



NO. 130

مجلة عالم الذرة

مجلة دورية تصدرت مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرية في الجمهورية العربية السورية.

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

الإخراج الفني

بشار مسعود
نبيل إبراهيم
مهند البيضه
أمل قيروط

المتابعة والتنسيق

حسان بقله
التدقيق اللغوي
نوال الحلق
ريما سندان

التنضيد

هنادي كنفاني

التوزيع

عتيبة المنعم

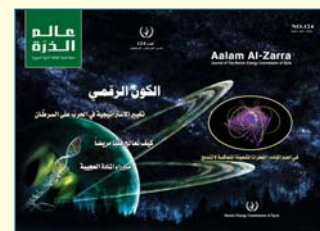
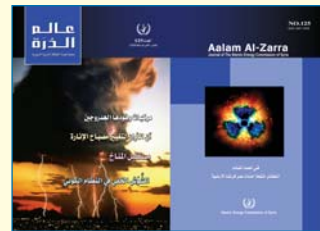
عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

المدير المسؤول

أ.د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية



هيئة التحرير

(رئاسة هيئة التحرير)

أ.د. عادل حرفوش

أ.د. محمد قعقع

(الأعضاء)

أ.د. أحمد حاج سعيد

أ.د. مصطفى حمو ليلا

أ.د. نجم الدين شرابي

أ.د. فوزي عوض

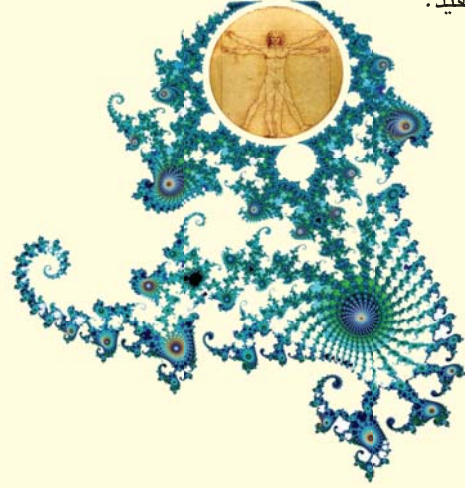
أ.د. فواز كرد علي

أ.د. توفيق ياسين

مقالات

7 الكائن الحي معقد التركيب

كلما أمعن علماء الحياة النظر، بدا لهم المزيد من التعقيد.



إ. شيك هايدن

13 لا بد من مواجهة مخاطر الزلزال الجيوحراري

لا بد للنقاش أن يكون منفتحاً حول كيف يمكن توليد زلازل من جراء استغلال حرارة الأرض الداخلية، على نحو يمكن من استخدام تكنولوجيا الطاقة البديلة على النحو الأمثل.

د. جيارديني

17 معالم في تطوير الطاقة النووية

إن جمع "بدايات" الصناعة النووية في كتاب واحد سيعطي صورة أكثر كمالاً عن كيفية وصول الصناعة إلى ما هي عليه اليوم.

ج. هـ. ماركوس

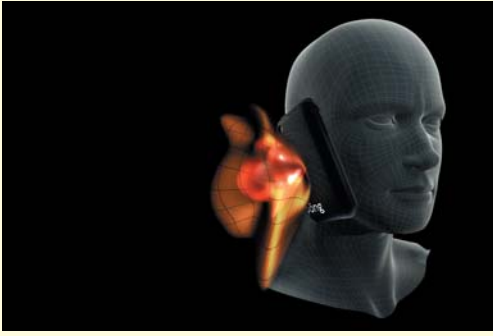


24 تصنيع الحواسيب الكمومية

هل نستطيع أن نجني بعض الفوائد عن طريق تخزين وإرسال ومعالجة معلومة مكوّدة في منظومات تبدي خصائص كمومية فريدة؟
ت. د. لاد، وآخرون

أخبار علمية

38 حقائق عن الهاتف



40 أوقفوا تخصيب اليورانيوم بالليزر

43 الجينوم البشري في السنة العاشرة بعد الكشف عنه

45 حرارة البحث عن النترينو العقيم أخذة بالارتضاع

48 عالم بدون موقع غوغل



51 تقفّي النفايات النووية، سعي وراء سراب

53 الفائانديوم

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

ملخصات ورقات البحوث

58 التباين الوراثي ضمن الفراغات البيئية المستنسخة
للدنا الريبوزومي لدى الفطر *Cochliobolus sativus*
المظهر بتقنية IRAP

58 تركيب المساحيق النانوية WO_{3-x} وفصلها باستخدام
مطحنة الكرات العالية الطاقة وتحت ضغط جزئي
محدد ودراسة خواصها الكهربائية

59 تأثير التحولات الضوئية الكيميائية للمواد العضوية
الذائبة على الاستقلاب البكتيري والتنوع الحيوي في
ثلاثة مواقع شاطئية مختلفة في الشمال الغربي للبحر
الأبيض المتوسط أثناء فصل الصيف

59 أمثلة تقنيتي التيلنج *Tilling* والإيكوتيلنج *Ecotilling*
لبطاطا (*Solanum tuberosum L.*)

60 تعديل الخواص الضوئية المحرّضة بعملية التشكيل
النانوي لزرنيخيد الغاليوم المسامي (100) من النوع-p

60 بناء منحنيات الحمل الساعي ورصد حمل الذروة
السني للطلب المستقبلي على الكهرباء في سورية
باستخدام منهجية التحليل التصاعدي

61 دراسة اللونانية في أفلام بولي ميثيل ميتاكريلات
الرقيقة المطعمة بجزيئات Disperse Orange 11

61 مكونات المقاومة الكمية في نبات عباد الشمس
(*Helianthus annuus*) للفطر المسبب للبياض
(*Plasmopara halstedii*) الزغبى

62 مضاعف تواتر داخل تجويف ديود ليزري InGaAs
مزود بالماص القابل للإشعاع GaAs كمفتاح جودة
منفعل

62 مدة التطور والمقدرة التكاثرية لفيلوكسيرا العنب على
الأصول المستنبته في الزجاج

ملخصات تقارير علمية

63 المكونات الضد - تغذوية في أوراق بعض أنواع أشجار
السنديان المستوطنة عند مراحل مختلفة للنمو

63 تحديد نسبة انتشار عوز إنزيم الغلوكوز 6 فسفات
ديهيدروجيناز في سورية

64 فرط تعبير المورثات المرمية, p53, c-erbB-2
Ki67 في الأنسجة الظهارية لسرطان المبيض:
العلاقة مع العوامل الإندوهرمونية والمغزى السريري

65 "مسح لبكتريا *Bacillus thuringiensis* في
سورية: عزلها، توزيعها الجغرافي، فعاليتها كمبيد
حشري، والتوصيف الجزيئي للسلاسل الجديدة"

66 التحكم والأمثلة في نظم خلايا الوقود

66 تأثير اللقاح BL21pET15b-bfr-p39 على
الاستجابة المناعية والحماية من الإصابة
بالعامل الممرض "البروسيللا" عند الضئران

67 تقييم نظام تكثيف الولادات عند نجاج العواس
السوري باستخدام المعاملات الهرمونية، داخل
الموسم التناسلي وخارجه

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 أماكن 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 المنضد 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 التقيد بمضمون هذا التعميم تلافياً لكل إشكال قد يواجهه كادر التنضيد. وسنورد في طيه مثلاً 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 تجري 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 وتوحيماً منا للإخراج المنتاسق والموحد فإننا نأمل التقيد 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 مبين أدناه:

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

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

الفاصلة (،): توضع بين الجمل القصيرة المتعاطفة أو المتصلة 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 المتصلة 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 الشرح 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 التّعجب أو النداء أو ما يدل على الفرح أو الأمل أيضاً دون ترك فراغ قبلها.

- مثال: كيف كان الكون بعد الانفجار العظيم!

النقاط المتتالية (...): تدل على أن الكلام فيه حذف أو أنه 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 خطآن صغيران توضع بينهما جملة معترضة داخلية 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 بنصّه دون تغيير.

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

الواصلت الصغيرة (-): توضع في أوّل الجملة وبأوّل السطر للدلالة على تغيير المتكلم اختصاراً للكلمة (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 154-161.

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

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

الشَّرْطَةُ المائتة (/): لا يُترك 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 فنبدوها بالحروف الصغيرة إلا 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 تليها (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 شرجي و زهير أبوي و فاطر محمد).

في حالة (أو)، ينبغي ترك فراغ بعدها (مثال: حُدّدت 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%).

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

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

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.

- 1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالبر 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 بالبر 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 تكتب 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- يرحي 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 الذرية - 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 للمشاركين من خارج القطر إرسال رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:
- المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13- مزرة جبل- دمشق- ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012
- أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرية السورية.
- يمكن للمشاركين من داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:
- مجلة عالم الذرة-مكتب الترجمة والتأليف والنشر-هيئة الطاقة الذرية السورية-دمشق- ص.ب:6091
- مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.
- أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق-شارع 17 نيسان
- رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س. للأفراد (300) ل.س. للمؤسسات (1000) ل.س.
- رسم الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.

سعر العدد الواحد

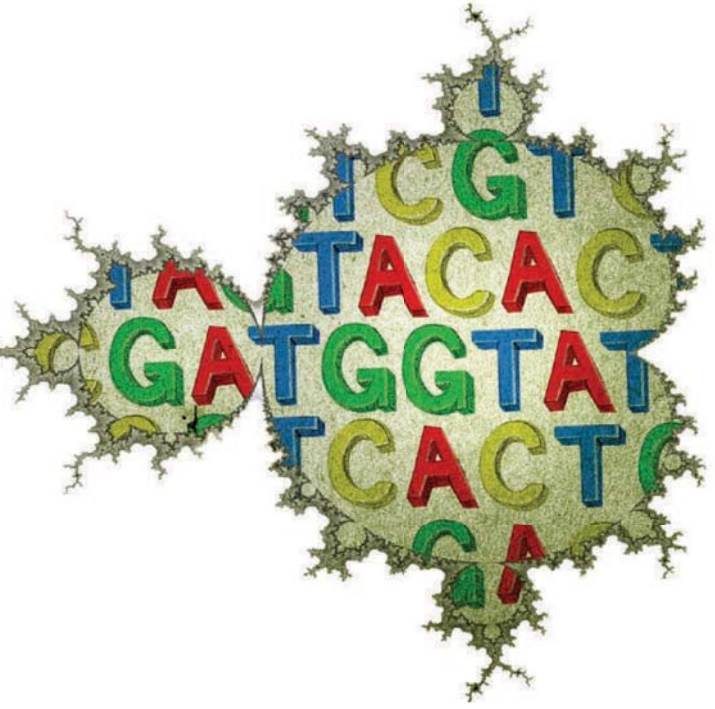
سوريا: 50 ل.س. مصر: 3 جنيهات لبنان: 3000 ل.ل. الجزائر: 100 دينار
الأردن: 2 دينار السعودية: 10 ريالات وفي البلدان الأخرى: 6 دولارات

الإعلانات

تود مجلة عالم الذرة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخرية 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.

الكائن الحي معقد التركيب



الكلمات المفتاحية: علم الحياة، علماء الأحياء، مشروع الجينوم البشري.

كلما أمعن علماء الحياة النظر، بدا لهم المزيد من التعقيد.

تتساءل إريكا شيك هايدن Erika Check Hayden عن إمكانية وجود طريقة لجعل الحياة أبسط.

بطبيعة الحال، لم يحدث ذلك، على الأقل حتى الآن. في بعض المجالات، قدم التسلسل توضيحاً. قبل بدء مشروع الجينوم البشري خَمَّن علماء الأحياء أن الجينوم يمكن أن يحوي ما يزيد على 100.000 مورثة مرمزة للبروتينات. وتبيَّن أن العدد الحقيقي هو أقرب إلى 21.000 مورثة. ويعلم علماء الحياة حالياً ماهية العديد من هذه المورثات. ولكن في الوقت نفسه، فعل تسلسل الجينوم ما فعلته الاكتشافات البيولوجية على مدى عقود وهو أنه فتح الباب أمام متاهة واسعة من الأسئلة الجديدة.

توقَّع قليلون، على سبيل المثال، أن تسلسل الجينوم من شأنه أن يقلل من أهمية المورثات من خلال كشف النقاب عن صفوف جديدة كلياً من العناصر-التسلسلات التي تصنع الـ RNA (الرنا) أو التي لها دور تنظيمي دون ترميز للبروتينات. يُعدُّ الدنا غير المرْمَزُ أمراً حيوياً في علم الحياة، ولكن رغم معرفتنا بذلك فإنه ليس هناك فهم واضح لما يفعله. يقول ميل غريفز، أحد علماء بيولوجيا الخلية من معهد أبحاث السرطان

منذ زمن ليس ببعيد، اعتُبر علم الحياة من قبل الكثيرين بأنه علم بسيط يعتمد على متابعة السعي والملاحظة والتجريب. وفي مطلع القرن العشرين، عندما كان ألبيرت آينشتاين وماكس بلانك يكتبان المعادلات الرياضية التي استخلصت فيزياء الكون الأساسية، حصل أحد علماء الحياة على جائزة نوبل لوصفه كيفية التحكم بسيلان لعاب الكلاب.

تغيَّر كلُّ شيء مع بزوغ الثورة الجزيئية، وذلك في مطلع العام 1953 عند اكتشاف بنية الـ DNA (الدنا)، إذ أصبح علم الحياة أكثر العلوم كمّاً وجديراً بالاحترام وواعداً بكشف الأسرار خلف كل شيء، بدءاً من التطور إلى مصادر المرض. وعد تسلسل الجينوم البشري- الذي جرى وضع مسودته قبل عشر سنوات- بالذهاب إلى أبعد من ذلك، حيث ساعد العلماء في تتبع النسب وفك رموز التطور والبحث عن الأسس الجزيئية للأمراض، والتوجه نحو وسيلة تشخيصية أكثر دقة وتحديداً للمعالجات الشخصية. ووعد الجينوم بالكشف عن المخطط قبل النهائي لبرنامج عمل البيولوجيا البشرية.

في ساتون، المملكة المتحدة، خدعنا أنفسنا بالتفكير أن الجينوم قد أصبح على وشك الوصول إلى النسخة قبل الأخيرة، ولكنه لم يكن ذلك.

بدلاً من ذلك، مع زيادة البيانات عن التسلسلات والتقنيات الجديدة على نحو متصاعد، يبدو أن علم الحياة يتعقد بشكل كبير. إن الخوض فيه يشبه تكبيراً (زوم) لمجموعة ماندلبروت - وهي المساحة التي يتم تحديدها بمعادلة بسيطة، ولكن هذا يكشف عن أنماط أكثر تعقيداً من أي وقت مضى حيث يكون أحد الصنوين أقرب لحدودها.

مع توفر المقدر على الولوج أو فحص أية معلومة ولو كانت بسيطة، فإن علماء الحياة يعملون جاهدين للإجابة عن سؤال كبير جداً: هل يمكن لأي شخص أن يعرف بشكل حقيقي متعضية - أو خلية أو عضواً أو مساراً جزيئياً، نزولاً إلى مستوى أدق التفاصيل؟

لنتصور وجود معرفة تامة للمدخلات والمخرجات وعدد ضخم من متغيرات التفاعل، فإن ذلك يتيح التوصل إلى نموذج تنبؤي. أما إلى أي حد تكون هذه الفكرة مثيرة فيعتمد ذلك إلى حد ما على العلماء، ويقول البعض إنه يكفي لفهم المبادئ الأساسية التي تحكم الحياة، في حين يضطر آخرون للوصول إلى الجواب على السؤال الذي يليه، مع عدم القلق من التعقيدات المتزايدة دائماً. يبدو أن ذلك يشبه تسلق جبل لبلوغ علو تلو الآخر. تقول جينيفر دودنا Jenifer Doudna، المختصة بعلم الكيمياء الحيوية من جامعة كاليفورنيا، بيركلي: «كلما زادت معرفتنا أدركنا أكثر وجود المزيد لمعرفة».

الشبكات الشبيهة بالإنترنت

كان علماء الحياة قد شهدوا وعوداً من التبسيط من قبل. على سبيل المثال، بدا أن نظام التعبير الجيني قد حل منذ ما يقارب 50 عاماً مضى. في العام 1961، اقترح عالما الأحياء الفرنسيان فرانسوا جاكوب Francois Jacob وجاك مونود Jacques Monod الفكرة التي مفادها بأن البروتينات "المنظمة" ترتبط بالدنا للتحكم بالتعبير عن الجينات. وبعد مضي خمس سنوات، أكد الكيميائي الحيوي الأمريكي والتر جيلبيرت Walter Gilbert هذا النموذج باكتشافه بروتين القمع lac، الذي يرتبط بالدنا للتحكم بعملية تمثيل اللاكتوز في بكتريا الإشيريشية القولونية. وفي خلال الفترة المتبقية من القرن العشرين، توسع العلماء كثيراً لإعطاء المزيد من التفاصيل عن هذا النموذج.

ولكنهم كانوا واثقين بفهمهم لمبادئه الأساسية. "جوهر التنظيم" كما يذكر الكتاب المدرسي لعلم الوراثة عام 1997 GenesVI (مطبوعات جامعة أكسفورد)، بأن مورثة التنظيم تكوّن بروتين التنظيم الذي يتحكم بعملية النسخ من خلال الارتباط بموقع أو بمواقع معينة من الدنا.

تبدد هذا الرأي فقط خلال عقد من الزمن الذي تلا مرحلة ما بعد الجينوم. حيث أُلقت مستجدات علم الأحياء نظرة خاطفة على عالم من الدنا غير المشفر - الذي كان يُسمى بالدنا غير المرغوب فيه "Junk" DNA الذي يعتبر من الأمور الرائعة والمربكة. بين الباحثون العاملون في برنامج التعاون الدولي الذي يدعى موسوعة عناصر الدنا (ENCODE) بأنه في جزء محدد من الجينوم الذي يحوي نسبة قليلة من التسلسل المشفر للبروتين يتم نسخ ما بين 74 و93% من الدنا إلى الرنا. والكثير من الحمض النووي (الدنا) غير المشفر له دور تنظيمي، ويبدو أن الرنا الصغيرة في أصناف مختلفة تتحكم بالتعبير المورثي على مستوى نسخ كل من الدنا والرنا بطريقة ما زالت في البداية لكي تصبح واضحة. إن مجرد وجود هذه المنظمات الغريبة يدل أن فهمنا للأشياء الأكثر أساسية - مثل، كيف يمكن لخلية أن تعمل أو أن تتوقف عن العمل - "سطحي بشكل غير معقول" كما يقول جوشوا بلوتكن Joshua Plotkin، عالم أحياء رياضي من جامعة بنسلفانيا في فيلادلفيا.

ولو لجزء واحد، سينشأ حجم كبير من التعقيد غير المنظم. على سبيل المثال، إن البروتين p53 كان قد اكتشف لأول مرة في العام 1979، ورغم الحكم الخاطئ الذي ارتكب في البداية باعتباره بروتيناً محفزاً للسرطان، فإنه سرعان ما اكتسب الشهرة باعتباره قامعاً للورم - حارس الجينوم - الذي يعيق نمو السرطان من خلال عمله على موت الخلايا التالفة وراثياً. درس عدد قليل من البروتينات بشكل أكبر من البروتين p53، وعقدت لأجلها مؤتمرات خاصة. ومع ذلك، تبين أن قصة p53 هي أكثر تعقيداً بكثير مما بدت عليه في البداية.

في العام 1990، وجدت العديد من المختبرات أن بروتين p53 يرتبط مباشرة بالدنا ليتحكم بعملية النسخ مما يدعم نموذج جاكوب - مونود التقليدي حول التنظيم المورثي. ولكن عند قيام الباحثين بتوسيع معارفهم عن التنظيم المورثي، وجدوا وجوهاً إضافية للبروتين p53. في العام الماضي فقط، بين الباحثون اليابانيون بأن بروتين p53 يساعد على القيام بسلسلة من العمليات المتعاقبة لعدة أنواع من الرنا الصغيرة التي تتحكم

بنمو الخلية كاشفين عن الآلية التي يستمد منها البروتين قوته لقمع الورم.

وحتى قبل ذلك، كان من الواضح أن بروتين p53 يقع وسط شبكة من البروتينات والتفاعلات الكيميائية والوراثية. ويعلم الباحثون الآن بأن p53 يرتبط بألاف المواقع في الدنا، وبعض هذه المواقع بعيد عن أي من المورثات بألاف الأزواج القاعدية، إذ تؤثر على نمو الخلية وعلى موتها وبنيتها وعلى إصلاح الدنا فيها. كما

أنها ترتبط بعدد من البروتينات الأخرى والتي يمكن

أن تعدل من نشاطها، وأن تفاعلات بروتين-بروتين هذه

يمكن ضبطها بإضافة معدّلات كيميائية مثل الفوسفات

ومجموعات الميثيل. ومن خلال عملية تُعرف باسم التضفير

المتبادل، يمكن أن يتخذ بروتين p53 تسعة أشكال مختلفة

يتمتع كل منها بنشاطاته ومعدّلاته الكيميائية. يدرك علماء الحياة

الآن أن بروتين p53 يسهم في عمليات أخرى غير السرطان،

كالخصوبة والتطور الجيني المبكر جداً. في الواقع، يبدو أن

هناك تجاهلاً متعمداً لمحاولة فهم بروتين p53 بشكل مستقل.

عوضاً عن ذلك، تحول علماء الحياة إلى دراسة شبكة p53 كما

تُصوره الرسوم المتحركة التي تحتوي على مربعات ودوائر

وسهام تُرمز إلى متاهة من التداخلات.

كلما زادت معرفتنا، كلما أدركنا أكثر وجود المزيد لمعرفة

بيانات مستفيضة

إن قصة p53 هي مجرد مثال عن الكيفية التي تم من خلالها

إعادة تشكيل فهم علماء البيولوجيا، وذلك بفضل تقنيات عصر

الجينوم. تسمح معرفة سلسلة البروتين p53 لعلماء الأحياء

الحسابيين بالبحث عن الجينوم الذي يسلسل في المكان الذي

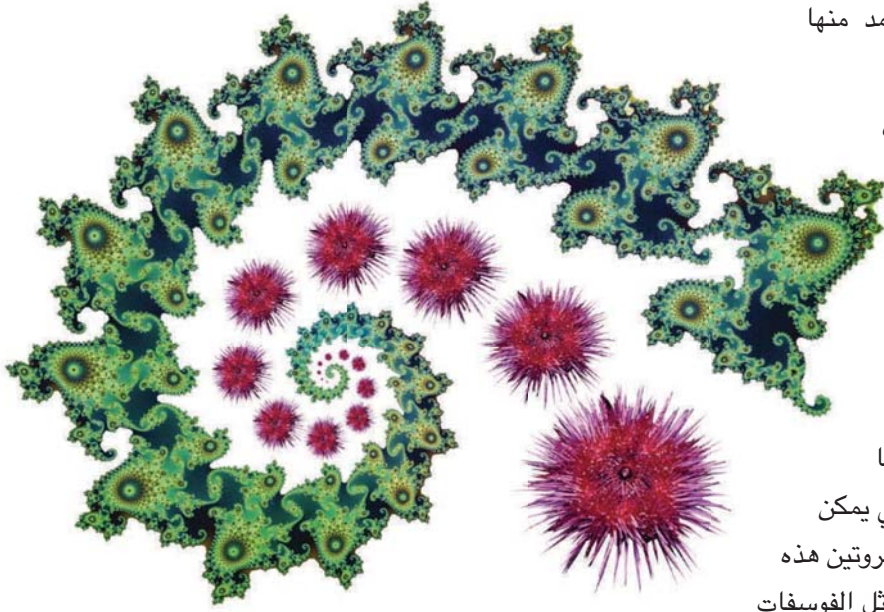
يمكن أن يرتبط البروتين به، أو بالتنبؤ عن مواضع تلتصق بها

بروتينات أخرى أو معدّلات كيميائية. وقد وسع ذلك من مدى

التداخلات البروتينية المعروفة - وقضى على الأفكار القديمة

المتعلقة بمسارات نقل الإشارة التي تُحفز فيها البروتينات مثل

P53 مجموعة محدّدة من التسلسلات النازلة.



يقول طوني باوسون Tony Pawson، أحد علماء علم الخلية من جامعة تورونتو في أونتاريو: "كانت الفكرة في البداية بأن مسارات نقل الإشارة بسيطة نسبياً وخطية"، وحالياً، ندرك تماماً بأن معلومات نقل الإشارة تُنظم من خلال شبكات من المعلومات وليس من خلال مسارات بسيطة منفردة، إنها أكثر تعقيداً بشكل غير محدود.

إن سيل البيانات التي تلت مشروع الجينوم البشري هو بلا شك جزء من المشكلة. فمعرفة مايقوم به أي جزء حيوي أصبح أكثر صعوبة، نظراً لما قدمته التقانات الحديثة وإنتاجيتها العالية من قدرة هائلة على جمع البيانات. لقد ولت الأيام التي كان العمل فيها يتعلق باستنساخ وتوصيف مورثة والتي تنتج ورقة علمية منشورة في مجلة ذات سمعة جيدة. وحالياً ينبغي على فرق العمل القيام بسلسلة الجينوم البشري بأكمله، أو عددٍ منه ومقارنتها. ولسوء الحظ، كما يقول البعض، إن مثل هذه المنجزات الرائعة لا تحقق دائماً رؤى حيوية ذات مغزى.

"في كثير من الحالات كنت تحصل على مشاريع إنتاجية عالية مستمرة، ولكن ما يزال الكثير من علم الأحياء محصوراً بنطاق ضيق"، كما يقول جيمس كولينز James Collins، مهندس حيوي من جامعة بوسطن في ولاية ماساشوستس. "لقد ارتكبنا خطأ في مساواة تجميع البيانات مع الزيادة المترافقة في الرؤية والفهم".

كان من المفترض أتباع منهج جديد في نظم علم الأحياء بهدف مساعدة العلماء على فهم هذا التعقيد. فالأمل هو فهرسة جميع التداخلات في شبكة بروتين p53، أو في خلية، أو بين

مجموعة من الخلايا، ومن ثم إدخالها ضمن نموذج حاسوبي ليتمكن علماء الأحياء من استخلاص الرؤى حول سلوك الأنظمة الحيوية.

في السنوات التي سبقت سلسلة الجينوم، بدأ علماء نظم علم الأحياء بوضع قائمة طويلة من المشاريع المبنية على هذه الإستراتيجية في محاولة لنمذجة أجزاء من علم الأحياء مثل خلية الخميرة وبكتريا الأشيريشية القولونية والكبد وحتى «الإنسان الافتراضي». وحتى الآن، واجهت كل هذه المحاولات العائق نفسه: لا توجد وسيلة لتجميع كافة البيانات ذات الصلة حول كل تداخل ضمن النموذج.

خلل في النظام

في كثير من الحالات، سرعان ما تصبح النماذج نفسها معقدة لدرجة أنها من غير المحتمل أن تكشف عن رؤى حول هذا النظام، بل تتحول إلى متاهات من تداخلات تستعمل ببساطة في عملية الفهرسة.

يقول ليونيد كروكليك Leonid Kruglyak أحد علماء علم الوراثة من جامعة برنستون في ولاية نيو جيرسي: ربما كان من غير الواقعي خلال الأحداث الماضية التوقع بأن الرسم التخطيطي للتداخلات الحيوية على مستوى الأنظمة سيكشف النظم على مستوى الخصائص، وبخاصة أن العديد من الآليات والمبادئ التي تعمل على تنظيم السلوك داخل الخلية وبين الخلايا ما تزال لغزاً. إنه يبين وجه المقارنة مع الفيزياء: تخيل بناء مسرع للجسيمات مثل مصادم الجسيمات الضخم من دون معرفة أي شيء عن النظريات الأساسية لميكانيك الكم والتحرك اللوني الكمومي والنظرية النسبية. يقول كروكليك، "سيكون لك كل هذه الأشياء في مكشافك، ولن تكون لديك أية فكرة عن كيفية التفكير بالأمر، لأنها ستنطوي على عمليات لا تفهمها إطلاقاً". «هناك قدر معين من السذاجة في فكرة أن أية عملية -سواء كانت حيوية أو تنبؤاً عن حالة الطقس أو أي شيء آخر- تستطيع ببساطة أخذ كميات كبيرة من بياناتها وتشغيل البرنامج بالبحث عن البيانات وتفهم ما يجري بطريقة عامة».

هذا لا يعني بقاء علماء الأحياء مترددين ومركّزين أنظارتهم بشكل أعمق من أي وقت مضى على مجموعة ماندلبروت، دون وجود أية طريقة للاستفادة منها. يقول بعض علماء الأحياء إن اتخاذ أنظمة أكثر ذكاءً أدى إلى تمكين مجالات عملهم والكشف عن القواعد الأساسية المتعلقة بعلم الحياة. ويقول

إيريك ديفيدسون Eric Davidson عالم أحياء من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في باسادينا: يدخل علم الأحياء في فترة يمكن أن يكون العلم فيها ركيزةً أساسيةً لمبادئ علم التفسير والتنبؤ، بدلاً من أن يكون عبارة عن قطع صغيرة من السببية التي تسبح في بحر علم الظواهر.

لم يأت هذا التقدم من تحليلات الكليات إلى الجزئيات، التي تحاول الوصول إلى رؤى من خلال وضع قائمة من الأجزاء ضمن نموذج ما بأمل الوصول إلى صورة أوضح بدءاً من الشواش. أما الرؤى الناجمة عن قيام العلماء بتحليل منهجي لمكونات العمليات التي يمكن معالجتها بسهولة داخل المختبر فإنها تحدث إلى حد كبير في الكائنات النموذجية. ما زالوا يستعملون مقارنة الأنظمة ولكن بالتركيز عليها من خلال عدسات أكثر تقليدية تعمل من الجزئيات إلى الكليات.

أشار ديفيدسون إلى المثال عن كيفية تنظيم عمل المورثات خلال عملية التطور لتحديد بنية الجسم. أمضت مجموعته ما يقرب عقداً من الزمن في دراسة تحليل تطور قنفذ البحر من خلال طرق منهجية من التعبير عن كل واحد من عوامل النسخ - البروتينات التنظيمية التي تتحكم في التعبير عن الجينات- وذلك في الخلايا التي تتحول إلى الهيكل. وبملاحظة تأثير فقدان كل مورثة على التطور، وقياس ما هو تأثير كل فقد على تعبير كل عامل نسخ آخر، أنشأت مجموعة دافيدسون خريطة تبين كيفية عمل عوامل النسخ معاً لبناء هيكل الحيوان. تستند الخريطة إلى مبدأ جاكوب-مونود حيث يعتمد التنظيم على التداخلات بين البروتينات التنظيمية والدنا. وتشمل الخريطة التداخلات (التأثرات) التنظيمية كافة، ومن ثم تجري محاولة الاستفادة من هذه المبادئ التوجيهية المشتركة التي يمكن تطبيقها على غيرها من الكائنات الحية النامية.

على سبيل المثال، تعد عوامل النسخ المشفرة في جينوم جنين القنفذ هي الأولى المنشطة من قبل بروتينات الأمهات. تشير هذه العوامل الجينية، التي تنشط لفترة قصيرة فقط، عوامل النسخ نزولاً والتي تتفاعل في دائرة رد فعل إيجابية للتبديل فيما بينها بشكل دائم. كما في قنفذ البحر والكائنات الحية الأخرى اعتباراً من ذباب الفاكهة إلى الإنسان حيث تنظم عملية التطور ضمن "وحدة إنشائية" من المورثات، والتفاعلات المعزولة إلى حد كبير عن بعضها بعض، بحيث تسمح للتطور بالعمل على الوحدة الإنشائية دون تعريض سلامة العملية برمتها. وبكلمات أخرى، إن التطور يتبع قواعد مماثلة في الأنواع المختلفة.

يقول ديفيدسون: "الفكرة الأساسية هي أن كافة أحداث تطور مخطط الجسم تركز على المنظومة الجينومية، وأن تلك التغيرات التي ربما تستند إلى تطور مخططات الجسم هي مبدأ أساسي في علم الأحياء الذي لم يكن بحوزتنا من قبل". هذه خطوة كبيرة نحو الأمام منذ العام 1963، عندما بدأ ديفيدسون مختبره الأول. في ذلك الوقت، يقول ديفيدسون، كانت معظم نظريات التطور "عديمة الفائدة".

يدعو ديفيدسون عمله بعبارة "برهان على مبدأ أنك تستطيع فهم كل شيء حول النظام الذي تريد فهمه إذا أمسكت بأجزائه المتحركة". وهو يعزو الفضل في مشروع الجينوم البشري إلى دفع علماء الأحياء بشكل أكبر باتجاه فهم النظم عوضاً عن البقاء دوماً في التفاصيل التي تركز على مورثة واحدة وبروتين واحد أو أداة أخرى في هذه النظم. أولاً، مكّن العمل من سلسلة جينوم لكائن حي مثل قنفذ البحر وتحديد جميع عوامل النسخ النشطة في عملية التطور. وثانياً، جلب إلى العلم أنواعاً جديدة من علماء الأحياء مثل علماء الأحياء الحاسوبيين، كما يقول ديفيدسون.

إن الناس هم من يعقد الأشياء، بعض الناس مبسطون وآخرون معقدون.

عين الناظر

وهكذا، كيف يرى ديفيدسون البساطة والترتيب بينما يرى كثير من علماء الأحياء الآخرين زيادة في الفوضى؟ يبدو، في كثير من الأحيان، أن التعقيد يكمن في عين الناظر. إن الباحثين العاملين على أنظمة النموذج، مثلاً، يمكنهم التعامل مع تلك الأنظمة بطرائق بعيدة عن تناول أولئك الذين يدرسون البيولوجيا البشرية، وصولاً إلى إجابات أكثر تحديداً. وهناك اختلافات فلسفية أساسية في طريقة تفكير العلماء العاملين في علم الأحياء. «إن الناس هم من يعقد الأشياء»، يقول راندي شيكمان Randy Schekman، العالم في علم الخلية والبيولوجية الجزيئية من جامعة كاليفورنيا في بيركلي. "لقد رأيت عدداً كافياً من العلماء لأعرف أن بعضهم مبسط للأمر والبعض الآخر معقد لها". رغم أن النوع الأول سيعمل بصورة واضحة على تجميع المبادئ اعتباراً من أمثلة محددة، فإن النوع الثاني سيبقى دوماً غارقاً في تفاصيل أمثلتهم المطروحة.

يعترف مارك جونستون Mark Johnston، أحد علماء وراثة الخميرة من كلية الطب في جامعة كولورادو في دنفر، بأنه يعمم

الأشياء حيث اعتاد لسانه على التنبؤ باستهزاء أن برعمة الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* ستحل في العام 2007 بعد أن تم توصيف كل مورثة وكل تداخل فيها. ومنذ ذلك الوقت كتب بجديّة أن هذا العمل سوف ينجز في غضون بضعة عقود مقبلة. وعلى غرار ديفيدسون فهو يشير إلى أن جوانب كثيرة من حياة الخميرة لم تعرف بشكل جوهري، كأساسيات اصطناع الحمض النووي وإصلاحه على سبيل المثال. يقول جونستون إن العلماء يعلمون حالياً ماهية عمل 5800 مورثة التي تشكل ثلثي جينات الكائن الحي، في حين سيتم توصيف المورثات المتبقية قريباً. يعمل جونستون على فهم مسار استشعار الغلوجوز، حيث يقول إنه سوف يكون راضياً حول معرفته بهذا الموضوع عندما يستطيع إجراء توصيف كمي عن التداخلات ضمن هذا المسار، رغم أنها مهمة صعبة ولكن غير مستحيلة كما يقول.

لا يتفق الجميع، يقول جيمس هابر James Haber عالم أحياء جزيئي من جامعة برانديز في والثام، ماساشوستس، إنه من الصعب المجادلة بأن فهم العمليات الأساسية سيُعزّز خلال 30-20 سنة. "فيما إذا كان التقدم الذي سينتج في هذه العمليات قد تم حله فإن ذلك سيكون مجرد دلالات ليس إلا". ولكن تُعدُّ بعض الأسئلة، حول ترتيب الصبغيات في النواة مثلاً، مجرد بداية للاستكشاف. يجادل جونستون بأنه ليس من الممكن ولا الضروري التوصل إلى الفهم الكمي الذي يأمل الحصول عليه في معرفة مسار استشعار الغلوجوز لكل نظام آخر في الخميرة. يقول جونستون: «ينبغي أن تقرّر ما هي سوية المعرفة التي ترضيك وأن استجابة بعض الناس كانت في عدم رضاهم عن أي مستوى كان، وأنا يجب أن نواصل العمل». لا تعد هذه الهوة بين المبسطين والمعقّدين مجرد مسألة فضول بين الفلاسفة. إنها تُلعّب يوماً من خلال مقاطع دراسة ومقالات مراجعة يتقرر خلالها أي طريق من العلوم يستحق التمويل والنشر، والتي تحمل على السؤال الجوهري المطروح في علم الأحياء: هل سيأتي يوم نفهم فيه كل شيء؟

على حافة الكون

يشير البعض، مثل هيراواكي كيتانو Hiroaki Kitano، عالم نظم في علم الأحياء من معهد بيولوجيا الأنظمة في طوكيو، إلى أن الأنظمة يبدو أنها تنمو بشكل أكثر تعقيداً لأنها الوحيدة التي تمكننا من مواصلة التعلم عنها. "إن علم الأحياء هو نظام

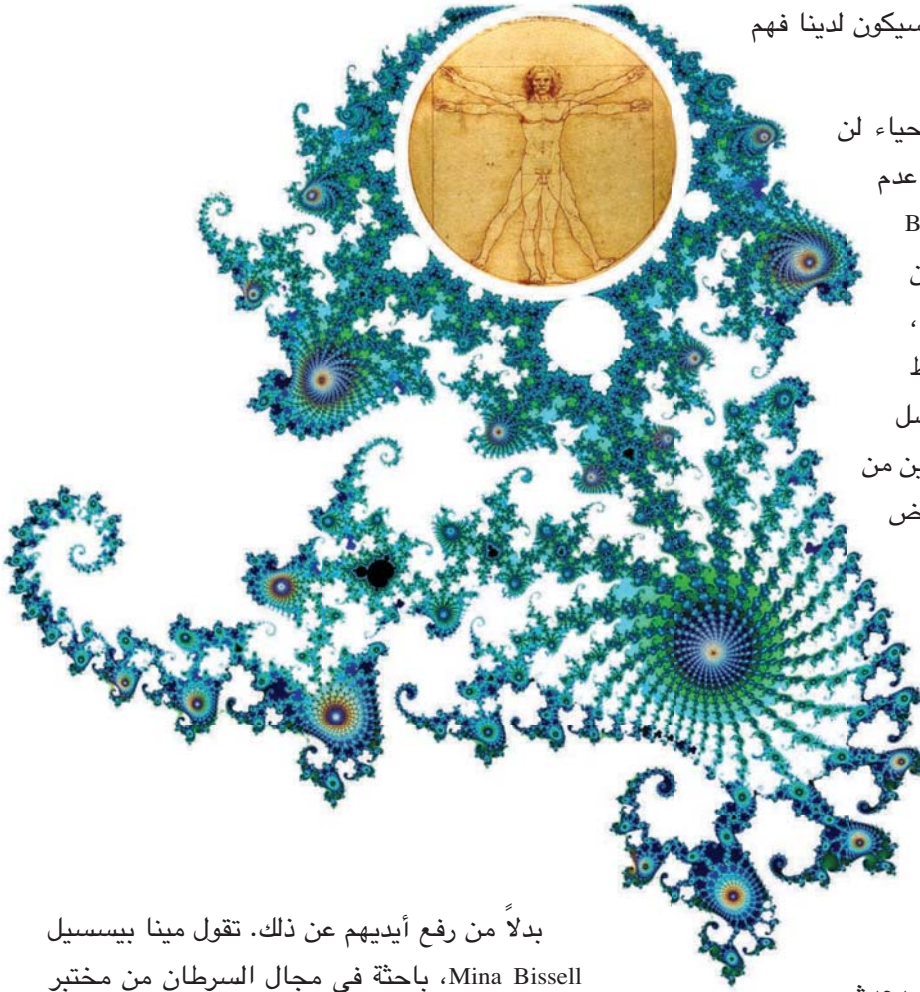
محدد"، ويقول كيتانو: "في الوقت المناسب، سيكون لدينا فهم جيد نسبياً عن ماهية عمل هذا النظام."

