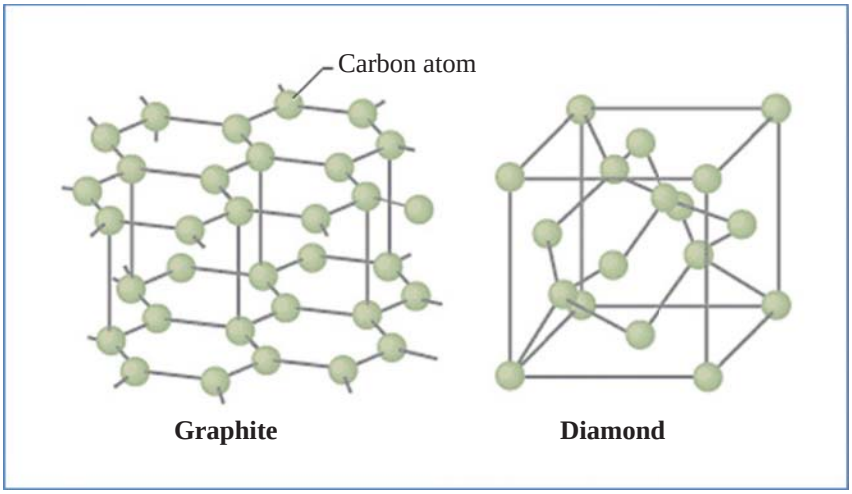
الألماس مثل الغرافيت شكل من أشكال الكربون النقي. يتبلور في الفئة المكعبة على الأغلب بشكل مثمن الوجوه أو بالشكل ذي الاثني عشر وجهاً كما تُعرف له أشكال بلورية أخرى. ومن بين هذه الأشكال المكعبات وأنواع من مثمّنات الوجوه وبلّورات توْءمية. وهذه الأخيرة هي مثمّنات الوجوه التي دار نصف شبكة بلورتها 180 درجة حول النصف الآخر.

ترتبط كل ذرّة كربون في شبكة تبلور الألماس بأربع ذرات كربون مجاورة متساوية المسافة في كامل البلورة. وهذه البنية المرتبطة بقوة تجعل خواص الألماس تختلف اختلافاً كلياً عن خواص الغرافيت، الشكل الآخر من الكربون، وتعطيه خواصه الضوئية والفيزيائية الاستثنائية وتجعل الألماس ملائماً لاستخدامه كحجر كريم ومادة مهمّة في التطبيقات الصناعية وأداة للأبحاث العلمية.

ترجع صلابة الألماس إلى بنيته البلورية المؤلفة من ذرّات الكربون المتماسكة. تبلغ صلابة الألماس 10 على سلّم موهز للصلابة ويأتي مباشرة على سلم الصلابة بعد الكورندوم الذي صلابته 9، ولكنه أصلب منه بعشر مرات. تختلف صلابة الألماس اختلافاً كبيراً بحسب اتجاهات القطع المختلفة، وهذا ما يؤدّي إلى أنّ قطع بعض سطوح البلّورات وصقلها يكون أسهل من سطوح أخرى. وفي الواقع، لا يحزّ الألماس إلاّ الألماس لذلك يعدّ، نظراً لصلابته، من مواد التنعيم أو السحج الممتازة ويستخدم أيضاً في عمليات الصقل والتلميع.

وثمّة خاصية فيزيائية مهمّة أخرى تختلف عن الصلابة مع أنها تختلط معها وهي المتانة. إنه من المهم أن نميّز بين صلابة hardness الألماس ومتانته toughness. فبينما تُعرَّف الصلابة بمقاومة الألماس للخدش فهو يخدش كل المواد ولا تعلو على صلابته أية مادة أخرى، فإنّ المتانة هي قابلية الألماس لمقاومة الانكسار نتيجة تصادم قوي. فبلّورات الألماس تتمتع إذن بصلابة قوية جداً ولكن متانتها متوسطة بسبب عيوبها البنيوية ولا تصل إلى مستوى بعض المواد المصنّعة فهي تتكسّر إذا ضربت بمطرقة.

ومن خواص بلّورات الألماس قابليتها الممتازة لنقل الحرارة، ومقاومتها للتخريب بالأحماض والقلويات والحرارة وتستخدم كعوازل كهربائية.



بنية الألماس والغرافيت

سلّم موهز

الصلابة هي إحدى الطرائق الرئيسة لتصنيف الفلزات وتحديدها. يرتّب سلّم موهز عشرة فلزات بحسب صلابتها النسبية (H). يمثّل السلّم زيادة ثابتة في الصلابة حتى H9 وهي صلابة الكورندوم، غير أنّ صلابة الألماس (H10) تكون أصلب بعشر مرات من صلابة الكورندوم (H9). عادة ما يتم اختبار الصلابة بالخدش إمّا باستخدام فلز صلابته معروفة أو باستخدام الظفر أو قطعة نقود معدنية أو نصل سكين أو قطعة زجاج.

Talc طلق	1	يُخدش بالظفر
Gypsum جبس	2	
Calcite كلسيت	3	يُخدش بقطعة نقود نحاسية
Fluorite فليوريت	4	يُخدش بنصل سكين أو بقطعة زجاج
Apatite أباتيت	5	
Orthoclase أورتوكلاز	6	يُخدش بنصل سكين
Quartz كوارتز	7	
Topaz توباز	8	
Corundum كورندوم	9	
Diamond ألماس	10	يخدش كل المواد الطبيعية

يختلف لون بلّورات الألماس من عديمة اللون إلى اللون الأسود، ويمكن أن تكون شفافة أو شافة أو عاتمة. إنّ معظم البلّورات المستعملة كأحجار كريمة هي بلّورات شفافة عديمة اللون أو تقريباً كذلك. وتعدّ البلّورات العديمة اللون أو الملونة بلون أزرق فاتح أثمنها قيمة ولكنها نادرة جداً؛ ومعظم بلّورات أحجار الألماس الكريمة ملونة بلون أصفر خفيف.

أمّا بلّورات الألماس الغالية الثمن فهي التي تتميّز بلون أحمر أو أزرق أو أخضر وهي نادرة جداً، ويكون لون البلّورات الأكثر شيوعاً البرتقالي والبنفسجي والأصفر والأخضر المصفر. يمكن أن يتغيّر لون بلّورات الألماس بتعرضها إلى إشعاع شديد (كالذي ينطلق من مفاعل ذرّي أو من مسرّع جسيمات) أو بمعالجة حرارية.

ويمكن أن تُرى خواص ضوئية مهمّة أخرى للألماس المصقول – غير الخواص اللونية – تكمن في قرينة انكساره ودرجة تشتيته للضوء اللتين تعطيانه لمعانه الاستثنائي وألوانه القزحية. إنّ عملية قطع بلورة الألماس كما ينبغي تعيد كمية أكبر من الضوء إلى عين الملاحظ وتظهرها أكثر لمعاناً من بلورة ذات قدرة انكسارية أقل.

تبدي بلّورات الألماس فلْورَةً خاصة عندما تتعرّض إلى أشعة الشمس أو إلى الأشعة فوق البنفسجية. وعادة ما يكون لون الفلوَرَة أزرق فاتحاً، غير أنه قد يحدث أن يكون لون فلوَرَة بعض بلّورات الألماس برتقالياً أو أخضر أو أبيض حليبياً أو أحمر. وتحت الأشعة السينية تصبح الفلورة المزرقة واضحة، وغالباً ما تستخدم هذه السمة في تمييز بلّورات الألماس عن غيرها من البلّورات في الصخر المحتوي عليها. وعندما يصوّر الألماس بالأشعة السينية يكون شفافاً، وهذه الحقيقة تستخدم لتمييز الألماس الحقيقي من الألماس المزيّف.

صورة الألماسة الشهيرة الهوب

يراوح الوزن النوعي specific gravity لبلّورات الألماس بين 3.15 و 3.53، غير أنّ الوزن النوعي لبلّورات الألماس القابلة للقطع عادة ما يبلغ 3.52. ويعبّر عن هذا القياس بنسبة وزن الألماس إلى وزن حجم مماثل من الماء.