اعترض آخرون مجادلون بأن علماء الأحياء لن يعرفوا كل شيء، وأنه لا يهم مدى صعوبة عدم فعلهم ذلك. راقب بيرت فولجستين Bert vogel-stein، الباحث في علم جينوم السرطان من جامعة جونز هوبكنز في بالتيمور، ميريلاند، عن كتب كيف أن التعقيد عمل على إحباط أكبر أمل في عصر الجينوم: إن معرفة تسلسل الجينومات الصحية والممرضة ستمكن الباحثين من إيجاد مواطن الخلل الوراثي التي تسبب المرض مما يمهّد الطريق لإيجاد علاجات جديدة.

إن مرض السرطان كغيره من الأمراض الشائعة الأخرى هو أكثر تعقيداً مما يأمل الباحثون. فعن طريق سلسلة جينومات الخلايا السرطانية مثلاً، يعلم الباحثون حالياً بأن لدى فرداً واحداً من مرضى السرطان حوالي 50 طفرة وراثية، ولكنها تختلف بين الأفراد. لقد تحول البحث، عن أهداف لعقاقير من شأنها مساعدة الكثير من المرضى، بعيداً عن المورثات الفردية، بحيث اتجه البحث نحو عقاقير يمكن أن تتداخل في شبكات مشتركة بين العديد من أنواع السرطان.

وحتى لو أننا لم نفهم علم الأحياء فهماً تاماً، يقول فولجستين، فإنه يمكننا أن نفهم ما يكفي للتداخل مع هذا المرض. "إن البشر هم حقاً جيّدون في قدرتهم على اتخاذ قدر قليل من المعرفة واستخدامها لتحقيق ميزة كبيرة". ويضيف فولجستين "من المهم عدم الانتظار حتى نفهم كل شيء، لأن ذلك سيسبب مضيعة للوقت". في الواقع، إن العقاقير التي تؤثر على مسارات إعاقة نقل الإشارة المعقدة هي من بين الفئات الأكثر وعوداً لإنتاج أدوية جديدة لعلاج السرطان. تستخدم الأدوية، التي تستهدف الـ ARNs الصغيرة التي مازالت غامضة، حالياً في التجارب السريرية لعلاج الالتهابات الفيروسية والسرطان والتحلل البقعي الذي يعد السبب الرئيس للعمى غير القابل للعلاج في الدول الغنية.

لذلك، فإن زيادة التعقيد لا يؤذن في النهاية بإحراز تقدم. وهذا مبعث ارتياح لكثير من الباحثين الذين يشيدون بالتعقيد



بدلاً من رفع أيديهم عن ذلك. تقول مينا بيسسيل Mina Bissell، باحثة في مجال السرطان من مختبر اورانس بيركلي الوطني في كاليفورنيا، إنه خلال مشروع الجينوم البشري جرى قيادتها باتجاه اليأس من خلال توقعات من شأنها حل كافة الألغاز. تقول بيسسيل "يمكن لمشاهير الناس أن ينهضوا قائلين، سنفهم كل شيء بعد هذا". "إن الحياة معقدة وهذا جزء من جمالها". وأنه لا داعي للقلق، غير أن أنماطاً جميلة من معضلة علم الأحياء الشبيهة بماندلبروت تبدي بعض علامات الحل.

إريكا هايدن مراسلة رئيسة في مجلة Nature مقرها سان فرنسيسكو.

نُشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol 464, 1 April 2010 ترجمة د. فوز كرددلي، عضو هيئة التحرير.

لا بد من مواجهة مخاطر الزلزال الجيولوجي

لابد للنقاش أن يكون منفتحاً حول كيف يمكن توليد زلازل من جراء استغلال حرارة الأرض الداخلية، على نحو يمكن من استخدام تكنولوجيا الطاقة البديلة على النحو الأمثل، هذا ما يقوله Domenico Giardini.

الكلمات المفتاحية: زلزال، تكنولوجيا الطاقة البديلة، طاقة جيولوجية أرضية، نظام جيولوجي أرضي محسّن.



شكل 1: يجب أن تخضع الأنظمة الجيولوجية المحسنة مثل النظام المخطط في كاليفورنيا إلى تحليل الخطر الزلزالي.

وتتمتع بإمكانية إنتاج كمية كبيرة من الطاقة البديلة عن طريق التوجه إلى مصدر غير محدود في الواقع وهو الحرارة المخزنة في الأعماق داخل الأرض. وقد قدر خبير دعي إلى معهد تكنولوجيا ماساشوسيتس في كامبردج في عام 2006 أنه يمكن لـ EGS أن تزود بأكثر من 100000 ميغا واط من الكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية بحلول عام 2050، أو حوالي 10% من الطاقة الوطنية الحالية، وهي نسبة كبيرة جداً لمصدر طاقة بديلة. وفي تشرين الأول/أكتوبر أعلنت الولايات المتحدة الأمريكية أنه يمكن استرداد ما يزيد على 132.9 مليون دولار أمريكي من مشاريع الـ EGS، وقد ساهمت أسماء كبيرة مثل غوغل في تمويل هذه التقنية.

يجري وبشكل متزايد استكشاف الطاقة الجيولوجية العميقة كمصدر جذاب وبديل للطاقة. وفي القرن الماضي، تمّ وبشكل فعال، استغلال المصادر الحرمائية التقليدية مثل الينابيع الحارة في المناطق الجيولوجية، إلا أن توزع هذه المصادر ومقدرتها على تزويدنا بالكهرباء كانت قليلة ومحدودة. غير أن التوجه إلى الطاقة الجيولوجية العميقة يقودنا إلى أماكن جديدة للتنقيب.

يتضمن النظام الجيولوجي المعزز (EGS) enhanced geothermal system والذي أطلق عليه منذ البداية "منظومة الصخر الجاف الساخن" حفر بئر بعمق 3 كم على الأقل ليصل إلى طبقة صخرية غير مسامية، تكون الحرارة فيها أعلى من 100 درجة مئوية. يتم ضخ السوائل إلى الصخر تحت ضغط عالٍ (يطلق على هذه العملية التحفيز Stimulation)، ما يحرض على تشقق هذا الصخر وتوليد زلازل مكروية صغيرة، وبالتالي تزداد إنتاجيته نتيجة لتشكيل خزان للسائل. تولد الشقوق والانقطاعات أمواجاً مرنة يمكن كشفها بشبكة سيسمية حساسة. وحالما يتشكل خزان من صخر نفوذ ويحجم أكبر من 1 كم مكعب يتم حفر آبار إضافية لاستخلاص الحرارة من الكتلة الصخرية عن طريق جريان السوائل خلال شبكة الشقوق.

تعتبر مقارنة هذه القوة الطبيعية في نظام EGS بسيطة،

المضغوطة. ويجب تزويد الجمهور والسلطات بالإرشادات وبالمعلومات المفتوحة والمفهومة قبل المشروع وأثناءه وبعده. فيجب، وبشكل منفتح، التعرف على المخاطر وتقديرها، كما يجب أن تتضمن الأفكار المعطاة كيفية التأمين ضد الأضرار الناجمة عن هذه المشاريع. ويحتاج الأمر أيضاً للنقاش مع كل الشرائح التي تتضمن العلماء، والسياسيين والعامّة، وذلك لنقرر أي مستوى من الخطورة يمكن قبوله، وإلا سيواجه المجتمع خطر اضطراب جماهيري يمكنه على نحو غير ضروري زلزلة تكنولوجيا الطاقة البديلة الواعدة.

قصة بازل

في عام 1996 أُلغى، في مدينة بازل بسويسرا، مشروع الحرارة المنجمية العميقة من قبل مجموعة شركات الطاقة الأرضية (GPB) وهو واحد من أول مشاريع الـ EGS الاقتصادية والموجهة بعناية. وفي رأيي، فقد تحول المشروع الذي بدأ كطاقة خضراء واعدة إلى أمر مشوش. إنه مثال كلاسيكي لعرض كيفية انتهاء الأمر بالفشل (من قبل كل معني بالأمر، بما فيهم العامة) في ظل إنتاج زلازل في منطقة مأهولة، وتحول الموضوع بحد ذاته إلى خطر كبير الذي يطال كامل مفهوم استغلال الطاقة الجيوحرارية.

يمكننا أن نتعلم دروساً مهمة من هذه الحالة، ونضمن مستقبلاً طويل الأمد لهذا المصدر الواعد من الطاقة.

تقع بازل عند الحد الفاصل بين فرنسا وألمانيا، وهي مركز صناعي للكيمياء والصيدلة الصناعية الأوروبية على أطراف فرنسا وألمانيا، ويعيش فيها أكثر من 700000 شخص وقد تعرضت للزلازل التاريخية. وفي عام 1956 تضررت المدينة بشكل كبير من جراء زلزال من مرتبة 6.7 لم يسبق أن حدث مثله في وسط أوروبا.

يستغرق التحضير لمشروع اقتصادي لـ EGS في نطاق صناعي سنوات عدة. فقد وصل عمق بئر الحقن النهائي 5 كم في تشرين الأول/أكتوبر 2006، وكان البئر جاهزاً لحقن سوائل بضغط عالٍ في صخور الغرانيت. وتم نصب نظام مراقبة يتضمن ستة أبار مزودة بسيسمومترات قريبة من بئر الحقن وأكثر من ثلاثين

وعيب الأنظمة الجيوحرارية المعززة هذه أنها تحرض زلازل، والخطوة الأولى في عملية التحفيز في هذه الأنظمة أنها تولد زلازل مكروية صغيرة يمكن أن نشعر بها على السطح، أو حتى يمكنها أن تخلف أضراراً. كذلك يمكن للماء المضغوط في الصخر أن يتفاعل مع الفوالق العميقة الموجودة مولداً وبشكل كبير زلازل قوية. إن احتمالية حدوث هذه الزلازل ليست كبيرة ولكنها يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. إضافة إلى ذلك، يمكن الاستفادة من الطاقة الجيوحرارية بشكل أكبر إذا كانت تولد الكهرباء والحرارة بأن معاً. وهذا يتطلب من المستفيدين أن يكونوا على مقربة من مصدر الطاقة. وبالتالي، فمن المجدي للمصممين أن يطوروا مواقع للطاقة في الأماكن المأهولة التي يكون فيها وقوع الزلازل غير مؤكد.

يجب تطوير الآلاف من مواقع الطاقة الجيوحرارية العميقة لتساهم بقدر مهم من الاحتياج العالمي للطاقة.

وإذا كان جزء معتبر من هذه المواقع يحرض فعلاً زلزالياً محسوساً أو فعلاً تخريبياً تحت الأماكن المكتظة بالسكان، فإن ذلك من شأنه أن يسرع المعدل الطبيعي للفعالية الزلزالية في الأماكن القارية المستقرة.

وفي المناطق المنجمية في بلاد مثل بولندا، وجمهورية التشيك، يكون الجزء المسيطر في النشاط الزلزالي الناجم عن أفعال الإنسان أكبر من الزلازل الأرضية الطبيعية. ولكن هل المجتمع في أوروبا وفي أمكنة أخرى مستعد لقبول هذا الخطر في الأماكن المأهولة.

ففي حالة حديثة في كاليفورنيا وفي موقع خططت له EGS في Geysers، قويل حقل للطاقة الجيوحرارية، يبعد حوالي 100 كم شمال سان فرانسيسكو، بالمعارضة الشعبية وانهار في مرحلة المراجعة من قبل وزارة الطاقة (على الرغم من أن الشركة المعنية أكملت المراجعة المناسبة للنشاط الزلزالي)، وقد أوقف هذا المشروع في أيلول/سبتمبر بسبب صعوبات تقنية.

ومن أجل نظام جيوحراري معزز، يقع قرب مدينة أو في مكان سبق وتعرض لزلزال كبيرة، يتطلب الخطر الزلزالي المتزايد تطوير خطط طوارئ مثل الحد من الضغط أو من موقع السوائل

وخلال عمليات التحفيز في المشروع الأوربي للصخر الجاف الحار للطاقة الجيوحرارية الذي تمّ تطويره في السنوات العشر الماضية بالقرب من غابات Soutz- sous في فرنسا على عمق 5 كم، تم حدوث نشاط زلزالي قيمته العظمى 2.9. وكان مخططاً لهذا المشروع أن يقلل من الخطر الزلزالي وأن يبدأ بإنتاج الكهرباء في



شكل 2: الحصاد: لقد توقف مشروع جيوحراري في بازل، سويسرا.

كانون الثاني/يناير عام 2010. وبطاقة 2 ميغاوات، سيكون هذا المشروع أكبر موقع تجاري يتم تشغيله من قبل EGS. هذا، وإن الزلازل الأرضية المحسوسة تترافق بشكل عرضي مع المنظومات الجيوحرارية الطبيعية. وفي لاندو، بألمانيا، تم تشييد نظام عمقه 3 كم في طبقات طبيعية نفوذة، حيث لم تكن الزلازل متوقعة، ومع ذلك تمّ الشعور بالنشاط الزلزالي بعد البدء بإنتاج الطاقة الجيوحرارية بعام واحد في عام 2007، وتم إيقاف عمليات التشغيل شهوراً عدة. وفي كلتا الحالتين، يتم استغلال الطاقة الجيوحرارية في أراضٍ زراعية بدون المعرفة التاريخية للزلازل الكبيرة.

مقاربة واقعية

إن خطر رد الفعل المُبالغ به تجاه الأخطار الملازمة للمشاريع الجيوحرارية العميقة هو أمر واقعي جداً، وإن إنشاء إطار صارم من القواعد من شأنه أن يعاقب الصناعة الجيوحرارية بالمقارنة مع قطاعات أخرى للطاقة مثل استخراج الغاز ومناجم الفحم التي تتعرّف على الخطر الناجم عن النشاط الزلزالي المحرّض.

تتطلب مشاريع EGS منذ بداياتها أن تكون مشاريع تجريبية (Pilot) تتضمن مجاهيل علمية ومغامرات اقتصادية تتضمن الأخطار التكنولوجية والمالية، وتحتاج الشركات أن تنفق وبشكل كافٍ من ميزانيتها من أجل التحريات العلمية التي لا ترتبط مباشرة باستغلال الحرارة. كما أن السلطات المحلية بحاجة إلى تجنب أن يُغرر بها بعود الطاقة البديلة، وأن تتذكر دوماً أن تسأل الأسئلة الصائبة. ويجب أن يتم تقدير الخطر قبل بدء هذه المشاريع وليس بعده. حتى لو طُرحت الأسئلة الصائبة في

محطة سيسمية سطحية في منطقة بازل، إضافة إلى مخطط إطفاء للطوارئ في حال الشعور بالزلازل. ومع ذلك، فقد اتصل المركز السويسري للزلازل، الذي لا يملك طاقة التحكم في هذه الحالة، بـ GBP وبسلطات بازل، وأشار إلى أن المركز لم يسبق أن رأى ما يمكن اعتباره تحليلاً كافياً لخطر زلزالي على المشروع.

أكدت السلطات المحلية أن لدى GBP ترخيصاً صالحاً، وأنها حققت كل شروط الترخيص. وفي 2 كانون الأول/ديسمبر عام 2006 بدأت GBP بحقن الماء في البئر بمعدلات تدفق متزايدة. وكما هو متوقع، فقد تم تسجيل آلاف الزلازل المكروية الصغيرة. وبسبب ازدياد النشاط الزلزالي الذي تم الشعور به على السطح، فقد أوقف الحقن في 7 كانون الأول/ديسمبر. وبعد ساعات عدة، هز زلزال من مرتبة 3.4 المكان وسبب الرعب والهلع، وقد حظي هذا الزلزال باهتمام وسائل الإعلام العالمية. فقد أعلنت الـ GBP عن أسفها للحادثة في 9 كانون الأول/ديسمبر قائلة إن الخوف الناتج عن المشروع كان أكبر من المتوقع، وقد أعلن العديد من مالكي البيوت عن أضرار طفيفة ليست بالبنوية مثل شقوق ناعمة في جيبصين الجدران، وتم التعويض عنها من قبل تأمين GBP. وقاد الحادث إلى دعوى قضائية ضد فرد وليس ضد الـ GBP.

ومنذ أن توقف حقن الماء، تراجع النشاط الزلزالي ببطء، وبعد مرور ثلاث سنوات ما يزال هناك نشاط زلزالي منقطع داخل الحجم الصخري المعالج ويتم كشفه بالأجهزة الموجودة داخل الآبار.

أوقف مشروع EGS مؤقتاً بانتظار تحليل مستقل للخطر من قبل مجموعة من الشركات المؤلفة من خبراء زلازل ومهندسين يتم اختيارهم من قبل السلطات الرسمية عن طريق تقديم عرض دولي، وأنجزت الدراسة في العاشر من كانون الأول/ديسمبر عام 2009، وقررت السلطات المحلية إيقاف المشروع الآن.

هناك أيضاً العديد من الاعتراضات على مشاريع الطاقة الجيوحرارية المعززة في أوروبا، ويرتبط بعض منها بالزلازل.

وقد أصبح الآن واضحاً للعموم والسلطات المحلية، والصناعة الجيولوجية وهيئات التشريع أن الأنظمة الجيولوجية العميقة تتضمن خطراً صغيراً شأنها في ذلك شأن سائر أشكال التكنولوجيا في قطاع الطاقة، إذ يمكن للسدود أن تتكسر، ولمحطات الطاقة أن تفشل، ولثنائي أكسيد الكربون الناتج عن النفط والغاز أن يساهم في الاحترار العالمي، مثلما يمكن لمشاريع EGS أن تتسبب بأضرار عن طريق الزلازل المحرّضة. والأسئلة المفتوحة هي فيما إذا كان المجتمع قادراً على إيجاد طرق للوصول إلى حالة التوازن وقبول هذه الأفكار أم لا، وبالتالي نحتاج إلى نقاش هادف للخروج بحلول.

الوقت المناسب، تتعرض الجماعة العلمية والهندسية لضغط من أجل تقديم رأي مقنع حول الكيفية التي يمكن بها تحديد المخاطر الزلزالية بوثوقية وجعلها بعدها الأدنى. إن تضمين المعطيات التجريبية مقداراً ضئيلاً من تجارب EGS جيدة المراقبة، سيؤدي إلى صياغة نماذج ضعيفة. لقد تبنت الهيئة الأوروبية خطة مشروع طوارئ متكاملة للهندسة الجيولوجية ذات النشاط الزلزالي المحرض في الخزانات (GEISER)، وذلك لتحسين المعرفة الأساسية، واقتراح إجراءات وتشريعات من أجل استغلال الطاقة الجيولوجية في المستقبل. ومع ذلك، فقد كان من المتوقع افتتاح العديد من مشاريع EGS خلال سنوات تسبق تقديم مشروع GEISER نتائج مفيدة.

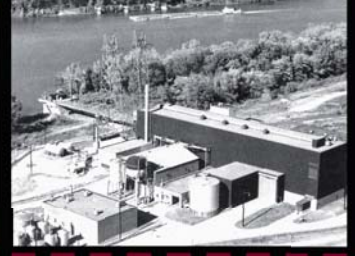
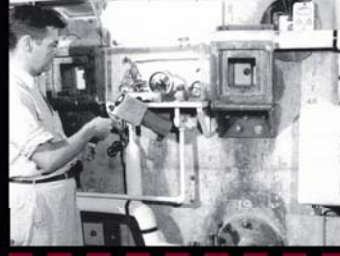
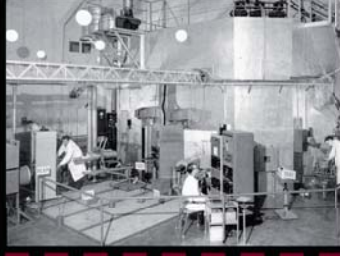
ومن المتوقع أن يكون لبرنامج بازل تأثير كبير على كلفة الضمان لمشاريع مستقبلية ترتبط بالنشاط الزلزالي المحرّض. وقد وصلت الخسارة المعلن عنها في برنامج بازل إلى أكثر من تسعة ملايين دولار، وهي ضريبة عالية لزلازل محلي من مرتبة 3.4. (علماً أنه من الصعب قول ذلك بشكل قطعي، لأنه لم يسبق أن جمعت المعطيات المتعلقة بأضرار صغيرة ليست بنوية ناتجة عن زلازل في الماضي وبشكل مفهوم).

لم يسبق أن وصل الضرر في كل مبنى إلى 10% بالنسبة للأماكن الخاصة التي عادة ما تطبق كنسبة محسومة بقوانين الضمان. ومن أجل حدث طبيعي، يتم تغطية الضرر من قبل المالكين، ولكن من أجل حدث من صنع الإنسان تتحمل شركات الضمان كامل التكلفة.

سيفتح هذا الأمر بالطبع موضوعاً صعباً. كيف نعالج زلزالاً من مرتبة 5.5 يضرب بازل في ثلاثين سنة قادمة مثلاً؟ هل نستطيع البرهان فيما إذا كان هذا الزلزال طبيعياً أم لا؟ من هو الذي سيغطي الخسارة؟

سيصرف الجمهور بغضب إذا لاحظ أن مشكلة معروفة تم إخفاؤها. وأكثر من ذلك، فإن الزلازل وبدون شك تولد رعباً. إن إيقاظ الرعب النائم والكامن في العمق هو تحويل للعديد من أفلام الرعب والهلع على أنها حقيقية، وهنا يكمن كل المعنى الحقيقي كاملاً.

نشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol. 462, 17 December, 2009 .
ترجمة د. جمال أصفهاني، هيئة الطاقة الذرية السورية.



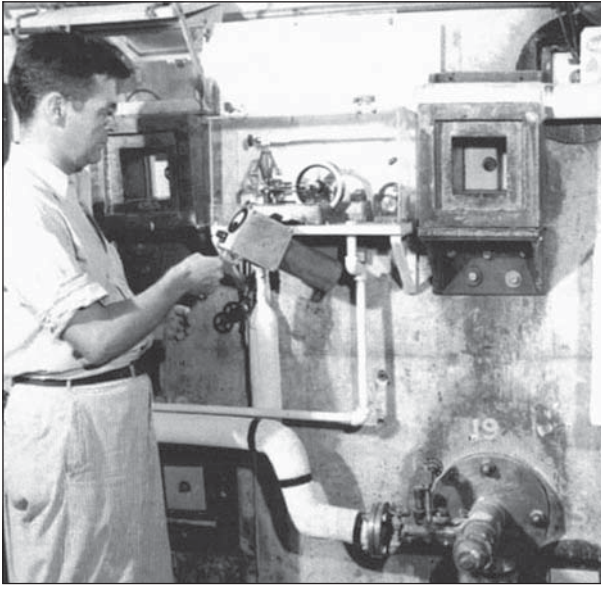
معالم في تطوير الطاقة النووية

«إن جمع «بدايات» الصناعة النووية في كتاب واحد سيعطي صورة أكثر كمالاً عن كيفية وصول الصناعة إلى ما هي عليه اليوم.»

الكلمات المفتاحية: طاقة نووية، انشطار نووي،
مفاعلات الماء الثقيل، نفايات نووية.

في عام 1989 حضرتُ مؤتمرين للاحتفال بالذكرى الخمسين
لانشطار النووي (واحد في لينينغراد وآخر في العاصمة
واشنطن، برعاية الجمعية النووية الأمريكية والمعهد الوطني
للمعايير والتقانة). وفي تشرين الثاني/نوفمبر عام 1992، انعقد
مؤتمر دولي برعاية ANS/ENS بمناسبة مرور «خمسون عاماً

منذ عامين خطر لي أنني حضرت في السنوات العشرين
الأخيرة مؤتمرات وقرأت مقالات حول الذكرى السنوية لمرور
خمسين عاماً في المجال النووي. وعندما بدأت بتصنيفها
أدركت أنه كان لدي بدايات لسلسلة من المعالم حول تطور
الطاقة النووية.



إن مضاعل أوكر يدج كرافيت هو أول مضاعل تم تصميمه وبنائه للعمل المتواصل.

«Milestones on the Road to Nuclear Power Development» والذي ستنشره في وقت لاحق من هذا العام الجمعية النووية الأمريكية.

ومع أن مقالة قصيرة لا تستطيع أن تغطي بشكل كامل معالم المراحل الزمنية لتطور الطاقة النووية، غير أنها من الممكن أن تعطينا شعوراً ما عن مقدار ما حدث في الأيام الأولى لتطور الطاقة النووية، وكم من المشاريع المختلفة التي ساعدت على وضع حجر الأساس للصناعة كما نعرفها اليوم.

من الانشطار الأول إلى الكهرباء الأولى (1942-1951)

ارتبطت وبشكل معقد بدايات الطاقة النووية بتطور الأسلحة النووية خلال الحرب العالمية الثانية. هذا، ولن يشك أحد أن السرعة التي تطورت بها هذه التقانة، ومجال النشاطات التي مورست بالتوازي، وعدد المختبرات الجديدة التي أفتتحت في الولايات المتحدة، لم تكن لتنشأ لمشروع تطوير الطاقة في وقت السلم. ورغم ذلك، كنت متأثراً عندما راجعت عدد التطورات التي حدثت في فترة تسع سنوات فقط. وأصبح من الواضح بالنسبة لي أنه أثناء بداية فترة التطور، تمكن الناس من رؤية ما يتضمنه برنامج الأسلحة من تطبيقات أخرى.

على التفاعل النووي المتسلسل المسيطر عليه». وحدث خاص آخر في الاجتماع الشتوي للجمعية النووية الأمريكية (ANS) في تشرين الثاني/نوفمبر عام 2001 بمناسبة حلول الذكرى السنوية الخمسين لتوليد الكهرباء من الذرة. وأخيراً الاحتفال بمرور الخمسين عاماً الأولى للجمعية النووية الأمريكية خلال اجتماعها السنوي في حزيران/يونيو عام 2004.

كما أنني أعرف أيضاً أنه عُقد مؤتمر في موسكو عام 2004 لإحياء الذكرى السنوية الخمسين لاستعمال الطاقة النووية لتزويد عامة الناس بالكهرباء. وفي العام 2007 قرأت مقالات عديدة تحتفل بالذكرى الخمسين للاستخدام التجاري للطاقة النووية. وفي العام 2008 احتفلت مدرستي الأم (معهد ماساشوسيتس للتقانة) مع العديد من أقسام الهندسة النووية في الجامعات الأخرى بالذكرى السنوية الخمسين. وفي العام 2009 احتفلت الأخبار النووية (ANS's Nuclear News) بذكرها السنوية الخمسين.

من الواضح أن بعض المعالم كانت مفقودة. إذ لم تنتقل الصناعة من التفاعل المتسلسل الأول المسيطر عليه إلى المفاعل التجاري من خلال خطوتين فقط. ومثل العديد من الناس، كانت لدي فكرة غامضة عن بعض الخطوات الوسيطة، لكن بالتأكيد لم تكن لدي صورة كاملة. عندما بدأت بالكلام مع زملائي الذين يعملون في المختبرات الوطنية المختلفة بالإضافة إلى مواقع أخرى عديدة، أدركت أن العديد منهم يعلمون بالتطورات التي حصلت في مواقع عملهم، ولكنهم لا يعلمون بما يحدث في مواقع أخرى. حتى هؤلاء الذين عملوا على بعض المشاريع في المراحل الأولى، لم يكن من الضروري أن يكونوا على علم بكل الأعمال القائمة. ويعود ذلك، جزئياً، إلى أن معظم العمل في المراحل الأولى كان سرياً. بالإضافة إلى ذلك، تمّ تنفيذ العمل في مواقع عديدة من البلاد، إذ تمّ اكتشاف عدد من التقانات المختلفة والمفاهيم، وكانت هذه التطورات تحدث بسرعة كبيرة.

هذا، وكنت قد بدأت بجمع مواد إخبارية تتعلق بالذكرى السنوية الخمسين ثم الذكرى السنوية الستين، ومقالات حول بدايات أنواع النماذج المختلفة للمفاعلات، والأجزاء المختلفة لدورة الوقود النووي، بالإضافة إلى التطورات المرتبطة بها. من ناحية أخرى، خطر لي أن هذه المعلومات عن «البدايات» يمكن أن تشكل موضوعاً جيداً لكتاب. وهكذا تمّ تأليف كتاب «البدايات النووية Nuclear firsts»: معالم على طريق تطور الطاقة النووية

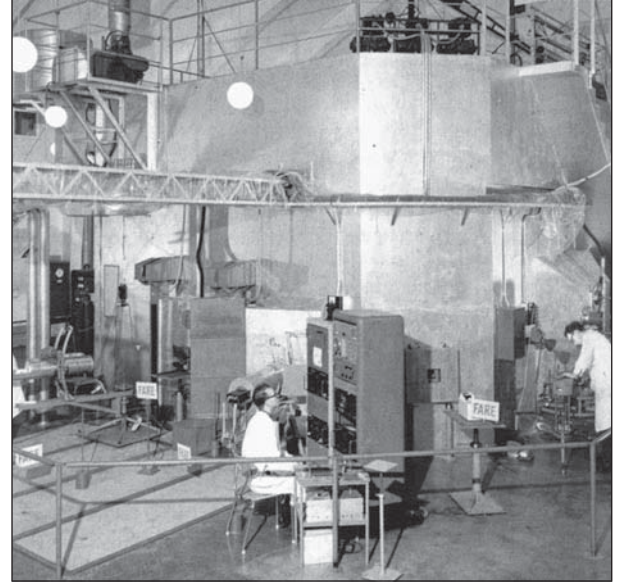
مثل الماء الثقيل والمعادن السائلة وكذلك مفاعلات الماء الخفيف اللامتماثل.

حالما انتهت الحرب، بدأ الباحثون بتطوير تطبيقات أخرى في التقانة النووية، وأول هذه التطبيقات كان في استخدام مفاعل غرافيت أوك ريدج لإنتاج النظائر المشعة الطبية ولاحقاً النظائر المشعة الصناعية. وفي مختبر بروك هافين الوطني قام الباحثون باستخدام المفاعل في العلاج الطبي بالحزم النترونية.

وبالطبع، لم تكن الولايات المتحدة وحدها المهتمة بالتقانة النووية، في مجالي الأسلحة والأغراض السلمية. إن أوائل الدول التي دخلت في مجال العمل النووي بعد الولايات المتحدة، هي وبدون أدنى شك تلك الدول التي ساهمت بالعمل في برامج تطوير الأسلحة. ومن بين هذه البلدان كندا والمملكة المتحدة اللتان عملتا مع الولايات المتحدة في مشروع مانهاتن، وكانت روسيا تسعى لبرنامج تطوير أسلحة مستقل، وكانت لدى فرنسا جهود أولية في تطوير الأسلحة والتي تم تأجيلها نظراً لوقوعها تحت الاحتلال أثناء الحرب. كل هذه الدول بدأت بتشغيل منشآت المفاعلات التجريبية قبل عام 1950.

والمدهش أكثر أن العديد من الدول غير النووية أصبحت مهتمة وبشكل مبكر بالطاقة النووية، وبشكل خاص قبل عدة أشهر من إثبات إمكانية توليد الكهرباء في أركو بولاية إيداهو، إذ كانت كل من النرويج وألمانيا تتعاونان على إنشاء برنامج مفاعل، وكان أول مفاعل لهما قد وصل الحرجية في النرويج.

إضافة إلى ذلك، فقد تم تأسيس العديد من المعاهد الشهيرة في هذه الفترة المبكرة والتي ركزت على التقانة النووية. كانت فرنسا في عام 1945 السبّاقة بتأسيس هيئة حكومية نووية مدنية (هيئة الطاقة الذرية الفرنسية)، وهي مكرّسة لتطوير التقانة النووية. وبعد أكثر من سنة أنشأت الولايات المتحدة هيئة الطاقة الذرية الأمريكية. كان لدى هذه الهيئات مهمّات مزدوجة، لكن مؤسساتهم نقلت البرامج التقنية من القطاع العسكري إلى القطاع المدني. وفي الوقت نفسه، بدأت الجامعات بتقديم مقررات ومن ثم برامج وشهادات في هذه التقانة الجديدة. وكانت هذه الدورات في البداية للموظفين الحكوميين. وفي الحقيقة، بعض المقررات الأولية كانت سرية، لكن هذه القيود لم تدم طويلاً.



إن مفاعل جيب-1 (منشأة المفاعل التجريبي المشترك) والذي أنجز في تموز/يوليو عام 1951، كان نتيجة للتعاون بين النرويج وهولندا (الصورة: معهد تقانة الطاقة، النرويج)

خلال سنة بعد أول تجريب للانشطار المسيطر عليه في مفاعل شيكاغو بايل-1 (Chicago Pile-1) في ستاك فيلد في جامعة شيكاغو، تم إنشاء مفاعل ثانٍ أكبر باسم مفاعل «أوك ريدج كرافيت»، ووضع قيد التشغيل. وبعد أقل من سنة من ذلك، بني مفاعل أكبر بكثير هو «هانفورد ب Hanford B» ووضع في التشغيل في موقع هانفورد. وفي الوقت نفسه الذي كان يتم فيه بناء مفاعل هانفورد B كان العلماء يتابعون طرائق عديدة متوازنة لتطوير تقنيات كل من التخصيب وإعادة المعالجة. هذا، وقد تم اختبار طريقتي فصل البلوتونيوم على مقياس مخبري في مختبر أوك ريدج الوطني، وباستخدام إحدى هاتين الطريقتين تم بناء منشأة كبيرة في هانفورد. بُنيت على النمط نفسه منشآت تجريبية في أوك ريدج من أجل تطبيق طرائق تخصيب عديدة، تؤدي إلى بناء منشأة التخصيب بالانتشار الغازي K-25 في أوك ريدج، التي كانت في حينها البنية الإنشائية الأكبر في العالم.

إن الأمر الذي لم يقدّر في حينه بشكل جيد هو أنه تم في الوقت نفسه استكشاف عدد من تقانات المفاعلات المختلفة. وبما أن اليورانيوم المخصّب والبلوتونيوم أصبحا متوفرين، فإن باستطاعة الباحثين أن يتوّعوا في تصاميم الغرافيت الأصلية وأن يتفحصوا مفاهيم المفاعلات التي تعمل على الموائع المتجانسة،



كان مصنع أوبننسك بالقرب من موسكو، روسيا، أول مصنع للطاقة النووية
يوصل بشبكة الكهرباء لتزويد أماكن السكن والعمل بالطاقة.

النووي، وخاصة في السجلات الأمريكية. في هذه الحالة كان مفاعل كالدر هول بالأساس هو مفاعل إنتاج. كانت الكهرباء تولد فيه كمنتج ثانوي من الحرارة الضائعة في المصنع. ولذلك فإنه يبقى صحيحاً أن مفاعل شيبينغ بورت كان أول مفاعل كبير للتزود بالطاقة الكهربائية التجارية، وقد أنشئ بالكامل لأغراض سلمية.

حتى في الولايات المتحدة، لم يُعرف على الأغلب أن أربعة مفاعلات طاقة صغيرة على الأقل قد دخلت ميدان التشغيل في العام الذي سبق بدء العمل بمفاعل شيبينغ بورت. وعلى الرغم من أن ثلاثة من هذه المفاعلات حكومية والرابع كان ملكية خاصة، إلا أن هذا الأخير تمكن من الحصول على رخصة مفاعل طاقة. كل هذه المفاعلات الأربعة تعتبر صغيرة وغالباً ما تهمل في النقاشات التاريخية بسبب افتتاح محطة شيبينغ بورت أكثر المحطات ضخامة بالفترة الزمنية نفسها. وأيضاً بسبب صغر استطاعتها، فإن هذه المفاعلات لا تدرج في الجداول التي تصنف مفاعلات الطاقة.

تنامي تطبيقات الطاقة النووية (1957-1965)

في الوقت الذي بدأت به شيبينغ بورت العمل في عام 1957، انتشر الاهتمام بالطاقة النووية بين البلدان المهتمة بتطوير

ربما كان الاكتشاف الأكثر إثارة والذي قمت به هو أن التجربة الأولى لتوليد الكهرباء من الطاقة النووية والتي أجريت في أوك ريدج كانت قبل ثلاث سنوات من توليد الكهرباء بالمفاعل الولود التجريبي (EBR-I) في إيداهو، وهذا ليس سراً. ورغم أن المعلومة على الموقع الإلكتروني لأوك ريدج لكنها لا تبدو أنها معروفة بشكل جيد. في الحقيقة، من الصعب نوعاً ما إثبات تاريخ محدد لهذا الحدث. كانت كمية الكهرباء المولدة ضئيلة جداً (أقل من واط). وكما يبدو فإن هذه الحادثة لم يعلن عنها في حينها، كما أنه لم يتم تكرارها. وربما يعود سبب ذلك إلى أن كمية الكهرباء المولدة لم تكن على مستوى عملي ولم تقدم أي مؤشر لرؤية مستقبلية، لذا حُكم على هذه الحادثة بالغموض النسبي.

لا يمكن لهذه التجربة الصغيرة ولا بأية طريقة أن تكون معلماً بدلاً عن تجربة المفاعل EBR-I في بيان إمكانية توليد الكهرباء بمستويات عملية. لقد كان ذلك بالنسبة لي إثباتاً واضحاً أن معظمنا لا يعرف القصة كاملة.

تم استخدام مفاعل BORAX-III لتزويد مدينة أركو- إيداهو بالطاقة في عام 1955. في الحقيقة، قام الاتحاد السوفيتي بتوليد الكهرباء من مفاعل قبل أكثر من سنة من تجربة أركو. هذا، وقد بدأ مفاعل في معهد للفيزياء وهندسة الطاقة بتزويد منطقة أوبننسك بالكهرباء على أساس روتيني في عام 1954. وعلى نحو مغاير، فإن تجربة أركو كانت تقدم الكهرباء في منتصف الليل عندما يكون الطلب عليها منخفضاً ولمدة ساعة واحدة فقط. وعلى الرغم من أن الإنجاز الروسي أصبح معروفاً جداً الآن، تصر القصة على أن أركو تعتبر أول مدينة في العالم تمت إنارتها بالكهرباء من الطاقة النووية. إن ما هو حقيقي في الأمر هو أنها تُعتبر بالفعل أول مدينة من الناحية التقنية، فقد أنيرت بنسبة مئة بالمئة بالطاقة النووية. ويبدو أيضاً أن إنجاز الاتحاد السوفيتي لم يُعلن عنه على نحو واسع. أما الأمريكيون فكانوا قادرين على أن يدلوا بتصريح كبير حول إنجاز الولايات المتحدة في مؤتمر عالمي بعد شهر من تلك الحادثة.

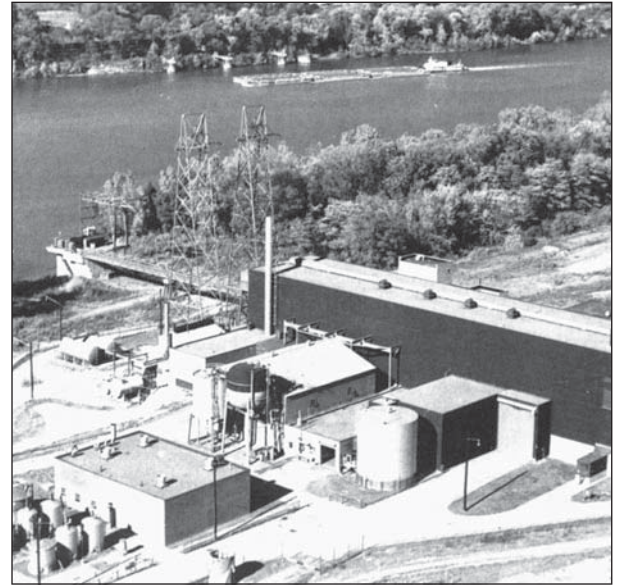
ويطريقة مماثلة، بدأت المملكة المتحدة بتشغيل مفاعل كبير في كالدر هول (Calder Hall) بعد عام من تجربة أركو وقبل أكثر من عامين من انطلاق مفاعل شيبينغ بورت (Shipping Port). ويبدو أن هذا الإنجاز قد تم تجاهله في سجلات التاريخ

بحثية، لكن في الولايات المتحدة وفي حالات عديدة، تم إنشاء محطات الطاقة التجريبية لاختبار التقانات المبتكرة. أنشئت هذه التقانات كجزء من برنامج تجريب مفاعل الطاقة في هيئة الطاقة الأمريكية. إن العديد من منشآت الطاقة النووية التي بنيت ضمن هذا البرنامج أخرج من الخدمة وهي كالتالي:

- ▶ Yankee-Rowe, Rowe, Mass., a 175-MWe PWR.
- ▶ Fermi-1, Monroe, Mich., a 61-MWe LMFBR
- ▶ Hallam, Hallam, Nebr., a 75-MWe liquid-metal graphite reactor.
- ▶ Piqua, Piqua, Ohio, a 12-MWe organic reactor.
- ▶ Elk River, Elk River, Minn., a 23-MWe super-heated BWR.
- ▶ Pathfinder, Sioxc Falls, S.D., a 59-MWe super-heated BWR.
- ▶ Carolinas-Virginia Tube Reactor, Parr, S.C., a 17-MWe PHWR.
- ▶ Peach Botton-1, Delta, Pa., a 40-MWe HTGR.
- ▶ BONUS, Rincon, Puerto Rico, a 72-MWe BWR.
- ▶ La Crosse, Genoa, Wis., a 50-MWe BWR.
- ▶ Big Rock Point, Chaleviox, Mich., a 67-MWe BWR.
- ▶ San Onofre-1, San Clemente, Calif., a 436-MWe PWR.
- ▶ Connecticut Yankee Haddam Neck, Haddam Neck, Conn., a 582-MWe PWR.

لقد تم إدراج هذه المنشآت في الكتاب المعد، لكن لا تُعدُّ كلها من أعمال البدايات، كما لم يتم شرح عنها كلها. بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض مؤسسات الكهرباء والمستثمرين كانوا على قناعة بأن الطاقة النووية منافسة في سوق توليد الكهرباء فقاموا ببناء مفاعلات بدون دعم حكومي، وأصبح Dresden أول مصنع للطاقة النووية ممول تمويلًا خاصاً دخل في مجال التشغيل في الولايات المتحدة.

ازداد استعمال المفاعلات النووية لتوليد الكهرباء خارج حدود الولايات المتحدة. فقد بنت كندا منشآتها النووية الأولى الخاصة بها. بالإضافة إلى ذلك، قامت ثلاث دول أوروبية لم تكن قد دخلت مجال تطوير الأسلحة بإنشاء مصانع الطاقة النووية الأولى الخاصة بها.



كانت محطة شيبينغ بورت في بنسلفانيا أول محطة للطاقة النووية لتوليد الكهرباء التجارية على نطاق واسع ولاغراض سلمية.

الأسلحة. هذا، وقد بدأت برامج بحث دولية عديدة على مدى السنوات القليلة اللاحقة: اثنان منها كانا في بلجيكا والنرويج، وهي بلدان لم تكن قد دخلت بعد بمساعي تطوير الأسلحة. كانت هذه البرامج، والتي بدأت بنهاية الخمسينيات، أوروبية، ولكن واحداً منها -مشروع هالدين Halden الذي كان في النرويج- وسَّع عضويته في بداية الستينيات ليضم الولايات المتحدة، ليصبح بذلك وبشكل فعلي مشروعاً دولياً (أي امتد إلى ما بعد حدود أوروبية). وبشكل خاص، ظل مشروع هالدين نشطاً إلى أكثر من خمسين عاماً بعد انطلاقه. واستخدم مشروع هالدين تقانة مبتكرة هي تصميم مفاعل الماء الثقيل المغلي.

وخلال هذه الفترة، ظهرت تقانات لمفاعلات جديدة أخرى، تتضمن المفاعل الأول للنوع المغلي ذي الحرارة العالية المبرد بالغاز (HTGR) والمفاعلات المهدئة والمبردة بمواد عضوية. (إن بداية تقانات مفاعلات الأملاح المصهورة غالباً ما ساهمت في تجربة مفاعل الأملاح المصهورة «Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)» التي وُضعت قيد التشغيل خلال هذه الفترة، لكن في الحقيقة، تمَّ تشغيل مفاعل ملح منصهر تجريبي آخر قبل MSRE. معظم هذه المفاعلات كانت منشآت

المفاعل الولود السريع بالمعدن السائل، ومفاعل الماء الثقيل المضغوط، ومفاعل الحرارة العالية المبرّد بالغاز. وأيضاً تمّ تشغيل مفاعل الماء الثقيل المبرّد بالغاز. واستخدمت تجارب للتحقق من مفهوم مفاعل طبقة الوقود الحصى، وتمّ اختبار مفاعل شيبينغ بورت ضمن ترتيبات المفاعل الولود الذي يستخدم الماء الخفيف.

كانت الولايات المتحدة تستخدم مفاعلات صغيرة في مواقع عديدة حول العالم، أحدها في القارة القطبية الجنوبية الذي كان أول تجربة لتحلية المياه باستخدام مفاعل نووي، كما نذكر مفاعلاً آخر في قناة باناما حيث كان أول مفاعل عائِم. لقد استخدمت الطاقة النووية للتحلية وتمّ استثمارها تجارياً، وما تزال تستخدم حتى يومنا هذا في بعض أجزاء من العالم. هذا، ويحظى مبدأ المفاعل العائم باهتمام متجدّد في روسيا.

وإضافة إلى ذلك، بدأت عمليات إعادة معالجة الوقود في مفاعلات الطاقة المدنية. وتمّ إجراء أعمال كبيرة للتخلص من النفايات النووية أثناء هذه الفترة. ظهر أول مدفن للنفايات ذات السوية الإشعاعية المنخفضة بشكل فعلي في أواخر الخمسينيات، تبعها ظهور مدافن النفايات السطحية المنخفضة السوية الإشعاعية. وعلى أي حال، فإن استخدام مدافن تحت الأرض للنفايات النووية لم يبدأ حتى أواخر الستينيات، إذ قامت منشآت عديدة بزيادة أنواع النفايات المخترنة في مثل هذه المدافن.

بالرغم من استئثار الولايات المتحدة برخص المفاعلات، وهو أمر يستحق الذكر، فقد تمّ استصدار تجديرات رخصة مفاعل الطاقة الأول بدءاً من كالفرت كليفس في العام 2000. وفي العام 2009 أصبح أويستر غريك أول مصنع يعمل تحت رخصة مجدّدة.

التحدي والمفاجآت

أثبت استكشاف تاريخ الطاقة النووية أنه تحدٍّ ممتع، وقدم لي عدداً من المفاجآت. وملخص ما سبق يقدم فقط فكرة أولية.

وكانت أكبر مفاجأة بالنسبة لي هي اكتشاف بضع حقائق صغيرة، بدت لي مجهولة نسبياً، مثل المحاولات الأولى الضئيلة لإنتاج الكهرباء من مفاعل غرافيت في أوك ريدج. والمفاجأة

استمر العمل على تطبيقات أخرى للطاقة النووية. إذ قامت روسيا ببناء أول سفينة تُزود بالطاقة من مفاعل نووي، وكانت سفينة مدنية كاسحة للجليد، وبعد ذلك بفترة قصيرة ظهرت أنواع عديدة لسفن بحرية عسكرية تُزود بالطاقة النووية.

وفي الوقت الذي كانت تنمو فيه الطاقة النووية، كان مجال غزو الفضاء يتطور أيضاً، وترافق ذلك مع الصواريخ البعيدة المدى المتطورة والأقمار الصناعية الأولى التي سمحت ببدء استكشاف الفضاء. ربما كان من الطبيعي إيجاد أرضية مشتركة لهذين المجالين. إذ بدأت الولايات المتحدة بمشروع لتطوير صاروخ يعمل بالطاقة النووية. وعلى الرغم من أن البرنامج قد ألغى لاحقاً، فإنه تمّ تطوير عدد من المفاعلات التجريبية لإثبات ذلك المبدأ. وبالتوازي، تمّ بذل جهود كبيرة لتطوير مفاعلات يمكن أن تزودنا بمستويات من الطاقة المناسبة اللازمة لدوران المركبات الفضائية حول الأرض. ورغم أن مستويات الطاقة لم تشكل عائقاً، غير أن قيود الوزن كانت هي المشكلة. بالإضافة إلى احتياجنا لمفاعلات أخف وزناً، فإن تطبيقات الأقمار الصناعية تتطلب أيضاً تطوير تحويل حرارة المفاعل مباشرة إلى كهرباء. أطلقت الولايات المتحدة قمراً صناعياً يعمل بمثل هذا النظام قبل إلغاء برنامجها. على أي حال، أطلق الروس عدداً من هذه الأقمار الصناعية.

نضوج هذه الصناعة (1966-2009)

في أواسط ستينيات القرن الماضي، تمّ تشغيل عدد من منشآت الطاقة النووية حول العالم، واعتبرت هذه التقانة النووية ناضجة نسبياً. ولذلك لم يكن مفاجئاً أن معدل «البدائيات» الجديدة بدأ بالتباطؤ. مع ذلك، ورغم وقوع الحوادث التي حصلت في ثري ماييل آيلاند وتشرونوبل، فإن تطوراً أساسياً تحقق في مجالات عديدة، وحديثاً تمّ إنعاش التقدم على عدد من الجبهات:

أولاً، انتشر استخدام الطاقة النووية إلى ما بعد أمريكا الشمالية وأوروبا وروسيا، بالتوازي مع بداية مشاريع منشآت نووية في آسيا، وأمريكا الجنوبية وأفريقيا.

ثانياً، استمرت أنواع جديدة من المفاعلات بالتطور واستعملت لتوليد الكهرباء. ودخل في الخدمة منها أول نموذج متكامل من

الثانية كانت أن تحديد هوية البدايات لم تكن جليّة وواضحة كما اعتقدت أنها ستكون. والأسئلة التالية كانت من بين الأسئلة التي تمسكتُ بها:

❖ ما هي أهمية هذه البدايات إذا بقيت سراً في ذلك الوقت؟ من المحتمل أن البدايات المنشورة هي التي أسرت التخيلات ودفعت نحو التقدم الأكبر.

❖ ما هي قيمة البداية في حال لم يكن هناك تطور أكبر لتلك التقانة الخاصة؟ هل يمكن لشيء ما أن يكون أولاً إذا لم يكن هناك شيء ثانياً؟

❖ كلِّ مفاعل بحث قدم مساهمات فريدة في تطوير فهمنا، فهل ذلك يجعل كل واحد من مئات المفاعلات والتي تمَّ إنشاؤها هو البداية؟

❖ تمَّ اختبار مفاعلات بحثية بصفيف غير منتظم من الوقود والمبردات والمهدئات مع تشكيلات ومزائج مختلفة لكل منها. هل كل واحد من هذه المفاعلات هو البداية؟

❖ كم من التغيّر يجب أن يُجرى على المفاعلات السابقة بحيث يمكن اعتبار المفاعل هو الأول من نوعه؟ وتذكّرتُ تصريحاً يُعتقد أنه يعود للرئيس السابق للـ NRC إيفان سيلين: «في فرنسا يوجد 365 نوعاً للجينة ونوع واحد للمفاعلات، أما في الولايات المتحدة فإن الوضع معاكس لذلك». فهل كلِّ مفاعل من المفاعلات المختلفة في الولايات المتحدة يمكن اعتباره البداية؟

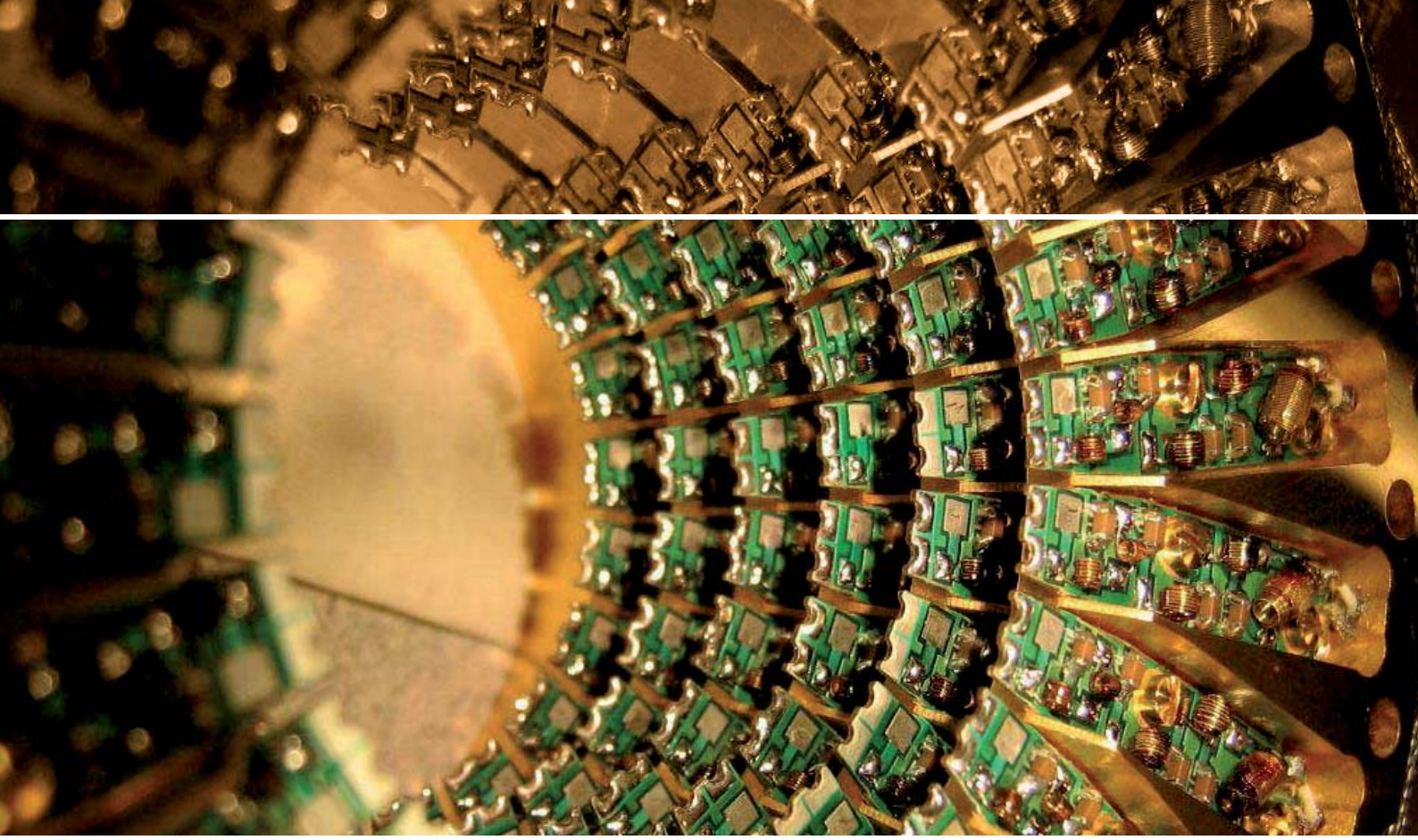
❖ هل أُعرّف نشاطات البدايات أنها التي بدأت ولكنها لم تكتمل بعد؟ أتمنى أن يبنينا كتاب مستقبلي عن بدايات مفاعل التوليد الأول (مفاعل III+) وعن افتتاح أول مكبّ للنفايات العالية السوية الإشعاعية، ولكني في كتابي اخترتُ أن لا أصنّف خطة أو مشروع بناءً قائمٌ كبداية.

بدأت هذه الأسئلة فلسفية بشكل غريب بالنسبة لكتاب حول موضوع تقني. حاولت أن أوجه سياقاً وسطياً وأن أختار البدايات التي أعتقد أن معظم الناس سيوافقون على أنها مميزة لسبب أو لآخر. مما لا شك فيه أن هناك أناساً لن يوافقوا على بعض البدايات التي تطرقت إليها، كما أن آخرين لن يتفقوا على بعض البدايات التي أغفلتها. وحاولت أيضاً تغطية مواد تدعوها مصادر أخرى بالبدايات، ولأوضح بأي مفهوم أنها كانت

أو لم تكن بدايات. وعلى الرغم من بحثي الشامل، أعرف أنني ربما أهملت بعض الأشياء. أنا أدرك السرية الأصلية المحيطة بالنشاطات النووية، وأن مرور الوقت قد جعل من الصعب إثبات بعض التفاصيل المتعلقة بالمفاعلات المبكرة، وربما حجبت أشياء تستحق الذكر.

وعلى الرغم من ذلك، أعتقد أن الكتاب نجح بشكل كبير، ولأول مرة، في جمع قصة تطور الطاقة النووية بدلالة خطوات ومعالم زمنية حدثت بين التجربة الأولى للانشطار المسيطر عليه و439 مفاعلاً في ثلاثين بلداً تعمل اليوم وتندرج في القائمة العالمية لمنشآت الطاقة النووية في هذا المجال. لقد وجدت قصة ممتعة وأتمنى أن يجدها الآخرون كذلك.

نُشر هذا المقال في مجلة Nuclear News, March 2010، ترجمة نسرين شحادة، هيئة الطاقة الذرية السورية.



تصنيع الحواسيب الكمومية

الكلمات المفتاحية:

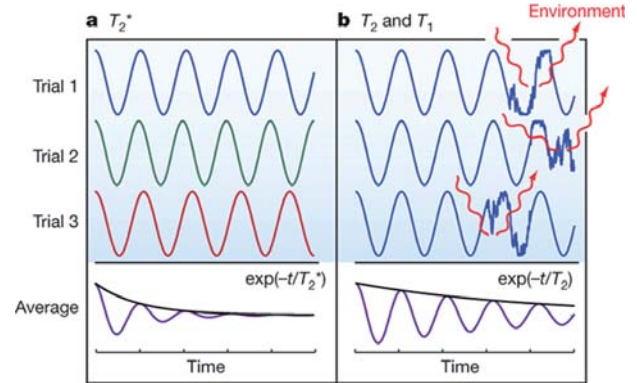
حواسيب كمومية، بنية كمومية، بتات كمومية من ذرات مأسورة، فوتونات، بتات كمومية من نقاط كمومية، نواقل فائقة، بتات كمومية من طعوم صلبة، تصحيح الخطأ الكمومي.

ظهر علم المعلومات الكمومية في غضون العقود العديدة الماضية ليبحت عن أجوبة للسؤال التالي: هل نستطيع أن نجني بعض الفوائد عن طريق خزن وإرسال ومعالجة معلومة مكوّدة في منظومات تبدي خصائص كمومية فريدة؟ لقد بات معلوماً اليوم أن الجواب هو نعم، وهناك مجموعات بحث عديدة منتشرة في كل أنحاء العالم تعمل للوصول إلى الهدف التقني الطموح جداً وهو بناء حاسوب كمومي، الذي سوف يحسّن بصورة مثيرة القدرة الحاسوبية للقيام بمهام خاصة. هناك العديد من المنظومات الفيزيائية، تشمل الكثير من جوانب الفيزياء الحديثة، يجري تطويرها من أجل الحوسبة الكمومية. ولكن يبقى من غير الواضح أي تقانة، إن وجدت، ستبرهن في النهاية على نجاحها. نصف في هذا المقال آخر التطورات لكل من المقاربات الرئيسية ونفسر التحديات الكبرى المنتظرة في المستقبل.

الكمومية للجسيمات العديدة كي تحلّ مسألة حسابية. يمكن توضيح أسلوب التطوير في الحواسيب الكمومية بالمقارنة بتقانة

حمل العقد الماضي تقدماً هائلاً في التطوير التجريبي لحاسوب كمومي: وهو آلة يمكن أن تستغل التعقيد الخصب للدالة الموجية

1 إزاحة الطور وإزالة الترابط.



a، هزازة بتواتر متغير بالتجربة، كما هو مبين بالأمواج الملونة المختلفة، متوسطها اهتزازة تتضائل بمقياس زمني T_2^* مُزيج للطور ظاهري. **b**، هزازة كمومية تتأثر مع الوسط ذات ارتدادات طورية في تجربة واحدة؛ هذه هي العمليات التي تُضرب بالترابط في الحساب الكمومي، وتؤدي إلى عملية تضائل وسطي ذي مقياس زمني T_2 . عمليات الموازنة متماثلة، وتسبب تضائلاً على مقياس الزمن $T_1 \geq T_2/2$.

للحواسيب الكمومية المعتدلة الحجم أن تؤدي ما تؤديه الحواسيب الفائقة التقليدية في حل بعض المسائل الخاصة ذات الأهمية بالنسبة لتعمية المعطيات data encryption. وعلى المدى البعيد، يوجد تطبيق آخر قد يكون له تأثير تقاني أعلى: لقد اقترح فاينمان في ثمانينيات القرن الماضي استعمال الحواسيب الكمومية من أجل محاكاة كفاءة للمنظومات الكمومية. سيلعب الميكانيك الكمومي دوراً أكثر أهمية في سلوك العديد من الأشكال المنبثقة عن التقانة النانوية الاصطناعية، وفي فهمنا للآلات النانوية للجزيئات البيولوجية. إن هندسة الأشياء الفائقة الصغر ultra small ستستمر في تحسين عالمنا وتغييره في العقود القادمة، وعندما يحدث هذا قد نستعمل الحواسيب الكمومية لفهم وهندسة مثل هذه التقانة على المستوى الذري.

إن أبحاث المعلومات الكمومية واعدة أيضاً أكثر من الحواسيب. فتقانة مماثلة تسمح بالاتصالات الكمومية، التي تمكن من المشاركة بالأسرار بأمان تضمنه قوانين الفيزياء، كما أنها تسمح أيضاً بنظام قياس كمومي، يمكن فيه قياس البعد (المسافة) والزمن بدقة أعلى مما هو ممكن بوسائل أخرى. ربما لم يتم بعد تخيل السلسلة الكاملة للتقانات المحتملة، ولن يحدث ذلك حتى يتوفر للأجيال القادمة من المهندسين الكموميين عتاد حاسوبي hardware حقيقي للمعلومات الكمومية.

لن نتناول في هذه المراجعة برمجيات الحوسبة الكمومية. quantum computing software والسؤال المركزي في هذه المراجعة هو عن الشكل الذي سيأخذه «العتاد الحاسوبي» الكمومي quantum hardware، ولا توجد أجوبة بسيطة على هذا السؤال. هناك العديد من المواد الممكنة لعمل الليزر-فهناك البلورات، والجزيئات الصبغية العضوية، وأنصاف النواقل، والإلكترونات الحرة- وبالمثل هناك العديد من المواد قيد الدراسة لاستخدامها في الحواسيب الكمومية. غالباً ما يُخجل أن البتات الكمومية تُبنى من أصغر أشكال المادة، كأن تكون ذرة منعزلة، كما هو الحال في المصائد الأيونية والشبيكات الضوئية، ولكن بطريقة مماثلة يمكن جعلها أكبر بكثير من المكونات الإلكترونية الروتينية، كما في بعض منظومات الناقلية الفائقة. ليس هناك سوى بضع سمات مشتركة تربط معاً تنفيذ العتاد الحاسوبي المتنوع للحواسيب الكمومية قيد الدراسة، التي نصفها الآن.

متطلبات الحساب الكمومي

ربما يكون مطلب «الصندوق المغلق closed box» هو السمة الشاملة والأكثر حسماً للحواسيب الكمومية: فالتشغيل الداخلي internal operation للحواسيب الكمومية، في حين هو تحت سيطرة

كمومية مألوفة أكثر ألا وهي الليزر. فقبل اختراع الليزر كان لدينا خطوات متقدمة تقانياً في صنع الضوء: بدءاً من النار إلى القنديل وصولاً إلى المصباح الكهربائي. ولكن هذا الضوء كان دائماً غير مترابط حتى اكتشف الليزر، وهذا يعني أن الأمواج الكهرطيسية الكثيرة التي ولدها المنبع كانت تصدر في أزمنة عشوائية تماماً بالنسبة لبعضها بعضاً. بيد أن الآثار الكمومية، تسمح بتوليد هذه الأمواج وهي متفقة في الطور، وقد كان الليزر هو المنبع الضوئي الذي تمت هندسته كي يستغل هذا المفهوم. واليوم غدت الليزرزات أجهزة روتينية، ولكنها لا تحل محل المصابيح الكهربائية من أجل معظم التطبيقات. إن نوع الضوء المختلف الذي تصدره -وهو ضوء مترابط- مفيد في آلاف التطبيقات بدءاً من جراحة العين وصولاً إلى دُمى القطط، ومعظمها لم يكن ليخطر على بال أحد من فيزيائيي الليزر الأوائل. وبالمثل، فإن الحاسوب الكمومي لن يكون أسرع أو أكبر أو أصغر نسخة من حاسوب عادي. بل لن يكون سوى حاسوب من نوع مختلف، تمت هندسته كي يتحكم بالأمواج الكمومية المترابطة من أجل تطبيقات مختلفة.

المهمة التي يُضرب بها المثل للحواسيب الكمومية، والتي قدمت الحافز الأول لتطويرها، هي خوارزمية شور الكمومية Shor's quantum algorithm لتحليل الأعداد الكبيرة إلى عواملها الأولية. وهذه واحدة من بين خوارزميات كمومية عديدة والتي ستسمح

المبرمج، ينبغي أن يكون من ناحية أخرى معزولاً عن بقية العالم. يمكن لكميات قليلة من المعلومات المتسرّبة من الصندوق أن تشوش الأمواج الميكانيكية الكمومية الهشة التي يعتمد عليها الحاسوب الكمومي، وهذا يؤدي إلى عملية ميكانيكية كمومية هدامة تُعرف باسم عدم الترابط أو زوال الترابط decoherence.

هناك أشكال عديدة لعدم الترابط. فالأمواج الميكانيكية الكمومية -كالضوء الصادر عن ليزر، أو الاهتزازات التي تصدر عن مكونات الحواسيب الكمومية- تبدي ظواهر تداخل، لكن هذه الظواهر تختفي في المحاولات التجريبية المتكررة، لأن الأطوار لا تبقى مترابطة بعد زمن معين، بسبب وجود عمليات متنوعة. ففي قياس مجموعة من المجموعات، يؤدي إجراء تغييرات تجريبية في تواتر الهزارة إلى تخامد ظاهر في تداخل الأمواج في مدة زمنية تدعى T_2^* ، كما هو مبين في الشكل 1a. إن محاولة تجريبية واحدة لهزارة كمومية واحدة قد تحافظ على ترابطها الطوري لمدة زمنية أطول كثيراً من T_2^* . وفي النهاية، تضيف العمليات العشوائية أو تطرح طاقة من الهزارة، حاملة المنظومة إلى وضع التوازن الحراري في مدة زمنية تدعى T_1 . كما يمكن للعمليات أن «تستعير» طاقة من الوسط المحيط فقط، فتغيّر بذلك طور الهزارة، وبذلك تجعل الاهتزازات تتخامد في مدة زمنية تدعى T_2 ، كما هو مبين في الشكل 1b. إن $T_2 \leq 2T_1$ من حيث المبدأ، وفي معظم المنظومات يكون $T_1 \gg T_2$ ، التي تعني أن T_2 أكثر أهمية في الحساب الكمومي.

لا توجد منظومة خالية تماماً من عدم الترابط، لكن المقادير الصغيرة من عدم الترابط يمكن التخلص منها بواسطة تقنيات مختلفة تنضوي جميعها تحت اسم «تصحيح الخطأ الكمومي quantum error correction»، أو اختصاراً (QEC). وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تصحيح الأخطاء في الحواسيب الكمومية باستعمال موارد أخطاء منكفئة error-prone resources؛ أي يمكن جعلها تتحمل الأغلط fault-tolerant من أجل احتمالات خطأ قيمته دون عتبة حرجة تعتمد على عتاد الحاسوب، ومصادر الخطأ، والبروتوكولات المستعملة من أجل تصحيح الأخطاء الكمومية QEC. إن معظم الموارد المستعملة في الحاسوب الكمومي المتحمل للأغلط ستكون، من الناحية الواقعية، مناسبة لتصحيح أخطائه الخاصة به. إذا كانت الموارد الحسابية غير مقيدة، فعتبة تحمل الأغلط قد تكون عالية وتصل إلى 3%؛ في حين تكون القيم المخمّنة أصغر من ذلك بكثير وهي من رتبة 10^{-3} . تستعمل قيمة T_2 كتوصيف أولي لمنظومات كمومية عديدة، إذ إن عناصر حاسوب كمومي، عند حد أدنى ضئيل، ينبغي أن تُشغّل أسرع من T_2 كي تسمح بتحمل الأغلط. لكن أنواع

أخرى من الأخطاء ليست أقل أهمية، وغالباً ما تبدي المنظومات الكبيرة عمليات ضجيج متعاقبة ومتميزة عن عدم ترابط T_2 .

كان ديفينسِنزو DiVincenzo أول من أجرى توصيفاً مبكراً للمتطلبات الفيزيائية اللازمة لإنجاز حاسوب كمومي متحمل للأغلط. والمعيار (الضابط) الثالث من هذه المعايير (الضوابط) هو T_2 طويلة، ولكن هذا يطرح السؤال التالي: ما هو المعيار (الضابط) الذي يجعل T_2 طويلة بالقدر الكافي؟ ومنذ عمل ديفينسِنزو الذي كان بمثابة البذرة الأولى، والأفكار لتحقيق حوسبة كمومية قد تباينت، ومعايير ديفينسِنزو كما صيغت في الأصل يصعب تطبيقها على مفاهيم عديدة برزت للعيان. ونحن هنا نعيد صياغة اعتبارات ديفينسِنزو الأصلية ونضعها في ثلاثة معايير (ضوابط) أكثر شمولاً؛ لقد صيغت هذه المعايير مع افتراض أنها قابلة للتحقيق عندما نجعل عدم الترابط «ضئيلاً بالقدر الكافي».

التدرّجية Scalability. يجب أن يعمل الحاسوب في فضاء هليبرت الذي يمكن لأبعاده أن تنمو بصورة أسّيّة بدون تكلفة أسّيّة في الموارد (كالزمن أو المكان أو الطاقة).

الطرق القياسية لتحقيق هذا تتبع معيار (ضابط) ديفينسِنزو الأول الذي مفاده: يمكن للمرء أن يضيف بسهولة إلى المنظومة بتات كمومية qubits موصوفة بصورة جيدة. فالمنظومة الكمومية التي لها حالتان، مثل سبين كمومي له $S=1/2$ ، هي بتة كمومية. والبتة الكمومية بانضمام حالتها هي هزارة كمومية، وتعاني بصورة حتمية قدرًا من استرخاء T_1 و T_2 . يمكن محاكاة بتة كمومية مفردة بهزارة تقليدية (كلاسيكية) مع قارئ ذي بتة مفردة single-bit read-out موقوت بصورة عشوائية، لكن ميكانيك الكم يسمح أيضاً بالتشابك. وفي النتيجة، إن الفضاء المنطقي المتوافر فعلاً على منظومة كمومية مؤلفة من N بتة كمومية يوصف بمجموعة كبيرة جداً [تعرف بـ $SU(2^N)$]، والتي هي أكبر بكثير من مجموعة المقارنة $[SU(2)^{\otimes N}]$ لـ N سبين غير متشابك، ولا يمكن محاكاتها بواسطة N هزارة كلاسيكية أو N بتة كلاسيكية. وفي نهاية المطاف، فإن فضاء هليبرت الضخم لحاسوب كمومي هو الذي يسمح له بالقيام بعمليات لا تتوفر للحواسيب الكلاسيكية. ومن أجل البتات الكمومية فإن حجم وطاقة حاسوب كمومي تنمو عادة بصورة خطية مع N . لكن

*التدرّجية: صفة مرغوبة في منظومة ما أو شبكة ما أو عملية ما والتي تشير إلى قابليتها إما لاستيعاب مقادير متنامية من وظيفة ما بأسلوب رشيق أو أن تصبح موسّعة بسهولة. والمنظومة الدروجة (القابلة للتدرّج) هي المنظومة التي يتحسن أدائها بعد إضافة عتاد حاسوبي بصورة متناسبة مع السعة المضافة. المترجم.

البتات الكمومية ليست مطلباً مسبقاً؛ فمنظومات الحالة d الكمومية (داتات كمومية qudits) أو متغيريات مستمرة كمومية يمكن أيضاً أن تمكن من الحساب الكمومي.

إن الإعلان عن تقانة «قابلة للتدرج» (دروجة) scalable عمل يحتاج إلى براعة وحذر، لأن الموارد المستعملة لتعريف بنية كمومية أو للتحكم بها متنوعة. فهي يمكن أن تتضمن مكاناً على جذاذة ميكروية microchip، والكترونيات ميكروية تقليدية، وليزرات لأغراض معينة، ومبرّدات فريّة، وغيرها. وكي تكون منظومة ما قابلة للتدرج، ينبغي جعل هذه الموارد «التقليدية» قابلة للتدرج أيضاً، مما يستدعي مسائل هندسية معقّدة، والبنية التحتية المتوفرة من أجل تقانات واسعة النطاق.

المنطق الشامل Universal logic. ينبغي أن يكون بالإمكان الوصول إلى فضاء هلبرت الكبير باستعمال مجموعة محدودة من عمليات التحكم؛ كما ينبغي أن لا تنمو الموارد لهذه المجموعة بصورة أسيّة.

يتطلب هذا المعيار (رابع معيار لـ ديفينسنزو)، في الصورة النموذجية للحساب الكمومي، منظومة تتوفر لها مجموعة شاملة من البوابات المنطقية الكمومية. وفي حالة البتات الكمومية، يكفي أن تتوفر لها بوابات ذات بتات كمومية مفردة single-qubit gates «تماثلية» تقريباً، (على سبيل المثال، دورانات كيفية لبتات كمومية سبينية)، وأي عملية من العمليات المنطقية المتشابكة ذات بنية كمومية ثنائية «رقمية» digital two-qubit entangling logic operation تقريباً، مثل البوابة NOT المُتحكّم فيها.

لكن ليس من الضروري أن تُصنع الحواسيب الكمومية ببوابات. ففي الحساب الكمومي الكظوم، يُعرّف المرء الجواب لمسألة حسابية بأنه الحالة الدنيا لشبكة معقدة من التآثرات بين البتات الكمومية، وبعدئذ يطلق المرء بصورة كظومة تلك البتات الكمومية في تلك الحالة الدنيا وذلك بتشغيل التآثرات ببطء. وفي هذه الحالة، فإن تقدير المعيار الثاني هذا يتطلب أنه ينبغي على المرء أن يسأل ما إذا كانت مجموعة التآثرات المتاحة معقّدة بالقدر الكافي، وكم من الوقت تستغرق كي تشغل هذه التآثرات، وما هي البرودة التي يجب أن تحفظ فيها المنظومة. كمثال آخر، وفي الحوسبة الكمومية في الحالة العنقودية cluster-state quantum computation، تتولّد حالة كمومية خاصة (الحالة العنقودية) في الحاسوب من خلال مجموعة صغيرة جداً من البوابات الكمومية غير الشاملة non-universal quantum gates، ثم يُنجز الحساب بتغيير الطريقة التي تُقاس بها الدالة الموجية الناتجة. يمكن قياس البتات الكمومية وفق أسس

اعتباطية كي تؤمن المركبة «التماثلية» التي تتم المنطق الشامل. الحواسيب الكمومية المبنية على الحالة الكظومة والحالة العنقودية تكافئ في القدرة الحواسيب الكمومية المبنية على البوابة، لكن تحقيقها قد يكون أبسط بالنسبة لبعض التقانات.

قابلية التصحيح correctability. ينبغي أن يكون ممكناً اقتلاع أنتروبية الحاسوب للحفاظ على حالته الكمومية.

إن أي بروتوكول لتصحيح الأخطاء الكمومية QEC سيتطلب جميعاً ما مؤلفاً من تهيئة initialization فعّالة (معيار ديفينسنزو الثاني) وقياس measurement (معيار ديفينسنزو الخامس) لإخراج الأنتروبية غير المرغوب فيها والتي أدخلت من العالم الخارجي خارج الحاسوب. المقصود بالتهيئة القدرة على تبريد منظومة كمومية بسرعة للوصول إلى حالة أنتروبية منخفضة؛ وكمثال على ذلك، استقطاب سبين في حالته الدنيا. والمقصود بالقياس القدرة على تعيين حالة منظومة كمومية بسرعة بالدقة التي يسمح بها الميكانيك الكمومي. في بعض الحالات، تكون هاتان القدرتان متماثلتين. فعلى سبيل المثال، يغيّر القياس غير المدمر كمومياً (QND) quantum non-demolition الحالة الكمومية بإظهار الحالة المقيسة، التي تبقى بدون تغيير حتى بعد قياسات متكرّرة. إن إنجاز قياس غير مدمر كمومياً يهيئ أيضاً المنظومة الكمومية إلى الحالة المقيسة. إن العلاقة بين الحاجة إلى التهيئة والقياس في تصحيح الخطأ الكمومي QEC معقّدة؛ وفي أغلب الأحيان يمكن استبدال إحداهما بالأخرى. وبالطبع، فإن بعض أشكال القياس تكون دائماً ضرورية لقراءة حالة الحاسوب في نهاية الحساب. وبعض المقادير من التهيئة الفيزيائية تلزم عند البدء، ولكن من غير الواضح ما هي كمية هذه المقادير؛ ولقد طوّرت خطط كي تسمح لبعض أشكال الحوسبة الكمومية مع حالات أنتروبية عالية.

الحوسبة الكمومية صعبة لأن المعايير الثلاثة الأساسية التي ناقشناها تبدو متناقضة. وعلى سبيل المثال، فإن تلك الأجزاء من المنظومة المناط بها إجراء قياس سريع ينبغي أن تنقل إلى وضع «وصل on» بقوة من أجل تصحيح الخطأ والقراءة، ولكن يجب أن تنقل بقوة إلى الوضع «فصل off» كي تحفظ الترابطات في فضاء هلبرت الكبير. وعلى وجه العموم، ليس تحقيق الحالة «وصل» ولا الحالة «فصل» صعباً كصعوبة تحقيق القدرة على التحويل بين الحالتين! في هندسة بناء حاسوب كمومي قابل للتدرج، غالباً ما تُساعد هذه التناقضات بواسطة اتصال كمومي؛ ولهذا أدخل ديفينسنزو معايير إضافية لها علاقة بالقدرة على قلب البتات الكمومية الثابتة إلى «بتات كمومية طائرة flying qubits» كالفوتونات

الجدول 1: الأداء الحالي لبتات كمومية متنوعة

نوع البتة الكمومية		T_2	القياس %
بتان كموميتان	بتة كمومية واحدة		
1	0.016	0.1 ms	فوتون فوق بنفسجي
0.7 *	0.48 †	15 s	أيون مأسور
	5	3 s	ذرة معتدلة مأسورة
0.47	0.01 †	2 s	سبينات نووية لجزيء سائل
	5	3 μ s	e سبين في نقطة كمومية من GaAs
	5	0.6 s	e سبينات مربوطة إلى $^{31}\text{P};^{29}\text{Si}$
	5	25 s	سبينات نووية للسليكون ^{29}Si في ^{28}Si
5	2	2 ms	مركز NV في الألماس
10 *	0.7 †	4 μ s	دائرة فائقة النقل

أزمنة T_2 المقاسة مُبيّنة، ما عدا من أجل الفوتونات حيث استعضنا عن T_2 بضعف زمن الاحتجاز (المشابه لـ T_1) لفوتون في ليف بطول موجة اتصال. تبين القيم القياسية معدلات الأخطاء التقريبية من أجل بوابات كمومية ببتات مفردة أو متعددة. القيم المؤشر عليها بنجوم * وُجدت بواسطة عملية كمومية أو تصوير طبقي للحالة، وتعطي ابتعاد الدقة عن 100%. والقيم المؤشر عليها بالعلامة † وُجدت بقياس عشوائي. أما القيم الأخرى فهي تقديرات تقريبية لأخطاء البوابات التجريبية. وفي حالة الفوتونات، فإن البوابات الثنائية البتات الكمومية تفشل كثيراً لكن النجاح مأمول: معدلات الخطأ المبيّنة مشروطة بالنجاح المأمول.