يستعمل القيراط المتري metric carat الذي يعادل 0.2 غرام كوحدة لوزن الألماس والأحجار الكريمة الأخرى. وثمّة وحدة أصغر تستعمل أيضاً لوزن الألماس وهي البويْنت point التي تعادل 0.01 قيراط. فحجر كريم وزنه 82 بويْنتاً يعادل 0.82 قيراطاً.

كيف تَشَكَّلَ الألماس

تشكل الألماس الطبيعي منذ بلايين السنين تحت شروط شديدة جداً من الحرارة والضغط، إذ يجب أن تكون الحرارة ما بين 900 و 1300 درجة مئوية ويجب أن يكون الضغط ما بين 45 و 60 كيلوبار، أي نحو (50000 كغ/سم^2). وهذا الضغط الاستثنائي يعادل وزن برج إيفل (9441 طناً) على يد إنسان.

وهذه الشروط الاستثنائية تحدث فقط بصورة طبيعية في باطن الأرض في منطقة معطف الأرض Mantle تحت الصفائح القارية أو تحدث على سطح الأرض في المواقع التي ضربتها النيازك.

ففي أعماق الأرض في منطقة المعطف توجد هذه الشروط الاستثنائية عادة على عمق 140 إلى 190 كم في الأقسام الثخينة القديمة والمستقرة من الصفائح القارية حيث توجد مناطق القشرة الأرضية المستقرة المعروفة باسم الكراتونات cratons. ويسمح وجود بلّورات الألماس لمدة طويلة جداً في الغلاف الصخري الكراتوني بأن تنمو إلى بلّورات أكبر فأكبر. فقد قدّر عمر تشكيل أحدث ألماسة بنحو 900 مليون سنة وأقدم ألماسة بنحو 3.2 بليون سنة.

وهذه الشروط الاستثنائية الشديدة من الحرارة والضغط اللازمة لتشكيل بلّورات الألماس تحدث أيضاً في مواقع سقوط النيازك على

سطح الأرض. فقد وجدت بلّورات ألماس صغيرة: بلّورات ألماس مكروية microdiamonds وبلّورات ألماس نانوية nanodiamonds في مواقع تصادم النيازك مع سطح الأرض. ويمكن أن يشكّل وجود هذه البلّورات على سطح الأرض أدلة على سقوط النيازك القديمة ومواقع تصادمها.

يُحمل الركاز ore المحتوي على بلّورات الألماس من أعماق الأرض إلى سطحها بالاندفاعات البركانية التي تندفع على شكل أقنية تدعى المواسير البركانية volcanic pipes التي تمتد نحو 150 كم تقريباً، أو على شكل جدر اندفاعية قاطعة dykes، أو طبقات أفقية اندفاعية مندسة sills. فبعد تبرّد صخور هذه الاندفاعات البركانية المنصهرة (المهل magma) تتصلّب إلى صخر أزرق اللون يُدعى صخر الكيمبرليت kimberlite أو إلى صخر اللامبروئيت lamproite. وهذان الصخران يحويان بلّورات الألماس الخاميّة وبلّورات أخرى مثل بلّورات العقيق garnet بأنواعه والسبينل spinel والديوبسيد diopside والأوليفين olivine المغنتيت magnetite وغيرها من البلّورات التي تتبلور في أعماق الأرض. يستخدم المنقّبون الذين يفتشون عن الألماس البلّورات المذكورة أعلاه الموجودة في صخر الكيمبرليت أو في صخر اللامبروئيت كمؤشرات على وجود الألماس.

وكثيراً ما تتحرّر بلّورات الألماس من تكشفات الصخور الاندفاعية المحتوية عليها بفعل عوامل التجوية والتحات التي تشمل الأمطار والرياح واختلاف درجات الحرارة، فقد يبقى بعضها بالقرب من الصخور الأصلية المحتوية عليها دون أن ينتقل إلى مسافات كبيرة ضمن الفتات الصخري. أمّا بعضها الآخر فينتقل بمجاري الأنهار والسيول والجليديات إلى مسافات كبيرة وينتشر في الرواسب الطمويّة التي تشكل أسرّة الأنهار القديمة أو ينتشر على طول المصاطب النهرية القديمة. وثمّة بلّورات نقلتها المجاري المائية إلى البحار واختلطت مع الرواسب البحرية وتوضّعت على قعور البحار والمحيطات.

بلورة ألماس خاميّة ضمن صخر الكيمبرليت. يمكن أن توجد بلّورات الألماس في صخرها المضيف – الكمبرليت أو اللامبروئيت – أو في جواره أو مبعثرة في الرواسب الطموية مثل أسرّة الأنهار القديمة والمصاطب الشاطئية. وقد توجد أيضاً في الرواسب البحرية حيث تستخرج من قعر البحر وبصورة خاصة من شاطئ أفريقيا الجنوبي الغربي.

التنقيب عن الألماس واستخراجه

يستخدم التنقيب الحديث عن الألماس تقانات معقدة جداً وذلك بإجراء عمليات مسح جيوفيزيائية أرضية أو من الطائرات لاكتشاف أماكن الصخور الحاملة للألماس. ومعظم أفرقة عمليات التنقيب تتعاون مع جيوفيزيائي أو عدد من الجيوفيزيائيين لمساعدتها في اكتشاف مكان وجود صخور الكيمبرليت. وعادة ما تشمل هذه الطرائق الجيوفيزيائية ما يلي:

- المسح المغنطيسي الأرضي والمحمول على الطائرات.
- التحليل الطيفي المتعدّد المحمول على الطائرات (AMS).
- المسح الثقالي.

- المسح الإشعاعي.
- المسح السيسمي.

تمّ حالياً تعرّف نحو 5000 موقع لصخور الكيمبرليت، ولكن 100 منها أو نحو ذلك فقط تحتوي على بلّورات ألماس كافية لتشكل أهمية اقتصادية. وفي معظم هذه المواقع الأخيرة التي لها أهمية اقتصادية يوجد الألماس في تركيزات أقل من جزء من خمس ملايين جزء.

يستخرج كل عام من مناجم الألماس نحو 130 مليون قيراط (26000 كغ) من الألماس الطبيعي قيمتها نحو 9 بلايين دولار تقريباً؛ ويصنّع سنوياً نحو 100 000 كغ من الألماس التركيبي (الاصطناعي). يستخرج 49% من الألماس الطبيعي من وسط وجنوب أفريقيا، على الرغم من أنّ مصادر مهمّة للألماس اكتشفت في كندا والهند وروسيا والبرازيل وأستراليا وجمهورية الكونغو الديمقراطية (زائير) وبوتسوانا.

إنتاج الألماس في العام 2000

البلد	الكمية الكلية (ألف قيراط)	الأحجار الكريمة (ألف قيراط)	الألماس الصناعي (ألف قيراط)
أستراليا	26,698	12,014	14,684
بوتسوانا	24,650	19,700	4,950
روسيا	23,200	11,600	11,600
كونغو	17,700	3,500	14,200
جنوب أفريقيا	10,780	4,300	6,480
أنغولا	6,000	5,400	600
كندا	2,000	2,000	-
ناميبيا	1,600	1,520	80
الصين	1,150	230	920
البرازيل	900	300	600
غانا	890	178	712
سيراليون	600	450	150
غينيا	550	410	140
أفريقيا الوسطى	550	400	150
ساحل العاج	300	200	100
ليبيريا	200	120	80
فنزويلا	100	60	40
زيمبابوي	20	7	13
الإجمالي العالمي	118,200	62,600	55,600

يتطلّب استخراج الألماس من صخور الكيمبرليت واللامبروئيت والرواسب الطموية والبحرية تقنيات مختلفة. قد تكون مناجم الكيمبرليت واللامبروئيت تحت أرضية أو سطحية. واستخراج الألماس من الرواسب الطموية يمكن أن يكون على مستوى تجاري أو محدود (صغير). أمّا استخراج الألماس من الرواسب البحرية فيتطلّب سفناً متخصّصة، حيث يتم استخراجه على نطاق عالمي.

ثمة عمليات مختلفة لاستخراج الصخور المحتوية على الألماس عند اكتشاف منجم له. ويتم ذلك على المستوى الصناعي من مناجم سطحية (مفتوحة) أو تحت أرضية. ففي المناجم المفتوحة تتم إزالة غطاء الصخور المحتوية على الألماس التي تصبح متكشفة على السطح، أمّا في المناجم تحت السطحية فيتم استخراج الصخور المحتوية على الألماس التي يمكن أن تقع على عمق كيلومتر أو أكثر. وبعد استخراج الركاز المحتوي

على بلّورات الألماس الخامية يمر هذا الركاز بمراحل متعدّدة من السحق والمعالجة لاستخلاص بلّورات الألماس قبل أن تُفرز وتصنّف.