وكذلك على نباتات ستمكن من التأثر الحتمي بين الفوتونات، وعلى دارات كمومية لأدلة موجية بمقياس الجذادة. تعمل المكاشيف السليكونية وحيدة الفوتون في درجة حرارة الغرفة عند تواتر 10 MHz بكفاءة تبلغ 70%، والعمل يجري على قدم وساق لزيادة هذه الكفاءة ولِفصل (تحليل) العدد الفوتوني. إن المكاشيف الفائقة النقل التي تعمل كمقاييس حرارة حساسة تستطيع أن تحلل العدد الفوتوني، وتتمتع بكفاءة تبلغ 90% وضجيج منخفض، لكنها تعمل عند الدرجة ~100 mK وهي بطيئة نسبياً. أما المكاشيف من الأسلاك النانوية الفائقة النقل وذات البنية النانوية NbN فهي تعمل بشكل أسرع (مئات الميغا هرتز) وقد حققت كفاءات عالية وميّزاً (فصلاً) للعدد الفوتوني.

إن إحدى المقاربات للحصول على منبع وحيد الفوتون عالي الكفاءة هو أن نضاعف المنابع الضوئية اللاخطية المستعملة حالياً لإصدار أزواج من الفوتونات بصورة آنية. والبديل الآخر هو منظومة كمومية مفردة في تجويف ضوئي يصدر فوتوناً واحداً عند الانتقال من حالة مثارة إلى حالة دنيا. يمكن الوصول إلى حالة الاصطفاف

مثلاً. يسمح الاتصال الكمومي يربط الحواسيب الكمومية الصغيرة معاً لصنع حواسيب أكبر، وهو يسمح بوضع عتاد حاسوبي للقياس التخصصي specialized measurement hardware بعيداً عن الذاكر الكمومية الحساسة sensitive quantum memories، ويجعل من الأسهل تحقيق توصيلية قوية للبتات الكمومية التي تتطلبها معظم الخطط من أجل تحمّل الغلط.

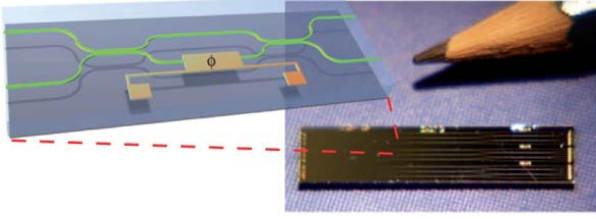
إن التحدي الأساسي في بناء حواسيب كمومية بصورة حقيقية هو الإبقاء، بصورة آنية، على قدرات التحكم بالمنظومات الكمومية، وقياسها، والحفاظ على عزلها القوي عن أجزاء المحيط الخارجة عن السيطرة. نقدم في الفقرات التالية التقانات المتنوعة التي يطبقها الباحثون حالياً لمواجهة هذا التحدي.

الفوتونات

إن إدراكنا للبتة الكمومية على أنها بمثابة الحالة المستقطبة لفوتون شيء جذاب لأن الفوتونات خالية نسبياً من عدم الترابط الذي يصيب منظومات كمومية أخرى. يمكن بسهولة إحداث دورانات استقطاب باستعمال «صفايح (لوحات) موجية waveplates» مصنوعة من مواد ذات انكسار مضاعف. (كذلك تسمح الفوتونات بتكويد البتة الكمومية على أساس الموقع والتوقيت؛ كما يمكن للمعلومات الكمومية أن تكوّد في المتحولين المستمرين الطور والسعة لحزم ليزرية من فوتونات عديدة). على كل حال، إن تحقيق التآثرات المطلوبة بين الفوتونات من أجل تحكم متعدد البتات الكمومية وشامل يشكل عقبة كبيرة. يبدو أن التآثرات الضرورية تتطلب لاختطيات ضوئية أقوى من تلك المتوفرة في الأوساط اللاخطية التقليدية، ولقد كان يُظن في البدء أن الشفافية المحرّضة كهترطيسياً أو التآثرات ذرة-فوتون المعززة بتجويف ضوئي (الإلكتروديناميك الكمومي التجويفي) ستكون مطلوبة.

في عام 2001 أظهر اختراق يُعرف باسم خطة KLM (Knill-Laflamme-Milburn) أن الحساب الكمومي القابل للتدرّج ممكن باستعمال مصادر ومكاشيف وحيدة الفوتون فقط، ودارات بصرية خطية. تعتمد هذه الخطة على تداخل كمومي مع فوتونات إضافية عند شاطر حزمة وكشف بفوتون مفرد لتحريض تآثرات بصورة غير حتمية. في السنوات الخمس الماضية كانت خطة KLM قد انتقلت من إمكانية البرهان الرياضياتي إلى تحقيق عملي، مع إثباتات وبراهين لخوارزميات كمومية بسيطة وتطويرات نظرية تقلل بشكل مثير سقف المورد. تستخدم هذه التطورات أفكار الحساب الكمومي بالحالة العنقودية، وقد برهن عليها تجريبياً. واليوم، تتركز الجهود على مكاشيف ومصادر وحيدة الفوتون ذات فعالية عالية،

2 حاسوب كمومي فوتوني.



جذابة مكروية تحتوي على عدة مقاييس تداخل من أدلة موجية مبنية على السيليكا مع انزياحات طور محكمة حرارياً-ضوئياً من أجل بوابات كمومية فوتونية. تبين الخطوط الخضراء أدلة موجية ضوئية؛ والمكونات الصفراء هي تماسات معدنية. رأس القلم الظاهر في الشكل يعطي فكرة عن مقياس الصورة.

في عام 1995 وعرض في المختبر فيما بعد ذلك العام. إن توسيعاً لهذه المقاربة يعتمد على قوى ضوئية تعتمد على السبين والتي لا تتطلب مواجهة ضوئية فردية للأيونات، ولا إعداداً للحركة الأيونية في حالة كمومية صرفة، فتكون بذلك مرغوبة في التجارب الجارية حالياً. لقد أمكن شبك ثماني بتات كمومية مأسورة بهذه الطريقة. كما توجد اقتراحات باستعمال تدرجات حقل مغنطيسي ذي ترددات راديوية، أو قوى ضوئية فائقة السرعة تعتمد على السبين وهي لا تتطلب أن تكون الأيونات متوضعة في حدود طول موجي ضوئي (وهو حد لامب-ديك).

يصبح تدرج بوابات كولون ذات الأيونات المأسورة صعباً عندما تشارك أعداد كبيرة من الأيونات في الحركة الجماعية وذلك لأسباب عديدة: يصبح التبريد بالليزر غير فعال، وتصبح الأيونات سريعة التأثير بالحقول الكهربائية الكثيرة الضجيج ولعدم ترابط الأنماط الحركية، كما أن الطيف الحركي المعبأ بكثافة يستطيع أن يفسد البوابات الكمومية من خلال اللغظ crosstalk واللاخطيات. وفي مقاربة واعدة للتغلب على هذه الصعوبات، تُسير الأيونات المفردة (جينةً وزهاباً) بين مناطق متعددة من بنية مصيدة معقدة وذلك بتطبيق قوى كهربائية مُسيطر عليها من إلكتروني المصيدة. وبهذه الطريقة فإن تشابك البوابات لا يحتاج إلا إلى تشغيل بواسطة عدد قليل من الأيونات.

توجد طريقة أخرى لتدرج البتات الكمومية للمصيدة الأيونية وهي أن نقرن تجميعات قليلة من الأيونات المقرونة كولونياً من خلال تآثرات فوتونية، متيحين ميزة الحصول على قناة اتصال تستطيع بسهولة أن تمتد مسافات كبيرة. وقد جرى حديثاً تشبيك أيونات ذرية لمسافات جهرية بهذه الطريقة. وهذا النوع من البروتوكولات يشبه خطط الحساب الكمومي الضوئي الخطي الاحتمالي الذي

(التراسف) القوي للتجويف بواسطة «ذرات صناعية» في الحالة الصلبة، مثل نقاط كمومية quantum dots ويصورة ممكنة بواسطة شوائب في الألماس، وهو ما سندرسه لاحقاً. وعندما تتحسن منظومات الإلكتروديناميك الكمومي التجويفي هذه، فسيكون باستطاعتها تأمين لخطيات فوتون-فوتون حتمية.

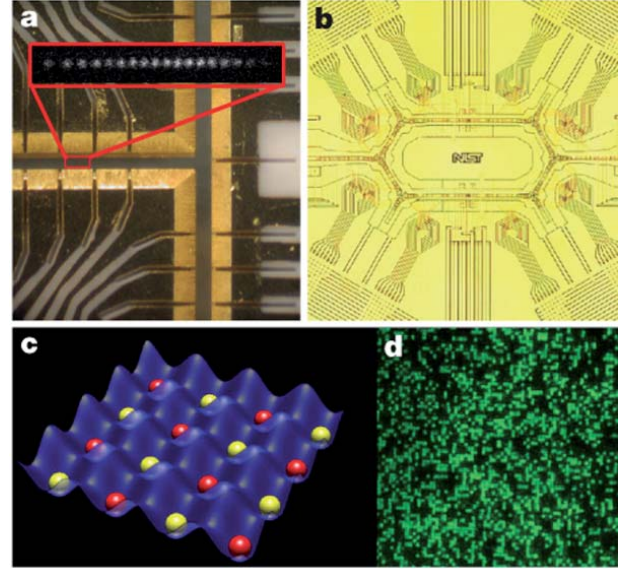
بغض النظر عن المقاربة المستعملة من أجل مصادر للفوتونات، والمكاشيف واللاخطيات، فإن الفقد الفوتوني يبقى تحدياً يحسب له حساب، ويقدم ألصق مقارنة مع عدم الترابط T_2 في بتات كمومية مبنية على المادة (انظر الجدول 1). ومثلما هو الحال في عدم الترابط، يمكن التعامل مع الفقد بواسطة تقنية QEC مع عتبات عالية. إن القيم النموذجية للفقد في نباتات الأدلة الموجية المتكاملة هي تقريباً 0.1 dB cm^{-1} . إن دارات الأدلة الموجية الحالية المصنعة من السيليكا تستعمل ما يقارب سنتمتراً واحداً لكل بوابة منطقية (انظر الشكل 2)، وهو طول يمكن تخفيضه باستعمال دارات ذوات ثوابت قرائن انكسار أعلى. إن التقدم الحاصل في الحساب الكمومي الفوتوني لا يدعم البتات الكمومية الفوتونية فقط، لكنه من المحتمل أن يفيد أنواع أخرى من عتاد الحواسيب الكمومية باستعمال فوتونات من أجل الاتصال الكمومي بين البتات الكمومية المادية، بما فيها الذرات المأسورة، والنقاط الكمومية والطعوم الصلبة، كما هو مبين أدناه.

الذرات المأسورة

أفضل المعايير للزمن والتواتر هي المبنية على منظومات ذرية معزولة، نظراً لخواص الترابط الممتازة لمستويات طاقة معينة ضمن الذرات. وبالمثل، تشكل مستويات الطاقة هذه في ذرات مأسورة بتات كمومية شديدة الوثوقية، ذات أزمنة T_1 و T_2 تقع في مجال الثواني وأطول من ذلك بصورة نموذجية. يمكن تحقيق تشابك البوابات الكمومية بواسطة تآثرات مناسبة بين الذرات، ويمكن أيضاً تهيئة البتات الكمومية الذرية بواسطة ضخ ضوئي وقياسها بكفاءة تقارب 100% من خلال استعمال كشف متفلور ضوئياً ويعتمد على الحالة.

يمكن حصر أيونات ذرية مفردة في فضاء حرّ بدقة من رتبة النانومتر باستعمال حقول كهربائية مناسبة من إلكترونيات مجاورة، كما هو مبين في الشكل 3 بجزأيه a و b. ويمكن شبك بتات كمومية من أيونات مأسورة متعددة وذلك بواسطة اقتران محرّض بالليزر لسبينات يتوسطها نمط تجمعي من حركة توافقية في المصيدة. إن التحقيق الأبسط لهذا التأثير من أجل تشكيل بوابات كمومية متشابكة، كان قد اقترحه لأول مرة سيراك وزولر Cirac and Zoller

3 بتّات كمومية لذرة مأسورة.



a, جاذبة لمصيدة أيونية خطية متعدّدة السويات؛ يعرض الشكل بلورة خطية ذات أيونات Yb^+ متعددة تتألق عندما يطبق ضوء ليزر تجاوبي (تبلغ المسافة التي تفصل بين أيون- أيون $4\mu m$ في الشكل). تستطيع ليزرات أخرى أن تؤمن قوى تعتمد على حالة البتّات الكمومية بحيث تستطيع أن تشبك الأيونات من خلال تأثرها الكولوني. **b**, جاذبة مصيدة أيونية سطحية فيها 200 منطقة موزعة فوق مضمار السباق السداسي المركزي ذي العرض $2.5mm$. **c**, مخطط لشبكة ضوئية من ذرات باردة شكّلت بواسطة كمونات موجة ضوئية مستقرة متعددة الأبعاد. **d**, صورة لذرات Rb مفردة من كثيفة بوزة محصورة في شبكية ضوئية ثنائية البعد، بفواصل $0.64\mu m$ بين كلّ ذرة-ذرة.

الشبكي مدرجاً بواسطة الطول الموجي الضوئي (الشكل 3c,d). ربما يكون المظهر الأكثر إثارة للاهتمام في الشبكات الضوئية هو أنه يمكن التحكم بدقة في البعد، والشكل، والعمق والموضع للشبكات الضوئية بواسطة الهندسة والاستقطاب وشدة الحزم الليزرية الخارجية التي تعرّف الشبكية. إن التحديات الأساسية في استعمال الشبكات الضوئية للحساب الكمومي هي التهيئة المتحكّم فيها، والتأثر وقياس البتّات الكمومية الذرية. على كل حال، لقد حصل تطور كبير في السنوات الأخيرة على كلّ هذه الجبهات.

تُحمّل الشبكات الضوئية بعدد من الذرات المتماثلة يقارب 10^3-10^6 ذرة في الحالة النموذجية، مع رزم غير منتظمة في العادة للمواقع الشبكية بالنسبة للذرات الحرارية. على كل حال، عندما تُحمّل تكثيفة بوزة Bose condensate في شبكية ضوئية، فإن التنافس بين عبور نفقي داخل المواقع والتأثر على المواقع بين ذرات مضاعفة يمكن أن يؤدي إلى التحوّل إلى عازل موت-Mott insulator transition حيث يقيم العدد نفسه من الذرات تقريباً (ذرة واحدة على سبيل المثال) في كل موقع شبكي. إن التأثر بين البتّات الكمومية الذرية في الشبكات الضوئية يمكن تحقيقه بطرق عديدة. فالذرات المتجاورة يمكن جلبها معاً اعتماداً على مستويات بتّاتها الكمومية الداخلية بواسطة قوى ليزرية مناسبة، ومن خلال تآثرات التماس، يمكن تشكيل التشابك بين الذرات. لقد استغلّت هذه الطريقة لتحقيق تشابك تشغيل بوابة كمومية بين الذرات وجيرانها. وهناك طريقة أخرى تستغل المراقبة التي فحوها أن الذرات عندما ترفع إلى حالات رايدبرغ تمتلك عزوم ثنائي قطب كهربائية كبيرة جداً. إن آلية «حصار ثنائي القطب dipole blockade» لرايدبرغ تمنع أكثر من ذرة واحدة من الارتقاء إلى حالة رايدبرغ، نظراً لانزياح سوية حالة رايدبرغ المحرّض في الذرات المجاورة. لقد استعمل حصار رايدبرغ حديثاً لشبك ذرتين محصورتين في مصيدتين ضوئيتين منفصلتين لثنائي قطبين، وينبغي أن يكون ممكناً مراقبة هذا بين ذرات كثيرة أخرى في الشبكية الضوئية.

وبالنسبة للذرات والأيونات المأسورة، تكون أزمنة الترابط أكبر بمراتب عديدة في القيمة من زمن التهيئة، وزمن التحكم بالبتّات الكمومية العديدة، وزمن القياس. إن التحدي الحاسم بالنسبة لمستقبل الحواسيب الكمومية ذات الذرات المأسورة سيكون المحافظة على التحكم بأمانة عالية وهو ما تحقّق في منظومات صغيرة عند التدرّج (الارتقاء) إلى بني هندسية كبيرة وأكثر تعقيداً.

تتاولناه أعلاه، لكن إضافة ذواكر من بتّات كمومية مستقرة في الشبكة يسمح للمنظومة أن تُدرّج بفعالية إلى اتصال طويل المسافة من خلال دارات مكرّرة كمومية. إضافة إلى ذلك، يمكن أن تدرج مثل هذه المنظومة إلى عدد كبير من البتّات الكمومية من أجل الحساب الكمومي الاحتمالي المتوزع.

تقدم الذرات الطبيعية بتّات كمومية ممتثلة للأيونات المأسورة. وإن أي صيف من الذرات الطبيعية الباردة يمكن حصره في فضاء حرّ بواسطة نمط من الحزم الليزرية المتقاطعة، مشكلةً بذلك شبكة ضوئية. تطبّق الليزر في الحالة النموذجية بعيداً عن التجاوب الذري، وتؤمّن انزياحات شتارك الناتجة في الذرات كمون أسر خارجي فعال للذرات. باستخدام هندسات مناسبة من أمواج مستقرة، يمكن لحزم ليزرية أن تنتج نمطاً منتظماً من آبار كمون في بعدٍ واحدٍ أو بعدين أو ثلاثة أبعاد، يجعل بعد الموقع

التجاوب المغنطيسي النووي

تشكل السبينات النووية في المحاليل السائلة جيروسكوبات ممتازة؛ والحركة الجزيئية السريعة تساعد بالفعل في المحافظة على توجيهها السبيني لأزمة T_2 تقدر بثوانٍ عديدة، بالمقارنة مع أزمدة ترايط الذرات المسورة. في عام 1996 اقترحت طرق لبناء حواسيب كمومية صغيرة باستعمال هذه السبينات النووية مع ثروة تقدر بـ 50 عاماً من تقانة التجاوب النووي الموجود.

يمكن تعيين سبينات نووية مغمورة في حقل مغنطيسي قوي بواسطة تواتر لارمور. تتغير تواترات لارمور النووية في جزيء ما من ذرة إلى ذرة تبعاً لتأثيرات الحجب من الإلكترونات في الروابط الجزيئية. إن تشيع النوى بنضات تواتر راديوي تجاوبية تسمح بمناولة النوى التي لها تواتر متميز، معطية بوابات ذات بنية كمومية واحدة شاملة. تبرز التأثيرات ذات البتات الكمومية الثنائية من الاقتران غير المباشر الذي يتوسط عبر الإلكترونات الجزيئية. يتم إجراء القياس بمراقبة التيار المتحرّض في وشيعة تحيط بالعينة المكونة من مجموعة من هذه البتات الكمومية.

لقد سمح التجاوب المغنطيسي النووي في الحالة السائلة بمناولة المعالجات الكمومية بعدد من البتات الكمومية يصل إلى 12 بتة كمومية، وتطبيق الخوارزميات وبروتوكولات تصحيح الخطأ الكمومي (QEC). لقد أصبح هذا العمل ممكناً في معظمه بفضل تطوير التحسينات التي استلهمت من المعلومات الكمومية في تقنيات نبضات التواتر الراديوي القائمة منذ سنوات عدة على هندسة في التصوير بالتجاوب المغنطيسي والتقانات المتعلقة به؛ وتستمر هذه التقنيات بالتحسن.

تعدّ التهيئة تحدياً مهماً بالنسبة للحواسيب الكمومية القائمة على التجاوب المغنطيسي النووي. استعملت أولى المشاريع تقنيات حالة-صرفة-كاذبة pseudo-pure-state techniques، التي تعزل الإشارة لحالة صرفة مشغلة عن خلفية ذات أنثروبية عالية. على كل حال، لم تكن التقنيات المقترحة في البدء قابلة للتدرّج. ربما تساعد تقنيات التبريد الخوارزمي في حل هذه المشكلة بالتعاون مع استقطاب نووي إضافي. وقد لوحظ أيضاً أنه من أجل أعداد قليلة من البتات الكمومية، فإن الحساب المبني على حالة-صرفة-كاذبة، يمكن إظهاره على أن فيه نقصاً في التشابك. أثارت التحقيقات في النتائج المترتبة على هذه المسألة الفكرة عن منشأ وأصل قوة الحواسيب الكمومية وأدت إلى نماذج جديدة من الحساب الكمومي والخوارزميات.

إحدى الطرق لمواجهة الحد من التدرجية في حالات نقية كاذبة هي الانتقال إلى التجاوب المغنطيسي النووي في الحالة

الصلبة، التي يوجد من أجلها تنوع من تقنيات الاستقطاب النووي الديناميكي. إن قلة الحركة الجزيئية يسمح باستعمال اقترانات ثنائي القطب-ثنائي القطب نووية، والتي يمكن أن تسرع البوابات بشكل ملحوظ. وكمثال قريب على خطوة في الطريق إلى حساب كمومي قائم على التجاوب المغنطيسي النووي من الحالة الصلبة يمكن أن نجده في استعمال جولات عديدة من التبريد الخوارزمي بالحوض الحراري. وهناك طريقة أخرى من المحتمل أن توسع منظومات التجاوب المغنطيسي النووي في الحالة الصلبة وهي أن ندخل إلكترونات كي تساعد في التحكم النووي. وهذه التقنيات لها تطبيقات محتملة في طعوم الحالة الصلبة التي سنتناولها في الفقرة التالية.

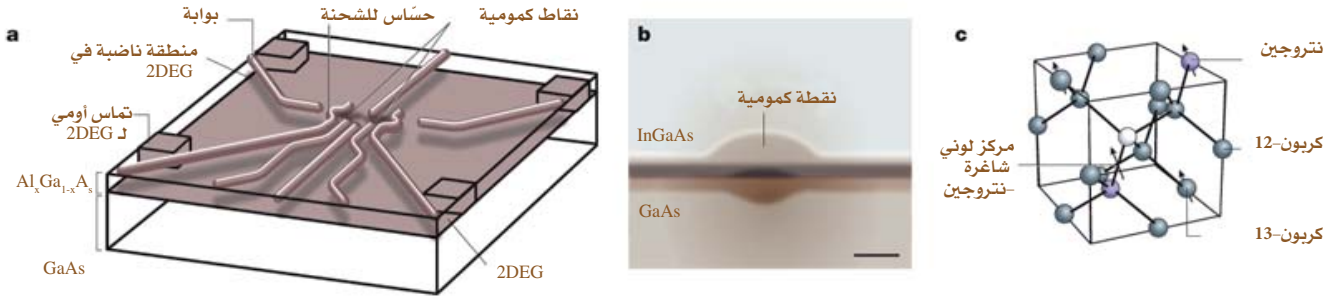
وحتى اليوم لم تُظهر أي تقنية في التجاوب المغنطيسي النووي الجرمي تهيئة كافية أو أهلية للقياس من أجل قابلية تصحيح فعالة، لكن التجاوب المغنطيسي النووي قاد الطريق في تحكم كمومي متعدّد البتات الكمومية. إن أزمدة T_2 البالغة ثوانٍ عديدة قريبة من أزمدة بوابة في سائل وأطول بكثير من أزمدة بوابة تبلغ تحت الملي ثانية في الجوامد، لكنها ما تزال قصيرة بالمقارنة مع مقاييس الزمن للتهيئة والقياس. إن الدروس الكثيرة المتعلّمة من الحوسبة الكمومية المبنية على التجاوب المغنطيسي النووي هي في الغالب ذات صلة بتقدّم تطوير تقانات كمومية أخرى.

النقاط الكمومية والطعوم في الجوامد

إن ما يعقدّ الحساب الكمومي بواسطة ذرات مفردة في الخلاء هو الحاجة إلى تبريدها وأسرّها. يمكن أن يكون تجميع صفيقات كبيرة من البتات الكمومية وتبريدها أسهل إذا ما تجمعت «الذرات» في مستضيف في الحالة الصلبة، وهذا يستدعي استعمال النقط الكمومية والطعوم المفردة في الجوامد. تحدث هذه «الذرات الاصطناعية» عندما تربط كمية قليلة من بنية نانوية لنصف ناقل أو من الشوائب أو من معدّد الشوائب إلكترونات واحداً أو أكثر أو ثقباً واحداً أو أكثر (الثقب هو حالة رابطة تكافؤية فارغة) في كمون متموضع مع مستويات طاقة متقطعة، وهذا يماثل إلكترونات مربوطاً بنواة ذرية.

تكون النقاط الكمومية على أنواع كثيرة. فبعضها نقاط كمومية معينة كهراكدياً حيث يتم تشكيل الحصر بواسطة فلتيات متحكّم فيها على بوابات معدنية محدّدة بصورة ليوغرافية (أي بالطباعة الحجرية). وهناك أنواع أخرى هي نقاط كمومية متجمّعة ذاتياً self-assembled، وفيها تخلّق عملية إنماء نصف ناقل عشوائية

4 نقطة كمومية وبتات كمومية من طعم من الحالة الصلبة.



a, نقطة كمومية محصورة كهراكدياً؛ البنية الظاهرة هي بعرض عدة ميكرومتر. 2DEG تعني غازاً إلكترونياً ثنائي البعد. b, نقطة كمومية مجمعة ذاتياً. شريط المقياس 5nm. ~ البنية الذرية لمركز شاغرة-نيتروجين في شبكة الألاس، بثابت شبكية 3.6 \AA .

عناقد سبينات مقرونة بالتبادل exchange-coupled clusters of spins، بمنطق بتات كمومية مفردة فعالة يتحكم فيها التآثر المتبادل زوجاً زوجاً. إن تحكّم الفلطية بالبتة الكمومية المكوّنة من إلكترونات متعددة من خلال التآثر المتبادل له الميزة الخاصة بكونه أسرع من الانتقالات المكمومية المباشرة. لقد قيس بهذه الطريقة عدم ترابط T_2 لبتة كمومية معينة لزوج من الإلكترونات المقرونة بالتبادل.

توجد قضية حرجة في العمل الموصوف أعلاه، والذي أنجز على نقاط مصنوعة بالمجموعة III-V من أنصاف النواقل، تتمثل بالوجود الحتمي للسبينات النووية في ركازة نصف الناقل. إن السبينين النوويين كلاهما يخلقان حقلاً مغناطيسياً غير متجانس، ينتج عنه $T_2 \approx 10\text{ns}$ ، كما يسببان عدم ترابط عبر انتشار-سبين ديناميكي من التآثرات النووية ثنائي قطب-ثنائي قطب. وهذه العملية الأخيرة تحدّ من أزمنة عدم ترابط سبين الإلكترون (T_2) فتصبح بضع ميكروثانية. إن منع عدم الترابط هذا يتطلب إما مستويات استقطاب نووي فوق العادة، أو فك الاقتران الديناميكي لضجيج السبين النووي بواسطة متواليات سريعة من دورانات السبين.

إحدى الطرق لحذف السبينات النووية جميعها هي أن نستعمل أنصاف نواقل من المجموعة IV الخالية من السبين (أي سليكون وجرمانيوم). إن العديد من الإنجازات المعروضة من GaAs قد تضاعف حديثاً على شكل معدن-أكسيد-نصف ناقل المبني على السليكون ونقاط كمومية مبنية على SiGe، بما فيها التحسّس بشحنة الإلكترون المفرد والتحكم بالاقتران النفقي في نقاط مضاعفة.

وفي مقترحات ذات علاقة بما هو مبني على السليكون، تستبدل بالنقطة الكمومية شائبة مفردة، وعلى الخصوص ذرة فسفور مفردة، هي التي تربط إلكترون مانح في درجة حرارة منخفضة. وبعيداً يمكن تخزين المعلومات الكمومية إما في الإلكترون المانح، أو في حالة

الكمون اللازم لحصر الإلكترونات أو الثقوب. الفرق الرئيسي بين هذين النوعين من النقاط الكمومية هو عمق كمون شبيه الذرة atom-like الذي تخلقه النقاط؛ وفي النتيجة تعمل النقاط الكمومية المعينة كهراكدياً عند درجات حرارة منخفضة جداً ($> 1\text{K}$) ويتم التحكم فيها كهربائياً قبل كل شيء، في حين تعمل النقاط الكمومية المتجمعة ذاتياً عند درجات حرارة أعلى ($\sim 4\text{K}$) ويتم التحكم فيها ضوئياً في المقام الأول.

إن أحد الاقتراحات المبكرة للحوسبة الكمومية في أنصاف النواقل، هو اقتراح لوس Loss وديفنسينر، صفيقات مُتَحَلِّة من النقاط المعينة كهراكدياً، تحتوي كل منها إلكترونًا فرداً تؤمّن حالته السبينيتان بتة كمومية. إن المنطق الكمومي سيرافقه فطيات متغيرة على البوابات الكهراكدية كي تحرك الإلكترونات مقتربة ومبتعدة عن بعضها بعضاً، منشطة ومعطلة التآثر المتبادل.

إن «التبديل من سبين إلى شحنة» اللازم لقياس السبينات المفردة في النقاط الكمومية ما يزال يستعمل منذ تمّ تحقيقه إما ترانزستور الإلكترون الفرد single-electron transistor أو تماس النقطة الكمومية quantum point contact. تبدي هذه النبايط ناقلية حسّاسة للشحنة على إلكترون مأسور وحيد في نقطة كمومية مجاورة. إن ترانزستور الإلكترون الفرد أو تماس النقطة الكمومية يسمحان بذلك بقياس شحنة إلكترون فرد؛ ولقياس السبين نقول، إن مقدرة إلكترون وحيد على العبور النفقي إلى داخل أو إلى خارج نقطة كمومية يتبدّل حسب حالته السبينية. ولقد برهن على التحكم بالسبينات الفردية من خلال توليد مباشر لحقول كهربائية ومغناطيسية ذات موجات مكروية. لقد سمحت هذه التقنيات بقياس أزمنة T_2^* و T_2 باستعمال تقنيات صدى السبين spin-echo techniques. يمكن أن تعيّن البتات الكمومية أيضاً بواسطة

السبين النووي للفسفور p المفرد، يتم الوصول إليه عبر الاقتران النووي-إلكترون الفائق الدقة. تظهر سبينات الفسفور-إلكترون مقيد في السليكون المنقى نظائرياً ^{28}Si أزمنة طويلة مشجعة لـ T_2 تتجاوز 0.6 s، كما تبيّن في التجارب إلكترون-سبين. إن إمكانية الحصول على أزمنة عدم ترابط سبين نووي تعادل دقائق أو أطول قد شوهد في تجارب فك الاقتران الديناميكي في التجارب المغنطيسي النووي بواسطة ^{29}Si في ^{28}Si . وكذلك السليكون المنقى نظائرياً يظهر انتقالات ضوئية ذات صلة بالمانحة من الفسفور P حيث تكون تلك الانتقالات حادة إلى أبعد حد بالمقارنة مع منظومات حالة صلبة (جامدة) ضوئية أخرى، التي تظهر توسعاً غير متجانس يمكن مقارنته بالاقتران الفائق الدقة 60 Mhz. تمكّن هذه الانتقالات من حصول استقطاب سبيني إلكتروني ونووي سريع (أقل من ثانية واحدة) بواسطة الضخ الضوئي. وحديثاً، ساعدت ترانزستورات مبنية على السليكون في كشف الغرز الأيوني لطعومات مفردة، وهي تقنية تُضاف إلى تقنيات المطيافية النفقية الماسحة من أجل وضع شوائب الفسفور في مواضع ذرية موصى بها.

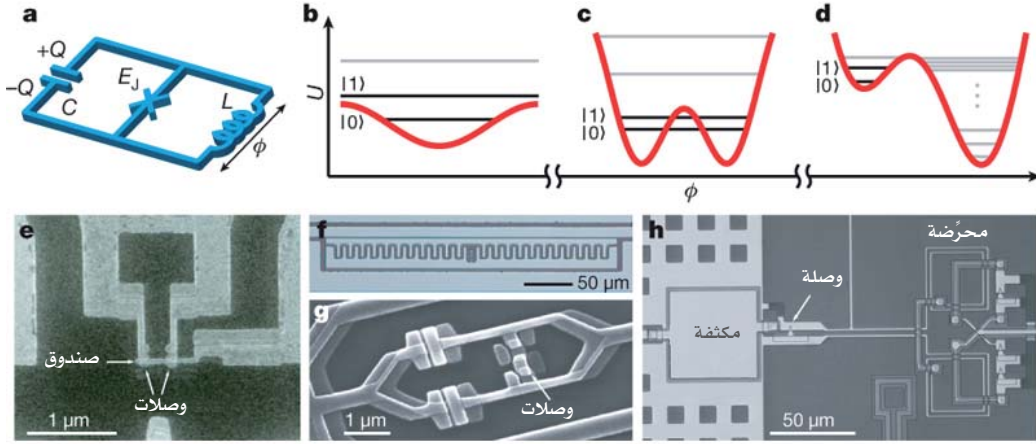
على كل حال، إن التحدي في استعمال نقاط كمومية معينة كهراكدياً أو شوائب مبنية على السليكون من أجل الحساب الكمومي هو أن التآثر المتبادل قصير المدى إلى حد بعيد، وهذا يفرض قيوداً جوهرياً عند أخذ متطلبات تصحيح الخطأ الكمومي (QEC) لاحتمال الغلط بعين الاعتبار. وكما هو الحال مع الأيونات والذرات المأسورة، فإن التوصيلات الفوتونية بين النقاط الكمومية قد تساعد في حل هذه المسألة. إن النقاط الكمومية المتجمعة ذاتياً مفيدة بشكل خاص لهذه التوصيلات لأن حجمها الكبير بالمقارنة مع الذرات المفردة يزيد اقترانها بالفوتونات.

إن تطوير النقاط المتجمعة ذاتياً تعيقه طبيعتها العشوائية؛ فهي تتشكّل في مواضع عشوائية، وعلى عكس الذرات، فإن خواصها الضوئية تتغير من نقطة إلى أخرى. إن تقنيات التصنيع الصاعدة من أجل الوضع الحتمي للنقاط وتقنيات توليف النقاط، قد تعالج هذه المشكلة من أجل الحواسيب الكمومية المستقبلية. وفي غضون ذلك، فإن التحكم الضوئي والقياس للبتات الكمومية في نقاط كمومية متجمعة ذاتياً قد طرأ عليه حديثاً بعض التقدّم. لقد تحققت التهيئة الضوئية السريعة من أجل الإلكترونات والثقوب. ولقد ازدهرت قياسات QND الضوئية والتحكم بالسبين المفرد عن طريق نبضات فائقة السرعة. من الملاحظ أنه يمكن التحكم بهذه البتات الكمومية بسرعة عالية، تصل إلى مرتبة البيكوثانية، فتمكّن بذلك من فرص تحقيق الحواسيب الكمومية السريعة إلى أبعد الحدود.

وكذلك تسمح الطعوم من الحالة الصلبة النشطة ضوئياً بتوصيلات فوتونية، ولكن بتجانسية ضوئية أكبر. إن مركز الشاغرة-نتروجين المشحونة سلباً في الألماس (الشكل 4c) هو واحد من هذه الطعوم. يتألف من نتروجين حقيقي عند موقع شبكية مجاور لذرة كربون مفقودة. إن الحالة المشحونة سلباً لمركز الشاغرة-نتروجين تشكّل منظومة ثلاثية السبين. وتحت الإضاءة الضوئية، تسهل الاسترخاءات ذات السبين الانتقائي ضحاً ضوئياً فعّالاً للمنظومة في حالة سبينية مفردة، فتسمح بتهيئة البتة الكمومية السبينية تهيئة سريعة (250 ns). إن الحالة السبينية لمركز الشاغرة-نتروجين يمكن أن تعالج بعدد بصورة مترابطة بواسطة حقول مكروية الموجة تجاوبية، ثم تُكشف بعدد في غضون بضعة ملي ثانية من خلال فلورة تعتمد على السبين في مجهر ضوئي. وكما هو الحال في السليكون، فإن البنية النووية بالقرب من الشائبة تكون نظيفة بالقدر الكافي لتسمح بذاكرة سبين نووي عاملة بدقة فائقة؛ وهذه الذاكرة قد تساعد بدورها في قارئ سبين-إلكترون.

نظراً لكون شبكية الكربون تكاد تكون خالية من السبين النووي وذات اقتران سبين-مدار ضعيف، فإن مراكز الشاغرة-نتروجين تظهر أزمنة ترابط سبيني أطول من النقاط الكمومية من GaAs، حتى في درجة حرارة الغرفة. في المواد المنخفضة النقاوة المصنّعة تقنياً، تسبب ذرات النتروجين البديلة المفردة تأثيراً كبيراً على خواص السبين الإلكتروني لمراكز الشاغرة-نتروجين. يمكن لحوض السبينات الإلكترونية هذا أن يستقطب في حقول مغنطيسية قوية مؤدياً إلى تجمّد كامل لديناميات سبين النتروجين. إن أزمنة عدم الترابط تكون أكبر بكثير من الألماس فوق النقي ultra pure. لقد تبيّن حديثاً أن عملية الترسيب من البخار الكيميائي تسمح بتخفيض تركيز الشوائب إلى حوالي 0.1 جزء من البليون. وفي مواد كهذه، فإن حوض السبينات النووية الذي شكلته نوى الكربون ^{13}C (وفرة طبيعية تقارب 1.1%) يتحكم بدنامية سبين الإلكترون لمراكز شاغرة-نتروجين. وبإثناء الألماس ^{12}C المخصّب نظائرياً، يصبح بالإمكان زيادة T_2 إلى 2ms من أجل مادة نقية بنسبة 99.7%. يتوقع أن يكون حد T_1 من رتبة الثواني في درجة حرارة الغرفة.

إن التآثر المغنطيسي بين النقاط الكمومية أو سبينات الطعوم تسمح بالاقتران المحلي كما تحقّق حديثاً في الألماس. التوصيلات الضوئية الأطول بُعداً بين هذه البتات الكمومية من المحتمل أن يساعدها بقوة الإلكترونيات الكومومي التجويفي بتجاويف مكروية ضوئية. إن رقم الاستحقاق الحرج critical figure of merit



a, نموذج دائرة في الحد الأدنى لبَتَات كمومية فائقة النقل. رمزنا لوصلة جوزفسون بـ "X" زرقاء. d-b, الطاقة الكامنة $U(\Phi)$ (باللون الأحمر) وسويات طاقة البتة الكمومية (بالأسود) من أجل بَتَات الشحنة (b)، وبَتَات التدفق (c)، وبَتَات الطور (d)، على التوالي. e-h, مخططات مكروية لبَتَات كمومية فائقة النقل. الدارات مصنوعة من أفلام Al. تتألف وصلات جوزفسون من حواجز نفقية من Al_2O_3 بين طبقتين من Al. e, بتة كمومية من الشحنة، أو زوجان من الصناديق النحاسية. f, ترانسومون، مشتق لبَتَة شحنة كمومية ذات E_J/E_C . g, بتة تدفق كمومية. h, بتة طور كمومية.

على الرغم من أن صنع رقائق كبيرة ذات سبينات مأسورة في نقاط وشوائب أمر روتيني، لكن تدرج منظومة ذات سبينات مقرونة يبقى تحدياً. إن أزمنة T_2 المقدرة بالمكروثانية والتي نراها في GaAs طويلة إذا قورنت بأزمنة تحكُّم بَتَاتها الكمومية الواقعة في المجال 1-100 بيكوثانية، وأزمنة التهيئة والقياس الواقعة في المجال 1-10 نانوثانية، لكن المنظومات الواسعة النطاق ستنتطلب توصيلية وتجانسية محسنة. إن أزمنة T_2 الأطول والمقدرة بالملي ثانية في منظومات السليكون والألماس الأكثر تجانساً ينبغي أخذها بعين الاعتبار جنباً إلى جنب مع طرق التطوير الأبطأ لقرن هذه البَتَات الكمومية.

النواقل الفائقة

إن البَتَات الكمومية المصنوعة من دارات كهربائية عادية سرعان ما تحيد عن الترابط نظراً لفقد القدرة في المقاومات. أما في النواقل الفائقة عند درجة حرارة منخفضة، فإن الإلكترونات ترتبط في أزواج كوبر التي تتكثف في حالة ذات تيار يجري في مقاومة معدومة وطور محدد تماماً. وفي دارات «النواقل الفائقة» يمكن تغيير كمون المتغيّرات الكمومية لتكثيف أزواج كوبر تلك، وذلك بالتحكم بتحريضيات (L) وسعات (C) وغيرها محدّدة جبرياً، مما يسمح ببناء بَتَات كمومية. وبالمثل، يمكن تغيير (تعديل) الكمون ديناميكياً بواسطة إشارات كهربائية لتعطي تحكماً كمومياً كاملاً. لذا، فإن هذه النبايط تماثل دارات متكاملة عالية السرعة تقليدية، فيمكن تصنيعها بسهولة باستعمال تقانات قائمة.