خارطة تمثّل توزّع مكامن الألماس في العالم

يستخلص الألماس من رواسب الرمال والحصى والغضار بعمليات تصويل gravity and flotation أو بعملية إزالة بلّورات الألماس الملتصقة على طبقة من الشحم مفروشة على لوح مناسب، وهذه العملية تُدعى الاستخراج الطمويّ وتنفّذ على مستوى صناعي. قد يتم استخلاص الألماس على مستوى غير صناعي من قبل الأفراد والعائلات والمجتمعات باستعمال أدوات بدائية مثل الغرابيل و"الصواني" وهذا ما يعرف بالتنقيب الحرفي.

يتم فرز بلّورات الألماس الخاميّة اعتماداً على مزاياها من حيث الشكل والحجم واللون وقابلية القطع وجودتها. ينتج من مجموع هذه العمليات (1) بلّورات ألماس لها صفات الأحجار الكريمة تتراوح ألوانها ما بين عديمة اللون إلى اللون الأحمر أو الوردي أو الأزرق والأخضر والأصفر. (2) البورت bort وهي بلّورات صغيرة قاتمة اللون تستخدم كمواد ساحجة (3) الكاربونادو carbonado وهو خليط من بلّورات صغيرة جداً من الألماس.

الألماس التركيبي

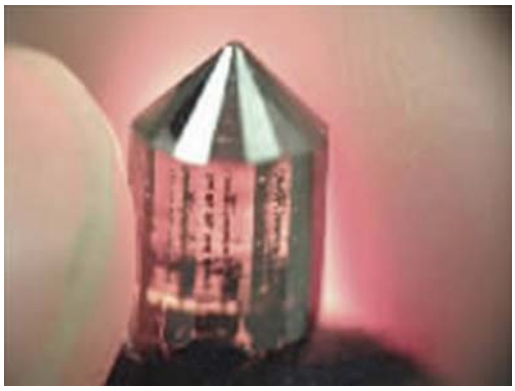
تم في العام 1955 تحويل الغرافيت بنجاح إلى ألماس. تتطلّب العملية استخداماً متزامناً لدرجات عالية جداً من الحرارة (1400 درجة مئوية) والضغط (55000 ضغط جوي) بوجود الحديد كمذيب أو كمحفّز. وقد تمّ فيما بعد استخدام الكروم أو المنغنيز أو الكوبالت أو النيكل أو التنتالوم عوضاً عن الحديد. يجري الآن تركيب الألماس في بلدان متعددة؛ في الولايات المتحدة وجنوب أفريقيا واليابان وأوربة. ويصنّع سنوياً نحو 100 000 كغ من الألماس التركيبي (الاصطناعي).

يشابه الألماس التركيبي الألماس الطبيعي في كثير من خواصه الأساسية من حيث الصلابة العالية والشفافية والناقلية الحرارية والمقاومية الكهربائية. ونظراً لأنّ عملية تركيب الألماس مكلفة جداً، نادراً ما تركّب أحجار كبيرة من نوعية الأحجار الكريمة. فمعظم الألماس

المركّب يكون على شكل رمال أو بلّورات صغيرة تستخدم في المعدات الصناعية كمواد صلبة ساحجة في أدوات الطحن ومناشير الصخور إلخ. وأمّا لون بلّورات الألماس التركيبي فيكون رمادياً أو بنياً وتكون شافة أو عاتمة.

كان تنامي استخدام الأدوات المزوّدة بالألماس خلال الخمسين سنة الماضية استثنائياً بسبب التوصّل إلى تركيب الألماس صناعياً. إذ يُقدّر في الوقت الحاضر أن الصناعة تستخدم نحو 700 مليون قيراط كل سنة من الألماس منها 40 مليون قيراط فقط من مصادر طبيعية.

بلورة من الألماس التركيبي



الألماس الصناعي

الألماس الصناعي هو أية بلّورات ألماس خصّصت للاستعمال الصناعي وبصورة رئيسة كأداة للقطع أو السحج، وهذا ناتج من حقيقة أنّ الألماس أصلب مادة طبيعية معروفة. يستخلص الألماس الصناعي الطبيعي من الرواسب الصخرية أو يمكن إنتاجه تركيبياً. وبصورة عامة إنّ بلّورات الألماس الصناعي الطبيعي هي البلّورات المعيبة ذات الأشكال غير المنتظمة أو البلّورات القاتمة اللون أو الصغيرة جداً لتكون أحجاراً كريمة.

تطمر بلّورات الألماس الصغيرة في نهايات الحفارات وأطراف نصلات المناشير أو تُطحن لتحويلها إلى مسحوق لاستعماله للسحق والصقل. تستعمل هذه الأدوات المزودة بالألماس على نطاق واسع في قطع وتشكيل وصقل الصخور (مثل الغرانيت والرخام) ومواد البناء المتصلبة والزجاج والخزف والبلاستيك والمعادن وحتى الخشب، واستخدام مثل هذه الأدوات أساسي في مجالات صناعية واسعة جداً: من حفر آبار النفط العميقة حتى أسلاك الإنارة الأدق من شعرة الإنسان.

صناعة الألماس

ترتكز صناعة الألماس على قطاعات استخراج بلّورات الألماس ومعالجتها وتسويقها كأحجار كريمة وكمواد صناعية. ويعمل حالياً نحو أكثر من مليون إنسان في صناعة الألماس معظمهم في الهند. وأشهر مراكز معالجة الألماس في العالم، حيث يتم تقييم الألماس وقطعه وبيعه، موجودة في مدينة أنتويرب في بلجيكا وفي الهند وفلسطين المحتلة ونيويورك. تستخرج بلّورات الألماس من نوعية الأحجار الكريمة بصورة رئيسة من بوتسوانا وروسيا وجنوب أفريقيا وأنغولا وناميبيا وأستراليا وجمهورية الكونغو الديمقراطية. ويتطلّب الحصول على حجر ألماس مصقول وزنه قيراط واحد معالجة نحو 250 طناً من الركاز الصخري المحتوي على الألماس.

تسلّم بلّورات الألماس الخاميّة التي تمت معالجتها في المنجم إلى خبراء الفرز لتفرز إلى أصناف تعتمد على الحجم والشكل والجودة واللون وتقيّم لتحضيرها للبيع. ومعظم هذه البلّورات تقع ضمن مدى الألوان المعيارية، من البلّورات غير الملونة إلى اللون الأصفر الفاتح أو ألوان البني الخفيفة. وبعض بلّورات الألماس النادرة جداً والباهظة الثمن تكون ذات ألوان فاتحة من اللون الوردي أو الأزرق أو الأخضر.

يدار سوق الألماس على المستوى الصناعي بصورة مختلفة تماماً عن سوق الأحجار الكريمة. يقوّم الألماس الطبيعي الصناعي بالنظر إلى صلابته وناقليته للحرارة، ويقدّر أنّ 80% من الألماس المستخلص (نحو 100 مليون قيراط أو ما يعادل 20000 كغ سنوياً) غير قابل للقطع لتحويله إلى أحجار كريمة ويعرف بكسارة الألماس أو البورت bort ويستخدم في تصنيع أدوات القطع والنشر أو بالكربونادو carbonado إذا كان يتألّف من بلّورات دقيقة ويستخدم كمواد ساحجة للتنعيم والصقل. وبالإضافة إلى الألماس الطبيعي فقد وجد الألماس التركيبي تطبيقاته الصناعية مباشرة بعد نجاح تركيبه في العام 1950. إذ يُنتج سنوياً نحو 3 بلايين قيراط (نحو 600 طن) من الألماس التركيبي للاستعمال الصناعي.