للتجويف المكروي هو وسيط التعاونية cooperativity parameter الذي يتناسب مع عامل جودة التجويف Q مقسوماً على حجم نمط التجويف. يمكن أن يكون الأخير صغيراً جداً في التجاويف المكروية من الحالة الصلبة، على مقياس مكعب الطول الموجي الضوئي، مؤدياً إلى براهين أولية للمنطق الكمومي بين نقاط كمومية ذاتية التجمّع مفردة موجودة في تجاويف مكروية ذات تعاونية عالية وفوتونات مفردة. إن التجاويف المكروية ستكون مهمة بشكل خاص من أجل مراكز الشاغرة-نتروجين، لأن خط إصدارها للفونون صفر zero-phonon emission line أضعف من نظيره من أجل انتقالات لنقاط كمومية نموذجية.

توجد مواد أخرى تبدي خواص ضوئية قوية كما توجد ركازات خالية من السبين النووي هي أيضاً قيد الدراسة. في الألماس، تبدي المراكز ذات العلاقة بالنيكل عصابة ضيقة، وإصداراً لإشعاع تحت الأحمر القريب في درجة حرارة الغرفة، كما يُعرف بأن عيوب الشاغرة-سليكون لها حالة أساسية ذات مغنطيسية مسايرة مماثلة لتلك التي في عيوب الشاغرة-نتروجين. في أنصاف نواقل المجموعة II-VI مثل ZnSe حيث فرجة الطاقة عريضة، يكون لشائبة الفلور طاقة ربط وبنية سبينية مماثلة لتلك التي للفسفور في السليكون ولها أيضاً كمون من المرتبة نفسها من أجل النفاذ النظائري للسبينات النووية من الركازة. وخلافاً للشوائب المبنية على السليكون أو الألماس، فإن لها شدة هزارة مماثلة لتلك التي للنقطة الكمومية.

الكمومية من صنف الطور الحالتين الطاقيتين الأخفض في بئر كمون لا توافقي شبه مستقر ومفرد.

وبصورة نموذجية يُصمم تواتر إثارة البتّة الكمومية عند القيمة 5-10 جيغا هرتز، التي تُعدُّ عالية بما يكفي لتقليل الآثار الحرارية عند درجات الحرارة المنخفضة التي تؤمّن برادات تخفيف dilution refrigerators ($k_B T/h \approx 0.2$ GHz; ~ 10 mK) ومنخفضة بما يكفي لسهولة الهندسة المكمومية. نُفّذت بوابات البتّات الكمومية المفردة بنبضات تجاوبية عرضها 1-10 ns، تقدّم إلى البتّة الكمومية محلياً باستعمال أسلاك على جاذبة.

إن البتّات الكمومية المتجاورة يقترن بعضها ببعض بصورة طبيعية إما وسعياً بالمكثفات أو تحريضياً بالمرحّضات، فتسمح بذلك ببوابات منطقية كمومية بسيطة. على كلّ حال، من أجل أسلوب بناء حواسيب كمومية على نطاق واسع، تكون خطط الاقتران الأكثر قابلية للتعديل هي المرغوبة والجاذبة. لقد طوّرت اقترانات غير مباشرة تعمل بواسطة قارن قابل للتوليف من أجل تحويل التآثر بين البتّات الكمومية إلى وضع التشغيل ووضع الإطفاء. إن تطبيق بتّات كمومية مقرونة بصورة توليفية على الحوسبة الكمومية الكظومة هي أيضاً قيد الدراسة حالياً.

إن قرن البتّات الكمومية مع "فوتونات" مكروموجية في خط النقل قد أدخل نموذجاً جديداً على دارات كمومية فائقة النقل. إن للمجاوبات المبنية على خطوط النقل حجوماً نمطية صغيرة إلى أبعد الحدود وبذلك تحقّق تجاوي ذات عوامل تعاونية قوية. لقد سمحت مثل هذه المنظومات بعمليات لبوابات ذات بتتين كموميتين خلال بضع عشرات نانوثانية، كما استعملت لتحقيق خوارزميات وقياسات لتراطات كمومية لا مطّية بين بتّات كمومية يفصل بينها مليمتترات.

إن خطط القارنات ذات البتّات الكمومية العالية الدقة هي قيد التطوير. إن السلوك التحويلي لوصلة جوزفسون المنحازة بالتيار (التي يغذيها تيار) عند تيارها الحرج تستعمل عادة كميّز عتبة لحالتي البتتين الكموميتين. يوجد تطوير واعد آخر هو إجراء قياسات غير هدّامة كمومياً، حيث تزود فيها البتّة الكمومية انزياحاً طورياً يعتمد على الحالة من أجل موجة كهريطيسية في خط نقل. لقد تمّ تحقيق دقة قراءة عالية تبلغ $\sim 95\%$ وقراءة سريعة غير هدّامة في حدود عشرات نانو ثانية.

توجد سمة مميّزة للبتّات الكمومية الفائقة النقل هي مقاسها الجهري: فهي تضم الحركة الجماعية لعدد كبير ($\sim 10^{10}$) من إلكترونات النقل في نبأط يبلغ قدها $100 \mu\text{m}$. الحكمة الشائعة هي أن انضمام هذه الحالات الأكبر والأكثر "جهرية" سيعاني من عدم

يمكن بسهولة تفسير الفيزياء الأساسية التي تعمل بموجبها البتّات الكمومية ذات النقل الفائق بالمماثلة مع المنظومة الميكانيكية الكمومية الأبسط لجزء وحيد في كمون. نبدأ بالتفسير فنقول: إن دائرة هزاز Lc تؤمّن هزازاً توافقياً كمومياً. فالتدفق المغنطيسي خلال المرحة \emptyset والشحنة على المكثفة Q لهما المبادل $[\emptyset, Q] = i\hbar$ ، وعليه فإن Q و \emptyset يمثلان على التوالي الموضع والاندفاع لجسيم كمومي مفرد، وتتعيّن الديناميات بالطاقة $\emptyset^2/2L$ والطاقة الحركية $Q^2/2C$ ، التي تؤدي إلى استكمام سويات متساوية البعد للهازان التوافقي. لكن اللاتوافقية مطلوبة، وتؤمّن المركبة الأساسية في البتّات الكمومية الفائقة النقل: ألا وهي وصلة جوزفسون. فوصلة جوزفسون هي طبقة عازلة رقيقة تفصل بين أقسام من ناقل فائق. إن استكمام الشحنة التي تعبر نفقياً عبر الوصلة تأتي بحدّ تجب cosine إلى القطع المكافئ في الطاقة الكامنة له سعة تعطيها طاقة جوزفسون E_J التي تتناسب وتيار الوصلة الحرج. إن اثنين من المستويات المكمّاة في الكمون اللاتوافقي الناتج يعطيان بتّة كمومية.

توجد ثلاثة أصناف من البتّات الكمومية الفائقة النقل - الشحنة والتدفق والطور - لها كمونات مميّنة في الأجزاء b إلى d في الشكل 5. الاختلاف الحاسم بين الأصناف المختلفة للبتّات الكمومية هو النسبة E_J/E_C ، حيث $E_C = e^2/2C$ تمثل طاقة شحن الإلكترون المفرد المميّنة لمفعول الشحن، أي الحدّ الحركي. هذه النسبة تغيّر طبيعة الدوال الموجية وحساسيتها لترجحات الشحنة والتدفق.

الصنف الأول من البتّات الكمومية الفائقة النقل، وهو البتّة الكمومية للشحنة، يحذف التحريضية. لا توجد عروة فائقة النقل مغلقة، والكمون هو ببساطة تجب له قيمة صغرى عند طور الصفر. ويسمى في بعض الأحيان صندوق أزواج كوبر Cooper-pair box، لأنه يعتمد في النهاية على استكمام الشحنة إلى أزواج كوبر مفردة، التي تصبح مفعولاً مهميناً عندما يتحدّد إلكترون "صندوق" صغير بقدر كاف بواسطة وصلة جوزفسون. طوّرت البتّات الكمومية من هذا الصنف لأول مرة في النظام $E_J/E_C \ll 1$ ، ثم وسّعت فيما بعد إلى $E_J/E_C \gg 1$ وسميت "quantrium" و "transmon". أما البتّات الكمومية من صنف التدفق، وهي تُعرف أيضاً على أنها بتّة كمومية بتيار دائم، وفيها تصميم الدارة لتعطي كموناً ذا بئر مضاعف. النهائيات الصغيرتان تقابلان تيارين دائمين يجريان في اتجاهين متعاكسين على طول العروة. غالباً ما يستعاض عن التحريضية بصيف من وصلات جوزفسون. يُجعل حدّ الطاقة الحركية صغيراً، بحيث يتحقق $E_J/E_C \gg 1$. أما في البتّة الكمومية من صنف الطور، فيُجعل الكمون منحرفاً (مائلاً) عند نقطة مختلفة وهنا أيضاً يكون $E_J/E_C \gg 1$ ، بحيث يمكن أن تستعمل البتّة

والمثارة. يمكن لهذه البتات الكمومية أن تقدّم سطحاً بينياً فعلاً بين البتات الكمومية الطائرة والبتات الكمومية للمادة بأزمنة تخزين للفوتونات تصل إلى 10 ثوان.

توجد مواد أخرى لاستضافة بتات كمومية مبنية على الإلكترون المفرد هي أيضاً قيد الدراسة. فالمواد النانوية من الفوليرين المبنية على الكربون، والأنابيب النانوية والجرافين تتمتع بخواص ممتازة لاستضافة صفيقات من البتات الكمومية المبنية على الإلكترونات. يمكن أيضاً مسك الإلكترونات المستخدمة للحساب الكومومي في وسط ذي عدم ترابط منخفض على سطح الهليوم السائل، أو يمكن احتواؤها في مغناط جزيئية.

هناك صنف آخر للبحث في الحساب الكومومي يشمل طرائق من المنطق الكومومي العامل بين البتات الكمومية، هو في الغالب من الأنواع الموجودة. هناك مثال أساسي عن هذا هو استعمال تجاوزيف خطوط نقل فائقة النقل ومجاوبات من أجل بتات كمومية غير تلك المبنية على وصلات جوزفسون، مثل الأيونات والجزيئات القطبية والنقاط الكمومية. تمثل تيارات الحواف edge currents في منظومات هول الكمومية نوعاً آخر من التيار المترابط الذي يمكن أن يكون مفيداً من أجل تزويد (ربط) الحواسيب الكمومية بأسلاك quantum wiring. إن كل نوع من أنواع الحقل البوزوني تقريباً قد دُرس من أجل تحقيق هذا الربط الكومومي بالأسلاك، بما في ذلك فوتونات الشبكة البلورية في أنصاف النواقل، أو الفوتونات في الهزازات الميكانيكية المبردة، أو الأكسائونات الحرة، أو التهجين بين الأكسائونات وفوتونات التجويف في أنصاف النواقل، والأمواج السبينية في البلورات المغنطيسية. تشمل الأفكار الأخرى في هذا الصنف أمواج صوتية سطحية من أجل بتات كمومية ذات سبين بحركة مكوكية وتقانات بلازمية من أجل بتات كمومية فوتونية بحركة مكوكية عند مقاسات تحت أطوال موجية.

والتطوير الأخير الحاسم في الحوسبة الكمومية هو استعمال بوابات كمومية محدّدة توبولوجياً، وذلك للحفاظ على المعلومة الكمومية. تستعمل هذه المفاهيم لتعريف خطط QEC لاحتمال الغلط القوية بصورة ملحوظة بين بتات كمومية عادية، ولكنها اقترحت أيضاً كمنهاج لحساب فيزيائي يجب إيجاد عتاد حاسوبي مناسب له. وعلى سبيل المثال، إن نوعاً من الإثارة الكمومية مع إحصاء كمومي جزئي يُعرف باسم «أنيون anyon» قد تُنبئ به أن يلعب دوراً في منظومات المادة المكثفة. إن تطبيق المنطق الكومومي بتفسير مثل هذه الجسيمات braiding قد يقدّم طرقاً مستقبلية أكثر تقدماً لحساب كمومي قوي.

الترابط بصورة أسرع مما تعانيه منظومات أكثر "مجهريّة". على كل حال، إن أزمنة عدم الترابط القصيرة على نحو مؤلم والبالغة بضعة نانوثانية التي لوحظت في التجارب المبكرة قد امتدت حديثاً لتصل إلى قيم T_1 و T_2 البالغة من بضعة ميكروثانية إلى عدة ميكرو ثانية، وهي الآن من عشر إلى مئات المرات أطول من مقاييس الزمن للتهيئة، والقراءة، والمنطق الشامل. ومهما يكن، إن فهم وحذف عدم الترابط لا يزال التحدي الأكبر للبتات الكمومية الفائقة النقل. إن هندسة المواد على المقاس المجهري قد تكون مطلوبة لحذف مصادر الضجيج المتبقية.

تقانات أخرى

هناك عدد كبير من التقانات الأخرى تبدي ترابطاً كمومياً، بالإضافة إلى تلك التقانات التي تناولناها أعلاه، قد اقترحت وجرى اختبارها من أجل استخدامها في الحواسيب الكمومية. وكمثال على ذلك، الفوتونات المفردة في الحواسيب الكمومية الفوتونية يمكن (استبدالها) الاستعاضة عنها بالإلكترونات قذفية مفردة في بُنى نانوية لأنصاف نواقل عند درجات حرارة منخفضة، والتي يمكن أن تقدم ميزات في توافر اللاتخطيات من أجل التآثرات وفي الكشف. وكمثال بارز آخر، الحواسيب الكمومية المبنية على الأيونات والذرات قد نستفيد من استعمال جزيئات قطبية صغيرة بدلاً من ذرات مفردة، لأن درجة الحرية الدورانية للجزيئات تقدم إمكانات أكثر للتحكم بالترابط.

والمنظومات الأخرى من الحالة الصلبة والتي تجري دراستها هي منظومات الأيونات الترابية النادرة في مضيفات بلورية، والتي كانت حالاتها الدقيقة جداً معروفة لسنوات عديدة بأنها تبدي أزمنة ترابط طويلة. ولسوء الحظ، فإن الانتقالات الضوئية الضعيفة لهذه الأيونات الشائبة تمنع الكشف عن أيونات مفردة، وهكذا فإن هذه المقاربة تستخدم مجموعة، كما هو الحال في الحاسوب الكومومي بالتجاوب المغنطيسي النووي. إن نسبة توسع الخطوط الطيفية المتجانس إلى توسعها اللامتجانس والعالية بصورة مفرطة في مثل هذه المنظومات (1kHz مقابل 10 GHz من أجل $Eu:YAlO_3$ بصورة نموذجية) تسمح بميز يصل إلى 10^7 بتة كمومية في عدد هذه البتات، محدّدة كمجموعات من الأيونات لها تواتر انتقال ضوئي محدّد جيداً مفصولة بواسطة ليزر ذي عرض عصابي ضيق. يمكن تهيئة الحالة الابتدائية للبتات الكمومية من العناصر الترابية النادرة عبر ضخ ضوئي لمستويات فرعية فائقة الدقة من الحالة الدنيا. البوابات ذات البتات الكمومية المتعدّدة ممكنة من خلال عزم ثنائي القطب الدائم الكبير في كل من الحالتين الإلكترونيتين الدنيا

توقعات

على التحكم بالخصائص غير المتوقعة للميكانيك الكوموي، وقد نتوقع بصورة معقولة فوائد جانبية، كأن تكون مواد جديدة من الحساسات. وعندما نصبح قادرين على فهم التقانة الكوموية بالقدر الكافي كي نحسن الحاسوب الكوموي، سيصبح العالم الكوموي مألوفاً لدينا ونصبح معتادين على شكل جديد من واقع تقاني.

المراجع: انظر المجلة الأصل ص 52-53.

المؤلفون:

ت. د. لاد T. D. Ladd: مختبر إدوارد ل. غينزتون، جامعة ستانفورد، ستانفورد، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.

ف. جليزكو F. Jelezko: معهد الفيزياء، جامعة شتوتغارت، بفافينوالدرينغ، ألمانيا.

ر. لافلام R. Laflamme: معهد الحساب الكوموي، قسم الفيزياء والفلك، جامعة واترلو، واترلو، أونتاريو، كندا. معهد المحيط، أونتاريو، كندا.

ي. ناكامورا Y. Nakamura: مختبرات أبحاث الإلكترونيات النانوية، شركة NEC، تسوكوبا، اليابان. معهد الأبحاث الفيزيائية والكيميائية (RIKEN)، سيتاما، اليابان.

س. مونرو C. Monroe: معهد الكم المشترك، جامعة ماريلاند، قسم الفيزياء، والمعهد الوطني للمعايير والتقانة، ماريلاند، الولايات المتحدة الأمريكية.

ج. ل. أو براين J. L. O'Brien: مركز الفوتونيات الكوموية، مختبر Wills. H. H للفيزياء وقسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة بريستول، بريستول، المملكة المتحدة. يعمل حالياً في مختبرات HRL، ماليبو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.

نشر هذا المقال في مجلة Nature, Vol 464, 4 March 2010، ترجمة د. محمد قعق، رئاسة هيئة التحرير.

إذا تطلعنا إلى المستقبل، فأى نوع من العتاد الحاسوبي يتمتع بواعدية أكثر من أجل تحقيق حاسوب كوموي على نطاق واسع؟ للإجابة عن هذا السؤال الصعب جداً، يمكننا أن نقارن أزمنا الترابط، كما هي ملخصة في الجدول 1. الأزمنة T_2 قد تتحسن مع تطور التقانة، وهي تتغير بعدة مراتب في القيمة، حيث أكبرها مُعطى من أجل الأيونات المأسورة من أجل انتقال واحد خاص في تركيبية مصيدة أيونية خاصة. على كل حال، إن T_2 لكل بئة كمومية يجب مقارنتها بالمقياس الزمني اللازم للتحكم بتلك البئة الكوموية وتهيئتها وقياسها. كذلك قد يبرز في التطبيق العملي، أن العيوب (الشوائب) في التحكم المترابط للبتات الكوموية من المحتمل كثيراً أن تُحد من أداء الحاسوب أكثر من عدم الترابط، لذلك فالجدول 1 يعطي أيضاً نتائج لأخطاء بئة كمومية واحدة أو بتات كمومية متعددة التي لا تكون مساهمة عدم الترابط فيها خلال زمن البوابة إلا مساهمة واحدة.

لكن الجدول 1 لا يحتوي على معلومات كافية للمقارنة بين تقانات مختلفة محتملة لأن عدد البوابات الكوموية، والتهيئات والقياسات يعتمد بصورة حاسمة على شكل تصحيح الخطأ الكوموي (QEC) المستخدم. وبالإضافة إلى ذلك، إن مقارنة طرق QEC ليست أمراً بسيطاً كاختبار عدد مفرد، مثل عتبة احتمال الغلط، وعلى المرء أيضاً أن يأخذ بالحسبان القيود من أجل التوصيلية بين البتات الكوموية، وعمليات الضجيج الخاصة من أجل ذلك العتاد الحاسوبي، والسرعة النسبية للاتصال والتحكم والتهيئة والقياس من بئة كمومية إلى بئة كمومية.

وفي النهاية، ينبغي على أي مقارنة ذات قيمة أن تختبر اختباراً كاملاً هندسة بناء الحواسيب الكوموية التي تسرد الموارد اللازمة لإتمام خوارزميات ذات أحجام وثيقة الصلة وذات أخطاء مهمة. والنتيجة التي تمخض عنها العقدان الأخيران حول علم المعلومات الكوموية، هي أن المجموعة يمكن أن تبدأ لتتشغل بجد في تصميم ومن ثم مقارنة مثل هذه الأساليب البنائية. وللانتقال إلى تحقيق نبائط مبنية على مبادئ كمومية هي في الحقيقة أكثر قدرة أو أكثر فعالية أو أقل تكلفة من نظرائها من الحواسيب التقليدية، لابد من مضاعفة الجهد في هذا الاتجاه.

مما لاشك فيه أن الحاسوب الكوموي الواسع النطاق هو هدف طموح إلى أبعد الحدود، ويبدو لنا الآن كما كان ينبغي أن تكون عليه الحواسيب التقليدية الكبيرة والقابلة للبرمجة بشكل كامل، منذ قرن مضى. على كل حال، مع اقترابنا من هذا الهدف، سنصبح معتادين

حقائق عن الهاتف

دراسة طال انتظارها قد تعيد فتح النقاش حول موضوع الهواتف الخلوية والسرطان، لكن نتائجها بحاجة للمعالجة بعناية، هذا ما يقوله ميخائيل ريباشولي Michael Repacholi.

قد أنجز، وكانت نتائجها سلبية في أغلب الأحيان (Epidemiology, vol 20, p639).

إضافةً إلى ذلك، كانت نتائج خمس دراسات شملت أكثر من 60% من المشاركين قد جُمعت ونُشرت. أظهر هذا البحث عدم وضوح الرابط بين استخدام الهاتف الخليوي والسرطان، ولذلك فهو لا يستبعد إمكانية وجود خطر ضئيل للورم في الدماغ glioma أو العصب السمعي acoustic neuroma من استخدام الهاتف الخليوي بشكل مفرط لأكثر من عشر سنوات.

من المرجح أن الأوساط الإعلامية ستنتشر أن الاستخدام الطويل الأمد والمكثف للهاتف الخليوي قد يسبب أورام الدماغ glioma أو العصب السمعي acoustic neuroma. هذا، على كل حال، يمثل احتمالاً ضعيفاً. يعود الرابط، على الأغلب، إلى محدودية الدراسة، التي يوجد منها العديد، وإلى الحاجة إلى أبحاث إضافية قبل أن يمكننا إثباته أو (وهو الأرجح) استبعاده.

إذاً ما هو الخطأ في دراسة إنترفون؟ المشكلة الأساسية هي أن الباحثين يجمعون المعطيات من خلال إجراء مقابلات مع الناس

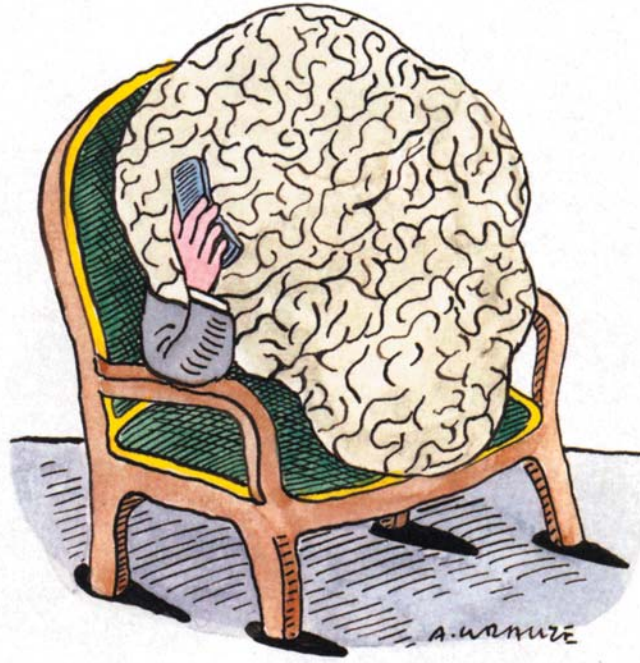
هل تسبب الهواتف الخلوية السرطان؟ ذلك السؤال هو في طور البحث من جديد مع نشر منظمة الصحة العالمية دراسة باسم إنترفون Interphone التي طال انتظارها. ووفقاً لارتباطاتها بالصحة العامة، من المحتمل أن تحصل هذه الدراسة على اهتمام واسع من قبل وسائل الإعلام، غير أنه يجب عليك أن تعالج ما تقرأ وتسمع بحذر.

عندما بدأت دراسة إنترفون منذ عقد مضي، كان هناك توقعات كبيرة بأنها ستعطي جواباً محدداً. من الواضح الآن أنها لا تستطيع ذلك، والسبب يعود إلى وجود عيوب أساسية في طريقة إنجازها.

تتضمن إنترفون 16 دراسة صغيرة، ستدمج جميعها في دراسة واحدة كبيرة، والغاية هي تحديد ما إذا كان استخدام الهاتف الخليوي مرتبطاً بأورام الدماغ (glioma)، أو السحايا (meningioma)، أو العصب السمعي (acoustic neuroma) أو الغدد اللعابية.

وبعد أن تحدث الجميع، تقارن الدراسة استخدام الهاتف الخليوي من قبل 6420 شخصاً ممن كان مصاباً بأحد تلك السرطانات بالدراسة التي شملت 7658 شخصاً بدون سرطان.

عندما ذهبت مجلة نيو ساينتست New Scientist إلى المطبعة، كانت النتائج النهائية ما تزال طي الكتمان، غير أنه كان لدينا بعض العلم حول ما ستؤول إليه، لأن العديد من الدراسات الست عشرة كان



"هل يمكنك أن تتذكر كم مرة استخدمت هاتفك الخليوي خلال السنوات الخمس أو العشر الماضية؟ بالطبع لا"

النصية واستخدام مكبرات الصوت وأنظمة الحقائب اللايودية Hands-free kits، كل ذلك أدى إلى تناقص التعرّض بشكل أكبر.

إضافة إلى ذلك، هناك أناس مختلفون يمسكون هواتفهم بزوايا مختلفة وعلى مسافات مختلفة من رؤوسهم أثناء المكالمات. يمكن أن يؤدي هذا أيضاً إلى تنوع كبير في التعرّض للترددات الراديوية RF، والذي لا يمكن أن يؤخذ بالحسبان في هذه الدراسة.

يجب أن يُنظر إلى نتائج إنترفون في ضوء ما هو معروف عن أثر الترددات الراديوية RF على الخلايا. فكل الدراسات المرجعية الدقيقة في الأدبيات العلمية توصلت إلى أن التعرّض لحقول الترددات الراديوية RF لا يترابط مع زيادة خطر السرطان.

لم تُكتشف أية آلية تبيّن أن التعرّض للترددات الراديوية RF من الهاتف الخليوي يمكن أن يسبّب السرطان. الحقول RF لا تملك الطاقة الكافية لكسر الروابط الكيميائية في الـ DNA، وهكذا هي ببساطة غير قادرة على إحداث الطفرات اللازمة لنشوء السرطان. كما أنه، من خلال التحليل النظري لكل الطرق الممكنة التي تؤثر من خلالها الحقول RF على الخلايا والنسج، لا يبدو أنه من الممكن أن يسبّب التعرّض لـ RF عند سويات أقل من الحدود الدولية عواقب صحية سلبية.

إذاً، ماذا يمكننا أن نستنتج؟ يجب أن تؤخذ إنترفون كدراسة أولية مفصلة أمكنها تحديد ضوابط منهجية أساسية يجب أخذها بالحسبان في دراسات لاحقة، مثل عدم الاعتماد على ذاكرة الناس وإنما متابعة استخدام الهواتف الخليوية لمجموعة كبيرة من الناس ولسنوات عديدة.

تجري دراسات مماثلة لهذه الدراسة، لكنها ستأخذ وقتاً. وفي غضون ذلك، يجب أن تبقى سياسة الصحة العامة وفقاً لما توصي به منظمة الصحة العالمية WHO. أكثر من 50 دولة اعتمدت المعايير التي تحدّد التعرّض لـ RF من الهاتف الخليوي. وبقدر ما يمكننا أن نكون متأكدين بصورة معقولة، فإن هذه الإرشادات هي أكثر من كافية من أجل حمايتنا.

حول عاداتهم الماضية في استخدام الهاتف الخليوي، وتعرّضهم إلى مصادر أخرى للإشعاعات الراديوية radio-frequency radiation (RF) - التي تستخدمها الهواتف الخليوية لنقل المكالمات - وكذلك معاملات الخطر الأخرى كالتدخين. كان المشاركون يُسألون عن عدد المرات التي يستخدمون فيها هواتفهم الخليوية، وعن طول تلك المدة، وعن جانب الرأس المعتاد في استخدامهم لهواتفهم الخليوية. كما عُرضت على المشاركين صوراً لهواتف خليوية مختلفة من أجل أن يعيّنوا النماذج التي كانوا يستخدمونها.

هل يمكنك أن تتذكّر كم مرة استخدمت هاتفك الخليوي خلال السنوات الخمس أو العشر الماضية؟ بالطبع لا، وهذه نقطة الضعف الكبرى في إنترفون. إن دراسات المخاطر الصحية للترددات الراديوية RF جيدة بقدر إمكانيتها على تخمين التعرّض للترددات الراديوية RF. من أجل إنترفون، تمّت تسوية ذلك من خلال "انحياز التذكر recall bias".

تحقق انحياز التذكر على الأرجح من خلال إدراك الناس الواسع للفرضية القائلة بأن إنترفون قد أطلقت من أجل اختبار أن الهاتف الخليوي يسبّب السرطان. هناك دليل على أن الناس المصابين بالأورام يبالغون في تخمين ماضي استخدامهم للهاتف، ربما لأنهم يظنون أنه وراء إصابتهم بالأورام (Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, Vol 91, p369).

يظهر انحياز مشابه من خلال تذكر جانب الرأس الذي كانوا يضعون عليه هواتفهم الخليوية: فهو لاء المصابون بأورام في جانب واحد يميلون إلى المبالغة في مقدار استخدامهم للهاتف على ذلك الجانب (Scandinavian Journal of Public Health, vol 37, p664).

ويظهر انحياز مختلف من حقيقة أن عناصر من مجموعة الشاهد كانوا على الأرجح أكثر استخداماً للهاتف الخليوي من عامة الناس. ربما السبب في هذا هو أن المجموعة قد اختيرت عشوائياً، وبالذوة، والناس الذين ليس لديهم هواتف خليوية لم يروا الصلة للمشاركة. "انحياز الاختيار" هذا يعني أن المجموعتين غير قابلتين للمقارنة المباشرة، وقد يؤدي ذلك إلى خطر الوقوع في بخس التخمين بحوالي 10 بالمئة (Annals of Epidemiology, vol 19, p33).

ليت ذلك لا يشوّش بما فيه الكفاية، إذ تغيّرت تقنية الاتصال بشكل واضح خلال السنوات العشر الأخيرة. معظم تلك التغيّرات، مثل التحول من تماثلي إلى رقمي، قد أنقصت التعرّض للترددات الراديوية RF. كما تغيّرت أيضاً عادات الاتصال، مع ازدياد الكتابة

◀ نُشر هذا الخبر في مجلة New scientist, 12 December 2009.

ترجمة د. عصام أبو قاسم، هيئة الطاقة الذرية السورية.

أوقفوا تخصيب اليورانيوم بالليزر

يقول فرانسيس سليكي Francis Slakey وليندا كوهين Linda Cohen أن على الكونغرس الأمريكي تشييط الجهود المبذولة لتقدم تقانة صنع الوقود الخاص بالمفاعلات النووية، لأن المخاطر تفوق المنافع.

التي لا يمكن تعقبها، من الممكن أن يغيران قانون لعبة انتشار الأسلحة النووية.

لقد تقدمت شركة التخصيب بالليزر العالمية Global Laser Enrichment، وهي شركة رديفة لشركة جي إي هيتاشي للطاقة النووية GE Hitachi Nuclear Energy للحصول على ترخيص من قبل هيئة التنظيم النووي الأمريكية (NRC) بغية تشغيل مصنع متكامل لإنتاج الـ (SILEX) تجارياً في مقاطعة كارولينا الشمالية. وهذا الترخيص متروك لموافقة الشعب حتى تاريخ 15 آذار/مارس، أما القرار النهائي لذلك من المتوقع أن يأخذ سنة أخرى على الأقل.

إن محللين متعددين ومثلهم مؤلفي تقرير أخير من الجمعية الفيزيائية الأمريكية (الخطوات التقنية لدعم تقليص السلاح النووي)، قد دعوا NRC لاختبار (لتفحص) مخاطر الانتشار كجزء من عملية ترخيصها، ونحن مرة أخرى نلح على فعل ذلك. فنحن نعتقد أن مثل هذا العائق سيثبط الأبحاث التجارية والتطوير في هذا المجال.

قلق الفصل

لتقييم التكاليف والمنافع لتقانة جديدة، يجب أولاً قياس كفاءتها. إذ يجب زيادة تركيز اليورانيوم المنشطر 235 مقارنة مع اليورانيوم 238 لدى صنع عينة الوقود. ويمكن أن يُقاس مردود تقانة فصل النظير بدلالة الزيادة المناسبة مع تركيز اليورانيوم-235 في الدفق (التيار المستمر) المخصب - أو ما يسمى وحدة عمل الفصل separative work units (SWU) - في الميغا-واط-ساعة من الكهرباء المستهلكة في المحطة (SWU MWh⁻¹).

وإن مقدار الوحدات SWUs اللازمة لإنتاج كيلو غرام واحد من وقود المفاعل يعتمد على ثلاثة عوامل: نسبة اليورانيوم 235 المطلوبة في الوقود النهائي، وتلك التي توجد في اليورانيوم الطبيعي

خلاصة

- إن متوسط وفر الأسرة من تخصيب اليورانيوم بالليزر يحتمل أن يكون أقل من دولارين في الشهر.
- إن هذه التقانة يمكن أن تُختلس لإجراء تخصيب اليورانيوم سراً من أجل صنع الأسلحة.
- إن هيئة الرقابة النووية للولايات المتحدة يجب أن تقيم مخاطر الانتشار عند إجراء الترخيص.

بما أن العالم يتجه نحو تطوير تقانات التخصيب النووي لتصبح رخيصة وصغيرة الحجم بحيث لا يمكن رصدها عملياً من قبل الأعمار الاصطناعية، فإن المخاطر التي ستجلبها هذه التقانات هي ببساطة ليست بقيمة الفوائد.

لقد أظهرت تقانات تخصيب اليورانيوم تطورات أُسية من حيث المردود. وقد استفاد العالم منها في توفير طاقة نووية أرخص، وهي تقانة مطلوبة بشكل متزايد، إذ إن العالم يناضل ضد تغيير المناخ. إلا أن لهذه التقانة ضريبة عالية ألا وهي تزايد خطر انتشار الأسلحة النووية؛ فبناء منشأة تخصيب صغيرة سرية بطاقة أقل هو أسهل إلى حد بعيد من بناء منشأة كبيرة بطاقة كثيفة.

ومن وجهة نظرنا، فإن أحدث تقانة ليزرية للتخصيب - والتي تسمى فصل النظائر بالإثارة الليزرية (SILEX laser excitation) - تقدم مخاطر محتملة أكثر من الفوائد. فالمرودات التي تعد بها ليست مهمة من أجل توسع صناعة الطاقة النووية، سواء في عصرنا هذا أو في المستقبل الذي تكون فيه الانبعاثات الغازية تحت السيطرة نتيجة تفضيل الصناعة النووية. إن ما يحدد حجم هذه الصناعة هو التكاليف الرأسمالية، بل الأهم من ذلك هي السياسات المنظمة لهذه الصناعة. وبالرغم من ذلك، فإن تطوير واحتمال إساءة استخدام منشأة التخصيب القليلة المردود،

"إن إدارة غازات الدفيئة ستعزز إلى حد كبير طلب تمويل القدرة النووية"

يفترض بشكل عام أن هذا التطور سيقود إلى منافع مالية للمستهلكين. إلا أن حساباتنا تفترض أن مثل هذه المنافع ستكون صغيرة.

وطبقاً لإدارة استعلامات الطاقة، فإن ما مقداره 806 ملايين MWh من الكهرباء الآتية من الطاقة النووية كانت قد تولدت في الولايات المتحدة في عام 2007 بتكلفة وقود متوسطة قدرها 0.045 دولار أمريكي للكيلو واط-ساعة، صرف نصفها لخدمات التخصيب. وبما أن هناك 114.5 مليون أسرة في الولايات المتحدة، فإن هذا يعني أن السعر/التكلفة المتوسطة للعائلة هي قرابة 1.32 دولاراً في الشهر من أجل خدمات التخصيب الجارية. فإذا خفضت مضاعفة

مردود التقانة الليزرية أنصاف تكلفة التخصيب، وردَّ كل ما يتوفر لصالح المستهلكين فإن الأسرة ستوفر وسطياً ما مقداره 0.66 دولاراً في الشهر، أو ما هو أقل من 1% من متوسط فاتورة الكهرباء للأسرة، وعلى النقيض، فإن برنامج تجارة الكربون يفكر ملياً في الترخيص الجاري في الولايات المتحدة الذي يمكن أن يضيف 20% من التكلفة إلى تلك الفاتورة في السنوات القليلة المقبلة. فالإدارة الجادة للغازات الدفيئة تعزِّز إلى حدٍّ كبير الالتماس المالي للقدرة النووية سواء انخفضت تكلفة خدمات التخصيب أم لا.

إن توفير الأسرة من التخصيب الأرخص سيزداد مع ازدياد الطلب على القدرة النووية ومضاعفة التوليد من الطاقة النووية في الولايات المتحدة بحلول عام 2025 (سيناريو نمو طموح للصناعة النووية) يمكن أن يضاعف الوفر من التخصيب إلى 1.32 دولاراً للأسرة في الشهر. بالإضافة إلى أن تغييراً في الأسعار النسبية لخدمات التخصيب (انخفاضاً) وفي سعر اليورانيوم الطبيعي (ارتفاعاً) سيزيد الطلب على SWUs في إنتاج الوقود. وإذا كان سعر الأنصاف السابق والسعر المضاعف اللاحق، فإننا نحسب -بناءً على استمثال التكلفة لمراحل عملية التخصيب حسب معهد ماساشوستس للتقانة في كامبرج- ذلك الذي يتطلب من أجل



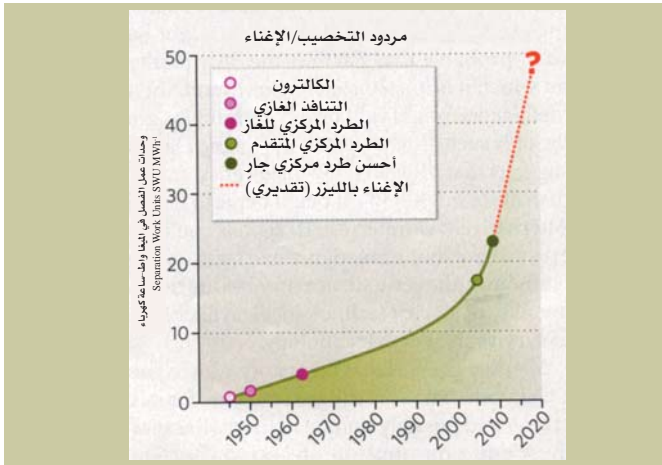
كلما ازداد حجم منشأة التخصيب النووي ازدادت صعوبة اخفائها

المغذي (الخام المستخدم في التصنيع)، وتلك المقبولة في مخلفات اليورانيوم المستنفد (النفائية). فإذا كان اليورانيوم المغذي رخيصاً والوحدات SWUs غالية الثمن، فإن الوقود من درجة تخصيب معطاة يمكن أن يتم بكلفة اقتصادية مجدية لاستخدام مزيد من اليورانيوم والتعايش مع نسبة أعلى من اليورانيوم 235 المتبقي في المخلفات. والبدل الاختياري هو يورانيوم غالي الثمن وSWUs رخيصة يجعل من الجدير استعمار مزيد من اليورانيوم 235 من الخام الداخل للتصنيع.

إن طريقة التخصيب الأولية التي طورت في الأربعينيات وسُميت الكالوترون calutron كانت عبارة عن مطياف كتلة

أينَّ اليورانيوم واستخدم الحقول المغنطيسية لاصطفاء اليورانيوم عبر غشاء مسامي (نصف نافذ). وفي الستينيات، طُوِّر التخصيب بالطرد المركزي الذي خفض الطاقة اللازمة بمقدارٍ مدهش، فقد ازداد مردود التقانة من نحو 0.5 SWU MWh^{-1} في عام 1954 إلى أكثر من 5 SWU MWh^{-1} في الستينيات وإلى أكثر من 20 MWh^{-1} في هذه الأيام.

يعبث أكثر من 20 بلداً في التخصيب بالليزر خلال العقدين الماضيين، ومنهم كوريا الجنوبية وإيران دون نجاح بين كبير. وكانت SILEX قد طورت من قبل الشركة الأسترالية لأنظمة سيليكس. والآن هي تُسوّق تجارياً وحصرياً من قبل GE Hitachi. وفي عام 2006، أعلنت سيليكس أنها تتوقع أن تصبح هذه التقانة في كل مكان أكثر مردوداً، في المجال من 1.6 إلى 16 مرة من مردود الجيل الأول لأجهزة الطرد المركزي الغازي. والتفاصيل مكتومة ولا يسمح بها لغير الأشخاص المخولين، ومن غير الممكن التأكد من المردود كما يدعون. إلا أنه على افتراض استمرار المسار التاريخي للإغناء/للتخصيب (الذي يتبع قانون مور Moore's law كما تفعل كثير من التقانات) فيبدو من المنطقي افتراض مضاعفة أفضل مردودات هذه الأيام حتى العام 2020 (انظر منحنى مردود التخصيب).



للتخصيب. ويقدر الآخرون بأن ما مقداره خمسة بلايين دولار أمريكي -أي نحو 10% من الموازنة السنوية لحكومة الولايات المتحدة من أجل أنشطة الأمن النووي- يمكن أن ترصد لأنشطة عدم الانتشار.

وهناك في الوقت الحالي جهود مزمنة للضغط على إيران لتعليق أنشطة تخصيبها. ولتقدير ثمن مثل هذه الصفقة، نعتبر مسودة الصفقة مع إدارة الرئيس بيل كلينتون التي حاولت المناقشة مع كوريا الشمالية لتعليق أنشطة السلاح النووي. فلقد زودت كوريا الشمالية بنحو مليون طن من الوقود وبمفاعلات مقاومة -للانتشار تعطي 2.000 ميغا واط من الكهرباء قيمتها أكثر من 4.5 بليون دولار أمريكي.

وعلى مدى العقد الماضي، استخدمت الولايات المتحدة الأسلوب المذكور أعلاه بتكلفة تزيد على 50 دولاراً للأسرة في الشهر. وإن الزيادة في عدد الأقطار التي لديها الوسيلة ربما غير القابلة للكشف بتقانة التخصيب الليزري ستزيد حتماً من هذه التكلفة.

وكخطوة أولى لاحتواء مخاطر التخصيب بالليزر، يجب على الكونغرس أن يطلب أن يكون تقدير مخاطر الانتشار جزءاً من عملية الترخيص التي تمنحها NRC. وإن مثل هذا التقييم يجب أن يكون امتداداً طبيعياً للأمر الرسمي (الانتداب) NRC للتأكد من أن التقانة لا تستخدم "بممارسة معادية لاهتمامات الولايات المتحدة". ولدى NRC الآن مجريات لتقدير المعلومات السرية، بحيث أنها لا تحتاج لتسن قانوناً بصعوبة.

لقد جرت مناقشة مفادها أنه بتطوير تقانة الإغناء بالليزر في الولايات المتحدة، يمكن لكيانات الولايات المتحدة التأكد من أن هذه التقانة محمية بشكل كافٍ ضد الانتشار، والتاريخ لا يُشعر بالثقة في هذا الأسلوب. فتقانات التخصيب السابقة -الكالترون والطردي المركزي للغاز وكذلك الطرد المركزي المتقدم- خلقت كلها مخاطر

SWUs زيادة بنحو 40% من أجل المستوى ذاته من إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية. وهذه العوامل ستزيد التوفير بما مقداره 0.52 دولاراً للأسرة شهرياً.

وبهدف النقاش، لنفترض أن كل التوفيرات وأن كل رأس مال التكلفة قد انتقل إلى المستهلك، فإن التوفيرات العظمى التي يمكن توقعها من هذه المُحدثة وحدها (بتقدير أولي) هي 1.85 دولاراً للعائلة في الشهر. وهذه المنفعة صغيرة خاصة عند مقارنتها بالأخطار المتزايدة للتقانة عند استخدامها للتسلح النووي فضلاً عن الوقود.

وبالرغم من أن الابتكارات في التخصيب خاصة بمجموعة المالكين وبمؤسسات متعددة تعمل باجتهاد للإمسك بهذه الأسرار، إلا أن المعلومات قريبة من التسرب، وإن أحد أشد الأمثلة مأساوية يرتبط بعبد القدير خان، العالم النووي الباكستاني الذي نقل عن قرب التقدم المحرز في تقانة الطرد المركزي من أوروبا إلى باكستان. وبالرغم من أن هذه الأمور قد برزت في زمن تطور تقانة الطرد المركزي فإنه يمكن أن يشكل مخاطرة للانتشار، وكانت النظرة العامة أن ذلك لم يكن طريقاً محتملاً للبلاد الساعية وراء إمتلاك الأسلحة النووية. وإن تطوير باكستان للسلاح النووي برهن على خطأ هذه النظرة.

يمكن عادة اكتشاف التركيبات، والطابع الحراري وكذلك استخدام الطاقة في محطات التخصيب الكبيرة، إلا أن محطات الطرد المركزي الأصغر يمكن أن تحفظ في السر لسنوات عديدة كما حدث في الاكتشاف الأخير للمؤسسة التي بُنيت في قم بإيران. وإذا كان التخصيب بالليزر فعالاً كما سبق وافترض، فإنه يمكن عندئذ أن يشغل حيزاً أصغر أساساً من مخزن للسلع (75% أصغر من تقانات الطرد المركزي) ولا تستجر من الكهرباء أكثر مما تستجر اثنا عشرية (بزيئة) من البيوت النموذجية. وبهذا يمكن وضع مثل هذه المحطات بعيدة تماماً عن عتبة الكشف وعن تقانة المراقبة القائمة -حتى عندما تستخدم لتخصيب اليورانيوم على نطاق واسع.

التكاليف المستورة

وبالنقيض من المدخرات المنتظرة من التخصيب الليزري، لنعتبر التكلفة الجماهيرية المرافقة لاحتواء مثل هذه التقانات. فحرب الولايات المتحدة ضد العراق المهزلة بأن ذلك البلد غطى تخصيب اليورانيوم قد كلفت الولايات المتحدة حالياً تكلفة إجمالية نحو 700 بليون دولار أمريكي. وطبقاً لخدمات البحث المرتبطة بالكونغرس، انفقت حكومة الولايات المتحدة تقريباً 990 مليوناً في العام 2008 على برامج عدم الانتشار، وعلى وجه الخصوص، فإن هذا تضمن أكثر من 200 بليون على بحث وتطوير التقانة المتعلقة بكشف المنشآت المستورة

المحتشدة (Rising Above The Gathering Storm)، الحكومة لأخذ خطوات فورية تؤكد أن "الولايات المتحدة هي المكان الأول للابتكار في العالم" فعلى الولايات المتحدة أيضاً أن تكون المكان الأول الذي يوقف فيه الابتكار عندما يكون للتقانة احتمال إحداث سيئات أكثر من الحسنات.

◀ **نشر هذا الخبر في مجلة** Nature, Vol 464, 4 March 2010
ترجمة د. مصطفى حموليا، عضو هيئة التحرير.

الانتشار على مدى الخمسين عاماً الماضية، بالرغم من الجهود المبذولة لكبح المعلومات.

وجدل آخر قدم في مصلحة تطوير مثل هذه التقانات هو أنه إذا لم تفعل الولايات المتحدة ذلك، فإن بلداناً أخرى ستفعل ذلك، وفي هذه الحالة سيكون ثمن الحماية ضد الانتشار أكبر، وهناك استجابتان لهذا: الأولى إذا أوقفت الولايات المتحدة التطوير ولم تأخذ إجراءات أبعد، فإن التقانة ستتأخر بالتأكيد. الثانية تحديد جاهزية التقانة، فإن الولايات المتحدة لا تحتاج الآن إلا إلى التفاوض مع البلدان القليلة المتقدمة تقنياً ذات القدرة على تجديد الإغناء بالليزر. ومثالياً، سيكون من الأفضل إذا اتخذت كل هذه البلدان وقفة لقمع التقانات الجديدة ذات المردود الأكبر من إغناء اليورانيوم.

تعدُّ الابتكارات التقانية بشكل عام شيئاً جيداً، وفي الحقيقة دعا تقرير الأكاديميات الوطنية 2007، التصاعد فوق العاصفة

الجينوم البشري في السنة العاشرة بعد الكشف عنه

بعد حوالي عقد من الانتهاء من التسلسل الأولي للجينوم البشري، يجب على الباحثين العمل بالكثافة نفسها والتركيز لتطبيق النتائج على الصحة.

يعني تاريخ العقد الأول، بالنسبة إلى العديد من العلماء، شيئاً شخصياً إلى حدٍ بعيدٍ. ليس فقط لأنهم استلهموا من هذا المثال ماذا يمكن للباحثين القيام به كمجموعة، ولكنهم وجدوا أن توفر هذه التسلسلات قد غير حياتهم وأبحاثهم بطريقة فاقت توقعاتهم.

شهد العقد الأول لما بعد الجينوم تقدماً مذهلاً في العلوم. وألهم نجاح مشروع الجينوم الأساسي العديد من الجهود البيولوجية الكبيرة وبشكل خاص المشروع الدولي HapMap الذي خط النقاط التي تختلف عادة فيها الجينومات البشرية، ومشروع موسوعة عناصر الدنا Encyclopedia of DNA Elements (ENCODE) الذي يهدف لتحديد كل العناصر الوظيفية في الجينوم البشري. ساعدت القفزات المثيرة في تقانة السلسلة وانخفاض الكلفة الشديد في الحصول على سيل من البيانات الوراثية، بما يشمل أكثر من دزيتين من جينومات بشرية منشورة، وما يقرب من 200 جينوم غير منشور.

احتاج السباق للانتهاء من تسلسل الجينوم البشري الأول إلى كل ما تحتاجه القصة لإبقاء المشاهدين في حالة إثارة عندما يكون التنافس على أشده بين متنافسين حتى القفزة الأخيرة. وفي النهاية، تكون النتيجة تعادلاً بشكل أساسي. والمتنافسان -مشروع الجينوم البشري الدولي الممول من الحكومات، والشركة الخاصة الساعية للربح سيليرا جينومكس التي كان مقرها آنئذٍ في Rockville-Maryland أعلنوا بشكل مشترك الانتهاء من التسلسل الأولي في حزيران/يونيو عام 2000، في مؤتمر صحفي متلفز حضره الرئيس الأمريكي بيل كلينتون ورئيس الوزراء البريطاني توني بليير.

زاد التصريح الصحفي الصادر عن البيت الأبيض من الأمل الذي شعر به كثيرون بأن هذا الإنجاز الكبير سيؤدي "إلى عهد جديد من الطب الجزيئي، وهو العهد الذي سيجلب طرقاً جديدةً لتمنع المرض وتشخصه وتتعامل معه وتعالجه".

التمثلة بتحديد دور العناصر الوراثية بشكل فعلي. تظهر إحدى التجارب المحيرة في التحاليل الوظيفية العالية المردود، إذ يذكر المؤلفون بالتفصيل كيف أعاقوا بشكل منهجي الـ 21000 مورثة المكوّدة لبروتينات في الخلايا البشرية، وبعد ذلك أخذوا صوراً في المجهر لهذا السلوك الخلوي وعالجوها.

يحتاج الجهد أيضاً إلى طرق إبداعية أكثر لتصور ورسم معانٍ من سيل البيانات الوراثية والجزيئية. سيحتاج الأمر إلى فرق متعددة الاختصاصات تستطيع أن تؤمن المعرفة ليس فقط من خلال البحث، بل أيضاً في قضايا مثل حقوق الملكية، والقبول المعلوم، والمالية والبيروقراطية التنظيمية التي يحتاجها المرء للإبقاء على استمرار الحصول على الاكتشافات من خلال معاناة التطوير السريري.

ربما سيحتاج الأمر حتى إلى تحدٍّ واضح لدعم الحماسة والمنافسة. على سبيل المثال، تقدم مؤسسة X-Prize Foundation في منطقة Palya Vista في كاليفورنيا، جائزة قدرها 10 ملايين دولار أمريكي لأول مجموعة تنهي سلسلة مئة جينوم بشري خلال عشرة أيام. لماذا لا تقدّم بعض المنظمات جائزة مادية ومعنوية -لنقل لدواء للسرطان- يستند على الوراثة ويستغرق عشر سنوات من البيانات الجينومية الأساسية إلى إقرار المعالجة؟ من غير المرجح أن يكون عالم المعالجات الحقيقي والواقعي بالسلسلة والوضوح نفسه لسلسلة الجينوم الذي يقاس فيه التقدم في عدد الأزواج التي تتم قراءتها كل يوم وهناك نقطة محددة تماماً. ولكن الحاجة ليست أقل إلحاحاً والإرادة الكلية للوصول إلى مثل هذه الأهداف يجب ألا تكون أقل شدة.

والأكثر من ذلك، أثبت السباق لسلسلة الجينوم البشري أن الباحثين المرتاحين في مساعيهم الفردية قادرين على تلاحم لا يمكن تصوره وتركيز وسرعة أخاذه. لقد أعادوا كتابة كتاب قواعد البحث، وكسروا موثيق الأهداف الأكاديمية الفردية وتركوا العامة بشعور أن كل شيء ممكن علمياً. جلبت السنوات العشر الأخيرة تقدماً تكنولوجياً وفكرياً مذهلاً. ولكن السنوات العشر بدءاً من الآن، عندما تقصّ حكاية أول عقدين من الجينوم، ستحتوي على تطبيقات مذهلة بالقدر نفسه للصحة البشرية.

◀ نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, 1 April 2010.

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

وفي الطريق لذلك، اكتشف علماء الوراثة أن بعض هذه المفاهيم الأساسية، كالمورث gene والتعديل المورثي gene regulation، هي أكثر تعقيداً مما تصوّروا سابقاً.

ولكن مع كل العصف الفكري في العقد المنصرم، هل استفادت الصحة البشرية حقاً من سلسلة الجينوم البشري؟ يقول كلٌّ من قائدي الجهود العامة والخاصة فرانسيس كولين Francis Collins وكريغ فينتر Craig Venter: "ليس كثيراً". بالتأكيد كان هناك بعض التقدم من حيث توجه الأدوية لبعض العيوب الوراثية المحددة في بعض أنواع السرطان، على سبيل المثال، وفي بعض العيوب الوراثية النادرة. ولكن تعقيدات البيولوجيا في عهد ما بعد الجينوم قضت على الآمال المبكرة من أن هذا المجرى الهزيل من العلاجات سوف يتحول بسرعة إلى فيضان. شاهد حجم دراسات الربط التي هدفت إلى إيجاد صلة بين تغيّرات وراثية شائعة وأمراض شائعة مع نجاح محدود فقط، أو الاكتشاف أن معظم السرطانات لها خصائصها الوراثية الفريدة مما يجعل إيجاد علاجات واسعة الانتشار صعب المنال.

أصبح من الواجب على شركات التقنية الحيوية، بما فيها سيليرا، وديكود جينيستيكس (حلّ الشيفرة الوراثية) في ريكجافيك، أيسلندا، وهيومان جينوم ساينسس (علوم الجينوم البشري) في روكفيل، أن تعيد التفكير في فرضياتها المتفائلة من أن بيع المعلومات الوراثية البشرية يمكن أن يحقّق ربحاً. خبت الإثارة عند الشركات التي عرضت تقديم اختبارات وراثية شخصية بالسرعة نفسها عندما أصبح واضحاً أن تنبؤاتهم لها قيمة فعلية ضعيفة.

لم تنجُ هذه الهوة بين الأبحاث الأساسية والتطبيق السريري من ملاحظة شركات التمويل، التي يستثمر العديد منها أموالاً جادة في رهان لإغلاقها. على سبيل المثال، أسس معهد الصحة الوطني الأمريكي مجموعة من مراكز سريرية رئيسية ومراكز علوم ترجمة خلال السنوات القليلة الفائتة، وفي شهر شباط/فبراير الماضي، أسس مجلساً مشتركاً مع إدارة الغذاء والدواء بهدف تشجيع الترجمة. وهناك جهود أخرى مشابهة تجري في أمكنة أخرى، مثل تلك التي يقوم بها مجلس البحوث الطبية البريطاني.

ليس من الواضح تماماً إذا ما كانت مثل هذه الجهود كافية لعلم الجينوم. إذا أخذنا بعين الاعتبار التعقيدات البيولوجية الداخلة، فإن تطبيق معرفة الجينوم البشري على الصحة يمكن أن يحتاج إلى جهد بحجم المجتمع، كما حدد مشروع سلسلته بالبداية وبشكل منسق.

هذا الجهد عليه أن يحلّ عدم توافق طويل الأمد: السهولة المتزايدة بسرعة في جمع بيانات الجينوم مقابل الصعوبة المستمرة

حرارة البحث عن النترينو العقيم أخذة بالارتفاع

يمكن أن تساعد الجسيمات المراوغة، إذا كانت موجودة، في حلّ بعض أكثر المعضلات إلحاحاً في الفيزياء الفلكية.

من خلال القوة النووية الضعيفة. التي تعني أنها يمكن أن تمرّ عبر حجوم ضخمة من المادة ولا تتصادم مع النوى الذرية إلا نادراً. ولالتقاطها، بنى الفيزيائيون مكاشيف تستعمل صهاريج من الزيت المعدني أو من الماء الثقيل، وكذلك قاموا بتحسين الشواذ بالتركيز على سيول النترينوهات الآتية من المفاعل النووي ومن مسرّعات الجسيمات ومن الشمس.

الجسيمات الانطوائية

لقد أشارت نتائج مسرّع سرن، وهو مرفق فيزياء الجسيمات الأوربي، قرب جنيف بسويسرا في العام 1998، إلى أن العائلات، أو

تعب النترينوهات أن تبقى منعزلة. فهذه الجسيمات الشبحية مقاومة للتفاعل مع المادة العادية لدرجة أن البلايين منها تندفع بسرعة عبر كل شخص منا كل يوم دون إحداث أي أذى، ويحتاج المرء إلى مكاشيف عملاقة خاصة لالتقاط حفنة منها. ويوجد الفلكيون الآن إشارات وتلميحات عن نوع من النترينوهات أشد مراوغة، نوع شديد الحياء والنفور بحيث لا يمكن كشفه بشكل مباشر أبداً: إنه النترينو العقيم.

لقد خادع هذا الشبح تحت الذري لأكثر من عقد من الزمن، النظريين والتجريبيين، وواجهت الجهود التجريبية صعوبات في التقاط هذه الجسيمات. وهناك الآن مشاهدتان في الفضاء، واحدة بالأمواج الكروية، والأخرى بأشعة X، تبعثان الآمال مرة أخرى لكشف هذه الجسيمات.

لو أمكن التعرف على النترينوهات، لزودتنا بأول لمحة عن عالم جديد في الفيزياء فيما وراء النموذج المعياري المجرب والمختبر، ولساعدت أيضاً في تفسير حشدٍ من ألغاز الفيزياء الفلكية، بل وربما علّلت المادة العاتمة غير المرئية، التي يعتقد أنها تشكل 85% من كتلة الكون.

"إن مسألة النترينوهات العقيمة هي مسألة حاسمة في المطلق من أجل فيزياء الجسيمات ومن أجل الفيزياء الفلكية"، كما يقول ويليام لويس William Louis من مختبر لوس ألاموس الوطني في نيومكسيكو، الذي عمل في تجربة مبنية على الأرض في أواسط التسعينيات أعطت واحدة من أولى الإشارات عن النترينوهات العقيمة.

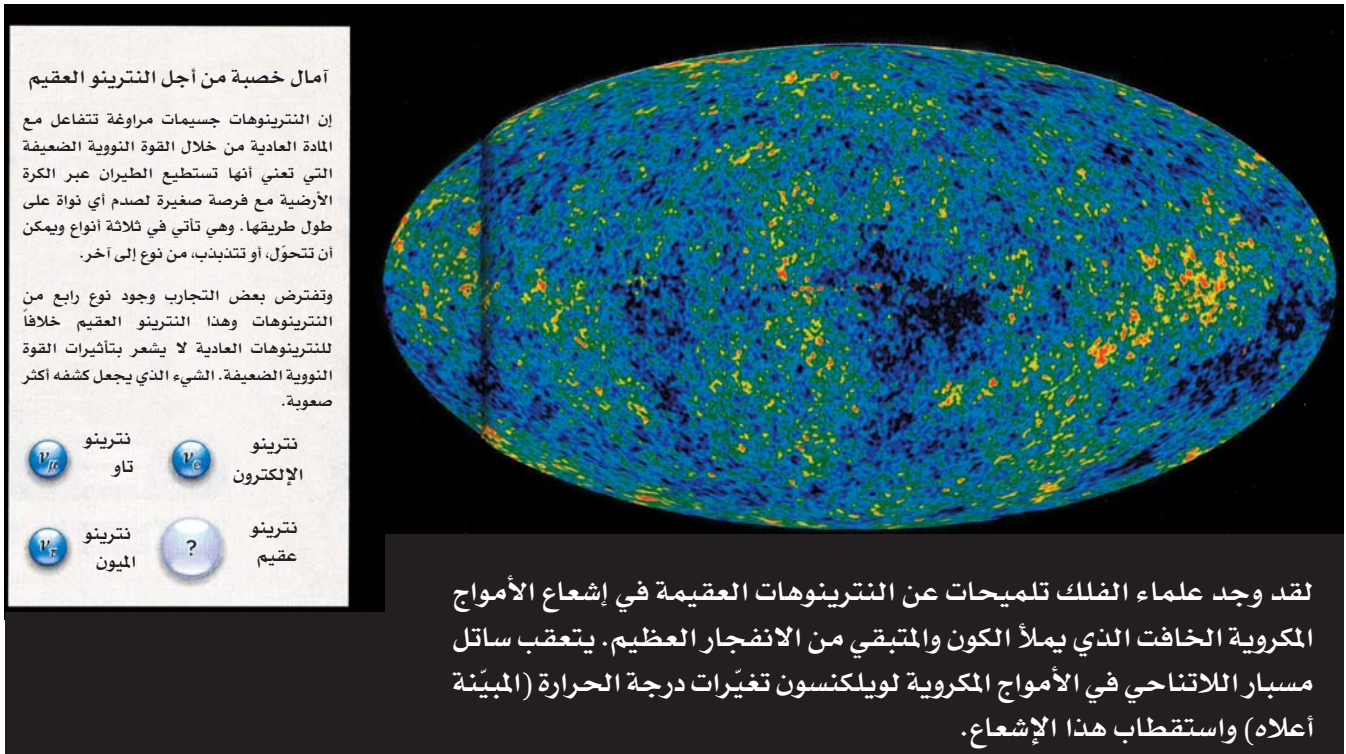
إن أنواع النترينوهات الثلاثة العادية (انظر الشكل في الصفحة التالية) صعبة الاكتشاف بما فيه الكفاية. فهي تتفاعل مع المادة

صائدو النترينو



الوسط المرئي من خدمات مختبر فرمي

إن تجربة MiniBooNE تستخدم 1,280 أنبوب مضاعف ضوئي لالتقاط التومضات الضعيفة المتشكلة عندما يصطدم نترينو أو نترينو مضاد بالسائل داخل صهريج ضخم. يمكن أن تشير المعطيات الجديدة من هذه التجربة إلى وجود أربعة أنواع من النترينوهات رافعة فرص أن تكون النترينوهات العقيمة أمراً واقعاً.



النكهات الثلاث المعروفة هي وحدها يمكن أن تتأثر بالقوة الضعيفة. وإن أي شيء خارج هذه العائلات الثلاث يجب أن يكون "عقيماً" أي يجب أن يكون منيعاً على القوة النووية الضعيفة. هذا سيعني أنها ستمر مباشرة عبر مكاشيف النترينو الموجودة.

Anisotropy Probe (WMAP)، وهو المركبة الفضائية التي تقوم منذ العام 2001 بمسح التأرجحات الصغيرة في الإشعاع المتخلف من الانفجار العظيم. فطراز التآرجحات يعطي معلومات موثوقة عن خليط الجسيمات التي وجدت لفترة قصيرة بعد الانفجار العظيم.

لماذا يبدأ النظريون باستحضار مثل هذا الجسيم الانعزالي؟ ذلك بسبب اكتشاف مدهش آخر جرى في العام 1998 مؤداه أن للنترينوهات الثلاثة العادية كتلاً صغيرة لكن محدّدة.

لقد كانت النتيجة بمثابة صدمة، ليست بسيطة، لأن النموذج المعياري يفترض أن النترينوهات عديمة الكتلة. إن كتل النترينوهات الثلاثة، التي حُدّت من الطريقة التي تهتز بها، أو تنقلب فيها، من نكهة إلى أخرى، ثبت في النهاية أنها صغيرة لدرجة لا تصدق: فانتقل النترينوهات العادية هو على الأقل أخف بسبع مراتب في القيمة من الإلكترون. ويجادل النظريون أن بعض جسيمات أخرى، قد تكون نترينو عقيم، يجب أن تجلس بينها.

لقد جاء دليل أحدث من مرصد شاندررا الدائر لأشعة-X والنترينوهات العقيمة، إذا كانت موجودة، وإذا كانت ثقيلة إلى حدّ كافٍ، يجب أن تصدر نبضات خافتة من أشعة-X أثناء تفككها إلى نترينوهات أخف. فقد ركز ألكساندر كوسينكو Alexander Kusenko

لماذا يبدأ النظريون باستحضار مثل هذا الجسيم الانعزالي؟ ذلك بسبب اكتشاف مدهش آخر جرى في العام 1998 مؤداه أن للنترينوهات الثلاثة العادية كتلاً صغيرة لكن محدّدة.

لقد كانت النتيجة بمثابة صدمة، ليست بسيطة، لأن النموذج المعياري يفترض أن النترينوهات عديمة الكتلة. إن كتل النترينوهات الثلاثة، التي حُدّت من الطريقة التي تهتز بها، أو تنقلب فيها، من نكهة إلى أخرى، ثبت في النهاية أنها صغيرة لدرجة لا تصدق: فانتقل النترينوهات العادية هو على الأقل أخف بسبع مراتب في القيمة من الإلكترون. ويجادل النظريون أن بعض جسيمات أخرى، قد تكون نترينو عقيم، يجب أن تجلس بينها.

لماذا يبدأ النظريون باستحضار مثل هذا الجسيم الانعزالي؟ ذلك بسبب اكتشاف مدهش آخر جرى في العام 1998 مؤداه أن للنترينوهات الثلاثة العادية كتلاً صغيرة لكن محدّدة.

لقد كانت النتيجة بمثابة صدمة، ليست بسيطة، لأن النموذج المعياري يفترض أن النترينوهات عديمة الكتلة. إن كتل النترينوهات الثلاثة، التي حُدّت من الطريقة التي تهتز بها، أو تنقلب فيها، من نكهة إلى أخرى، ثبت في النهاية أنها صغيرة لدرجة لا تصدق: فانتقل النترينوهات العادية هو على الأقل أخف بسبع مراتب في القيمة من الإلكترون. ويجادل النظريون أن بعض جسيمات أخرى، قد تكون نترينو عقيم، يجب أن تجلس بينها.

إن إمارات مثل هذه الرابطة المفقودة قد ظهرت بمسبار اللاتناحي في الأمواج الكروية لويلكنسون wilkinson Microwave

إن مسألة النترينو العقيم هي مسألة حاسمة بالمثل من أجل فيزياء الجسيمات النووية والفيزياء الفلكية.

إلينيوي، تحت الأرض، إلى مكشافٍ يبعد 375 كيلومتراً في مينيسوتا لرصد اهتزازات النترينو. وتبين معطيات MINOS أن واحدة من عائلات النترينوهات لا توجد لديها نزعة عالية للتحويل إلى أخرى عقيمة، وبرغم ذلك يقول روبرت بلانكيت الناطق باسم مينوس أن النتائج تترك مجالاً للنترينوهات العقيمة، "ونحن نضع حداً لوسطاء الفضاء من أجلها".

والتجربة الأخرى في مختبر فرمي، التي بُنيت لتتبع الأدلة المبكرة عن النترينوهات العقيمة، تقدم احتمالاً أكثر تشجيعاً. أما الدليل الأصلي فجاء من تجربة في لوس ألاموس التي يأخذ فيها لويس دوراً. وقد استخدم هو وزملاؤه، في الفترة من 1993 إلى 1998 تجربة مكشاف النترينوهات الومضاني السائل لإطلاق النترينوهات المضادة -وهي نظراء النترينوهات من المادة المضادة- إلى 167 طن من الزيت المعدني. وتقتصر معطياتهم أربع نكهات متميزة عن كيفية تحول النترينوهات من نوع إلى آخر. وبعد عقد من الزمن لم تجد اختباراتٍ تتبع في مختبر فرمي أيضاً -أي تجربة النترينو الداعمة Mini Booster Neutrino Experiment أو ما يسمى Mini BooNE- أي دليل على نوع رابع من النترينو. إلا أن تجربة MiniBooNE استخدمت حزمة من النترينوهات تجعل من الصعب مقارنة نتائجها بمعطيات النترينو المضاد في لوس ألاموس. والآن وبعد جمع المعطيات لمدة سنة ونصف حول النترينوهات المضادة، فإن تجربة MiniBooNE تبين طرازاً مختلفاً (انظر صائدو النترينو). وعند جمعها مع تجارب النترينوهات المضادة الأخرى حول العالم -يقول لويس- فإن معطياتها تتلاءم "بشكل جميل" مع نموذج 3+1: النترينوهات الثلاثة العادية مضافاً إليها النترينو العقيم.

ويقول لويس، الذي هو أيضاً عضو في تعاون MiniBooNE، إن حزمة المعطيات التالية التي ستنتشر هذا الصيف، يجب أن تعطي فكرة أحسن عما إذا كان هذا المتطفل السريع الزوال قد التقط أخيراً.

من جامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس، على مناطق في السماء يظن أنها تحوي كثيراً من المادة العاتمة وقليلاً من النجوم أو المصادر الضوئية الأخرى. ويدّعي أنه قد وجد بثقة كاملة بصمة أشعة-X المتوقعة في ويلمان 1، Willman 1، وهي المجرة القزم المعتمدة الدائرة في درب التبانة. ولكن كوسينكو يقول، كما يقول بيّنت، إنه ما زال من السابق لأوانه الادعاء بحدوث اكتشاف، "فكل شيء يبدو منسجماً وهذا شيء مغيظ".

إن نترينوهات كوسينكو ستكون ثقيلة ومتوفرة بقدر كافٍ لتكون جسيمات المادة العاتمة بحد ذاتها. ولكن معطيات المسير WMAP تشير في اتجاه آخر، باتجاه النترينو العقيم في طرف الطيف الأخف للكتل الممكنة. أما جورج فولر George Fuller، مدير مركز الفيزياء الفلكية وعلم الفضاء في جامعة كاليفورنيا، في سان دييغو، في لاجولا، فإنه ربما يعتبر هذه الكتلة الأخف ملائمة لأنها ستساعده في حلّ المعضلة القائمة منذ زمن بعيد بشأن المستعر الفائق supernovae. فهذه الانفجارات في النجوم الضخمة تسبب اندماج النترينوهات بعضها مع بعض لتشكّل عناصر أثقل من الحديد وينتهي بها المطاف في نجوم أخرى وكواكب. ولكنها تنتج أيضاً أعداداً ضخمة من النترينوهات، التي يجب عليها نظرياً تثبيط الاندماج لأنها تقتل النترونات بتحويلها إلى بروتونات وإلكترونات.

يمكن أن توفر النترينوهات العقيمة مخرجاً، فإذا تحولت بعض النترينوهات المتولّدة في المستعر الأعظم إلى نترينوهات عقيمة فإنها ستطير مبتعدة دون تآثرٍ مع النترونات، تاركة العديد منها سليمة. يقول فوللر "نحن مهتمون جداً بهذا لأن الرهان عالٍ جداً".

رسائل مختلفة

لقد أتت في هذا الشهر أخبارٌ جديدة عن صائدي النترينو العقيم وذلك من المحقنة الرئيسية لبحث اهتزازات النترينو Main Injector Neutrino Oscillation Search (MINOS) وهي تجربة تُرشق فيها حزمة من النترينوهات من مسرع في مختبر المسرع الوطني لفرمي Fermi National Accelerator Laboratory (Fermi lab) في بتافيا،

◀ نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, Vol 464, 18 March 2010

ترجمة د. مصطفى حموليا، عضو هيئة التحرير.

عالم بدون موقع غوغل

يظهر استطلاع قامت به مجلة Nature كيف يمكن أن يتأثر العلماء الصينيون بالوضع المتردي القائم بين حكومتهم ومحرك البحث العملاق. هذا ما ذكره جان كيو Jane Qiu.



كثيرون في الصين حزينون على خسارتهم الكبيرة لمحرك البحث المفضل لديهم.

"إن إجراء البحث بدون استخدام موقع غوغل Google سيكون مثل الحياة بدون كهرباء"، هذا ما يقوله إكسيونغ زنكين Xiong Zhenqin، وهو عالم أحياء في جامعة نانجغ للزراعة في مقاطعة جيانكسو. ليس إكسيونغ وحده الذي يعتقد أنه لا غنى عن موقع غوغل، حيث يُعد محرك بحثه أداة فعالة لمساعدة العلماء في الحصول على ورقات علمية أكاديمية وتفصيلات المؤتمرات أو التعرف على المشاركين الجيدين. وبالنسبة لمعظم الباحثين حول العالم، يعتبر الدخول إلى موقع غوغل وكل ما يمت إليه بصلة، بما في ذلك البحث الأدبي وغوغل المدرسي (Google Scholar)، غير خاضع لأية قيود ويحصلون عليها كما يحصلون على الحرارة أو الضوء.

ولكن الوضع ليس كذلك بالنسبة إلى

ما يقارب 380 مليون مستخدم إنترنت صيني. فالنتائج التي يتم الحصول عليها من محرك البحث الأساسي لموقع غوغل تخضع لرقابة الحكومة الصينية، وإن الموقع الصيني المحلي Google.cn يتم ترشيحه طوعياً من قبل غوغل.

هذا، وقد هُدد دخول الباحثين إلى موقع غوغل أكثر، في 12 من كانون الثاني/يناير، وذلك عندما قال ديفيد دروموند David Drummond نائب الرئيس الأسبق والمدير الرئيسي: إن من الممكن أن تنسحب الشركة بشكل كامل من الصين. واضح أنه بعد سيل من هجوم الإنترنت spat of cyber على بريد غوغل، والذي يُعتقد أنه جاء من داخل الصين. لم تعد الشركة راغبة في أن تراقب النتائج من موقع Google.cn. وأضاف أن الشبكة سوف تتناقش مع الحكومة الصينية حول "الأسس التي يمكننا بموجبها أن نشغل محرك بحث غير مرشح ضمن القانون، ونحن ندرك أن ذلك يمكن

أن يتضمن إغلاق موقع Google.cn"

إذا كانت غوغل، أو الحكومة الصينية، تعمل على هذا التهديد، فماذا سيكون تأثير ذلك على العلماء في الصين؟ لاكتشاف ذلك، قامت مجلة Nature بإجراء استطلاع حول كيفية استخدام الباحثين الصينيين نتائج الأبحاث الموجودة على موقع غوغل وإلى أي حد تكون مكتملة لأبحاثهم. ومن بين 784 عالماً استجابوا، فإن أكثر من ثلاثة أرباعهم، أجابوا بأنهم يستخدمون موقع غوغل كمحرك بحث أساسي لأبحاثهم.

وإن أكثر من 80% يستخدمون محرك البحث للحصول على مقالات علمية أكاديمية، وقرابة 60% منهم يستخدمونه للحصول على معلومات حول الاكتشافات العلمية أو برامج بحث لعلماء آخرين، وثلاثهم يستخدمونه للحصول على أخبار سياسة العلوم والتمويل. ويعتمدون أيضاً بشكل كبير على منتجات أخرى لغوغل: فعلى سبيل المثال، أكثر من النصف يستخدمون غوغل المدرسي Google

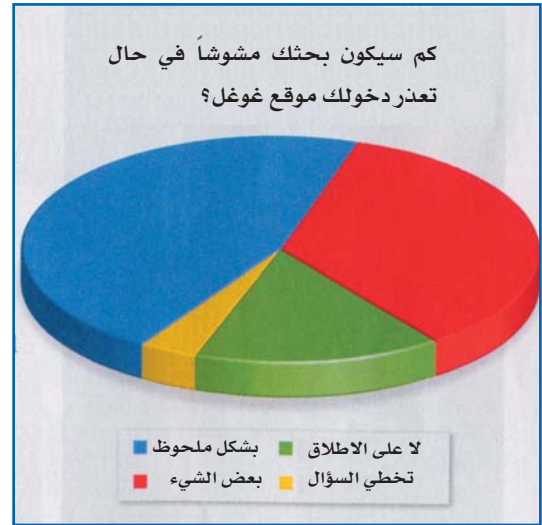
بشكل كامل، في حال اعتبارها ذلك ضرورة سياسية. بالفعل، وبعد الاضطرابات الكبيرة التي حدثت في منطقة إكسجينجيانك أوغر في تموز/يوليو الماضي، قامت الحكومة بإغلاق الإنترنت في كل أنحاء المقاطعة معظم ما تبقى من ذلك العام.

تمّ تطبيق تقييدات مشابهة على مواقع إلكترونية أخرى، مثل موقع Facebook، وموقع You Tube، وموقع Twitter. وتُعد هذه المواقع شعبية ومنتشرة بشكل كبير في أجزاء أخرى من العالم، لكن ليس لها علاقة بالصين لأنه تمّ إغلاقها مبكراً بشكل كامل، هذا ما أفاد به جونج لي Gong Li، الرئيس والمدير التنفيذي لموزيلا أون لاين Mozilla Online في فرع شركة موزيلا الأساسي والتي مقرها في ماونتن فيو في كاليفورنيا.

وهذا أعاق عدداً متزايداً من العلماء الذين يستخدمون مواقع تشابك اجتماعية عن إقامة علاقات مع المشتركين. وكما كتب أحد المستجيبين للاستطلاع، أن نقص هذه المواقع له تأثير سلبي على اتصالي بزملائي في جميع أنحاء العالم.

أما بالنسبة للعلماء الصينيين الذين يرغبون في الحصول على ورقات علمية، فكان هناك خيارات أخرى. ووفقاً لأحد المستجيبين: "لا يهم أن يكون عندنا غوغل للعلوم -لأنه لدينا موقع PubMed- إن موقع PubMed تموله المكتبة الوطنية الأمريكية للطب، وهو واحد من مخدمات عديدة للبحث عن المعلومات في قاعدة البيانات الأكاديمية، وهناك مخدمات أخرى تتضمن شبكة العلوم Web of Science من Thomson Reuters و Scopus and Science Direct وكلاهما يتم تشغيله من قبل Elsevier. لكن العديد من الباحثين يفضلون موقع غوغل كأداة بحث أولية لهم لأنهم يستطيعون الحصول على كمية كبيرة ومتنوعة من المعلومات المفهرسة والتي لا يمكن الحصول عليها بسهولة من أية مصادر أخرى". كما جاء على لسان بوس فيلد.

وعلى سبيل المثال، عندما فتح موقع Science Diract حساباً لصالح موقع غوغل في آذار/مارس عام 2007، تجاوزت نسبة الدخول إلى موقع غوغل 40% خلال بضعة أشهر. هذا، ويقول نيكولاس "نحن نعيش في عصر المعلومات، ويعتبر موقع غوغل هو المفتاح نحو تحويل العالم إلى قرية"، ويضيف: "عدم الدخول إلى موقع غوغل يعتبر خسارة كبيرة، وخصوصاً للأكاديميين الشباب". وبالفعل، يقول 84% من العلماء الذين استجابوا للاستطلاع الذي قامت به مجلة Nature إن فقدان موقع غوغل سيعيق أبحاثهم جزئياً أو بشكل كبير. ويقول 78% إن التعاون الدولي سيتأثر بالدرجة نفسها. وإن معظم العلماء الذين تتراوح أعمارهم ما بين 25-34 يفضلون أن يقولوا أن فقدان غوغل سيعيق أبحاثهم بشكل



scholar كما أن تطبيقات Google mapping والبريد الإلكتروني هي أيضاً شائعة.