فرز بلّورات الألماس ذات الجودة العالية

من أحجار الألماس المشهورة

■ ألماسة كولينان Cullinan:

أكبر ألماسة معروفة اكتشفت في منجم بروميير ماين في جنوب أفريقيا في عام 1905 وقدمت فيما بعد إلى إدوارد السابع من قبل حكومة الترانسفال. بلغ وزن الكولينان 3106 قراريط قبل قطعها في أمستردام حيث أعطت بعد قطعها 105 ألماسات بلغ وزنها الكلي 1055 قيراطاً. وأكبر هذه الألماسات التي بلغ وزنها 530 قيراطاً عُرفت باسم ألماسة كولينان1 وهي بشكل ثمرة الكمثرى واشتهرت باسم نجمة أفريقيا Star of Africa وهي توجد الآن ضمن مجوهرات التاج البريطاني.

■ ألماسة ريجنت Regent:

تُدعى أيضاً ألماسة بيت Pitt لونها أزرق خفيف كانت الحجر الكريم المشهور في مجوهرات التاج الفرنسي. اكتشفت في الهند عام 1701 وكان وزنها 410 قراريط قبل قطعها. اشتراها السير توماس بيت الحاكم البريطاني في مدراس. قطعت إلى ألماسة 141 قيراطاً سميت ألماسة بيت واشتراها دوق أورليانز ولي عهد فرنسا regent of France ومن هنا أتى اسمها، وهي معروضة في متحف اللوفر منذ 1887.

■ ألماسة إكسلسيور Excelsior:

بقيت هذه الألماسة الزرقاء اللون أكبر ألماسة معروفة حتى اكتشاف ألماسة كولينان عام 1905. وجدها أحد العمال في جنوب أفريقيا عام 1893 وكان وزنها 995 قيراطاً، قطعت فيما بعد إلى 21 ألماسة راوح وزنها ما بين قيراط واحد إلى أكثر من 70 قيراطاً.

■ ألماسة الهوب Hope:

تُعدُّ هذه الألماسة من أكبر الألماسات المعروفة، يمكن أن تكون قد قطعت من ألماسة تزن 112 قيراطاً، جلبها إلى فرنسا تاجر الجواهر تافرنييه وباعها إلى لويس الرابع عشر في العام 1668. دعيت هذه الألماسة فيما بعد الزرقاء الفرنسية French Blue، حيث قطعت في العام 1673 إلى ألماسة بشكل القلب تزن 67 قيراطاً. اختفت هذه الألماسة بعد سرقة مجوهرات التاج في العام 1792. ويبدو أنّ ألماسة الهوب التي تزن 45.5 قيراطاً وسميت باسم توماس هوب بعد أن اشتراها في العام 1830 قد تشكّلت منها، وهي معروضة حالياً في معهد السميثسوني في واشنطن.

■ ألماسة أورلوف Orlov:

ألماسة بشكل نصف بيضة مصدرها الهند وتزن 200 قيراط تقريباً، وهي إحدى مجوهرات تاج رومانوف. وبحسب الأساطير، استخدمت كعين لإله في معبد براهمي قبل أن تسرق. وفي أسطورة أخرى أن تاريخ ألماسة أورلوف (التي كان يعتقد أنها ألماسة المغول الكبيرة المفقودة) ترجع إلى منتصف القرن الثامن عشر حيث كان يملكها ملك الفرس نادر شاه. وبعد مقتله سرقت وبيعت إلى المليونير الأمريكي شافرتس. وفي كلتا الحالتين اشتراها الكونت أورلوف في العام 1774 وأهداها إلى الإمبراطورة كاترين الثانية. وهي محفوظة الآن في موسكو مع مقتنيات القياصرة من الألماس.

حساب التدفق النتروني الحراري والسريع في مفاعل البحث السوري منسر باستخدام الكود MCNP-4C

Calculations of the thermal & fast neutron fluxes in the Syrian miniature neutron source reactor using the MCNP-4C code

د. قاسم خطاب، إسماعيل السليمان
قسم الهندسة النووية

ملخص

استخدم الكود MCNP-4C الذي يعتمد الطريقة الاحتمالية في الحساب لنمذجة التشكيلة ثلاثية الأبعاد لمفاعل البحث السوري منسر. استثمرت المقاطع الفعّالة للنترونات في المجال الطاقي المستمر باستخدام المكتبة ENDF-VI لحساب التدفقين النترونيين الحراري والسريع في مواقع التشعيع الداخلية والخارجية للمفاعل. كما قيس التدفق النتروني الحراري في مواقع التشعيع الداخلية للمفاعل لأول مرة باستخدام طريقة التشعيع المتعددة الرقائق، حيث شُعِّعت الرقاقتان ^{198}Au (n,γ) ^{197}Au و ^{60}Co (n,γ) ^{59}Co معاً في كلّ موقع من مواقع التشعيع الداخلية للمفاعل لقياس التدفق النتروني الحراري ودليل النترونات فوق الحرارية في كلّ موقع. كانت النتائج الحسابية والمقيسة على توافق جيد.

الكلمات المفتاحية: المفاعل منسر، تدفق نتروني حراري، تدفق نتروني سريع، الكود MCNP-4C.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Applied Radiation and Isotopes 2008*.

التغيّرات النسخية في تآثر الشعير والممرض Cochliobolus sativus

Transcriptional changes in barley - Cochliobolus sativus interaction

د. أنطونيوس الداود، محمد جوهر
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

يعتبر مرض التلطخ البقعي الذي يسبّبه الممرض Cochliobolus sativus العامل الرئيس في خفض غلة الشعير خلال العقود الماضية. اختيرت في هذه الدراسة السلسلة التصنيفية لأهداف تسلسلية معبر عنها (ESTs) من أجل الحصول على تصور شامل ممثل للمورثات المتدخلة في الإمراضية. وبغية تحديد عدد كبير من أهداف السلسلة ESTs، خلال فترات زمنية مختلفة، جرى توظيف تقنية التعدديات الشكلية لأطوال الشدف المضخمة (AFLP) المتمّمة الدنا (cDNA). لوحظت تغيّرات نسخية في 456 هدفاً تسلسلياً، 22 منها غير موصوفة الوظيفة مسبقاً، من ناحية أخرى، أبدت أهداف السلسلة ESTs الفردية تطابقاً مع عدد من مورثات الإمراضية المرتبطة التقليدية (PR) أو مع المورثات التي تؤدي دوراً في إشارات الإمراضية المحدثة. وعلى أية حال، كان عدد أهداف السلسلة ESTs الملاحظ مشتقاً من المورثات النظرية المشفرة للبروتين والتي لا تملك سلسلة محددة بعد. وبذلك، فإن الطريقة النسخية المعروضة هنا تساهم في افتراض غير مسبق حول مورثات منشطة خلال تآثر الشعير مع الممرض C. sativus.

الكلمات المفتاحية: شعير، ممرض *Cochliobolus sativus*، تغيرات نفسية، تآثر، تلطخ بقعي.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Australian Plant Pathology*.

أمثلة تصميم العاكس في المفاعل السوري منسر

Optimization of the reflector design of the Syrian MNSR

محمد البرهوم
قسم الهندسة النووية

ملخص

دُرست إمكانية أمثلة أبعاد ومواد مفاعل المنبع النتروني الصغير السوري بالاعتماد على نموذج ثلاثي الأبعاد للمفاعل يشتمل على جميع مركّبات المفاعل. تمّ البرهان على أن المفاعل قابل للأمثلة من حيث المواد، إذ يمكن للمفاعل، إذا وضعت مادة العاكس السفلي مكان مادة العاكس الجانبي، أن يحصل على قيمة فائض تفاعلية ابتدائي بين 10.00–11.50 مك. أما إذا أريد الإبقاء على فائض التفاعلية الابتدائي مساوياً لحوالي 4.00 مك فإنه يمكن توفير حوالي 15 كغ من مادة العاكس.

الكلمات المفتاحية: عاكس، منسر، كود، فائض تفاعلية ابتدائي، نموذج.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Progress in Nuclear Energy*.