"تعتبر الاكتشافات نموذجية بالنسبة لمعظم الدول في العالم" هذا ما يقوله ديفيد بوس فيلد David Bous-field نائب المدير المقيم في لندن، والمحلل الرئيسي للمبيعات والمعلومات والاستشارات الإعلانية. "إن موقع غوغل وغوغل المدرسي أصبحا من الوسائل التي لا يمكن الاستغناء عنها بالنسبة للعلماء".

وأضاف ديفيد نيكولاس David Nicholas، وهو باحث إنترنت في جامعة كولج في لندن، أن "العلم في الصين لن يتوقف بدون غوغل". لكن غوغل "غير أساليب البحث عن المعلومات في المجتمعات الأكاديمية"، وإن خسارة مثل هذه الأداة المهمة في البحث، سيعرض فعالية العلماء للخطر.

لا تكن شريراً

أطلقت Google.cn في كانون الثاني/يناير عام 2006، وكان التشغيل من خلال ملقّم في أرض الصين، وسط انتقادات دولية شديدة. وإن اتفاقيتها في مراقبة نتائج البحث التي كانت تعتبر حساسة سياسياً من قبل الحكومة الصينية مناقضة لشعار الشركة "لا تكن شريراً". أحد الدوافع لإنشاء موقع Google.cn يكمن في أنه على الرغم من كون موقع Google.com متاحاً وسهل الوصول إليه في الصين، غير أنه يكون تحت رحمة جدار الحماية الصيني القوي الذي يحجب مواقع إنترنت خارجية عديدة.

في حال تمّ إغلاق موقع Google.cn، فإنه يُخشى أن تقوم الحكومة الصينية بإغلاق موقع Google.com نفسه بشكل دوري -كما فعلت قبل العام 2006- أو حتى تمنع الدخول إلى الإنترنت

ساعد وجود موقع غوغل على تطوير المجتمع المدني في الصين.

هذا، ويعتقد بعض العلماء في الاستطلاع الذي قامت به مجلة Nature أن الحكومة ستبرّر إغلاقها لموقع غوغل. كتب أحد المستجيبين "أنا لا أحب سياسة الإنترنت الخاصة ببلدنا لكن سيادة وسلطة بلدنا أهم بكثير بالنسبة لي، وعلى موقع غوغل أن يمثل لقوانين الصين إذا ما أراد أن يستثمر في الصين؟ ويعتقد آخرون، ومن بينهم غونغ Gong، أن موقع غوغل هو الذي سيضع نهاية لمحرك البحث الصيني، لأن الربح المحدود في السوق الصينية لا يساوي ببساطة تعريض سمعتها للخطر كشركة جديرة بالثقة وملتزمة أخلاقياً.

لكن غوين يانغ Guobin Yang، وهو باحث في الإنترنت في كلية بارنارد في مدينة نيويورك، يناقش في أن موقع غوغل Google.cn يتحمل مسؤولية البقاء، ويقول: "الناس يركزون بشكل كبير على كيفية الحصول على معلومات معينة للمحتوى المرشح"، ويضيف: "لكن وجود موقع غوغل قد ساعد أيضاً في تطوير المجتمع المدني في الصين، لأنه يزود المواطنين بالمعلومات التي يحتاجونها ليكونوا فعالين من الناحية السياسية. كما قال أحد المستجيبين للاستطلاع: "إذا ما فقدتُ موقع غوغل، فسوف أكون بمثابة رجل فقد عينيه".

نشر هذا الخبر في مجلة Nature, 25 February 2010. ترجمة نسرين شحادة، هيئة الطاقة الذرية السورية.

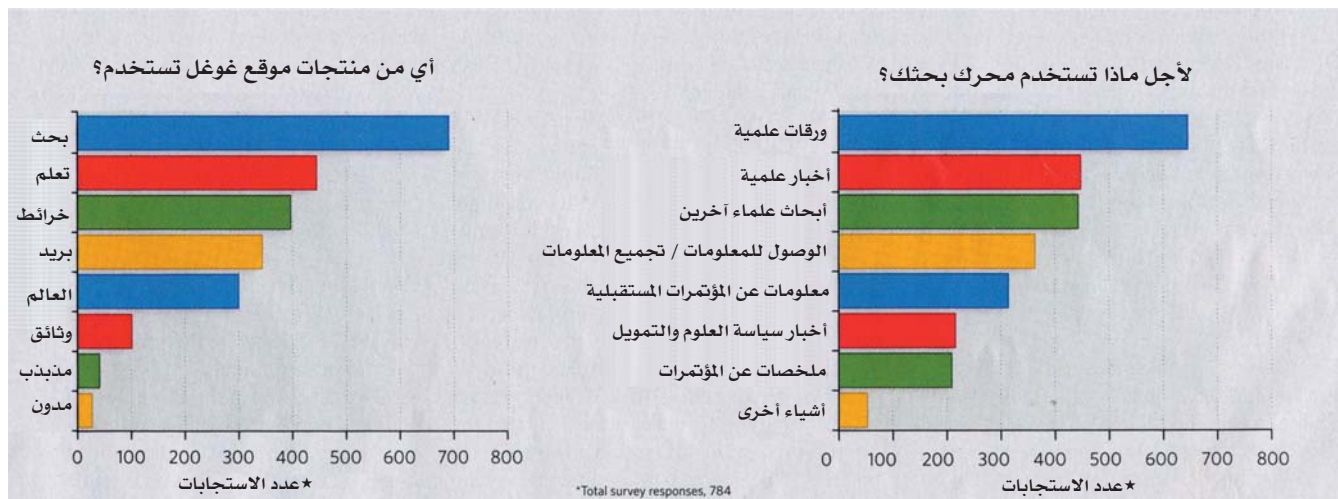
كبير بدلاً من قول سيعيقهم بشكل جزئي.

إن نصف الذين استجابوا للاستطلاع قالوا إنهم في حال فقدانهم الوصول إلى محرك البحث في موقع غوغل، فإنهم سينتقلون إلى موقع بايدو Baidu وهو محرك بحث محلي. إن العديد من الناس، ممن هم ليسوا بعلماء، في الصين راضون بموقع بايدو، ولا يباليون سواء بقي موقع غوغل أم لم يبق. هذا، ويقول جو ليانغ Guo Liang، وهو باحث في الإنترنت في الأكاديمية الصينية للعلوم الاجتماعية في بكين إن لموقع غوغل أفضلية صغيرة على موقع بايدو بالنسبة لخوارزميات البحث من أجل محتوى اللغة الصينية، لكنها أقل فائدة للأكاديميين الذين يقومون بأبحاثهم باللغة الإنكليزية عن مواد خارج الصين. ويظهر بحث جو أنه بالرغم من هيمنة موقع بايدو Baidu في الصين، غير أن موقع غوغل منتشر أكثر بين الأكاديميين وأشخاص آخرين ذوي تعليم عالٍ. كما كشف الاستطلاع الذي قامت به مجلة Nature أن 17% فقط من المستجيبين استخدموا موقع بايدو كمحرك بحث أساسي لهم.

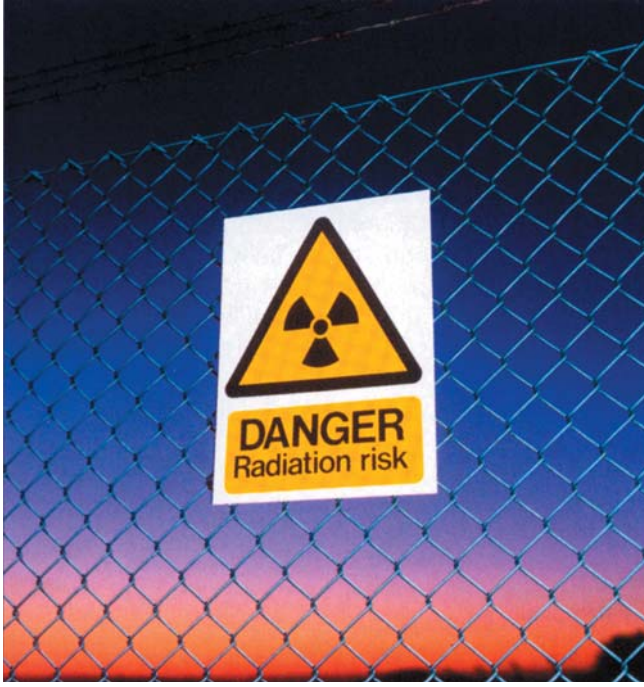
البحث عن الإجابات

منذ إعلان دروموند Drummond، التزم كل من موقع غوغل الصين والحكومة الصينية بالصمت حول مستقبل محرك البحث في الصين، ورفض كلاهما التعليق على هذا المقال. وذكرت مجلة وول ستريت Wall Street Journal أن المناقشات ستستأنف بين ممثلين عن غوغل وموظفين رسميين صينيين، ولكن أي قرار سيستغرق أسابيع عديدة حتى يصدر.

كانت الآراء في الأوساط الإعلامية الصينية متباينة ما بين الإصرار حول خلاف سينشأ، إلى اقتراحات حول إجبار غوغل على الخروج، لأن الحكومة لن تسمح بتشغيل محرك بحث غير مرشح في الصين.



تقفي النفايات النووية: سعي وراء سراب



ما يزال السؤال حول المكان الذي يجب أن تُخزَّن فيه النفايات النووية لم يُحلَّ حتى الآن.

ضمن خياراته أن يعيد بحثه بعناية وشمول. غير أن نقطة الضعف الكبيرة في كتابه تتمثل في غياب العلم بشكل كامل تقريباً. في كتاب "الطريق إلى جبل يوكا" - كما في مناقشته وصف النفاية- يلعب العلم دوراً ثانوياً مقارنة مع التنازع بين الولايات والمناورة مع الحكومة الأمريكية على المكان الذي يجب أن تُخزَّن فيه النفاية. وبشكلٍ من الأشكال، فإن ذلك يمثّل انعكاساً حقيقياً لمقارعة الرأي في القصة السياسية. وبالإضافة إلى كارثة منجم ملح كنساس، يصف والكر مبادرات اتحادية أخرى أخفقت أيضاً، مثل خطط للتدريب على اختبار في ميتشغان تمَّ إجهاضها، واعتراضات محلية نشأت في لويزيانا، وداكوتا الجنوبية، وفيرمونت. وحتى في نيومكسيكو وواشنطن ونيفادا، حيث كان هناك بعض القبول

يمثّل هذا الخبر عرضاً تحليلياً لكتاب "الطريق إلى جبل يوكا" The Road to Yucca Mountain، إذ يتناول التطورات التي طرأت على سياسة النفايات في الولايات المتحدة. الكتاب من تأليف ج. صاموئيل والكر Samuel Walker، ج.، ويقدمه و. أليسون Wade Allison.

لن تفلح حملة البحث عن مصير النفايات النووية في الوصول إلى هدفها. كما أن الجهود المبذولة لحل مشكلة التخلص منها لم تحقّق الكثير من النجاح -ربما لأن الأسئلة كانت تُوجّه في الاتجاه الخاطئ. هناك تحديّان أساسيان للتخلص من النفايات، الأول علمي: إذ إن النفاية يجب أن تُحفظ في مكان ما بحيث لا تسبّب أذى للآخرين، ولا تعرّض سكان الكوكب حاضراً أو مستقبلاً لأخطار رئيسية. أما التحديّ الثاني فهو سياسي: إذ ينبغي على العلماء طمأننة المجتمع وإقناعه ككلّ أن النفاية تُعالج، وتُحفظ، ويتم التخلص منها بطريقة آمنة.

في كتابه "الطريق إلى جبل يوكا"، يعطي المؤلف ج. صاموئيل والكر وصفاً تاريخياً لسياسة النفاية النووية منذ أوائل الأربعينيات إلى منتصف عام 2008. على أية حال، ورغم عنوان الكتاب، فإن مشروع تخزين النفايات في جبل يوكا، في نيفادا، لا تكاد الإشارة إليه تُذكر إلا في الصفحات القليلة الأخيرة من الكتاب. وبدلاً من ذلك، تنصّب معظم اهتمامات الكاتب على المحاولات الأولى في الوصول إلى سياسة النفاية. وبشكل خاص، إن المكائد التي رافقت الاقتراحات الأولية لدفن النفايات ذات السوية العالية في مناجم الملح في كنساس قد وصفت بشيء من التفصيل. كان يُفترض أن تكون تلك المناجم جافة، لكن حتى قبل الاختبارات تبين أن الماء يمكن أن ينقل مواد ضمن منطقة المنجم، وتساؤلات جيولوجية كهذه أصبحت بالأحرى غير ذات صلة بالموضوع في مواجهة قوة المعارضة السياسية.

يُعدّ والكر مؤرخ الهيئة الرقابية النووية الأمريكية، وكان من

إذا تمّت إعادة معالجة النفايات، لكون إعادة المعالجة تُخفض من حجم النفايات وكذلك يضمحلّ عمر النصف الخاص بها. على أية حال، إنّ الفصل بمشاركتها في تصنيع وقود الأسلحة المتطورة جعل عملية إعادة المعالجة ذات سمعة سيئة إعلامياً، وفي عام 1977 قرّر الرئيس الأمريكي جيمي كارتر أن يذعن لها، وهي خطوة جديّة إلى الوراء في مجال التخلّص من النفايات النووية.

أخيراً، إن إيجاد حلٍّ لمشكلة النفايات النووية يتطلّب قدراً من الثقة والثقة السياسية بأن الخطوات الصحيحة قد تمّ اتخاذها. في الماضي، لم تكن هذه الشروط موجودة، كما يروي والكر ذلك بوضوح تام. على أية حال، يقع العلماء وصنّاع القرار، حالياً، تحت تأثير ضغط متزايد لحلّ المشكلة، ويعود الفصل في ذلك إلى الحاجة لمصدر طاقةٍ ذي حملٍ أساسيٍّ خالٍ من الكربون، تؤمّنه الطاقة النووية. وسيتملّب أيّ حلٍّ من هذا القبيل تقديراً أفضل من العلم، وزيادة في إعادة التثقيف العام، واتخاذ القرارات التي فيها المزيد من الإيثار.

إن كتاب "الطريق إلى جبل يوكا"، في حساباته الظاهرية علمياً، لا يواجه بجرأة القضايا الأساسية. ولحسن الحظ، لا يتوقف التاريخ عند الصفحة النهائية لأيّ كتاب. إن مستقبل جبل يوكا، منذ أن تمّت كتابته، والحظر على إعادة المعالجة (أو إعادة التدوير) قد وقعا في براثن الشك في عهد الإدارة الأمريكية الجديدة. لقد بقيت مسألة النفايات النووية على الطاولة لأكثر من 60 سنة، وفصلها التالي لم يُكتب حتى الآن. لكن هناك شيء واضح: طالما أن العلم يوضع في مكان الصدارة، فالمشكلة يمكن أن تُحلّ.

الجماهيري نظراً لوجود برامج نووية، فإن المشاريع سارت في معارضة محليةٍ جديّة.

ومع ذلك، فإن الكتاب كان سيقدم خدمة لو أنه عكس الأسباب العلمية التي أدّت إلى إحباط التقدّم. الحقيقة هي أنه حتى فترة قريبة كان هناك العديد من الأسئلة المهمّة تحيط بعملية التخلّص من النفايات، والتي لا يمكن الإجابة عنها بشكلٍ كافٍ. بعض هذه الأسئلة كان بيولوجياً. إننا لم نفهم، خلال معظم فترة ما بعد الحرب العالمية الثانية، تأثير الإشعاع على الحياة بما يكفي كي نكون متأكّدين أيّ من سويات الإشعاع كانت آمنة. ووحدهما فقط علما البيولوجيا الإشعاعية والأوبئة، اللذان أسّسا في العقود الأخيرة لديهما ما يكفي لمنحنا الثقة فيما يتعلق بالأخطار الناجمة عن الجرعات المنخفضة، سواء أكانت آنية أم مزمنة أم متكرّرة.

إن ذلك يعني أن الخبراء لم تكن لديهم في السنوات الأخيرة المقدرة على الإجابة بثقة عندما تمّ الضغط عليهم بهدف الاطمئنان التام على الأمور المتعلقة بالنفايات النووية. انقضّ الناشطون والسياسيون على هذه الريبة. وبالتالي، فإن مستودع النفايات المخطّط، والذي بدا أنه آمن لعقد واحد، سوف يُعدّ قبل أن يُبنى غير آمن في مرحلة تالية. إن التوتر المتأثر بين الخبراء والسياسيين أدّى إلى ادعاءات من المكر أضعفت الثقة المتبادلة بينهما. وبحلول العام 1974، سقطت تدريجياً المصادقية السياسية لهيئة الطاقة الذرية الأمريكية، الأمر الذي حدا بالرئيس جيرالد فورد إلى حلّها، موزّعاً مسؤولياتها بين الهيئة الرقابية النووية وإدارة بحوث وتطوير الطاقة. على أية حال، وبحسب سجلات والكر، فإن هذه التغييرات الإدارية لم تكن كافية لتفادي المأزق الذي وقع.

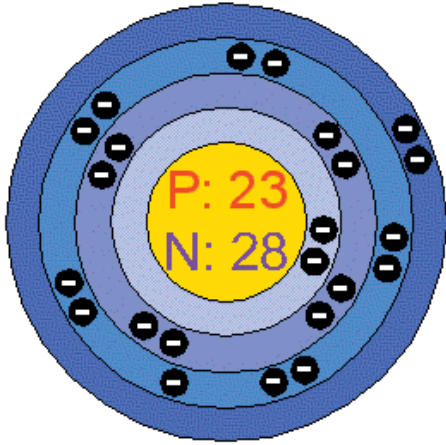
الآن، يُعدّ علم الأوبئة الإشعاعية مفهوماً بشكل أفضل، ولعلّ القرارات الأكثر أهمية بالنسبة لقلق الخبراء النوويين تتعلق بإعادة معالجة النفايات، والحاجة إلى حفظها في مكان آمن بهدف التخلّص منها. من المعروف على نطاق واسع أن النفايات يجب أن توضع في مكان بحيث لا يمكن استردادها ثانية، وهو الأمر الذي يقلّل من فرص استخدام الإرهابيين لها. وسيوفّر العديد من مواقع الدفن العميقة أمناً طبيعياً مطلوباً على مدى بضع مئات من السنين، وبشكل خاص

◀ نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World, January 2010

ترجمة حسان بقلّة، هيئة الطاقة الذرية السورية.

الفاناديوم

إعداد: د. عادل حرفوش، رئاسة هيئة التحرير



V	الرمز:
23	العدد الذري:
51	الكتلة الذرية:
1910 °C	درجة انصهاره
3407 °C	درجة غليانه
6 g/cm ³	الكثافة

(وهو ما يعني باليونانية "كل الألوان"). وفيما بعد سُمِّي أريثرونيوم erythronium (وهو ما يعني باليونانية "الأحمر")، وذلك لكون غالبية أملاحه تنقلب إلى الأحمر عند تسخينها.

وفي العام 1831 أعاد كيميائي سويدي اكتشاف العنصر في أكسيد جديد كان قد وجده أثناء عمله بفلزات الحديد. وفي أواخر ذلك العام، تمّ اعتماد الحرف V كمصطلح لهذا العنصر وسُمِّي الفاناديوم، وذلك بسبب العدد الكبير من المركبات الكيميائية الملونة التي تنتج عنه.

أظهرت عمليات عزل معدن الفاناديوم صعوبة كبيرة، غير أن هنري إنفيلد ريسكو Henry Enfield Rescoe تمكّن أخيراً من الحصول على هذا المعدن عام 1867 نتيجة إرجاع كلوريد الفاناديوم vanadium chloride, VCl₂، بوساطة الهدروجين. وفي العام 1927 أُنتج الفاناديوم نقياً بعد إرجاع خماسي أكسيد الفاناديوم بوساطة الكالسيوم. جرى أول استخدام صناعي للفاناديوم في فولاذ هياكل سيارات السباق الفرنسية، إذ يسمح فولاذ الفاناديوم بتخفيض الوزن وزيادة قوة الشد في آن معاً.

خصائصه

يتصف معدن الفاناديوم بخفة وزنه وليونته ولونه الفضي الرمادي، وهو مقاوم للتآكل تجاه الأحماض القلوية وحمض الكبريت

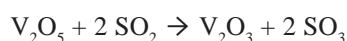
ماهيته ووجوده في الطبيعة

الفاناديوم Vanadium عنصر كيميائي انتقالي لونه فضي رمادي، وإن تشكل طبقة من أكسيده على السطح يجعله مستقرًا تجاه عمليات التآكسد الإضافية. اكتشف الفاناديوم عام 1831، أثناء تحليل الفانادينايت vanadinite، وهو يوجد بشكل طبيعي في ما يقارب 65 فلزاً مختلفاً وفي رسوبيات الوقود الأحفوري. يتمّ الحصول عليه من مخلفات مصاهر الفولاذ في روسيا والصين، وتنتج بعض الدول الأخرى إما من مخلفات النفط الثقيل أو كمنتج ثانوي أثناء تعدين اليورانيوم. يستخدم الفاناديوم بشكل رئيسي في أنواع خاصة من خلاط الفولاذ، كما في حالة الفولاذ المستخدم في الأدوات التي تخضع لسرعات عالية. ويستخدم خماسي أكسيد الفاناديوم كحفاز لإنتاج حمض الكبريت. هذا، ويوجد الفاناديوم في كثير من الكائنات الحية، ويقوم بدور مركزي كمنشط للإنزيمات.

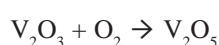
تاريخه

اكتشف الفاناديوم بداية في العام 1801 من قبل عالم الفلزات المكسيكي أندري مانويل دل ريو Andrés Manuel del Río، واستخلصه من عينة فلز الرصاص البني المكسيكي التي سُمّيت لاحقاً بالفانادينايت. تبدي أملاح الفاناديوم تنوعاً كبيراً من الألوان، وكنتيجة لذلك سُمِّي هذا العنصر "بانكروميوم panchromium"

يعد خماسي أكسيد الفاناديوم المركب الأكثر أهمية من الناحية التجارية، إذ يستخدم حفازاً لإنتاج حمض الكبريت. يقوم هذا المركب باكسدة ثنائي أكسيد الكبريت إلى ثلاثي أكسيد الكبريت، وفي تفاعل الأكسدة والإرجاع هذا يتأكسد الكبريت من +4 إلى +6 ويُرجع الفاناديوم من +5 إلى +3:



ويتم الحصول على الحفاز ثانية من خلال أكسدة ثلاثي أكسيد الفاناديوم بالهواء:



تكون كيميائياً أنيونات الفاناديوم المحتوية على أكسجين معقدة. ففي المحاليل الممددة، تتشكل أيونات الفانادات، VO_4^{3-} ، عند قيم عالية لـ pH، وعند جعل الأوساط حمضية يتشكل الأيونان HVO_4^{2-} و $H_2VO_4^-$ ، المماثلان لـ HPO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$. تكون ثوابت التفكك الحمضي للفاناديوم والفسفور متشابهة تماماً.

وفي حالة المحاليل الأكثر تركيزاً تم التعرف على كثير من متعددات الفانادات polyvanadates، وذلك على هيئة سلاسل وحلقات وتجمعات تتضمن فاناديوم رباعي الوجوه، وهي مشابهات لمتعددات الفسفور. وإضافة لذلك، تتشكل تجمعات مثل عشرية الفانادات $HV_{10}O_{28}^{3-}$ و $V_{10}O_{28}^{4-}$ ، التي تسود عند قيم لـ pH بين 4 و6، ويكون المركب فيها ثماني الوجوه بالنسبة للفاناديوم.

يمكن أن يُعزى التقابل الكيميائي بين الفانادات والفسفات إلى التشابه مع قدّ وشحنة الفسفور (V) والفاناديوم (V). يستخدم حامض الفانادات، VO_4^{3-} ، في بلورة البروتين لدراسة الكيمياء الحيوية للفسفات.

يشكل الفاناديوم أيضاً معقدات فوق أكسيدية مختلفة عند معالجته مع فوق أكسيد الهيدروجين. وكمثال على ذلك، يشكل أيون أكسيد الفاناديوم (V)، VO^{2+} ، في محلول فوق أكسيد الهيدروجين الحمضي كتلة حمراء من أيون فوق أكسيد الفاناديوم (V)، $VO(O_2)_2^+$.

مركباته الهالوجينية

تم التعرف على العديد من المركبات الهالوجينية في حالات الأكسدة +2 و+3 و+4، ويُعدّ سائل رباعي كلوريد الفاناديوم الأكثر

وحمض كلور الماء. يتأكسد الفاناديوم بوجود الهواء عند الدرجة $660^\circ C$ ، علماً أن طبقة من الأكسيد تتشكل على سطحه حتى في درجة الحرارة العادية.

نظائره

يوجد للفاناديوم نظيران طبيعيين أحدهما نظير مستقر ^{51}V والآخر نظير مشع ^{50}V . يتمتع الأخير بعمر نصف قدره 1.5×10^{17} سنة ووفرة طبيعية نسبتها 0.25%. يمتلك النظير ^{51}V سببياً نووياً قيمته 2/7 وهو ما يجعله مفيداً في مطيافية التجاوب النووي المغنطيسي NMR spectroscopy. تمّ توصيف 24 نظيراً صناعياً مشعاً للفاناديوم، وذلك بدءاً من عدد الكتلة 40 وحتى 65. والنظير الأكثر استقراراً بين هذه النظائر هو ^{49}V بعمر نصف قدره 330 يوماً وعمر النصف للنظير ^{48}V هو 16 يوماً، وجميع ما تبقى من هذه النظائر المشعة يتمتع بأعمار نصف أقل من ساعة، وبعضها أقل من 10 ثوان. إن نمط التفكك السائد في حالة النظائر الأعلى من ^{51}V هو الأسر الإلكتروني، أما في حالة النظائر الأثقل فيسود تفكك بيتا. وتقود تفاعلات الأسر الإلكتروني إلى تشكل نظائر عنصر التيتانيوم-22، في حين يقود تفكك بيتا إلى تشكل الكروم-24.

كيميائوه ومركباته

يتلون الفاناديوم حسب حالة أكسدته، فيبدأ بحالة الأكسدة +2 (أرجواني فاتح) لينتقل إلى +3 (أخضر) و+4 (أزرق) و+5 (أصفر). فكيمياء الفاناديوم جديرة بالملاحظة نظراً إلى حالات الأكسدة المتجاورة هذه. تقوم مركبات الفاناديوم (II) بدور معاملات إرجاع وتقوم مركبات الفاناديوم (V) بدور معاملات أكسدة، أما مركبات الفاناديوم (IV) فغالباً ما تكون مشتقات الفاناديل vanadyl derivatives والتي تحتوي VO^{2+} في المركز.

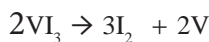
يمكن لفانادات الأمونيوم (NH_4VO_3) أن تُرجع بنجاح بوساطة معدن الزنك للحصول على الألوان المختلفة للفاناديوم في حالات أكسدته الأربع. تحصل حالات الأكسدة الدنيا بحالة مركبات مثل $V(CO)_6$ و $[V(CO)_6]$ والمشتقات الناجمة عنهما.

تستخدم هذه الحالات من أكسدة الفاناديوم في بطارية من نوع أكسدة-إرجاع، ويظهر تحول حالات الأكسدة هذه عبر إرجاع قوي لمحلول حمضي لمركب الفاناديوم (V) بوساطة كمية ضئيلة من الزنك.



المخلفات الناجمة عن فلز الحديد المغنطيسي المصدر الأساس لإنتاج الفاناديوم، إذ يتم الحصول على الفاناديوم أثناء عبور الأكسجين لكتلة الحديد الناجمة عن مخلفات الفاناديوم المغنطيسية. فخلال إنتاج الفولاذ، يمر الأكسجين عبر كتلة الحديد مؤكسداً الكربون وغالبية الشوائب الأخرى، مكوناً الخبث. وحسب الفلز المستخدم، قد يصل محتوى الخبث إلى 25% من الفاناديوم.

يتم الحصول على معدن الفاناديوم عبر عدة مراحل، تبدأ بشواء الفلز المسحوق مع NaCl أو Na₂CO₃ عند ما يقارب الدرجة 850°C للحصول على فانادات الصوديوم (NaVO₃). وباستخلاص مائي لهذا المركب الصلب وتحميضه نحصل على "كعكة حمراء red cake"، وهي ملح متعدد الفانادات، ومن ثم يتم إرجاع الكعكة الحمراء بمعدن الكالسيوم. وكبديل لهذه الطريقة، وبهدف الحصول على كميات قليلة، يمكن إرجاع خماسي أكسيد الفاناديوم بوساطة الهيدروجين أو المغنيزيوم. تستخدم طرائق أخرى عديدة أيضاً، يتم فيها إنتاج الفاناديوم على هيئة مواد ثانوية لإجراءات أخرى. يمكن تنقية الفاناديوم بوساطة عملية المزلاج البلوري التي طورها أنطون إدوارد فان أركل Anton Eduard van Arkel وجان هندريك دو بورر Jan Handrik de Boer في العام 1925. تتضمن هذه الطريقة تشكيل يوديد المعدن، وهو يوديد الفاناديوم(III) في هذه الحالة، ومن ثم تفكك لاحق للحصول على المعدن النقي



أهمية في المجال التجاري. يستخدم هذا السائل بشكل أساسي كحفاز لبلمرة المركبات مضاعفة الرابطة الثنائية.

مركباته العضوية المعدنية

جرى تطوير الكيمياء العضوية المعدنية للفاناديوم بشكل واسع، غير أن تلك المركبات لا تشكل أهمية تجارية. يعد سداسي كربونيل الفاناديوم، V(CO)₆، مثلاً نادراً للكربونيل المعدني المحتوي على زوج إلكتروني، ولا يوجد كمركب مضاعف الجزيء. تفقد إضافة إلكترون إلى هذا المركب إلى تشكل مركب مرافق هو V(CO)₆⁻، له الخصائص الكيميائية نفسها، ويمكن إرجاعه فيما بعد بمحلول الأمونيا وبوجود الصوديوم ليتشكل V(CO)₆³⁻ المشابه بتركيبه الإلكتروني لـ Fe(CO)₅.

وجوده في الطبيعة

لا يوجد الفاناديوم كمعدن حر في الطبيعة، في حين يُعرف له أكثر من 65 فلزاً مختلفاً. والأمثلة المهمة منها اقتصادياً تتضمن الباترونات (VS₄) والفانادينات (Pb₃(VO₄)₃Cl) والكارنوتايت (K₂(UO₂)₂(VO₄)₂·3H₂O). تحصل غالبية الإنتاج العالمي للفاناديوم من فلزات ذات مغنطة حديدية موجودة في تكتلات فلزية غنية بالمغنيزيوم والحديد. وغالباً ما يستخلص الفاناديوم في جنوب أفريقيا وشمال غرب الصين وشرق روسيا. ففي العام 2007، أنتجت هذه الدول ما يزيد على 95% من الفاناديوم المتداول عالمياً والبالغ 58,600 طن.

كما يوجد الفاناديوم أيضاً في ترسبات فلز البوكسيت وفي الوقود الأحفوري مثل النفط الخام والفحم والرمل الزيتي، إذ وجد في النفط الخام بتركيز يصل إلى 1200 جزء من مليون جزء. وعند حرق مثل هذا النفط تقوم شوائب الفاناديوم بإحداث تآكل في المحركات والحراقات. وتقدر كمية الفاناديوم المنطلقة في البيئة نتيجة حرق الوقود الأحفوري بـ 110000 طن سنوياً. كما تم كشف الفاناديوم بشكل طيفي في الضوء الصادر عن الشمس وبعض النجوم الأخرى.

إنتاجه

تستخدم غالبية الفاناديوم كخليط إضافي يسمى الفاناديوم الحديدي بهدف تحسين الفولاذ. ويتم الحصول على الفاناديوم الحديدي بشكل مباشر من إرجاع خليط من الحديد وأكسيد الفاناديوم وأكاسيد الحديد والحديد في فرن كهربائي. تشكل

استخداماته

خلائطه

أكسيد الفاناديوم في صناعة السيراميك. هذا ويستخدم أكسيد آخر للفاناديوم، ثنائي أكسيد الفاناديوم VO_2 ، لإنتاج طلاءات للزجاج، وذلك بهدف حجز الإشعاع تحت الأحمر (وليس الضوء المرئي) عند درجات حرارة معينة. كما يمكن استخدام هذا الأكسيد لإحداث تراكبات لونية في الياقوت عند تحضير مجوهرات مُزَيَّفة. وهناك احتمال لاستخدام الفاناديوم على هيئة أزواج مرجعة-مؤكسدة في أنصاف البطاريات، وذلك لاستبعاد مشكلة التلوث الحاصل من انتشار الأيونات عبر الغشاء، الأمر الذي يميز بطاريات الفاناديوم المرجعة-المؤكسدة القابلة لإعادة الشحن. يمكن استخدام الفانادات لحماية الفولاذ من الصدأ والتآكل. وقد اقترح استخدام أكسيد الفاناديوم والليثيوم كقطب موجب مرتفع الكثافة الطاقة في بطاريات الليثيوم الأيونية، وذلك بوجود قطب سالب مكون من أكسيد الكوبالت والليثيوم. وقد جرى اقتراح إضافة الفاناديوم بكمية تتراوح بين 27 و40 جزء من مليون جزء في الفولاذ الدمشقي من أجل تحسين مواصفات هذا الفولاذ.

دوره الحيوي في:

تشبيث النتروجين

يلعب الفاناديوم دوراً محدداً تماماً في المجال الحيوي، إذ يستخدم الفاناديوم الحاوي على خميرة النتروجين لتشبيث النتروجين الجوي في بعض الأجسام الحية. وبهذا الدور يحلُّ الفاناديوم محلَّ الموليبدنوم والحديد.

الفطريات

يتراكم الفاناديوم في بعض الفطريات والأصناف القريبة منها، ويصل تركيزه فيها إلى 500 ملغ/كغ، علماً أن آلية التراكم غير معروفة بعد.

ارتباطه بالبروتينات لدى الحيوانات والحيوانات المائية

اكتشف الفاناديوم عام 1911 في الخلايا الدموية للحيوانات المائية، ويبلغ تركيز الفاناديوم في دم هذه الحيوانات مئة مرة أعلى مما هو في مياه البحر المحيطة بهذه الحيوانات. أشير في أحد الأعمال البحثية إلى وجود تراكيز عالية للفاناديوم في دماء حيوانات خيار البحر، غير أن باحثين آخرين لم يتمكنوا

يستخدم حوالي 85% من الفاناديوم المنتج كفاناديوم حديدي أو على هيئة إضافات فولاذية. اكتشفت الزيادة الهائلة في قوة الفولاذ المحتوي على كميات قليلة من الفاناديوم في بداية القرن العشرين، إذ يشكل الفاناديوم نتريدات وكربيدات مستقرة تؤدي بدورها إلى زيادة كبيرة في قوة الفولاذ. ومنذ ذلك الحين جرى استخدام فولاذ الفاناديوم في محاور العجلات ومكابح الدراجات وناقلات الحركة ومكونات أخرى حساسة. هناك مجموعتان من خلائط الفاناديوم تحتوي الأولى بين 0.15 و0.25% فاناديوم وتشمل الثانية أدوات فولاذية ذات سرعات عالية تحتوي على الفاناديوم ضمن المجال 1% وحتى 5%. تستخدم هذه الأدوات أيضاً في تصنيع تجهيزات الجراحة وأدواتها.

يفيد الفاناديوم في زيادة استقرار الشكل الثاني للتيانيوم ويزيد من قيمة واستقرار درجة حرارة التيتانيوم. وبخلطه مع الألمنيوم والتيتانيوم، يساهم الفاناديوم في تصنيع المحركات النفاثة والمركبات الفضائية العالية السرعة، ومن هذه الخلائط المعروفة نذكر خليطة Titanium 6AL-4V، وهي عبارة عن معدن التيتانيوم مضافاً إليه 6% ألمنيوم و4% فاناديوم.

استخدامات أخرى

يستخدم أكسيد الفاناديوم (V) كحفاز سطحي لإنتاج حمض الكبريت. ونظراً لانسجام الفاناديوم مع الحديد والتيتانيوم، فهو يستخدم لإكساء التيتانيوم في الفولاذ، كما أن مقطعه الفعال لأسر النيوترونات الحرارية وأعمار النصف القصيرة للنظائر الناتجة عن الأسر النيوتروني تجعل من الفاناديوم مادة مناسبة لإكساء السطح الداخلي في مفاعل الاندماج. هذا وتظهر بعض خلائط الفاناديوم سلوك الناقل الفائق، وقد استُخدم أحد مركبات الفاناديوم، V_3Si ، كأول طور للناقل الفائق باسم "A15 phase"، والذي تم اكتشافه عام 1952. كما استُخدمت خليطة فاناديوم-غالسيوم كمغناط فائقة الناقلية (17.5 تسلا).

استخدم أكسيد الفاناديوم الأكثر شيوعاً، V_2O_5 ، كحفاز في صناعة حمض الكبريت من خلال عملية التماس وكمؤكسد في إنتاج المالك اللامائي malic anhydride. كما يستخدم خماسي

من تأكيد هذه النتائج.

الثدييات والطيور

من المعروف أن سلامة الفئران والدجاج تتطلب وجود كميات قليلة من الفاناديوم في غذائها وأن نقصه يقود إلى تراجع النمو وضعف الإخصاب. يُعدُّ الفاناديوم موضوعاً جدياً في مجال إضافات الحمية، وذلك بسبب دوره في درجة التحسُّس بالأنسولين وفي بنية الجسم. وإضافة لذلك، تتمتع مركبات الديكافانات والفانات المؤكسدة بنشاطات حيوية مهمة، وقد استخدمت هذه النشاطات في فهم آليات كيميائية حيوية عديدة.

حدود الأمان

يجب اعتبار كافة مركبات الفاناديوم سامة. وتُفوق سميّة الفاناديوم رباعي التكافؤ، VO_4 ، أربع مرات سميّة الفاناديوم ثلاثي التكافؤ V_2O_3 . فقد حدّدت إدارة الصحة والأمان قيمة عظمى لتركيز غبار خماسي أكسيد الفاناديوم مقدارها 0.05 mg/m^3 وقيمة أخرى مقدارها 0.1 mg/m^3 لدخان خماسي أكسيد الفاناديوم في هواء جو العمل خلال ثمان ساعات من العمل اليومي. هذا وقد أوصى المعهد الوطني المسؤول عن الأمان والصحة بأن التعرُّض الفوري لـ 35 mg/m^3 من الفاناديوم يعتبر خطيراً على الحياة

والصحة، وأن هذه السوية من التعرُّض الكيميائي قد تسبّب مشاكل صحية دائمة ربما تصل إلى الموت.

تُمتص مركبات الفاناديوم بصعوبة من قبل الجهاز الهضمي، غير أن تعرُّض جهاز التنفس للفاناديوم ومركباته يحدث تأثيرات غير آمنة. ومع ذلك إن المعطيات المتوافرة غير كافية لاشتقاق جرعة مرجعية بخصوص تعرُّض مزمّن أو غير مزمّن للجهاز التنفسي. هناك معطيات أخرى حول التعرُّضات التنفسية والفموية تتعلق بمعايير دموية أو كبدية أو بالتطور العصبي لدى الجرذان وأحياء أخرى.

هناك تأكيد ضعيف بأن الفاناديوم ومركباته تؤدي إلى إنتاج سموم أو تشوهات خلقية. تمّت الإشارة إلى أن خماسي أكسيد الفاناديوم مسرطن لدى الجرذان ولدى ذكور وإناث الفئران عن طريق التنفس، غير أن شرح هذه النتائج خضع مؤخراً لجدل مطول.

تُحدّث الكميات القليلة من الفاناديوم في وقود الديزل بعض التآكل في المحركات. فخلال الاحتراق يقوم الفاناديوم بأكسدة الصوديوم والبوتاسيوم، وهو ما يقود إلى تشكل مركبات الفانات التي تنصهر في الدرجة 530°C ، ومن ثم إلى مهاجمة الطبقة السطحية للفولاذ وإحداث التآكل فيها. هذا ويمكن لمركبات الفاناديوم الصلبة أن تسبّب أيضاً سحج الطبقة السطحية لمكونات المحرك.

مركبات الفاناديوم



موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه

H																	He														
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne														
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar														
K	Ca	Sc											Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y											Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
المعادن القلوية		المعادن القلوية الترابية		اللتانيدات			الاكتينيدات			المعادن الانتقالية		معادن أخرى		أشباه المعادن		لامعادن أخرى		الهالوجينات		الغازات النبيلة											

التباين الوراثي ضمن الفراغات البينية المستنسخة للدنا الريبوزومي لدى الفطر

Cochliobolus sativus المظهر بتقنية IRAP

HETEROGENEITY IN THE INTERNAL TRANSCRIBED SPACERS OF THE RIBOSOMAL DNA IN COCHLILOBOLUS SATIVUS AS REVEALED BY IRAP

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

ملخص

يعد Cochliobolus sativus العامل المسبب لمرض التلطح البقعي على الشعير، وهو فطر اقتصادي هام واسع الانتشار عالمياً. درس التباين الوراثي ضمن الدنا الريبوزومي النووي (الفراغات البينية المستنسخة ITS) لعزلات المرض C. sativus باستخدام تقنية التعددات الشكلية المضخمة للعناصر البينية المتناقلة IRAP. تم الحصول على 173 شذفة دنا من خلال استخدام 7 أزواج من المرئسات، حيث كان 20 منها (11.5%) ذا تعددية شكلية. أظهر تحليل الجار الأقرب (Neighbour-joining)، اعتماداً على المسافات الوراثية حسب Nei's تجمع العزلات في ثلاث مجموعات وراثية، ولم تقع ضمن عناقيد مرتبطة بمنشأ جغرافي خاص أو لون العزلة، مما يقترح انتشار فطر C. sativus بين المناطق. تعد المعلومات المتحصل عليها من هذه الدراسة جوهرية من أجل دراسة التنوع الوراثي في هذا الفطر، إضافة إلى أن العلامات الوراثية IRAP-ITS يمكن أن تزودنا بنماذج أخرى من التعددات الشكلية والتي قد تساعد في توضيح أفضل للبنية الوراثية لعزلات المرض C. sativus.

الكلمات المفتاحية: الفطر Cochliobolus sativus، الشعير الفراغات البينية المستنسخة (ITS)، التنوع الوراثي، المعلم الوراثي IRAP.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Journal of Plant Pathology

تركيب المساحيق النانوية WO_{3-x} وفصلها باستخدام مطحنة الكرات عالية الطاقة وتحت ضغط جزئي محدد ودراسة خواصها الكهربائيةSYNTHESIS, SEPARATION AND ELECTRICAL PROPERTIES OF WO_{3-x} NANOPOWDERS VIA PARTIAL PRESSURE HIGH ENERGY BALL-MILLING

د. أحمد المحمد
قسم الفيزياء

ملخص

درست التحولات الطورية وحجم الحبيبات والناقلية الكهربائية لمسحوق WO_3 النانوي خلال إرجاعه باستخدام مطحنة الكرات عالية الطاقة وتحت ضغط جزئي محدد. تتبعنا تطور عمليتي إرجاع مسحوق WO_3 النانوي بوجود الكربون أو بوجود الهيدروجين باستخدام انعراج أشعة X والمجهر الإلكتروني النافذ. تتحول بنية WO_3 أحادي الميل أثناء إرجاعه بالكربون إلى أطوار مانيلي (Magneli) البلورية غير متساوية التكافؤ $WO_{2.9}$ و $WO_{4.0}$ وأخيراً إلى طورين مختلطين من WO_2 و W . تبدي أطوار مانيلي (Magneli) للمركبات WO_{3-x} تطوراً نوعياً مؤلفاً من مستويات بلورية مقطوعة بطريقة مرتبة. بينما، تتحول بنية WO_3 أحادي الميل خلال عملية إرجاعه بالهيدروجين إلى هيدرات $WO_3 \cdot 1/3H_2O$ ، WO_3 ، السداسي $WO_{2.7}$ غير متساوي التكافؤ وأخيراً إلى طورين مختلطين من WO_2 و W . يؤدي إدراج ذرات الهيدروجين بين ثمانيات الوجوه WO_6 إلى خفض زمن الطحن أثناء تفاعلات الإرجاع. يبرهن تشكّل أطوار من هيدريدات WO_3 على زيادة القدرة على الإرجاع. أُستنتجت طاقة التنشيط للناقلية الكهربائية من معادلة أرينوس (Arrhenius) ووجد أنها تعتمد على ضغط الأكسجين الجزئي أو وجود ذرات هيدروجين أثناء عمليات الإرجاع. استخدم نموذج العيوب النقطية بين الروابط لتفسير هذه الظواهر. يفترض هذا النموذج أن العيوب النقطية لشواغر الأكسجين في السطح الخارجي تُقدم مستويات مانحة في فرجة نصف الناقل، ولذلك تتولد إلكترونات حرة أثناء عملية الإرجاع.

الكلمات المفتاحية: مطحنة الكرات عالية الطاقة تحت ضغط جزئي محدد، إرجاع الأكسيد WO_3 ، أطوار مانيلي WO_{3-x} ، حبيبات نانوية من الأكسيد WO_3 .

نشرت هذه الورقة في مجلة: Acta Physica Polonica A

تأثير التحولات الضوئية الكيميائية للمواد العضوية الذائبة على الاستقلاب البكتيري والتنوع الحيوي في ثلاثة مواقع شاطئية مختلفة في الشمال الغربي للبحر الأبيض المتوسط أثناء فصل الصيف

EFFECTS OF PHOTOCHEMICAL TRANSFORMATIONS OF DISSOLVED ORGANIC MATTER ON BACTERIAL METABOLISM AND DIVERSITY IN THREE CONTRASTING COASTAL SITES IN THE NORTHWESTERN MEDITERRANEAN SEA DURING SUMMER

ماهر عبودي

هيئة الطاقة الذرية، قسم تكنولوجيا الإشعاع

ملخص

درُس تأثير التحول الضوئي للمواد العضوية الذائبة (DOM) على نمو البكتيريا، الإنتاج، التنفس، مردود النمو، التنوع الحيوي خلال فصل الصيف لعينات من مياه لاغونين ومياه موقع شاطئي فقير بالعناصر (oligotrophe) وذلك في الجزء الشمالي الغربي للبحر الأبيض المتوسط. المواقع مختلفة إلى حد كبير من حيث تراكيز المواد العضوية الذائبة والمواد العضوية الذائبة الملونة. أدى تعريض المياه المفلترتة بـ $0.2 \mu\text{m}$ إلى الأشعة الشمسية الطبيعية ليوم واحد (1d) إلى تغيير في الخصائص الضوئية وتراكيز المواد العضوية الذائبة. بينما لم يلاحظ تغيير في تراكيز النتريت والنتريت والفوسفات. تم تلقيح عينات الماء بعد التشعيع وكذلك عينات الشاهد (الظلام) ببكتيريا ذات منشأ المياه عينه. كان للتحول الضوئي الكيميائي لـ DOM نتائج مغايرة على الإنتاج والتنفس البكتيري، وذلك تبعاً لمنشأ عينات المياه، حيث نتج ازدياد في مردود النمو البكتيري +120% في المياه الشاطئية الفقيرة بالعناصر، بينما انخفض في مياه اللاغونين (20 إلى 40%) مقارنة مع معاملة الشاهد (الظلام: بدون تعرض لأشعة). لاحظنا أيضاً تغيراً في تركيبة التجمعات البكتيرية الكاملة والنشطة استقلابياً عند نمو البكتيريا على المواد العضوية المشعة بالأشعة الشمسية الكاملة (Full sunlight). حدث التغيير بشكل رئيسي بسبب التحول الضوئي الكيميائي لـ DOM بالأشعة فوق البنفسجية (UV) في كل من عينات مياه اللاغون الغنية بالعناصر (eutrophe) وعينات المياه الشاطئية الفقيرة بالعناصر، وبالأشعة النشطة للاصطناع الضوئي (الضوء المرئي: PAR) في عينات اللاغون المتوسط الغنى بالعناصر وذلك في المواقع الثلاثة المدروسة مقارنة مع العينات المحتوية على البكتيريا النامية على مواد عضوية ذائبة غير مشعة. تشير هذه النتائج إلى أن التحول الضوئي الكيميائي لـ DOM يؤثر بشكل معنوي على كل من استقلاب وتركيب التجمعات البكتيرية الموجودة في الطبقات المائية السطحية لعدة أنظمة بيئية شاطئية مختلفة في البحر الأبيض المتوسط. إنه من الضرورة وجود دراسات إضافية لتوضيح بشكل أكثر تفصيلاً دور التغيير الفصلي والمكاني على البارامترات التي تمت دراستها هنا.

الكلمات المفتاحية: المواد العضوية الذائبة DOM، الاستقلاب البكتيري، مردود النمو البكتيري BGE، التنوع الحيوي، الأشعة الشمسية الطبيعية، بيئات مائية مختلفة.

* نشرت هذه الورقة في مجلة: *Microbial Ecology*

أمثلة تقنيتي التيلنج Tilling والإيكوتيلنج Ecotilling للبطاطا (*Solanum tuberosum* L)

OPTIMIZING TILLING & ECOTILLING TECHNIQUES FOR POTATO (*SOLANUM TUBEROSUM* L)

رنا اللباس، بسام الصفدي

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

براد تيل، شيكيلو ميا

وحدة تربية النبات، مخبر التقانة الحيوية والزراعة التابع للوكالة

الدولية للطاقة الذرية - ومنظمة الأغذية والزراعة فيينا، النمسا.

ملخص

طبقت تقنيتا التيلنج Tilling والإيكوتيلنج Ecotilling الخاصتان بكشف التعددية الشكلية النوكليوتيدي على ثلاثة أصناف من البطاطا (*Solanum tuberosum*) معاملة بأشعة غاما. كانت طفرات الأصناف الثلاثة المختبرة قد أظهرت سابقاً تحملاً للملوحة وهي صفة هامة في بلدان مثل سورية حيث تؤثر ملوحة التربة المتزايدة على الإنتاج الزراعي.

الكلمات المفتاحية: إيكوتيلنج، بطاطا، تيلنج، طفرة، لايكور.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Biomed Central Research Notes*

تعديل الخواص الضوئية المحرّضة بعملية التشكيل النانوي لزرنبيد الغاليوم المسامي (100) من النوع-p

NANOSTRUCTURING-INDUCED MODIFICATION OF OPTICAL PROPERTIES OF p-GaAs (100)

د. منذر ندادف، د. صقر سلوم
هيئة الطاقة الذرية، قسم الفيزياء

ملخص

استعملت طريقة التنميش الأنودي النبضي في عملية التشكيل النانوي لسطح زرنبيد الغاليوم (GaAs) المسامي (100) من النوع-p باستخدام محلول من حمض HCl ككهرليت. وُصفت عينات GaAs المسامي بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM) ومطيافية التآلق الفوتوني (PL) ومطيافية رامان وقياسات الانعكاسية الضوئية. تُظهر صور AFM أن طبقة GaAs المسامي تتكون من بنى بشكل شبه عمود بعرض من مرتبة النانو متر موزعة بين بنى نانوية أصغر حجماً. لُوحتت بالإضافة إلى عصابة PL في المجال تحت الأحمر والعائدة إلى ركازة زرنبيد الغاليوم، عصابة PL قوية تقع في المجال الأخضر في أطيف العينة المنمشة. ووجد أن عصابة PL المرئية المسجلة باستخدام إثارة قصيرة طول الموجة (325 nm) تتكون من عصابتي PL ناشئتين عن حصر الأكسيتونات في توزع ببعدين مختلفين لبلورات نانوية من زرنبيد الغاليوم. كما استدل على تأثيرات الحصر الكمومي في البذور البلورية النانوية لزرنبيد الغاليوم المسامي من نتائج مطيافية رامان عبر الظهور الواضح للفونون TO في أطيف العينة المسامية. وبرهن أيضاً على انخفاض كبير في الانعكاس المباشر محرّض بالمسامية في المجال الطيفي (400 – 800 nm).

الكلمات المفتاحية: زرنبيد غاليوم مسامي، تآلق فوتوني، مطيافية رامان، انعكاسية ضوئية.

نشرت ورقة البحث هذه في مجلة: *Physica E: Low-Dimensional Systems & Nanostructures*

بناء منحنيات الحمل الساعي ورصد حمل الذروة السنوي للطلب المستقبلي على الكهرباء في سورية باستخدام منهجية التحليل التصاعدي

CONSTRUCTION OF THE HOURLY LOAD CURVES AND DETECTING THE ANNUAL PEAK LOAD OF FUTURE SYRIAN ELECTRIC POWER DEMAND USING BOTTOM-UP PPROACH

علي حيونون
مجموعة تخطيط الطاقة، قسم الهندسة النووية

ملخص

بهدف صياغة مخطط التوسع المستقبلي الأمثل لنظام التوليد الكهربائي السوري فقد أنجز تحليل شامل تضمن حساب الطلب الساعي على الكهرباء ومعاملات الحمل الكهربائي لقطاعات الاستهلاك المختلفة، إضافة لبناء منحنيات الحمل التراكمي وتقدير حمل الذروة السنوي للطلب على الكهرباء على المستويين النهائي والثانوي. وللوصول لهذا الهدف فقد جرى بدايةً تجميع وتقييم البيانات الحقيقية المسجلة في السنة الأساس حول الطلب الساعي على الكهرباء (موزعاً حسب نمط الأيام والفصول) لمجموعة منتقاة من الزبائن النمطين الممثلين للسلوك الاستهلاكي في القطاع المنزلي والخدمي وقطاع النقل والصناعة.

انطلاقاً من نتائج هذه البيانات واعتماداً على نتائج تطور الطلب المستقبلي على الكهرباء للسيناريو المرجعي -متمثلةً بمعطيات الطلب السنوي والحصص النسبية لقطاعات الاستهلاك المختلفة- فقد جرى بناء منحنيات الحمل التراكمية ورصد حمل الذروة للعقود الثلاثة القادمة باستخدام منهجية التحليل التصاعدي المعتمدة في البرنامج MAED-EL. وتدل النتائج المحصلة على أن نمط الاستهلاك المنزلي المهيمن حالياً على سلوك الاستهلاك الكهربائي في المنظومة السورية سينزاح مستقبلاً شيئاً فشيئاً نحو نمط الاستهلاك الصناعي المتمثل بمعاملات حمل أعلى. وقد تبين في حالة السيناريو المرجعي أن معاملات الحمل ستتمو خلال فترة الدراسة 1999-2030 من 0.64 إلى 0.71 في حين سينمو الطلب على حمل الذروة بمعدل سنوي وسطي يقرب من 5.2%.

الكلمات المفتاحية: معاملات الحمل، منحنى الحمل التراكمي، المعاملات الفصلية، حمل الذروة، المساهمة القطاعية، MAED.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Electrical Power & Energy Systems*

دراسة اللونانية في أفلام بولي ميتيل ميتاكريلات الرقيقة المطعمة بجزيئات Disperse Orange 11

DICHROISM OF POLY (METHYL METHACRYLATE) THIN FILMS DOPED WITH DISPERSE ORANGE 11 MOLECULES

بسام عباس، محمد الشيخ خليل
قسم الفيزياء

ملخص

ندرس في هذه الورقة طيوف الامتصاص لأفلام بولي ميتيل ميتاكريلات (PMMA) الرقيقة المطعمة بجزيئات الصباغ العضوي Disperse Orange 11 (DO11) التي تتغير تحت تأثير الضخ بالضوء المرئي.

درسنا آلية تغيرات النفوذية عند الطول الموجي 472nm من خلال قياسات اللونانية في درجة حرارة الغرفة وفي درجات حرارة متدنية ($-60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). أظهرت النتائج أن تفاعل التماكب الضوئي والتوجه القطبي المحثوث ضوئياً يعتمدان على البنية الجزيئية للبوليمير. أكدت المطيافية فوق البنفسجية-المرئية عند درجات الحرارة المتدنية المتزامنة وجود شكلين من جزيئات الصباغ العضوي (الماكب keto والماكب enol)، وهما مسؤولان عن التفاعل مع ضوء الضخ الليزري، وعن تشكيل البنية اللامتناحية داخل الفيلم الرقيق PMMA/DO11.

الكلمات المفتاحية: لونانية، أفلام رقيقة، بوليميرات.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Acta Physica Polonica A

مكونات المقاومة الكمية في نبات عباد الشمس (*Helianthus annuus*) للفطر المسبب للبياض الزغبي (*Plasmopara halstedii*)

COMPONENTS OF QUANTITATIVE RESISTANCE TO DOWNY MILDEW (*Plasmopara halstedii*) IN SUNFLOWER (*Helianthus annuus*)

نشأت صقر
هيئة الطاقة الذرية، قسم الزراعة

ملخص

جرى البحث في مكونات المقاومة الكمية في نبات عباد الشمس (*Helianthus annuus*) للفطر المسبب للبياض الزغبي (*Plasmopara halstedii*). جرت مقارنة أربعة معايير للمقاومة الكمية: نسبة النباتات المصابة وفترة الكمون وكمية الأبواغ المنتجة وتقرم طول السويقة على صنفين من نبات عباد الشمس اللذين أظهرتا مستويات مختلفة من المقاومة الكمية حقلياً والمعدية بسلاسل مختلفة من العروق الفيزيولوجية 710، 300، 100 و714 للفطر *P. halstedii*. أظهر صنف عباد الشمس BT الذي يبدي حساسية تجاه هذا المرض حقلياً نسبة نباتات مصابة أكبر وفترة كمون أقصر وكثافة تبوغ أكبر وتقرماً أقل في طول السويقة مقارنة مع الصنف الآخر لنبات عباد الشمس FU الذي يعد أكثر مقاومة للمرض ضمن الظروف الحقلية. جرى التحقق من المقاومة الكمية المتميزة ضمن الظروف الحقلية في صنف نبات عباد الشمس FU عبر قياسات المقاومة الكمية الموصوفة في هذه الدراسة، وقد لوحظ أن نسبة النباتات المصابة على الصنف FU كانت أقل بمقدار 1.4% مقارنة مع الصنف BT، وكانت فترة الكمون على الصنف BT أقل بمقدار 12.4% مقارنة مع الصنف FU، وكانت كمية التبوغ على الصنف FU أقل بمقدار 22.3% مقارنة مع الصنف BT، وكان التقرم في طول السويقة على الصنف BT أقل بمقدار 15.3% مقارنة مع الصنف FU. يبدو أن المعايير: فترة الكمون وكمية الأبواغ المنتجة والتقرم في طول السويقة يمكن أن تستخدم في قياس مكونات المقاومة الكمية في نبات عباد الشمس للفطر *P. halstedii*.

الكلمات المفتاحية: العدوانية، مورثة المقاومة النوعية PI، الشراسة.

نشرت هذه الورقة في مجلة: Journal of Plant Protection Research, 2009

مضاعف تواتر داخل تجويف ديود ليزري InGaAs مزود بالماص القابل للإشباع كمفتاح جودة منفعل

INTRACAVITY FREQUENCY-DOUBLING OF A INGAAS DIODE LASER PASSIVELY Q-SWITCHED WITH GaAs SATURABLE ABSORBER

بشار عبد الغني، مصطفى حمادي
هيئة الطاقة الذرية، قسم الخدمات العلمية

ملخص

جرى تطوير نموذج رياضي لوصف الإصدار الديناميكي للديود الليزري *InGaAs / KTP* المزود بمفتاح الجودة *GaAs* كماص قابل للإشباع مع مضاعف تواتر بداخل التجويف. يصف النموذج المقترح السلوك الزمني لجملة الديود الليزري والماص *GaAs* القابل للإشباع والبلورة *KTP*.

يسمح النموذج بدراسة تأثير تغيرات استطاعة الدخل لوسطاء الديود الليزري على مميزات نبضات الخرج لمضاعف التواتر بداخل التجويف ومفتاح الجودة المنفعل *InGaAs / KTP*.

تشير المحاكاة إلى أن عملية امتصاص فوتونين تلعب دوراً هاماً في تشكيل نبضة الخرج الليزري، بالإضافة إلى أنها تبين إمكانية أن تحد الضياعات اللاخطية في الشريحة *GaAs* من استطاعة النبضة. وتشير الحسابات العددية إلى أن عملية مفتاح الجودة تخلص النبضة الأصلية للديود الليزري من الذيل وتعطي نبضات خرج ذات قمم مفردة من مرتبة بيكوثانية.

عرضت طريقة استنتاج وسطاء معادلات المعدل. يمكن حل معادلات المعدل تحليلياً باستخدام قياسات الإشارة الصغيرة. بالإضافة إلى ذلك فقد وُصفت طريقة لاختزال المتغيرات المجهولة على أساس معالجة حالة الاستقرار عند العتبة وطريقة استجابة الإشارة الصغيرة.

الكلمات المفتاحية: نموذج حاسوبي، مضاعف تواتر داخل التجويف، مفتاح جودة منفعل، الديود الليزري *InGaAs*، الماص القابل للإشباع *GaAs*.

نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*

مدة التطور والمقدرة التكاثرية لفيلوكسيرا العنب على الأصول المستنبطة في الزجاج

DEVELOPMENT & REPRODUCTION OF GRAPE PHYLLOXERA ON IRRADIATED IN VITRO CULTURE ROOSTOCKS

حياة المكي، طريف شرجي، عماد إدريس
قسم التقانات الحيوية، هيئة الطاقة الذرية

ملخص

تمت دراسة مقدرة السلالة المحلية لحشرة الفيلوكسيرا على التطور والتكاثر على الأصول المستنبطة في الزجاج (رتشرد 99، وروكشري 140 و3309C والصنف المحلي «الحواني»). لقد أظهرت النتائج بأن هناك اختلافات في مدة التطور والمقدرة التكاثرية للفيلوكسيرا بين النباتات المشععة وغير المشععة والمستنبطة في الزجاج. انخفضت المقدرة على البقاء وعدد البيوض ومتوسط مدة التطور بشكل كبير عند التربية على الأصول المشععة. بالاعتماد على العوامل البيولوجية المدروسة على الفيلوكسيرا، فإن جميع النباتات المدروسة تصبح أكثر مقاومة لهذه الحشرة الخطيرة عند تشجيع تلك النباتات. وبالتالي فإن مقاومة الفيلوكسيرا تزداد عند معاملة النباتات المستنبطة في الزجاج بجرع منخفضة من أشعة غاما.

الكلمات المفتاحية: مدة التطور، أشعة غاما، حشرة الفيلوكسيرا، المقدرة التكاثرية.

نشرت في مجلة: *Advancec. Horticultural. Science. 2009*

المكونات الضد – تغذوية في أوراق بعض أنواع أشجار السنديان المستوطنة عند مراحل مختلفة للنمو

ANTI-NUTRITIONAL COMPONENTS IN LEAVES OF SOME INDIGENOUS OAK SPECIES AT DIFFERENT GROWTH STAGES

ملخص

قُدِّرَت سويات التانينات كالفينولات الكلية والتانينات الكلية والتانينات الكثيفة في أوراق أربعة أنواع من أشجار السنديان المحلية (سنديان بلوطي *Quercus infectoria*، سنديان عادي *Q. coccifera*، سنديان شبه عذري *Q. cerris var pseudocerris*، سنديان لبناني *Q. libani*) عند ست مراحل مختلفة للنمو [مرحلة النمو الخضري المبكر (نمو خضري جديدة)، مرحلة النمو الخضري، مرحلة الإزهار، مرحلة عقد الثمار، مرحلة نضج الثمار، مرحلة السكون (أوراق متساقطة)]. لوحظ انخفاض معنوي ($P < 0.05$) في تراكيز التانينات الكلية والفينولات الكلية في الأوراق المتساقطة لأنواع السنديان المدروسة كافة مقارنة مع أوراق النوات الخضرية الجديدة. كانت تراكيز التانينات الكلية في الأوراق التي جرى جمعها في مرحلتها النمو الخضري المبكر ونضج الثمار أعلى معنوياً ($P < 0.05$) مما هي عليه في كل من المراحل الثلاث الأخرى (النمو الخضري، والإزهار، وعقد الثمار). اختلفت معنوياً ($P < 0.05$) تراكيز التانينات الكلية في أوراق أنواع السنديان موضوع الدراسة وانخفضت تنازلياً بالترتيب التالي: سنديان بلوطي < سنديان شبه عذري < سنديان عادي < سنديان لبناني. وارتفعت معنوياً ($P < 0.05$) تراكيز التانينات الكثيفة في أوراق السنديان شبه العذري وانخفضت معنوياً في أوراق السنديان اللبناني مقارنة مع نوعي السنديان البلوطي والعادي. واحتوت أوراق السنديان اللبناني على تراكيز منخفضة معنوياً ($P < 0.05$) من الفينولات الكلية والتانينات الكلية والتانينات الكثيفة مقارنة مع الأنواع الثلاثة الأخرى من أشجار السنديان موضع الدراسة.

الكلمات المفتاحية: سنديان، أوراق، مرحلة نمو، تانينات كلية، تانينات كثيفة، فينولات.

تحديد نسبة انتشار عوز إنزيم الغلوكوز 6 فسفات ديهيدروجيناز في سورية

THE PREVALENCE OF GLUCOSE-6-PHOSPHATE DEHYDROGENASE DEFICIENCY IN SYRIA

ملخص

يُعدُّ عوز الغلوكوز 6 فسفات ديهيدروجيناز (G6PD) واحداً من أكثر الاضطرابات الإنزيمية المنتحية المرتبطة بالجنس شيوماً والتي تؤثر في استقلاب الكريات الحمر. تتنوع الأعراض السريرية لعوز G6PD بدءاً من عدم حدوث أعراض إلى فقر الدم الانحلالي الحاد أو فقر الدم الانحلالي المزمن الشديد. تم إجراء المسح لدى 225 طفلاً تقل أعمارهم عن ست سنوات للكشف عن عوز G6PD. كانت نسبة انتشار العوز في أولئك الأطفال 5.3%. وكانت فعالية الإنزيم 1.89 ± 9.72 (U/g Hb).

الكلمات المفتاحية: عوز الغلوكوز 6 فسفات ديهيدروجيناز، سورية، أطفال.

د. محمد راتب المصري،
محمد مارديني
قسم الزراعة

د. رامي جرجور
قسم البيولوجيا الجزيئية
والتقانة الحيوية

فرط تعبير المورثات الورمية p53, Ki67, c-erbB-2 في الأنسجة الظهارية لسرطان المبيض: العلاقة مع العوامل الإنذارية والمغزى السريري

OVEREXPRESSION OF p53, ki67, AND c-erbB-2 ONCOGENES IN EPITHELIAL OVARIAN CANCER: CORRELATION WITH THE PROGNOSTIC FACTORS AND CLINICAL SIGNIFICANCE

د. محمد عادل باكير، د. وليد الصالح، د. أسماء عبد السلام،
خلود حماد

قسم الطب الإشعاعي

ملخص

درس فرط تعبير المورثات الورمية p53, Ki-67, c-erbB-2 في نسيج أورام المبيض السليمة وسرطان المبيض باستخدام تقنية التلوين المناعي النسيجي. كما درست أيضاً العلاقة بين هذه المورثات والنمط النسيجي ومرحلة الورم.

جرى الحصول على 58 عينة نسيجية من مريضات بأورام سليمة للمبيض و51 عينة نسيجية من مريضات بسرطان مبيض أثناء العمل الجراحي. أجري التلوين المناعي النسيجي لمقاطع نسيجية لهذه الأورام مدمجة بالبارافين ومثبتة بالفورمالين لهذه الأورام.

أشارت الدراسة النسيجية لمريضات أورام المبيض السليمة والتي بلغ عددهن 58 مريضة إلى إصابة 43 مريضة بكيسات مصلية و 15 مريضة بكيسات مخاطية. لوحظت إيجابية التلوين المناعي النسيجي لمنتجات المورثتين الورميتين المدروستين c-erbB-2 و p53 عند مريضتين فقط (3%)، في حين ظهرت الإيجابية لمنتجات المورثة الورمية Ki-67 لدى 6 مريضات (10%). أما مريضات سرطان المبيض البالغ عددهن 51 مريضة، فقد أشارت الدراسة النسيجية إلى إصابة 34 مريضة بسرطان المبيض المصلي و 10 مريضات بسرطان المبيض المخاطي و 6 مريضات بسرطان اندوميترويد، ومريضة واحدة فقط بسرطان الخلايا الراكقة. لوحظت إيجابية التلوين المناعي النسيجي لمنتجات المورثة الورمية c-erbB-2 لدى 25 مريضة (49%)، ولمنتجات المورثة الورمية p53 لدى 30 مريضة (59%)، أما إيجابية المورثة الورمية Ki-67 فقد لوحظت في جميع الحالات ما عدا أربع (92%). أظهرت حالات سرطان المبيض المصلي تواتراً أعلى للحالات الإيجابية لفرط تعبير منتجات المورثتين الورميتين c-erbB-2 و p53، إلا أن ذلك لم يكن ذو مغزى إحصائي.

وبلغت نسبة الحالات الإيجابية لمنتجات المورثتين الورميتين c-erbB-2 و p53 26.4% من حالات سرطانة المبيض المصلية، بينما كانت نسبة الحالات الإيجابية لسرطانة المبيض المخاطية للمورثتين ذاتهما 30%. أظهرت المورثات الورمية الثلاث المدروسة تواتر حدوث أعلى في الحالات المرضية التي كانت ضمن المرحلتين III/IV السريريتين بالمقارنة مع حالات المراحل المبكرة للمرض I/II.

تشير هذه النتائج إلى أن فرط تعبير أو تضخم المورثات الورمية p53, Ki-67, c-erbB-2 يؤدي دوراً مهماً في حدوث سرطان المبيض ويكون ذا تواتر أكبر في المراحل المتقدمة للورم.

الكلمات المفتاحية: فرط تعبير، مورثات ورمية p53, Ki-67, c-erbB-2 (HER-2/new).

مسح لبكتريا *Bacillus thuringiensis* في سورية: عزلها، توزيعها الجغرافي، فعاليتها كمبيد حشري، والتوصيف الجزيئي للسلاسل الجديدة

BACILLUS THURINGEINSIS SURVEY IN SYRIA: ISOLATION, GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION, INSECTICIDAL ACTIVITY AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF NEW STRAINS

ملخص

إن النجاح الأكبر في استخدام مبيدات الآفات الميكروبيولوجية كان نتيجةً لاستخدام بكتريا *Bacillus thuringiensis* (Bt) على شكل مركّبات تجارية. تتميز هذه البكتريا بأنها بكتريا عصوية متبوغة، موجبة الغرام وتوجد بشكل طبيعي في التربة. تُعدُّ سورية من إحدى مناطق العالم التي لم يتم فيها البحث مسبقاً عن بكتريا الـ Bt. نتيجة للبحث عن تلك البكتريا في 200 عيّنة تربة جُمعت من مناطق مختلفة في سورية، تبين أن بكتريا الـ Bt موجودة في 25 عينة تربة (12.5%). أبدت 25 عيّنة سمية عالية ضد يرقات فراشة الطحين (*Ephestia kuhneilla*) ويرقات دودة ثمار التفاح (*Cydia pomonella*). جرت مقارنة تلك العزلات المحلية مع عزلتين مرجعيتين Bt kurstaki HD-73 و Bt kurstaki HD-1، والتي هي من المكونات الأساسية للعديد من المبيدات الحشرية الحيوية التجارية، وذلك من حيث مواصفاتها البيولوجية وتوصيفها الجزيئي. تبين من خلال الفحص بالمجهر الضوئي أن كل تلك العزلات منتجة للبروتينات المتبلورة ذات الشكل الثنائي الهرمي والمكعب، كما هو في السلاسل المرجعيتين. جرى تحديد التركيز المميت النصفى (LC_{50}) للـ 25 عيّنة ضد يرقات فراشة الطحين، إذ تراوحت قيمته ما بين 8.6 إلى 97.6 ميكروغرام/غرام، وتبين من خلال ذلك أن سمية بعض العزلات المحلية أعلى من سمية السلاسل المرجعيتين BtKHD-1 و BtKHD-73 والتي كانت 46 و 20.8 ميكروغرام/غرام على التوالي. جرى تنميط لمحتوى الـ 25 عيّنة من البلازميدات وكان العديد منها مشابهاً لما هو موجود في العيّنة المرجعية BtKHD-1. كما جرى تحديد أنماط المورثات للبروتين المتبلور (*cry genes*) الموجودة في تلك العزلات بواسطة تفاعل البوليميرز المتسلسل (PCR) باستخدام 35 زوجاً من المرئسات العامة و 12 زوجاً من المرئسات الخاصة والمميزة لعدد كبير من أنماط تلك المورثات. تبين أن كل العزلات المحلية تحتوي على نمطين على الأقل من تلك المورثات وهما *cry1* و *cry2*. إضافةً إلى ذلك، ومن خلال ترحيل المستخلص البروتيني للعزلات المحلية بعد التبوغ على هلامة الأكريلاميد (SDS-PAGE)، تبين أن كل العزلات المختبرة منتجة لبروتينات بأحجام متوافقة مع أحجام البروتينات المشفرة من قبل المورثات من نمط *cry1* و *cry2*. جرى في هذا البحث، ولأول مرة في القطر عزل وتوصيف لسلاسل محلية من بكتريا الـ Bt، إذ أبدى بعضها فعالية عالية من حيث السمية ضد بعض الحشرات والتي يمكن استخدامها في دراسات لاحقة من أجل تطوير وإنتاج مبيدات حيوية بكتيرية محلية قد تساعد في مكافحة بعض الحشرات الاقتصادية في القطر.

الكلمات المفتاحية: بكتريا، سورية، فراشة الطحين، مورثات البروتين المتبلور.

5

التحكم والأمثلة في نظم خلايا الوقود

CONTROL AND OPTIMIZATION IN FUEL CELL SYSTEMS

ملخص

د. زهير أحمد، فاروق

عضيم

قسم الخدمات العلمية

خلايا الوقود هي محولات طاقة كيميائية-كهربائية؛ تحول الطاقة الكيميائية الموجودة في الوقود إلى كهرباء بينما تعطي ماء وحرارة كنواتج ثانوية. تتميز خلايا الوقود بمردود تحويل عالٍ وبنظافة النواتج الثانوية مقارنةً مع محولات الطاقة التقليدية كالبطاريات ومحركات الاحتراق الداخلي.

يتضمن هذا العمل دراسة علمية حاسوبية لكيفية الأمثلة والتحكم في نظم خلايا الوقود، حيث تمت دراسة نظام تدفق الوقود (الهيدروجين والهواء) والذي يتكون من أنظمة ضغط وتبريد وترطيب. كما جرت دراسة نظام المكس الذي يتكون من عدد كبير من الخلايا، وذلك اعتماداً على المعادلات التجريبية الخاصة بالخلايا ذات الأغشية المصنعة من مادة Nafion117.

بعد الانتهاء من تنفيذ الموديل في بيئة MATLAB/Simulink جرت عملية تحليل للموديل، حيث جرت دراسة تأثير كل من ضغط المصعد ومحتوى الماء في الغشاء على مخططات الاستقطاب للخلية. كما قمنا بدراسة استجابة مختلف متحولات الموديل لتغيرات خطوية في جهد الضاغط والتيار المستخرج من المكس، مع التركيز على الاستطاعة الصرفة التي يمكن استجراؤها من النظام آخذين بالاعتبار الاستطاعة المستهلكة في الضاغط.

الكلمات المفتاحية: خلايا وقود، أمثلة وتحكم، غشاء مبادل للبروتونات.

6

تأثير اللقاح BL21pET15b-bfr-p39 على الاستجابة المناعية والحماية من الإصابة بالعامل الممرض "البروسيليا" عند الفئران

EFFECT OF BL21pET15b-bfr-p39 VACCINE ON IMMUNE RESPONSES AND PROTECTION AGAINST INFECTION BY "BRUCELLA" IN MICE

ملخص

د. أيمن المريحي

قسم البيولوجيا الجزيئية

والتقانة الحيوية

حُققت الفئران صفاقياً بالبكتريا الحية Escherichia coli BL21 DE3 وحيدة أو مع تلك المُعبّرة عن أحد بروتيني البروسيليا P39 أو BFR، مرتين بفواصل زمني قدره أربعة أسابيع. أثار اللقاحان الحيان E. coli BL21 (DE3) pEt15b-p39 و E. coli BL21 (DE3) pEt15b-bfr استجابةً متزايدة للخلايا التائية T-cell، كما حرضاً إنتاج الأنترفيرون غاما (IFN- γ). وكانت هذه الاستجابة أعلى من تلك التي سببها إما المستخلص البكتيري أو الـ P39 أو الـ BFR عند استخدامها كمستضدات نوعية. ومقارنةً مع مجموعة الفئران الشاهد التي حُققت بالمحلول الملحي، تبين أن تلقيح الفئران بالـ E. coli BL21pEt15b-p39 قبل ثلاثة أسابيع من الإصابة، يخفف بشكل ملموس تعداد بكتريا الـ 16M في الطحال بعد مرور أربعة وثمانية أسابيع على الحقن في كل الفئران المُلقحة ($p < 0.001$). وقد أظهرت نتائجنا أن تلقيح الفئران بـ E. coli BL21 (DE3) pEt15b-p39 و E. coli BL21 (DE3) pEt15b-bfr مضافاً إليهما السواغ CpG حرض مستوى حماية ضد الإصابة بالبروسيليا الضائية ذات الفوعة، أعلى من ذلك الذي تم التوصل إليه عندما كان اللقاح وحده بدون سواغ.

الكلمات المفتاحية: بروسيلا، استجابة مناعية، حماية، لقاح.

تقييم نظام تكثيف الولادات عند نعاج العواس السوري باستخدام المعاملات الهرمونية، داخل الموسم التناسلي وخارجه

EVALUATION OF AN ACCELERATED LAMBING SYSTEM IN SYRIAN AWASSI EWES, USING HORMONAL TREATMENTS INSIDE AND OUTSIDE THE BREEDING SEASON

ملخص

أجريت تجربة على نعاج العواس السوري بهدف تقييم نظام تكثيف الولادات (3 ولادات في عامين) عن طريق توقيت وإحداث الشيعاء، ورفع معدل الإباضة باستخدام المعاملات الهرمونية (إسفنجات مهبلية + هرمون مصل دم الفرس الحامل). استخدم في التجربة خمسون نعجة عواس سوري لا تعاني من مشاكل صحية أو تناسلية بعمر 2-4 سنوات، ويمتوسط وزن بلغ 51.4 كغ لمدة استمرت 4 سنوات (6 ولادات). قُسمت النعاج إلى مجموعتين: 40 نعجة في مجموعة المعاملة (T)، و 10 نعجات في مجموعة الشاهد (C). عوملت النعاج في المجموعة T بالإسفنجات المهبلية لمدة 14 يوماً جرى بعدها سحب الإسفنجات، أُعقب ذلك حقن كل نعجة عضلياً بجرعة مقدارها 500 وحدة دولية من هرمون مصل دم الفرس الحامل. أشارت النتائج إلى أن معدل ظهور الشيعاء بلغ 100% في نعاج المجموعتين لكن الشيعاء كان أكثر تركيزاً في مجموعة المعاملة من مجموعة الشاهد حيث لُقحت النعاج في المجموعة الأولى خلال 1-5 أيام من سحب الإسفنجات مقابل 1-11 يوماً لنعاج مجموعة الشاهد. أدت المعاملة إلى زيادة عدد الولادات ومعدلاتها ومعدل المواليد المتعددة. لم تؤثر المعاملة المتكررة بهرمون مصل دم الفرس الحامل في خصوبة النعاج بتوالي المواسم، وإنما تشكلت أصداد ضد الهرمون.

الكلمات المفتاحية: تكثيف ولادات، نعاج عواس سوري، معاملات هرمونية، بروجستيرون، هرمون مصل دم الفرس الحامل، موسم تناسلي.

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria



NO. 130

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. Haj Saeed

Prof. Dr. M. Hamo-leila

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F.Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin



Aalam Al-Zarra

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

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