توزعات التدفق النتروني الفراغي في مفاعل البحث السوري منسر لأربع مجموعات طاقية باستخدام الكودات WIMSD4 و CITATION

Four energy group neutron flux distributions in the Syrian Miniature Neutron Source Reactor using the WIMSD4 and CITATION codes

د. قاسم خطاب، د. حسان عمر، نضال غازي
قسم الهندسة النووية

ملخص

تمَّ سابقاً تطوير نموذج فيزيائي ثلاثي الأبعاد في الإحداثيات (R, θ, Z) لمفاعل البحث منسر للقيام بالتحليل النتروني للمفاعل. ولدت ثوابت المجموعات (المقاطع الفعّالة) لكافة مكونات المفاعل باستخدام الكود WIMSD4. تمَّ حساب التفاعلية الفائضة وتوزع التدفق النتروني الفراغي في المفاعل باستخدام الكود CITATION. سيتم في هذه الورقة استخدام النموذج الثلاثي الأبعاد لعرض توزعات التدفق النتروني الفراغي في مفاعل البحث منسر باستخدام أربع مجموعات طاقية كتابع للبعد عن مركز المفاعل، وللزاوية، ولمحور المفاعل. لوحظ توافق جيد بين قيمة التدفق النتروني الحراري المقيسة والمحسوبة في قناتي التشعيع الداخلية والخارجية بفارق نسبي لا يتجاوز 7% و 5% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: منسر، WIMSD4، CITATION، توزع التدفق.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Progress in Nuclear Energy*.

تأثير إضافة مسحوق الكربون على خواص البيتون الهيماتيتي المستخدم في التدريع الإشعاعي

The effect of carbon powder addition on the properties pf hematite radiation shielding concete

د.محمد حسان خريطة، مازن النصار
قسم الوقاية والأمان
سراج يوسف
قسم الخدمات الفنية

ملخص

أضيف مسحوق الكربون إلى بيتون التدريع المصنوع من حصويات الهيماتيت لدراسة تأثيره على الخواص التدريعية. جرى إضافة نسب مختلفة من مسحوق الكربون وتعيين الخواص الميكانيكية والتوهين الإشعاعي للخلطات البيتونية المحضرة.

وجد أن إضافة مسحوق الكربون بنسبة 6% (وزناً) من البيتون يمكن أن تزيد متانة البيتون حوالي 15%. انخفضت الفعالية التدريعية لكلٍّ من أشعة غاما والنترونات مع زيادة نسبة مسحوق الكربون. لكن كان نقصان الفعالية التدريعية لكلٍّ من أشعة غاما والنترونات يقع ضمن خطأ التجربة، من أجل إضافة مسحوق الكربون بنسبة 6%.

تمّ إجراء محاكاة للقياسات التجريبية باستخدام كود مونتي كارلو، لفهم تأثير مسحوق الكربون على الفعالية التدريعية من النترونات. كانت نتائج المحاكاة متوافقة بشكل جيد مع النتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية: أشعة، تدريع، بيتون، كربون.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Progress in Nuclear Energy*.

نمذجة إصدار ليزر Nd^{3+} المضخوخ بديود ليزري والمزود بمفتاح الجودة المنفعل GaAs ومضاعف تواتر KTP بداخل التجويف اللّيزري

Modeling the intra-cavity frequency-doubling of a diode pumped Nd^{3+} laser/KTP passively Q-switched with GaAs

د. بشار عبد الغني، مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية

ملخص

جرى تطوير نموذج رياضي يصف الإصدار الديناميكي في ليزر Nd^{3+} مع مضاعف تواتر KTP ومفتاح الجودة المنفعل GaAs كماص قابل للإشباع. يستخدم النموذج لوصف السلوك الزمني لجملة الليزر والماص القابل للإشباع والبلورة KTP، والذي أخذ فيه بالحسبان التفاعل والتأثير المتبادل بين فوتونات نبضة ليزر الضخ والماص القابل للإشباع نصف الناقل GaAs وثابت اقتران البلورة. يسمح النموذج المقترح بدراسة تأثير تغيّرات استطاعات دخل ليزر الضخ (معدل الضخ ومعامل التضخيم الأعظمي ومعامل الضياع) على مميزات استطاعة نبضة الخرج لليزر Nd^{3+}/KTP.

تظهر الحسابات في هذا العمل أن ظاهرتي امتصاص فوتونين والحوامل الحرة تلعبان دوراً مهمّاً في تشكيل نبضة الخرج الليزري. ويمكن أن تحد الضياعات اللاخطية في البلورة GaAs من استطاعة النبضة. تدل الحسابات أيضاً إلى تعريض نبضة خرج مفتاح الجودة لليزر Nd^{3+}/KTP .

يخمن النموذج المقترح القيم المثالية لانقلاب الإسكان النسبي وعتبة الإسكان وكثافة استطاعة القمة العظمى وعرض النبضة والعلاقة بين الانقلاب الإسكاني النسبي البدائي والنهائي. تبدي النتائج المحسوبة توافقاً جيداً مع المعطيات التجريبية المتاحة.

الكلمات المفتاحية: مفتاح جودة، مضاعف تواتر، ليزر Nd^{3+}، الضخ بديود ليزري، الماص القابل للإشباع GaAs.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Journal of Optics A: Pure & Applied Optics*.

إنشاء نموذج فوكسل لفأرة لاستعماله في حسابات الجرعة الداخلية بطريقة مونت ـ كارلو (MCNP)

A voxel-bases mouse for internal dose calculation using Monte Carlo simulations (MCNP)

عبد القادر بيطار
قسم الفيزياء

ملخص

تُعتبر النماذج الفأرية مفيدة في التجارب قبل السريرية في مجال المعالجة الإشعاعية الموجَّهة، وتساعد هذه النماذج على تقدير الفوائد المحتملة للمستحضرات الصيدلانية المشعّة الجديدة.

طُوِّر في هذه الدراسة نموذج لفأرة مجردة (30 غراماً) مكونٌ من عناصر حجمية (فوكسل) لاستعماله في مجال تقدير الجرعة الإشعاعية بطريقة المحاكاة مونت–كارلو. أُجريت عمليات محاكاة لفوتونات وإلكترونات أحادية الطاقة في كلّ عضو منبع من أجل الحصول على جداول تحتوي على قيم المعامل S للأعضاء الهدف وذلك وفق طريقة مونت–كارلو باستعمال الكود (MCNP4C2).

تتفق النتائج التي حصلنا عليها بشكل عام مع النتائج المنشورة سابقاً. تتراوح قيمة الجزء الممتص ذاتياً من أجل إلكترونات بطاقات من 0.1 وحتى 2.5 ميغا إلكترون فولت من 0.98 وحتى 0.376 للكبد ومن 0.89 وحتى 0.04 للغدة الدرقية. وهكذا لا يمكن اعتبار الإلكترونات أشعة غير نافذة عندما تكون طاقتها أكبر من 0.5 ميغا إلكترون فولت بالنسبة لأعضاء الفأرة.

يسمح نموذج الفوكسل للفأرة الذي طورناه في هذه الدراسة بتوليد قاعدة بيانات للجرعة الممتصة تكون صالحة للاستعمال في التجارب قبل السريرية في مجال المعالجة الإشعاعية الموجَّهة.

الكلمات المفتاحية: معالجة إشعاعية موجهة، قياس الجرعة الإشعاعية الداخلية، نماذج معتمدة على الفوكسل، الكود MCNP.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: Physics in Medicine & Biology, 2007.

دراسة المقاومة للنحاس والحساسية للستربتومايسين لدى عزلات محلية من بكتريا Erwinia amylovora

A studying erwinia amylovra isolates from Syria for copper resistance and streptomycin sensitivity

د.أنطونيوس الداود، د.محمد عماد الدين عرابي، د. حسان أمونة
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

اختبرت 75 عزلة من بكتيريا Erwinia amylovora، جُمعت بشكل رئيسي من أشجار سفرجل وإجاص مصابة بمرض اللفحة النارية، لمقاومتها للنحاس وحساسيتها للستربتومايسين.

ثُبِّط نمو 68 عزلة، ممثلة لـ 90.6% من المجتمع الكلي، وذلك بتركيز 10 مايكروغرام/ملّيلتر من الستربتومايسين واعتبرت هذه العزلات حسّاسة للستربتومايسين، في حين لم يثبّط التركيز 2000 مايكروغرام/ملّيلتر للستربتومايسين النمو إلا لثلاث عزلات والتي اعتبرت مقاومة لهذا المضاد الحيوي. استطاعت 15 عزلة النمو على الوسط المغذي المكون من خلاصة الخميرة والكزيتون وذلك بوجود سلفات النحاس تركيز 1.2 مليمولر، في حين لم تستطع أي عزلة النمو على الوسط نفسه بوجود سلفات النحاس تركيز 2.4 مليمولر مما يشير إلى أن غالبية العزلات السورية متحمّلة لسلفات النحاس ويمكن أن تسبّب مشاكل خطيرة حتى في البساتين التي ترش كثيراً بالنحاس. جرت مناقشة استخدام هذين المبيدين البكتيريين للسيطرة على مرض اللفحة النارية في سورية.

الكلمات المفتاحية: إجاص، تفاح، لفحة نارية، Erwinia amylovora، ستربتومايسين، سلفات النحاس.

نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة: Journal of Plant Pathology 2009.

1 استخدام تقانات النظائر البيئية في تقييم موارد المياه الجوفية في منطقة الجزيرة السورية العليا

Using isotope techniques to assess groundwater resources in the upper Jezireh region

د. زهير قطان، د. بولس أبوزخم،
د. عبد الرحمن الشريدة،
نظير كدكوي
قسم الجيولوجيا

ملخص

تناول هذا العمل، وبشكلٍ مفصل، دراسة الخصائص الهيدروكيميائية وتراكيب النظائر البيئية (^{3}H, ^{2}H, ^{18}O, ^{13}C, ^{14}C و^{34}S) لموارد المياه الجوفية في الحامل المائي للباليوجين في منطقة الجزيرة السورية العليا، وذلك بهدف تقييم هذه الموارد من حيث طبيعة مناطق التغذية وأعمار المياه الجوفية المرتبطة بهذا الحامل المائي، الذي خضع خلال العقود الأخيرة لعمليات استنزاف كبيرة، بفعل عمليات الضخ الجائر القائمة في كلٍ من سورية وتركية على حدٍّ سواء. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن مناطق التغذية الرئيسة للحامل المائي للباليوجين تقع ضمن الأراضي التركية على ارتفاعات تزيد على 700 م عن سطح البحر، وبشكلٍ يتوافق مع نطاقات تكشف تشكيلات الحجر الكلسي النوموليتي والكارستي في هضبة ماردين. تعكس الخصائص الكيميائية والنظيرية للمياه، إلى جانب أعمار المياه الجوفية المقدرة بطريقة الكربون المشع ^{14}C وجود ثلاث مجموعات من المياه الجوفية ضمن الحامل المائي للباليوجين: (1) مياه عذبة قليلة الملوحة وباردة، تتحرك عبر خطوط جريان قصيرة وقريبة من سطح الأرض، كحالة الينابيع الرئيسة لمنطقتي عين العروس ورأس العين ومياه غالبية الآبار الواقعة قرب خط الحدود السورية–التركية، التي يرجح أن تكون عمليات التغذية الأساسية لها قد حدثت بعد الظروف الباليومناخية الرطبة الحاصلة خلال فترة الهولوسين، الممتدة بين 4.5-6 آلاف سنة قبل الزمن الحالي؛ (2) مياه مالحة إلى متوسطة الملوحة وحارة، مع تمعدنات هامة في غاز H_2S، وتتحرك عبر خطوط جريان أكثر طولاً وعمقاً، يرجح أن تكون عمليات تغذيتها قد حصلت خلال الظروف الباليومناخية الرطبة لفترة البليستوسين، الممتدة بين 9-18 ألف سنة قبل الزمن الحالي؛ (3) مياه متوسطة الملوحة والحرارة، وذات أعمار متوسطة، يرجح أن تكون قد تشكلت بفعل عمليات المزج والاختلاط بين المجموعتين السابقتين.

الكلمات المفتاحية: نظائر بيئية، هيدروجيولوجيا، مياه جوفية، تأريخ، الجزيرة، سورية.

2 الدم والإمراضية الدموية

Hematology and Blood disorders

بتول جزائري، د. أحمد عثمان، د. عدنان اختيار
دائرة البيولوجيا الخلوية للثدييات، قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

يعتبر الدم بمكوناته المختلفة المسؤول عن استتباب الوظائف المختلفة للجسم وضبطها. تعمل خلايا الدم الحمراء بمساعدة الهيموغلوبين، على نقل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون من وإلى جميع خلايا الجسم، كما يساهم الهيموغلوبين في تدفق الدم ضمن الأوعية الدموية. تعمل الخلايا الدموية البيضاء على إقصاء العوامل الممرضة. أما الصفيحات الدموية فتقوم بمساعدة بروتينات معينة على منع حدوث النزوف الدموية عن طريق تشكيل الخثرات. كما تؤمن البلازما الدموية الوسط الذي تجول فيه العناصر الخلوية السابقة، وتقوم بنقل المركبات الضرورية لعمل مختلف الأعضاء وتخليص الخلايا من فضلاتها وطرحها عبر الكليتين. تناولت الدراسة الدم بمكوناته المختلفة: وصفها، مميزاتها، مراحل تشكلها. الهيموغلوبين: مورثاته، اصطناعه، والاضطرابات المسؤول عنها. الزمر الدموية المختلفة. أمراض الدم المختلفة. كما تضمنت بعض الأبحاث الحديثة في مجال المعالجة المورثية بعض الأمراض الدموية.

الكلمات المفتاحية: خلايا الدم الحمراء، خلايا الدم البيضاء، الهيموغلوبين، الزمر الدموية، أمراض الدم.

3 النباتات والمجتمعات النباتية الملحية والمتحملة للملوحة في سورية

Halophytes, halophytic plant associations and salt tolerant species in Syria

د. محمد العودات
قسم الوقاية والأمان.
د. فواز كرد علي
قسم الزراعة.
سلوى كناكري
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية.

ملخص

بالرغم من أن التنوع الحيوي للنباتات الملحية محدود، فإنها تؤدي دوراً هاماً في الحفاظ على الموائل وديمومة الاستقرار البيئي، وبعضها له أهمية كامنة لإنتاج الغذاء والأعلاف والألياف والحطب ومواد البناء، إضافة إلى المواد الصيدلانية، كما تعد المصادر الوراثية للنباتات الملحية في غاية الأهمية لتحوير محاصيل متحملة للملوحة.

بينَت المسوحات أن فلورة الأراضي الملحية في سورية تتكون من نحو 110 أنواع ملحية ومتحملة للملوحة، تنتمي إلى 70 جنساً و28 فصيلة من النباتات الزهرية. اختلف الأوج النباتي على الترب الملحية من موقع إلى آخر، وكان أوج الغطاء النباتي الملحي الأساسي هو: مجتمع الطرفة – الثليث Tamarix tetragyna-Halocnemum strobilaceum في سبخة الموح، ومجتمع الطرفة – القلي Tamarix macrocarpa – Salicornia europaea في سبخة الجبول.

يمكن تصنيف الغطاء النباتي الملحي في سورية، بشكل أولي إلى تسعة مجتمعات أهمها:

- مجتمع الطرفة Tamarix associations.
- مجتمع الثليث Halocnemum strobilaceum، والخرزة Halopeplis perfoliata، ويسود في المسطحات الملحية الموحلة.
- مجتمعات النباتات الملحية الإجبارية الرطبة مثل مجتمع القلي Salicania europaea (في الجبول) والشنَان Arthrocnemum macrostachym (على شاطئ البحر).

الكلمات المفتاحية: النباتات الملحية، السبخات، الغطاء النباتي.

4 انبثاق الرادون من بعض مواد الإكساء المستخدمة في سورية

Radon exhalation from some Finishing Materials frequently used in Syria

د. رياض شويكاني،
د. غسان رجاد
دائرة الأمان الإشعاعي، قسم الوقاية والأمان

ملخص

تعد مواد البناء أحد المصادر الرئيسة لغاز الرادون في المنازل، لذلك فإن تقدير انبثاق غاز الرادون من هذه المواد 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 إلى ذلك جرى 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، الرادون، الانبثاق، الجرعة الإشعاعية.

5 تقييم بعض أصول الكرمة وأصنافها لتحمل الجفاف في الزجاج

In vitro evaluation of drought tolerance of some grapevine rootstocks and varieties

د. طريف شربجي
قسم البيولوجيا الجزيئية
والتقانات الحيوية

ملخص

جرى استنبات أصلي الكرمة روكشيري 140 و 3309C والصنف بلدي في الزجاج على بيئة DSD1 حتى مرحلة التجذير ثم نقلت النباتات إلى بيئة التجذير المحملة بتراكيز مختلفة من مركب PEG (0 و2% و3% و4%)، وجرى تنميتها على هذه البيئة لمدة 15 يوماً. أظهرت النتائج أن لمركب PEG تأثيراً سلبياً على النمو الخضري وعدد الجذور واليخضورين a وb لجميع النباتات المدروسة، انخفضت الرطوبة النسبية للصنف بلدي والأصل روكشيري 140 عند وجود PEG بتركيز 3% أو 4% في الوسط المغذي، ازدادت المقاومة المسامية في الصنف بلدي والأصل 3309C مع وجود PEG بتركيز 2% أو 4%، كما ازدادت القيمة السلبية للضغط المائي الأسموزي عند وجود PEG في الوسط المغذي للنباتات المدروسة كافة.

الكلمات المفتاحية: الحالة المائية للنبات، جفاف، زراعة أنسجة، كرمة.

6 دراسة مرض اللفحة النارية في بعض أشجار الفاكهة في سورية

Study of Fire Blight Disease on Pome Fruit Tress in Syria

د. حسان أمونة، د. أنطونيوس الداود، د. محمد عماد الدين عرابي، أمينة شعيب
قسم البيولوجيا الجزيئية
والتقانات الحيوية

ملخص

جرى تقصي وجود العامل الممرض Erwinia amylovora المسبب لمرض اللفحة النارية. جُمعت عينات تظهر عليها أعراض مشابهة لأعراض الإصابة بالبكتريا المرضية من أشجار السفرجل، الإجاص والتفاح وذلك من المناطق الرئيسية لزراعة التفاحيات في سورية خلال عامي 2005 و2006. لوحظ أن وجود المرض محدد في سورية بمناطق قريبة من الحدود اللبنانية بشكل أساسي. حيث تم الحصول على 75 عزلة نقية من بكتريا E. amylovora المسببة للمرض حيث كان معظمها من السفرجل وبعضها من الإجاص ولكن لم نحصل على أية عزلة بدءاً من إصابات التفاح. أبدت جميع العزلات أعراضاً نموذجية لمرض اللفحة النارية عند اختبارها على ثمار إجاص فتية، كما سببت عزلتان فقط فرط حساسية متأخر عند اختبارها على أوراق نبات التبغ. جرى تأكيد هوية العامل الممرض بأنه E. amylovora بواسطة تفاعل البوليميرز المتسلسل (PCR) باستخدام مرسّات خاصة ومميزة للممرض البكتيري. تُضخم المجموعة الأولى من المرسّات شدفة من البلازميد الأصلي pEA29 بينما تضخم المجموعة الثانية شدفة خاصة بتركيب الأميلوفوران (Amylovoran) ذي التركيب الفريد للغلاف الخارجي المتعدد السكريات والمميز لهذا النوع البكتيري المرض. تبين من خلال دراسة محتوى العزلات من البلازميدات وجود البلازميد pEL60 إضافةً للبلازميد pEA29 في جميع العزلات المحلية كما بينت اختبارات التبصيم الوراثي للعزلات بواسطة تقنية الـ AFLP تجانساً كبيراً بين العزلات المحلية. دُرست حساسية العزلات المحلية لكل من المضاد الحيوي ستربتومايسين لكبريتات النحاس. أبدت ثلاث عزلات فقط مقاومة عالية للستربتومايسين حيث نمت على تركيز 2000 ميكروغرام/مل، بينما كانت جميع العزلات غير قادرة على النمو في وسط مغذٍ يحتوي على تركيز 2.4 ميليمولر من كبريتات النحاس وأبدت تفاوتاً ملحوظاً في حساسيتها لكبريتات النحاس ما بين تركيز 0.08 و1.2 ميليمولر.

بينت الاختبارات الإمراضية على مئة نمط بيئي من ثمار الإجاص البري وجود ثلاثة أنماط برية منعت البكتريا من النمو ومن ثمَّ تطوير أعراض مثالية لمرض اللفحة النارية. كما بينت الاختبارات الإمراضية والملاحظات الحقلية تبايناً كبيراً في حساسية بعض أصناف الإجاص والسفرجل المزروع للإصابة بهذا المرض. جرى في هذا البحث تسجيل لوجود مرض اللفحة النارية لأول مرة في سورية بشكل موثق علمياً ومن ثم تلاه توصيف لعزلات الممرض على المستوى البيولوجي والجزيئي. إن إثبات وجود هذا المرض في بعض مناطق زراعة التفاحيات في القطر يُحتم علينا اتخاذ بعض الإجراءات الضرورية خاصةً الوقائية منها لإبقاء هذا المرض في سورية تحت السيطرة ومنعه من الانتشار والتفشي بشكل وبائي.

الكلمات المفتاحية: مرض اللفحة النارية، سورية، تفاعل البوليميرز المتسلسل، ستربتومايسين، AFLP.

7 دراسة إمكانية استخدام مقياس الجرعة الهلامي FXG في كشف الأشعة فوق البنفسجية

Invastigation of the use of FXG gel dosemeter for UV radiation detection

د. ممدوح برو، د. عصام أبوقاسم
قسم الوقاية والأمان

ملخص

إن مقياس الجرعة الإشعاعية الكيميائي المتلون نوع معروف من الكواشف المستخدمة في تطبيقات قياس الجرع الإشعاعية الناجمة عن الأشعة المؤينة مثل أشعة γ والأشعة السينية. تتكون مادة الكاشف بشكل رئيسي من الماء الذي يضاف إليه هلام الجيلاتين وهو ما يعطي الكاشف قوامه المتماسك. وتضاف أيضاً بعض المكونات الكيميائية الحساسة للإشعاع لتشكل هلام أيونات الحديدي والكزيلينول البرتقالي والجلاتين (FXG). يظهر تأثير الأشعة المؤينة على شكل زيادة في الامتصاصية الضوئية عند مجال محدد من الأطوال الموجية تقع في الجزء المرئي من الطيف الضوئي. تتناسب هذه التغيرات المرئية في مواصفات المواد بعد التعرض للإشعاع مع الجرعة الإشعاعية الممتصة عند أطوال موجية معينة. تبين أن الأشعة فوق البنفسجية (UV) تنتج أثراً مماثلاً في مادة الكاشف FXG، ومن هنا جاءت فكرة هذه الدراسة لاختبار هذا الأثر بشكل مفصل. من المعروف أن الأشعة فوق البنفسجية تحمل طاقة كوانتية عالية نسبياً بما يكفي لتحريض تفاعلات كيميائية وبيولوجية في بعض الأوساط المعرّضة لها. تختبر هذه الدراسة أهم الخصائص الواجب توفرها في الكاشف FXG ليستعمل كنظام مراقبة للأشعة فوق البنفسجية وقياس جرعتها الممتصة. تعمل الدراسة أيضاً على إيجاد البنية الملائمة للكاشف الكيميائي بما يسمح باستخدامه في عملية محاكاة آلية تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الجسم البشري. تبين أن الامتصاصية الضوئية لعينات بحجم قياسي من مادة FXG تزداد بزيادة زمن التعرض للمنبع الضوئي «المحاكي الشمسي»، عند ترشيح الحزمة لتعطي تعرضاً مماثلاً لما يمكن الحصول عليه في الطبيعة. إلا أن تأثير الأشعة فوق البنفسجية يتعلق بطيف الأشعة المطبق في التشعيع وكذلك بسماكة مادة الكاشف FXG.

الكلمات المفتاحية: مقياس الجرعة الهلامي، الأشعة فوق البنفسجية، الامتصاص الضوئي.

8 دراسة مقارنة لمقدرة رحلان بروتينات التخزين بطريقتي SDS-PAGE وA-PAGE

وتقنيتي الدنا المعتمدتين على الـPCR؛ RAPDs و ISSRs في الكشف عن علاقات القرابة الوراثية بين أنواع الـ L. Triticum والـ L Aegilops.

Comaprative study for the ability of storage protein electrophoresis

A-PAGE and SDS-PAGE and the DNA PCR-based techniques ISSRs and RAPDs to resolve the genetic relationships among and within Triticum and Agilops species

د. ناديا حيدر، عماد النابلسي،
د. نزار مير علي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

قمنا في هذه الدراسة بمقارنة فعالية الطرائق البيوكيميائية SDS-PAGE وA-PAGE على بروتينات التخزين في البذور والطرائق الجزيئية RAPDs وISSRs في الكشف عن علاقات القرابة بين سبعة أنواع من الـ Triticum و20 نوعاً من Aegilops. بمقارنة شجرات قرابة الأنواع الوراثية التي تم تشكيلها بالاعتماد على بيانات الطرائق المستخدمة مع التصنيفات وشجرات القرابة الوراثية المتوفرة لهذه الأنواع، لوحظ أن أكثر هذه الشجرات توافقاً مع الأخيرة هي الشجرة المعتمدة على بيانات تقنية الـ ISSRs.

الكلمات المفتاحية: بروتين، Aegilops، ISSRs، RAPDs، Triticum.

9

دراسة اللونانية في أفلام بوليميرية لاخطية

Dichroism Study of some nonlinear optical polymeric systems prepared as thin films

د. بسام عباس
د. محمد الشيخ خليل
قسم الفيزياء

ملخص

درست الخصائص اللونانية لشبكة البوليمر بولي ميثيل ميثاكريلات (Poly methyl methacrylate, PMMA) المضيفة للجزيئات الضيفة الفعالة ضوئياً بشكل لاخطي، وهي Disperse Red 1 (DSR1)، و Disperse Red 13 (DSR13)، و Disperse Orange II (DOII)، و Disperse Orange III (DOIII). قيست اللونانية المحثوثة ضوئياً في الزمن الحقيقي عند طول موجي واحد واقع في عصابة امتصاص كل منظومة ضيف – مضيف. تحت تأثير التشعيع الليزري، نتجت اللونانية المحثوثة ضوئياً من ظاهرة إعادة التوجه الناجمة عن ظاهرة التماكب الضوئي مفروق – مقرون من خلال عمليتي احتراق الثقب الزاوي وإعادة التوزيع الزاوي. درس سلوك الاسترخاء بشكل شامل، وقد وجد أنه يتألف من مرحلة سريعة متبوعة بأخرى بطيئة، حيث تعود منظومة الضيف – مضيف إلى حالتها الابتدائية بعد وقت طويل جداً. خلصت الدراسة إلى أنَّ العمليات الضوئية لجزيئات الصباغ العضوي تسبب إعادة تشكيل للشبكة البوليميرية.

الكلمات المفتاحية: اللونانية الخطية، فلم رقيق، أصبغة عضوية.

10

تعيين قيم الوفرة الطبيعية لنظائر الآزوت ^{15}N والكربون ^{13}C في عدد من الأشجار والشجيرات المثبتة وغير المثبتة للآزوت الجوي

Natural isotopes abundance of ^{15}N and ^{13}C in leaves of some N_2-fixing and non N_2-fixing trees and shrubs in Syria

د. فواز كردعلي، محمد الشماع
قسم الزراعة

ملخص

جرى تعيين الاختلافات في قيم الوفرة الطبيعية من النظائر المستقرة للآزوت ^{15}N والكربون ^{13}C في أوراق عدد من الأنواع النباتية البقولية وغير البقولية النامية ضمن مواقع مختلفة من منطقتين من المناطق شبه الجافة في سورية. أبدت الأنواع Acacia cyanopylla وAcacia farnesiana وProsopis juliflora وElaeagnus angustifolia كفاءة تثبيتية عالية للآزوت، واتصف النوع Medicago arborea بكفاءة تثبيتية جيدة. أما النوع Prosopis juliflora النامي في تربة مالحة فقد كانت الكفاءة التثبيتية منخفضة. من ناحية أخرى، لم يكشف عن وجود كفاءة تثبيتية في الأنواع Acacia ampliceps وGleditsia triacanthos وLeucaena leucocephala وRobinia pseudo-acacia وParkinsonia aculeate وCasuarina gluca ضمن مواقع الدراسة. تأثرت قيم $\delta^{13}C$ في أوراق النبات بالنوع المدروس، إلا أنها كانت متماثلة في النوع الواحد رغم نموه في مواقع مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الوفرة الطبيعية لنظير الآزوت $\delta^{13}C$، ^{15}N، تثبيت الآزوت الجوي، شجيرات، أشجار

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 124

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

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Director General of A.E.C.S

Editing Committee

(Editors In-chief)

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Ka'aka

(Members)

Prof. Dr. A. Haj Saeed

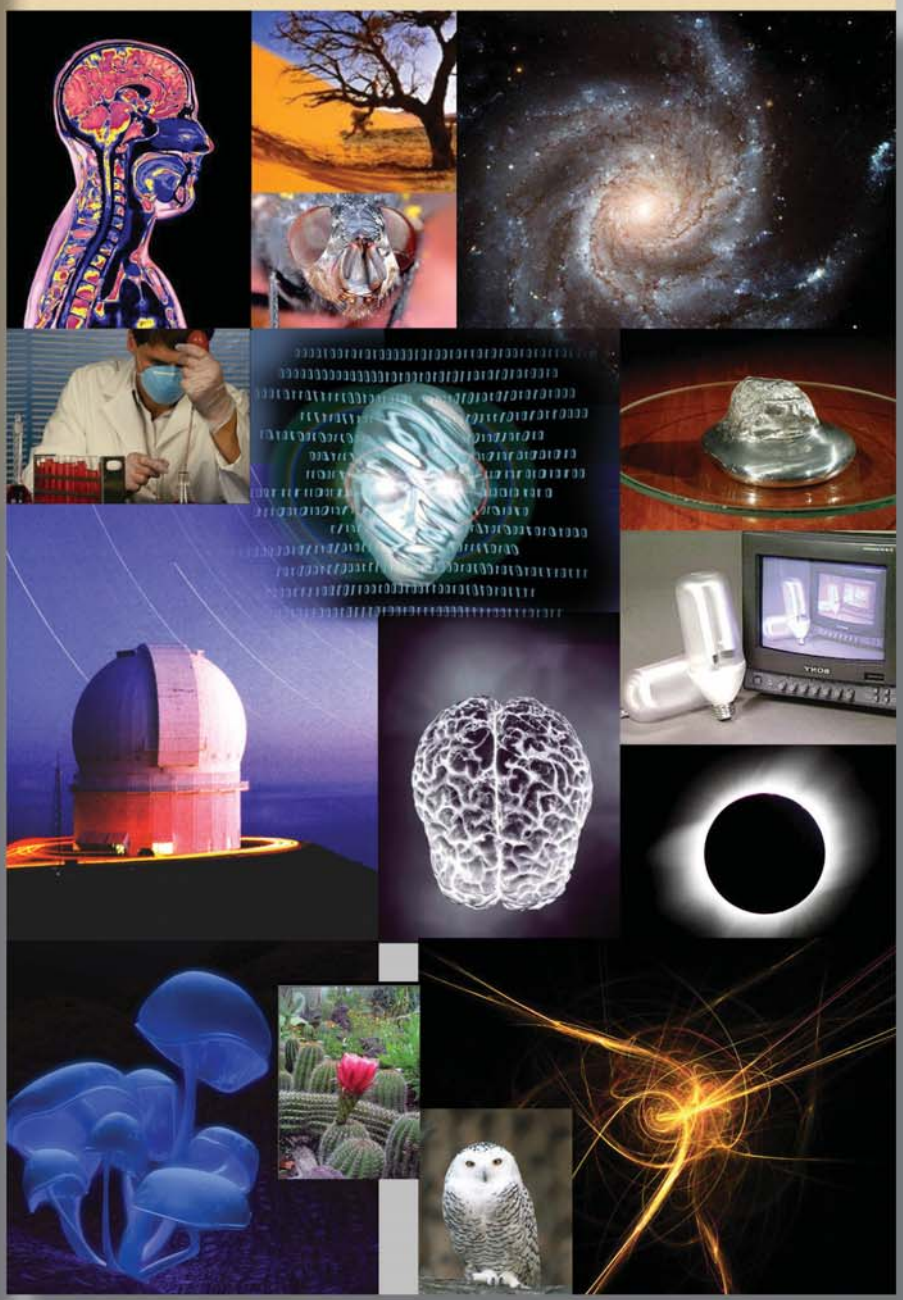
Prof. Dr. M. Hamo-leila

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin



http://serversmiso.aecs.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية