عالَم الذّرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

مجلة عالم الذرّة

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

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

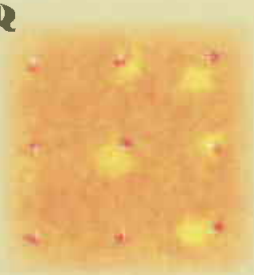
الدكتور عادل حرفوش

الدكتور زياد قطب

NO.102

العدد 102 (آذار/نيسان) 2006

المحتويات



المقالات

5 **عدو عدوي**

قد يُنظر إلى حقن الناس بفيروسات حية على أنه جنون، لكن الفيروسات تمثل السلاح الأحدث في الحرب ضد السرطان.

جو. ويلان

10 **تحسين أداء نبائط أنصاف النواقل باستخدام صفيفات من مطعمات مرتّبة**

مع استمرار انكماش حجم نبائط أنصاف النواقل، يصبح توزع الذرات المطعِّمة ذو الطابع العشوائي عادة في داخل نصف الناقل عاملاً حدياً في تقرير أداء النبيطة.

ت. شينادا وآخرون

16 **مفعول شتارك القوي في الحصر الكمومي في بنى الآبار للجرمانيوم**

السليكون هو نصف الناقل المهيمن في الإلكترونيات ولكن توجد الآن حاجة متنامية لمكاملة مثل هذه المكونات مع الإلكترونيات الضوئية من أجل الاتصالات عن بعد والتوصيلات البينية في الحاسوب.

يو. شيوان كيو وآخرون

21 **الرؤية بواسطة الإلكترونات**

تجعل مصححات العدسات المتاحة تجارياً مدى المجاهر الإلكترونية يصل إلى مقاييس ذرّية غير مسبوقة.

ب. ليليست

28 **فطيرة في اليوم**

هل حالة زيادة الوزن ضارة لصحتك كما يقال؟

ج. كينفزلاند

الأخبار العلمية

33 **هجرة الطيور تهدد بإرسال إنفلونزا الطيور نحو الجنوب**

يخشى الباحثون أن تكون المحطة القادمة لفيروس إنفلونزا الطيور هي أفريقيا التي تعتمد على الدواجن، مما يعني أن العواقب يمكن أن تكون أسوأ منها في جنوب شرق أسيا.

36 **هل تستطيع الفيزياء تعجيل تقدُّم البيولوجيا**

تستطيع التقنيات التي يطوِّرها الفيزيائيون أن تيسِّر الأمور في مختبرات البيولوجيا، ولكن علماء الحياة مايزالون بحاجة إلى الاقتناع.

38 **انصهار مَعيب**

41 **الذهب يفقد بريقه**

43 ليزرات الإلكترونات الحرة تسطع
يجري سباق عالمي لبناء ليزر يستطيع إنتاج أشعة سينية مترابطة عالية الاستطاعة.

45 إشراقة جديدة للسليكون

47 إنفلونزا الطيور: يجب البدء بالتلقيح أو مواجهة العواقب
يحتاج العالم لخطة عمل دولية، وسريعة، إذا كنا نأمل في إيقاف وباء الإنفلونزا.

50 وصفة كمومية للحياة

52 مستوى البحر والبراكين

54 اليورانيوم المستنفد

ورقات البحوث

57 دراسة محطة تحلية غشائية RO لتعويض نقص المياه في المنطقة الريفية لدمشق

64 دراسة وتحديد النطاق المشبع لوسط كارستي باستخدام طريقة الرنين المغنطيسي والمسح الجيوكهربائي الثنائي البعد.

تقارير

75 خواص الإشارة والضجيج عند خرج المضخم الأولي تبعاً لطريقة ربطه مع الكاشف

75 تحضير أغشية بوليميرية من البولي فينيل الكحول المطعم باستخدام أشعة غاما

76 استخلاص اليورانيوم من محاليل حمض الآزوت بوساطة فسفات ثلاثي البوتيل/كيروسين

76 دراسة محددات نبضة الانفراغ في مصباح الضخ الوميضي لليزر Nd: YAG

77 تعرية الفاناديوم من المذيب العضوي DEHPA المشحون

77 الأسس الفيزيائية-الكيميائية لمعيقات تآكل المعادن والسبائك المعدنية وآلية عمل هذه المعيقات

78 تأثير معدلات مختلفة من السماد البوتاسي ومياه الري في كفاءتي استخدام الآزوت والبوتاسيوم وإنتاج البندورة، باستخدام تقنية التخفيف النظيري بالآزوت 15

78 تحليل الصيغة الصبغية اعتباراً من عينات الدم المحيطي البشري لأمراض الأطفال والغدد والنسائية والعقم

79 تعيين معامل تصحيح التوهين الذاتي في الاختبارات اللاإتلافية السلبية لنترات اليورانيل انطلاقاً من نسب شدات خطوط غاما وX المميزة لليورانيوم

79 تصميم وتنفيذ واختبار خلية رادون عيارية

كتب حديثة

81 فهم نسبية أينشتاين
تأليف: ن. د. ميرمن
عرض وتحليل: د. رين

82 تشابه قُرْبى
تأليف: ف. دو فال
عرض وتحليل: ر. سابولسكي

93 ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

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

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

E-mail: tapo@aec.org.sy

رسوم الاشتراك السنوي

يمكن للمشتركين تسليم رسم الاشتراك في مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة (دمشق ،شارع 17نيسان) أو بحوالة على العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13، مزة جبل - دمشق

ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012

ـ الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س ، للأفراد (300) ل.س ، للمؤسسات (1000) ل.س .

ـ الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً .

سعر العدد الواحد

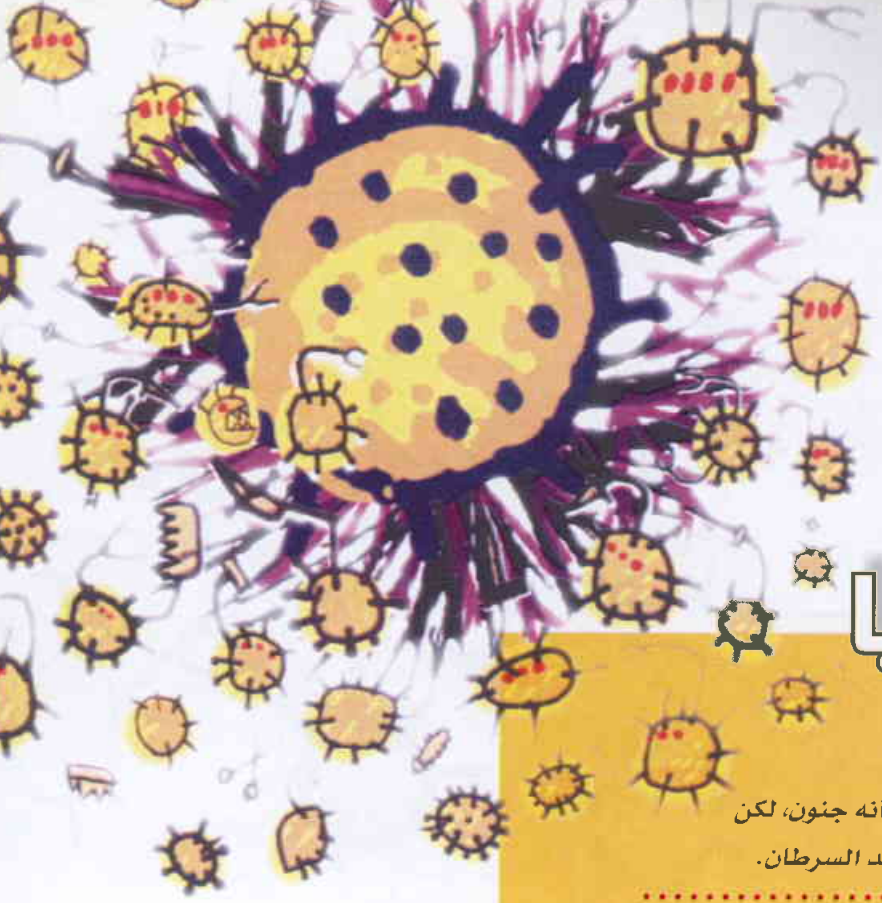
سوريا : 50 ل.س مصر : 3 جنيهات لبنان : 3000ل.ل الجزائر : 100 دينار

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

ISSN 1607-985X

الإعلانات

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



عدو عدوي

ملخص

قد يُنظر إلى حقن الناس بفيروسات حية على أنه جنون، لكن الفيروسات تمثل السلاح الأحدث في الحرب ضد السرطان.

الكلمات المفتاحية:

فيروسات حية، حرب ضد السرطان، فيروس الحلأ البسيط، سرطان الدبق العصبي.

لقد تأرّق نوم موير براون M. Brown أربع ليال. إذ قام فريقها للتو بحقن فيروس الحلأ البسيط حياً في دماغ رجل يبلغ من العمر 21 عاماً وبشكل مباشر. إن هذا الفيروس يمكن أن يسبب تورماً دماغياً مميتاً، ولكنها محاولة تستحق خوضها، لأن هذا الرجل يعاني من شكل عدواني لسرطان الدماغ وأعطي مهلة أربعة شهور للبقاء حياً. كان ذلك في العام 1997. ومن الملفت للنظر أنه لا يزال حيّاً حتى الآن، وقد زال ورمه.

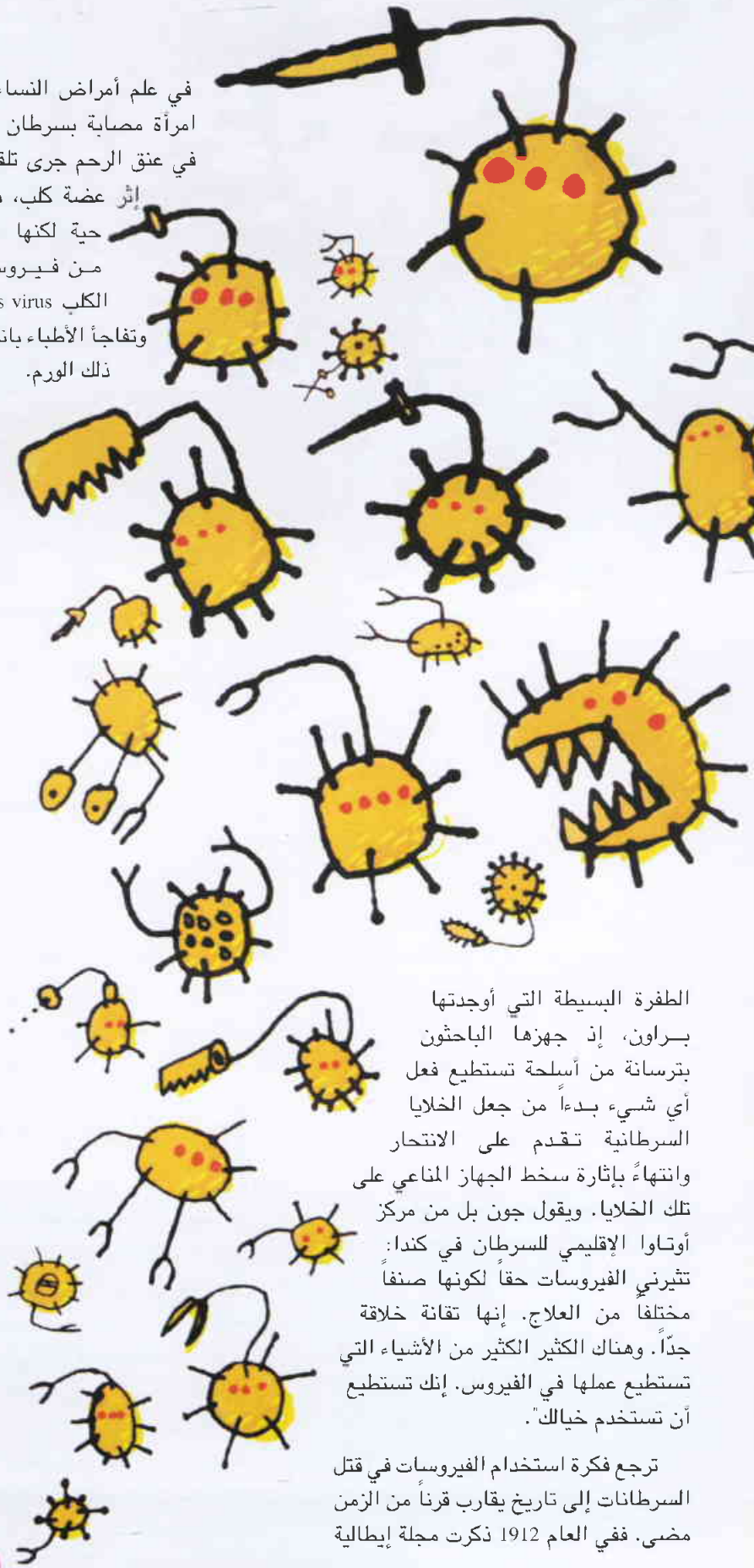
لم تكن هذه المعالجة بقدر ما تبدو عليه من الجنون. وللإيضاح، فقد عمد فريق براون البحثي إلى تطفير mutation فيروس الحلأ بحيث يستطيع التضاعف المتكرر داخل الخلايا الورمية فقط دون المساس بالخلايا العادية. وثمة نتائج مخبرية واعدة ساعدت في إقناع السلطات الطبية لدى المملكة المتحدة في الإذن لبراون بمواصلة محاولتها الخطرة. وتقول براون: "كنا نعرف سلامة هذه المعالجة عند الحيوانات، ولكنك لا تستطيع التأكد من سلامتها عند البشر أيضاً. ولهذا تملّكنا التوتر العصبي حينما عالجنا المريض الأول بهذه الطريقة".

وثمة مريض آخر شارك في التجربة وما يزال حيّاً بعد مضي ثماني سنوات. ولكن بعض المرضى العشرة الآخرين الذين نجوا من الموت بقوا أحياءً أشهراً قليلة فوق ما كان يتوقع لهم أن يعيشوا. وباعتبار أن معدّل زمن البقاء على قيد الحياة بعد الإصابة بسرطان الدبق العصبي في الدماغ (أو ما يسمى الدبقوم glioma) يقدر تشخيصيّاً بسنة واحدة فقط، وهو رقم لم يتغيّر طيلة ثلاثين عاماً، فإن هذه النتائج تعتبر مشجعة إلى حد يكفي لتبرير المزيد من المحاولات الصغيرة.

واليوم، توشك شركة أسستها براون (وتدعى مختبرات الصليب Crusade Laboratories) أن تبدأ تجارب المرحلة الأخيرة، وهي تتضمن مرضى بالدبقوم المرتد. ونشير هنا إلى أن سلالة الحلأ الطافرة قد تكون أول فيروس يحظى بالموافقة على استخدامه لمعالجة السرطان.

أجل قد يكون هذا الفيروس هو الأول بين العديد منها. إذ يعتقد الكثير من باحثي السرطان الآخرين حول العالم أنهم أيضاً على وشك تحويل الفيروسات إلى معالجات فعّالة للسرطان. ويقول ستيفن راسيل من مايوكلينيك في روشستر/بمنيسوتا: "عندما أنظر إلى الفيروسات أرى مجموعة كاملة من الأدوية الجديدة في دستور الصيدلة".

وإذا ما وصلنا إلى الجيل الثاني من الفيروسات القاتلة للسرطان نجدها تفوق



في علم أمراض النساء حالة امرأة مصابة بسرطان متقدم في عنق الرحم جرى تلقيحها، إثر عضة كلب، بسلالة حية لكنها مخفّفة من فيروس داء الكلب rabies virus. وتفاجأ الأطباء بانكماش ذلك الورم.

وبعد أن تتالى المزيد من تقارير تراجع أورام مرضى السرطان عقب إصابتهم بأخماج (إنتانات) فيروسية أو إعطائهم لقاحات فيروسية، بدأ الأطباء يأخذون الفكرة على محمل الجد. إذ جرت بدءاً من أواخر أربعينيات القرن الماضي بضع تجارب تمّ فيها حقن مرضى بالسرطان بفيروسات حية، وأبدى القليل منهم تحسُّناً مثيراً، لكن النتائج كانت مختلطة إجمالاً. وهنا علّق الأطباء آمالهم على المداواة الكيميائية والمعالجة الشعاعية. وبحلول أواخر السبعينيات هجر الأطباء المقاربة الفيروسية لمرض السرطان إلى حد كبير.

السلاح الحيوي الكامل

وفي الوقت الذي كانت فيه الأوراق العلمية للمعالجة الفيروسية متروكة على رفوف المكتبات عرضة للغبار، كانت ثمة ثورة تشق طريقها في البيولوجيا. إذ أدرك الباحثون، عبر ما تسلحوا به من فهم بازغ للكيفية التي تخمج بها الفيروسات الخلايا وما استحوذوا عليه من تقنيات للتعامل مع الجينات، أنه لم يعد ينبغي عليهم أن يثقوا بالنزعة الطبيعية لبعض الفيروسات في الاطمئنان للخلايا السرطانية.

وفي العام 1991، أوجد روبرت مارتوزا في كلية طب هارفرد أول فيروس جرى تصميمه لاستهداف الخلايا السرطانية. إذ حذف فريقه الجينة المسؤولة عن أنزيم يدعى تيميدين كيناز من فيروس الحلأ، الذي بدونه لا يستطيع الفيروس أن يتضاعف. لكن الخلايا البشرية تنتج هذا الأنزيم أثناء انقسامها، وبذلك يزدهر الفيروس بسرعة في الخلايا السرطانية الآخذة بالانقسام. ومنذئذ أوجد الباحثون فيروسات عديدة تستهدف الأورام، إما بالتعامل مع التضاعف مثلما فعل مارتوزا أو بتغيير بروتينات الفيروس السطحية بحيث لا يستطيع الفيروس الطفرة البسيطة التي أوجدتها براون، إذ جهزها الباحثون بترسانة من أسلحة تستطيع فعل أي شيء بدءاً من جعل الخلايا السرطانية تقدم على الانتحار وانتهاءً بإثارة سخط الجهاز المناعي على تلك الخلايا. ويقول جون بل من مركز أوتاوا الإقليمي للسرطان في كندا: تثيرني الفيروسات حقاً لكونها صنفاً مختلفاً من العلاج. إنها تقانة خلاقة جدّاً. وهناك الكثير الكثير من الأشياء التي تستطيع عملها في الفيروس. إنك تستطيع أن تستخدم خيالك".

ترجع فكرة استخدام الفيروسات في قتل السرطانات إلى تاريخ يقارب قرناً من الزمن مضى. ففي العام 1912 ذكرت مجلة إيطالية

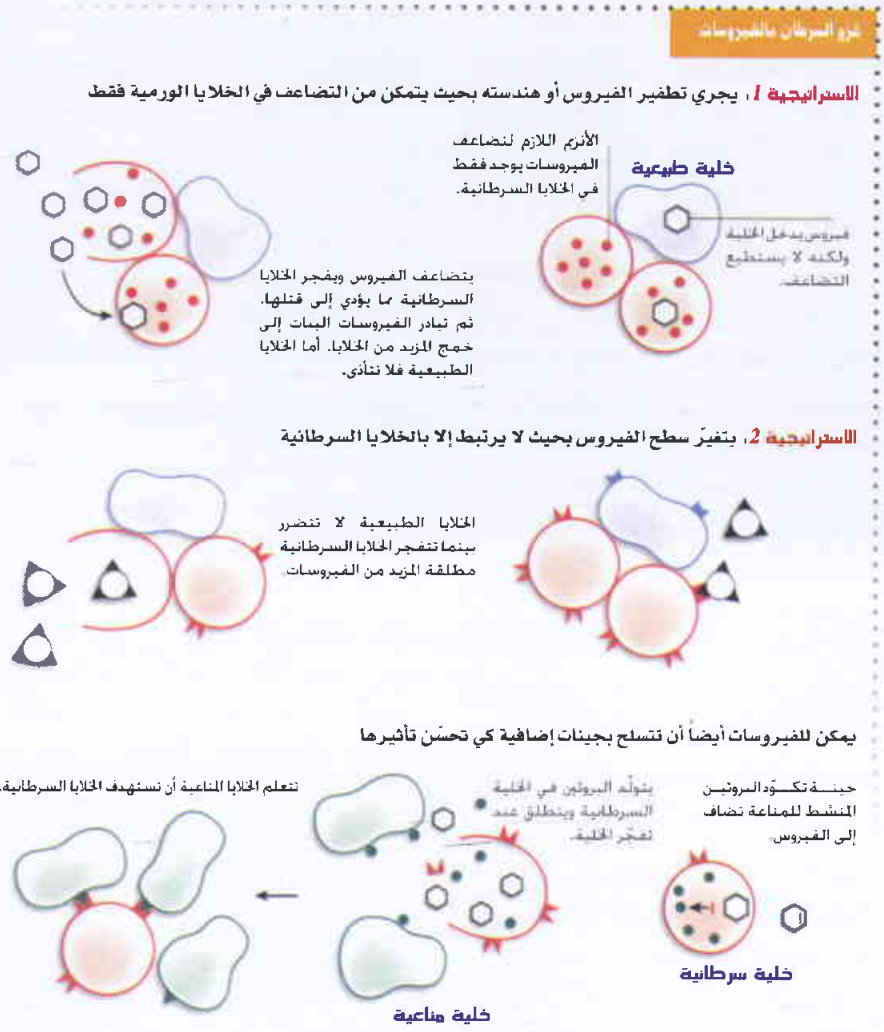
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmisp.aecs.sy

الدخول إلاّ إلى داخل الخلايا السرطانية دون غيرها (انظر المخطط التوضيحي أعلاه).

يبدو أن الفيروسات سلاح بيولوجي كامل ضد السرطان. وتتمتع هذه الفكرة بطلاوة مغرية: إذ إن هدف أي علاج للسرطان هو قتل الخلايا السرطانية، ويُعد قتل الخلايا بشكل عام شأناً تمتاز به الفيروسات. فحينما تصيب هذه الأخيرة خليةً مضيفةً ما a host cell، فإنها تتضاعف وتشكل آلاف الجسيمات الفيروسية الجديدة، مما يؤدي بعدئذ إلى انفجار الخلية المضيفة وقتلها وانطلاق الفيروسات البنات مستهدفة إصابة خلايا أخرى. وتعرف عملية الانفجار هذه باسم التحلّل lysis (أو التحلّل الورمي oncolysis إذا ما حدثت لخلية سرطانية).

تستطيب فيروسات التحلّل الورمي بعضاً من التغيرات الكثيرة التي تجعل الخلايا الورمية تخرج عن السيطرة إلى حد خطير. فحينما تصاب الخلايا السليمة بفيروس ما فإنها تحاول الانتحار (وهي عملية يطلق عليها اسم الاستماتة apoptosis)، قبل أن يستطيع الفيروس التضاعف. بيد أن الخلايا السرطانية تتصف بمقاومة الاستماتة، الأمر الذي يجعلها مضيفات مثالية. ويقول ديفيد كيرن، وهو باحث في مجال السرطان ومؤسس شركة Jennerex Biotherapeutics في سان فرنسيسكو: "تفضل الفيروسات الخلايا التي تعاند الاستماتة، وبذلك تُستخدم مقاومة الاستماتة تلك ضد الخلية السرطانية ذاتها. إنها آلية عمل فريدة".

هذا هو السبب الذي يكمن وراء جعل الفيروسات "العاتية" wild تسبِّب تراجع السرطانات. ويكفي أن نهندس engineer فيروساً لا يهاجم إلا الخلايا السرطانية حتى نمتلك سلاحاً دقيقاً ضدها. وفي الوقت الذي لا تخرب فيه أدوية المعالجة الكيميائية سوى ما يقرب من ست خلايا سرطانية مقابل كل خلية سليمة تقتلها، فإن الفيروسات الحالّة الورمية oncolytic تستطيع أن تقضي على آلاف الخلايا السرطانية مقابل كل خلية سليمة واحدة.



ومنذ اختراق مارتوزا، أصبحت المعالجة الفيروسية الحالّة للورم موضوعاً ساخناً من جديد. وتبدو النتائج الواردة من المختبرات جيدة، حيث تبيَّن أن العديد من الفيروسات المحوَّرة modified تقتل الخلايا السرطانية بشكل انتقائي في المستنبتات الخلوية وفي الحيوانات. وثمة ما لا يقل عن 14 صنفاً من هذه الفيروسات دخل التجريب على البشر في المراحل السرطانية المبكرة.

ولكن يتبيَّن أن معالجة الناس بهذه المقاربة تبدو أكثر تعقيداً، إذ إن قلّة من الفيروسات أبدت تأثيراً متماسكاً. ولئن كان هناك لمحات جدوى مثيرة لدى بعض الأفراد، لكن معظم الفيروسات أخفقت في الإقناع بجدواها. ونشير إلى أن أحد أصناف الفيروسات، ويدعى ONYX-015، بعث الآمال حينما أظهر نتائج واعدة ضد سرطانات الرأس والرقبة، لكنه أخفق في التأثير على الأورام البنكرياسية والمبيضية والرئوية والكبدية. ولذلك قررت الشركة المنتجة لهذا الصنف أن تركز اهتمامها على منتجات أخرى غيره وأوكلت الترخيص به إلى شركة صينية تدعى (Shanghai Sunway Biotech). ويجدر بالذكر أنه ما من فيروس محلِّل للورم حظي بالمصادقة عليه حتى الآن.

إن الخبر الجيد التي اكتشفت فيه براون ما يدعو لراحتها يتمثل في أن هذه التقنية تبدو آمنة. ففي العام 1999 توفيت جيسي جلسنغر البالغة من العمر 18 سنة جراء ارتكاس مناعي شديد تجاه فيروس لامتضاعف non-replicating يستخدم في

المعالجة الجينية. وليس من غير المحتمل أن تكون الفيروسات الناشطة أكثر خطورة من الفيروسات اللامتضاعفة. ويقول بل Bell في هذا الصدد: "الفيروسات كائنات بيولوجية متضاعفة، ويمكن أن يتخيل المرء أن يكون شيء ما غير متوقع عنصراً من عناصر الأمان".

"الهدف هو قتل الخلايا السرطانية، وهذا أمر تمتاز به العديد من الفيروسات."

ولغاية الآن، لا تتعدى التأثيرات المعادية في أيٍّ من هذه التجارب الأعراض الشبيهة بالإنفلونزا. وفي الحقيقة، فإن بعض الفيروسات قد يكون آمناً جداً. وفي سعيهم لتفادي الأخماج (الإنتانات) الخطيرة قد يكون الباحثون قد أضعفوا مقدرات التضاعف لدى الفيروسات إلى حد كبير فمنعوا بذلك الفيروسات من الوصول إلى التركيز الفعّال في ورم ما. ويقول بل Bell: "إننا نوغل في جانب الأمان إلى حد جعل الفيروسات التي استخدمناها غير فعّالة بالقدر الذي يجب أن تكون عليه".

بيد أن أسباب إخفاق معظم التجارب هي أكثر عمقاً. وحسبما يقول راسيل، فقد "وصلنا إلى حد القول بأنها (أي الفيروسات) غدت آمنة ولكنها غير عاملة. فنحن نعرف أن إبادة الورم يمكن أن تحصل، ولكن المسألة تكمن في أن نجعلها تحصل. فالقوم اليوم يحدِّقون النظر في القضايا الكبيرة بشكل صارخ".

ولعل أكبر هذه القضايا يتناول الالتفاف على الجهاز المناعي. فمثلما تطوّرت الفيروسات لأن تدخل الخلايا وتتضاعف فيها، تطورت أجهزتنا المناعية لإيقاف تلك الفيروسات، وقد نجحت في ذلك بشكل جيد جداً، إذ تحقّق الباحثون في تجاربهم المبكرة من أن: "أكثر الجوانب مدعاةً لخيبة الأمل في أنه حتى حينما يكون الفيروس حالاً للورم ويفتح لنفسه ثقباً في الورم، فإن الاستجابة المناعية للفرد تجاه الفيروس تحدث بسرعة إلى درجةٍ سرعان ما تنمحي معها التأثيرات ويواصل معها الورم في الكبر"، حسبما قال ألبرت سابين الذي أوجد اللقاح الفموي الحي لمرض شلل الأطفال منذ العام 1957.

تسلُّك الفيروسات خلسةً

يحمل معظمنا تشكيلة من الأضداد antibodies للفيروسات الشائعة اكتسبناها إما بالتعرض الطبيعي لهذه الفيروسات أو بالتلقيح vaccination. فحالما يدخل أحد هذه الفيروسات إلى مجرى الدم ترتبط الأضداد به وتحيِّده، في حين يبدأ الجهاز المناعي بإنتاج المزيد من الأضداد. وحتى إذا لم يسبق لك أن تعرّضت لفيروس ما من قبل، فإنك سوف تشكل أضداداً له في غضون أيام. ويقول كيرن: "وما أن تزداد هذه الأضداد لتبلغ قدراً معيَّناً في تعدادها فإنها تشرع في تخفيض كمية الفيروس التي يمكنك جلبها إلى الورم".

ولهذا يدبِّر الباحثون الآن طرقاً لجعل الفيروسات تخترق رقابة الأضداد. وهناك من الفيروسات ما يُعدُّ ماهراً في ذلك، مثل الفاكسينيا vaccinia التي تستعمل كلقاح ضد الجدري. فهي تستطيع أن تكسو نفسها ببروتينات وتتحرك داخل مجرى الدم متخفِّية في حالة تدعى "شكلاً غلافيّاً خارج خلوي" extracellular envelope form. وقد يكون بالإمكان استغلال هذا الأمر في المعالجة الفيروسية virotherapy.

وهناك مقاربة أخرى تتمثل في خلق فيروسات متسللة stealth viruses. فقد عمدت مجموعة لين سيمور البحثية في جامعة أكسفورد إلى تلبيس (تغطية) فيروسات غُدّانية adenoviruses بكساء بوليميري polymer خامل يجعلها خفيّة على الجهاز المناعي. ويغطي هذا الكساء أيضاً البروتينات الفيروسية التي ترتبط عادة بالمستقبلات الموجودة على السطوح الخارجية للخلايا ويسمح للفيروس بالدخول. وبهذا تكون الفيروسات الملبَّسة غير قادرة على خمج خلاياها المستهدفة العادية. ولكن إذا أضيفت إلى الكساء البوليميري بروتينات رابطة للسرطان يصبح بالإمكان الحصول على فيروس يخمج الورم الذي نختاره.

لقد نجح سيمور ومجموعته في خمج تشكيلة منوعة من الأنماط الخلوية بهذه الطريقة. وهم يهدفون الآن إلى إشراك فيروسات غُدّانية متسللة في التجارب السريرية خلال ثلاث سنوات ابتداءً من وسائط إيصال delivery agents لصالح المعالجة الجينية. وتتضمّن هذه التقنية إمكانات لصالح استخدامها في معالجة الأورام أيضاً، بالرغم من كون الفيروسات البنات daughter ستفقد الكساء البوليميري وستكون مكشوفة للجهاز المناعي.

وحتى لو تدبّر الفيروس الحالّ للورم أمر تفاديه هجوم الأضداد عليه ودخوله الخلية الورمية فإنه يبقى تحت التهديد. إذ إن الخلية التي يخمجها الفيروس سرعان ما تكشف بروتينات فيروسية على سطحها، مما يجعله علامة تعرِّضه للتدمير من قبل الجهاز المناعي. بيد أن العديد من الباحثين يرون في ذلك مزيَّة. فبالإضافة إلى قتل الخلايا الورمية المخموجة بالفيروس، يعتقد هؤلاء الباحثون أن هذه الاستجابة قد تشجع الجهاز المناعي على استهداف الخلايا الورمية مباشرة عن طريق تعريض هذه الخلايا للبروتينات الورمية السطحية جنباً إلى جنب مع البروتينات الفيروسية. هذا وإن مجرد وجود الفيروس يسبِّب كذلك تهييجاً للجهاز المناعي، الأمر الذي يشجع هذا الأخير على مهاجمة الخلايا السرطانية. ويقول بل: "إنك حقاً لا تريد كبت الجهاز المناعي إذا استطعت أن تتفاداه، لأن ثمة الكثير من رجحان امتلاك استجابة مناعية قوية ضد الورم".

لا يوافق الجميع على ذلك. إذ يعتقد راسيل أن الخلايا الورمية المخموجة غالباً ما يتم قتلها حين يجد الفيروس وقتاً للتضاعف. وقد يعلِّل ذلك صعوبة جعل الفيروسات تنتشر بشكل فعّال داخل الأورام. فهو يقول:

"إن السؤال يتعلق بمدى إمكانية انتشار الفيروس خلال الزمن المتاح له، وبمقدار المتبقي من الورم كي يتاح للجهاز المناعي الانقضاض عليه. فالجهاز المناعي لن يكون فعالاً إلاّ إذا وجد حد أدنى من بقايا المرض. كما لا يوجد دليل وافر على أنه يستطيع التخلص من ورم مستقر كبير الحجم". ونشير هنا إلى أن فريق راسيل يخطط لاستخدام أدوية كابتة مناعية تسكت الجهاز المناعي مؤقتاً.

اصطياد الأورام

وختاماً، فإنه من غير المحتمل أن تكون هناك استراتيجية فعّالة شمولية واحدة لمراوغة الجهاز المناعي. وتقول براون في هذا الصدد: "هذا موضوع معقّد ويختلف من فيروس إلى آخر". وليس هو بالتحدي الوحيد. فالمعالجة الفيروسية الحالّة للورم عملت على أحسن وجه لدى حقن الفيروس مباشرة في الورم، ولكن وفيات الناس بالسرطان تنجم عن سرطانات تنتشر انتقالاً من موقعها الأصلي. إن ما يحتاجه مرضى السرطان حقاً يتمثّل في معالجة تقوى على قتل الأورام أينما وجدت داخل الجسم.

لقد أُجري الكثير من البحوث المبكرة على الفيروسات الغُدّانية التي تستهدف الأغشية المخاطية للأنف والبلعوم مسبّبة أعراض الزكام المعروفة للجميع، أو الفيروسات التي تحمل اسم الحلأ البسيط herpes simplex التي تستهدف الجلد والخلايا العصبية مسبّبةً ما يعرف باسم داء المنطقة (حزام النار). ويحاول بعض الباحثين اليوم أن يكيّفوا هذه الفيروسات بحيث تتمكن من الانتشار في أرجاء الجسم عبر المجرى الدموي. ويجدر بالذكر أن فريقاً بحثيّاً في مركز ميموريال سلوان كيترنك للسرطان في نيويورك عالج في مطلع هذا العام 12 مريضاً مصاباً بسرطان جلدي كان قد انتشر منتقلاً إلى الكبد، وذلك بحقن سلالة من فيروس الحلأ داخل الشريان الكبدي. فكانت النتيجة مشجعة، وتعتبر المرة الأولى التي تم فيها حقن فيروس حال للورم داخل المجرى الدموي وأعطت استجابة مضادة للورم.

يقول كيرن: "ولكن أفضل طريقة لتأمين الإيصال الجهازي systemic delivery للفيروسات إنما تتمثل في استخدام فيروسات تطوّرت لتنتشر عبر المجرى الدموي بدلاً من إعادة هندسة re-engineering فيروسات للقيام بشيء لا تفعله بصورة طبيعية". وتذكر بضع مجموعات بحثية حول العالم، بما في ذلك شركة Jennerex التابعة لكيرن، أنها حققت إيصالاً تاماً للفاكسينيا في الحيوانات. وينبغي أن تبدأ التجارب على البشر قبل نهاية هذه السنة.

وفي الوقت الحاضر، ثمّة آمال كبيرة لدى مجموعة راسيل البحثية بسلالة مضعَّفة لفيروس الحصبة تستعمل روتينياً في اللقاحات، إذ هندس هذا الفريق ذلك الفيروس بحيث يستطاع استبدال البروتينات التي يستخدمها الفيروس في ارتباطه بالخلايا ودخولها بأضداد تحل محلها مستهدفة أنماطاً سرطانية مختلفة.

"يتمثل المرمى الكبير في تسليح الفيروسات بأسلحة متعددة."

وبالنسبة للباحثين في المعالجة الفيروسية، تعتبر مراوغة الجهاز المناعي واصطياد السرطانات في أرجاء الجسم مجرد البداية، إذ إن لديهم رؤية أرفع. ويقول كيرن في هذا الصدد: "للمرة الأولى في تاريخ معالجة السرطان نمتلك الآن فرصة قتله عبر آليات متعددة في مستحضر واحد". فعن طريق تسليح فيروسات مختلفة بحمولات مختلفة مثل دواء ما، أو نظير مشع ما، أو جسم ضديّ ما، أو جينة ما تكوّد بروتيناً ما محارباً للسرطان، يستطيع الباحثون من الناحية النظرية إنتاج عدد لا حصر له من عوامل جديدة للمعالجة.

يتمثل جزء من الهدف في قتل الخلايا الورمية التي لا تنقسم بشكل نشط. ونشير هنا إلى أن الفيروسات الحالّة للورم ليست جيدة جداً بتضاعفها في داخل الخلايا المستريحة وقتلها إياها، لكنها تستطيع خمجها وإطلاق حمولة صافية. وقد دخلت حيّز التجريب المبكر أولى الفيروسات "المسلحة" armed الحالّة للورم. ويحمل معظم هذه الفيروسات جينة مسؤولة عن (GM-CSF)، وهو بروتين موجّه لدفع الجهاز المناعي لمهاجمة الأورام.

وبالرغم مما جرى إحرازه من تقدُّم، ثمة شكوك بأن الفيروسات الحالّة للورم ستبيّن أنها رصاصة سحرية. ويقول هنك فاندير بول من المعهد الهولندي للسرطان في إمستردام: "من غير المحتمل أن يكون في مقدور الفيروسات الحالّة للورم والمتاحة حاليّاً أن تجتث الأورام تماماً لوحدها، إذ إن أكبر مقدرة لها تتمثل في أن تكون جزءاً من نظام للمعالجة متعدد الجوانب".

يتفق أصحاب الاختصاص في هذا الميدان بأن المعالجة الفيروسية ليست على وشك تثوير revolutionise معالجة السرطان حتى الآن، لكنهم متفائلون جداً بآفاق هذه المعالجة. ويقول كيرن: "هو مشوار ذاك الذي يعرِّج على بعض من القضايا ذاتها مثلما فعلت الأضداد الوحيدة النسيلة monoclonal antibodies. فمنذ عشر سنوات أو خمس عشرة سنة قال بعض القوم أن الأضداد الوحيدة النسيلة ماتت، لكن قلة من الأفراد تشبثوا بها وها هي الآن تشكّل جزءاً مهمّاً جداً من ترسانة أسلحتنا ضد السرطان.

- المؤلف: جو. ويلان، كاتب علوم يعمل لحساب عدة جهات ويقيم في فرنسا

- نشر هذا المقال في مجلة NewScientist, 19 November 2005، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تحسين أداء نبائط أنصاف النواقل
بأستخدام صفيفات من مطعّمات مرتّبة

تاكاهيرو شينادا، شينتارو أوكاموتو، تاكاهيرو كوباياشي، ايواو أوهدوماري

ملخص

مع استمرار انكماش حجم نبائط أنصاف النواقل، يصبح توزع الذرات المطعّمة dopant atoms ذو الطابع العشوائي عادة في داخل نصف الناقل عاملاً حدّياً في تقرير أداء النبيطة – إذ إن التجانس homogeneity لا يعود مفروغا منه [1-5]. إننا في هذا المقال نقدم تقريراً عن تصنيع نبائط من أنصاف النواقل يتمّ فيها التحكم في كل من عدد الذرات المطعمة وموضعها بكل دقة. ولتحقيق ذلك عمدنا إلى الاستفادة من تقنية مطوّرة حديثاً تتمثل في غرس الأيونات المفردة single-ion implantation technique [6-9] وتمكننا من غرس الأيونات المطعّمة واحدة تلو الأخرى في منطقة رقيقة من نصف ناقل إلى أن نصل إلى العدد المرغوب. وتكشف القياسات الكهربائية للترانزستورات الحاصلة عن أن التأرجحات من نبيطة إلى أخرى في فُلطية العتبة (V_{th})، بمعنى فلطية تشغيل النبيطة، تكون في البُنى ذات صفيفات المطعّمات المرتبة أقل منها في البنى التقليدية ذات التطعيم العشوائي التقليدي. كما اكتشفنا أيضاً أن النبائط ذات الصفيفات المطعمة تطعيماً مرتّباً تبدي انزياحاً في V_{th}، بالمقارنة مع أنصاف النواقل غير المطعمة، يعادل ضعف الانزياح الذي يحدث في توزيع المطعمات العشوائي (0.4v- مقابل 0.2v-)؛ ونحن نعزو هذا إلى انتظام الكمون الكهراكدي في منطقة القنيوة الناقلة بسبب توزع الذرات المطعمة المرتّب. وعليه فإن نتائجنا تعمل على تسليط الضوء على التحسينات في أداء النبائط التي يمكن تحقيقها من خلال التحكم الذري المقياس في عملية التطعيم. وبالإضافة إلى ذلك، فإن صفيفات المطعّمات المرتّبة من هذا النمط يمكن أن تحسّن توقعات تحقيق حواسيب كمومية من الحالة الصلبة مبنية على السليكون [10].

الكلمات المفتاحية:

غرس أيونات مفردة، تصنيع نبائط من أنصاف النواقل، صفيف مطعّمات مرتّبة، أداء النبيطة، ترانزستور مفعول الحقل.

إن تطعيم أنصاف النواقل بالذرات الشائبة يعد أمراً أساسياً لتحقيق الوظيفة التامّة لنبائط أنصاف النواقل عبر التحكم بالخصائص الكهربائية [11]. لقد افترض حتى الآن أن نصف الناقل مُطعَّم بصورة متجانسة في المنطقة الفعالة من القنيوة. ولكن في نبائط أنصاف النواقل ذات المقياس النانوي ستحتوي منطقة القنيوة على ذرات مطعِّمة قليلة، بحيث لا يُعقل افتراض التوزع المتجانس للمطعم. وفي هذه الحال، فإن التأرجح الإحصائي في عدد الذرات المطعِّمة بسبب توزع بواسون العشوائي إنما يسبِّب تأرجحاً خطيراً في وظيفة النبيطة.

كي نكبت تأرجح الناقلية الكهربائية الذي يُسبّبه التأرجح في عدد الذرات المطعَّمة، حاولنا سابقاً أن نكيِّف الناقلية الكهربائية لمقاومات تحت مكرومترية submicrometric

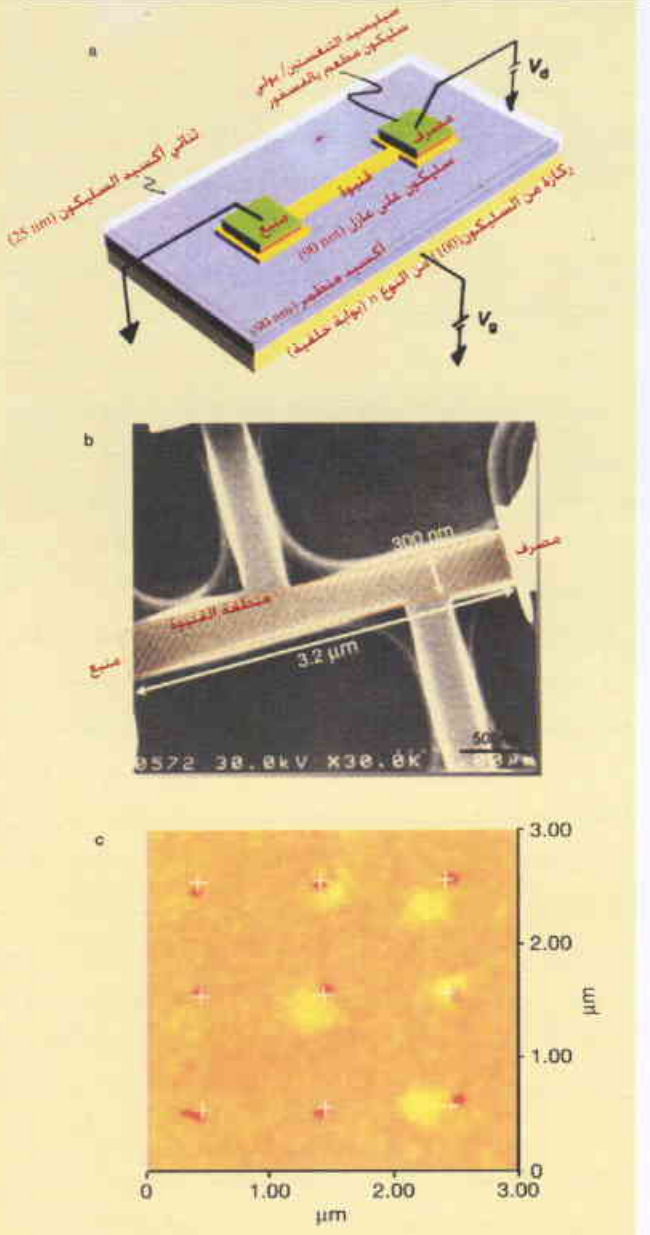
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

بحيث تقابل منطقة القنيوة في نبائط أنصاف النواقل، ويتم ذلك بغرس أيونات مطعِّمة الواحدة تلو الأخرى، الأمر الذي يشار إليه باسم غرس الأيونات المفردة (SII). ويتم في هذا الاغتراس اقتلاع أيونات مفردة عبر تقطيع حزمة أيونات مُبَأرة باستخدام فتحة صغيرة وحرف deflection حزمة عالية التواتر، أما التحكم بعدد الأيونات المغروسة واحدة تلو الأخرى فإنه يتم باكتشاف إلكترونات ثانوية تصدر عن هدف موجودة في الخارج لدى ورود أيون مفرد. ونشير إلى أنه يمكن الآن غرس أصناف كثيرة من الأيونات (مثل Be, B, Si, P, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Pd, In, Sb, Pt وAu) واحدة فواحدة بإحكام في التسديد يبلغ 60 nm [9] مع إمكانية تحقيق دقة أعلى وذلك بإعادة نمذجة بصريات الحزمة الأيونية المبأَّرة فيما يخصّ SII. ولقد اغترس في كل مقاومة العدد اللازم من الأيونات المفردة لتكييف قيمة الناقلية عند قيمة محددة على الجانب الأعلى من التوزع الأوّلي. وتم تخفيض تأرجح الناقلية الأولية (بمعنى نسبة الانحراف المعياري إلى القيمة الوسطى للناقلية مأخوذة من 22 مقاومة) والبالغ 63% حتى 13% فقط [8]. وبتحليل منشأ التأرجح بعد غرس الأيونات المفردة، تبين أن التأرجح المتبقي هو التأرجح في موضع الذرة المطعِّمة. وبذلك نكون قد اكتشفنا أن التحكم في عدد الذرات المطعمة ليس هو وحده الشيء الأساسي بل إن موضع هذه الذرات أساسي أيضاً.

نشير هنا إلى أن حاسوب الحالة الصلبة الكمومي solid-state quantum computer اقترحه كين [10]. وأن اقتراح كين الأصلي تطلب وضع ذرات فسفور مفردة في صفيف في طبقة سليكون تحت طبقة أكسيد عازلة. ولكن دمج الصفيف المطعِّم يمثل مشكلة رئيسة لم يتم التغلب عليها بعد. وفي هذا المقال نعرض تصنيعاً لنصف ناقل ذي صفيف مرتَّب من ذرات مطعمة.

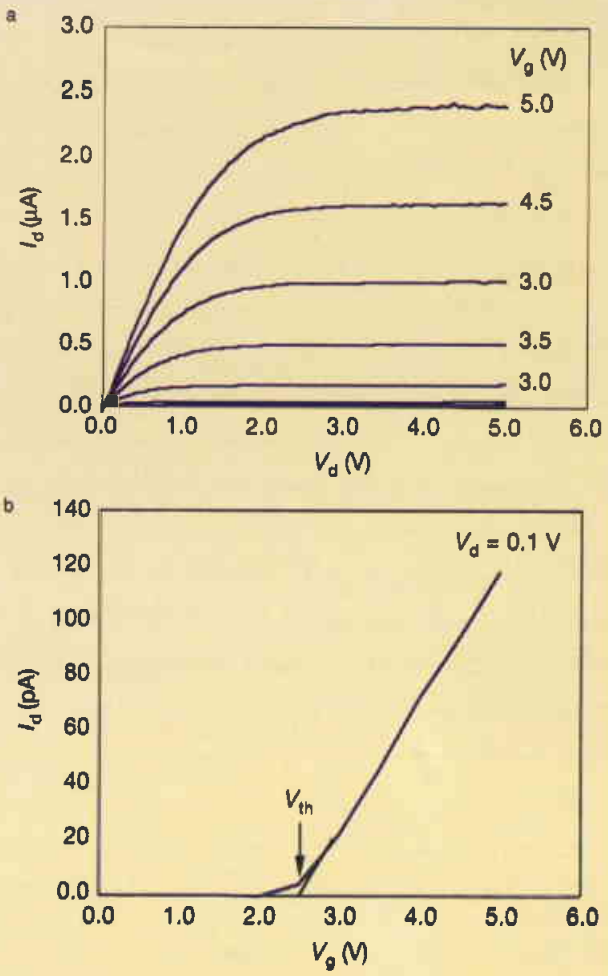
يرسم الشكل 1a نسخة مبسطة لمقاوم resistor. يبلغ حجم القنيوة 300 nm عرضاً و3.2 µm طولاً و90 nm سمكاً وذلك باستعمال ركازة سليكون (SOI) من النوع n المطعم بالفسفور (المقاومة 8-12 ohm cm) تمّ حبكها باستعمال الطباعة الحجرية الضوئية (الليتوغرافية الضوئية) العيارية. وتُغطَّى منطقة القناة بطبقة من ثنائي أكسيد السليكون ثخنها 25 nm وذلك من أجل تهدئة الحالات السطحية، التي تعمل كمراكز توليد وتأشيب حاملة للشحنات. فالنبائط تمتلك بنياناً نبائطياً ذا بوابة خلفية back-gated device configuration بسيطة على ركازة من السليكون، حيث استعمل الأكسيد التحتي المطمور كبوّابة خلفية. ويتم التحكم بتيار المصرف drain current (I_d) من المنبع إلى المصرف بواسطة فلطية البوابة (V_g) بدءاً من الركازة عبر الأكسيد

الشكل 1 - نبيطة تجريبية ونتائج غرس الأيونات المفردة.



a. توضيح لبنية نبيطة من أجل التحكم بالإزاحة V_{th} من خلال التحكم بعدد ذرات المطعمات وموقعها بواسطة غرس أيونات مفردة (SII). إن فلم الأكسيد (الذي لا يظهر في الشكل) يغطي منطقة القنيوة بغية اتكفاء الحالات السطحية. يتم التحكم بالتيار الجاري من المنبع إلى المصرف بواسطة فلطية البوابة (V_g) من الخلف عبر الأكسيد المنطمر. (V_d هو فلطية المصرف).
b. صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لنبيطة نموذجية. حجم المشهد يساوي 300 nm عرضاً و3.2 µm طولاً و90 nm سُمكاً. يبلغ طول مؤشر المقياس الأسود الموجود في الأسفل يميناً 500 nm. c. صورة نمطية بمجهر القوة الذرية (AFM) لبؤر حفر etch-pits أحدثتها أيونات مفردة في مكشاف مسار الاشطار. تشير العلامات المتصالبة البيضاء إلى المواضع المستهدفة.

الشكل 2 - خصائص كهربائية نمطية.



a. المنحني المميز لتيار المصرف (I_d) بدلالة فلطية المصرف (V_d) عند فلطية متزايدة للبوابة (V_g) في خطى مقدار كل منها 0.5 V بدءاً من الصفر حتى 5 V. تشير المعطيات إلى السلوك المعياري لترانزستور مفعول الحقل الكهربائي (FET). b. تبعية I_d لفلطية البوابة V_g عند منبع مؤرض grounded وكمون مصرف صغير يبلغ 0.1 V يعطي الاستقراء الخطي فلطية عتبوية (V_{th}).

المطمور الذي يبلغ ثخنه 90 nm. أما الإلكترودات المربوطة مع القنيوة (الشكل 1b) لقياس مقاومية نصف الناقل عبر تقنية مسبر النقاط الأربع four point probe technique فلم تستخدم في هذا البحث. ويبين الشكل 1c صورة بمجهر القوة الذرية (AFM) لمواقع ورود أيونات مفردة في مكشاف آثار الانشطار، جرى تصنيعه بواسطة SII.

تبين المميزات الكهربائية النمطية (الشكل 2) أن I_d يزداد كلما ازدادت الفلطية بين المنبع والمصرف (V_d) عند انحياز موجب للبوابة الخلفية، ويصل إلى حد الإشباع فيما بعد نقطة الاختناق pinch – off point. ويؤكد الشكل 2a بأن نبيطتنا مبنية على نظرية ترانزستور مفعول الحقل العياري (FET)، وبأن انحياز البوابة الخلفية وانحياز المصرف يتحكمان في سوية فرمي Fermi level للقنيوة. وتبدي هذه النبيطة سلوك ترانزستور ذي قنيوة (n) من النمط التراكمي. وقبل غرس الأيونات المفردة SII، جرى تقدير فلطية العتبة الأوّلية (V_{th}^i) عن طريق الاستقراء من الجزء الخطي من المنحني إلى المحور V_g في تبعية V_g للتيار I_d من أجل فلطية محددة للمصرف V_d تساوي 0.1 V (الشكل 2b). ولقد أجري القياس في درجة حرارة الغرفة باستخدام محلل بارامتر نصف ناقل (Keithley 4200-SCS) وفي الخلاء لتفادي التشويش الذي تسببه المواد المتزّة adsorbates.

جرى غرس أيونات فسفور مفردة ذات شحنة مضاعفة واحدة فواحدة عند فلطية 30 kV في منطقة القنيوة على بعد 100 nm من المركز إلى المركز عبر سطح الأكسيد ذي الثخن 25 nm باستخدام تقانة SII (كما هو مبين في الشكل 3a)، حيث أشير إلى قسم من منطقة القنيوة (0.3 μm × 3.2 μm). واتخذت الإجراءات ليكون عدد الأيونات المغروسة في القناة مساوياً 96. وتم حساب المجال المتوقع والانتشار العشوائي للمجال المتوقع فكانتا 86 nm و22 nm على الترتيب، باستخدام كود مونتي كارلو (SRIM2003 http://www.SRIM.org) ومن أجل المقارنة مع الصفيف المرتّب، جرى أيضاً تحضير عينات ذات تطعيم عشوائي عن طريق غرس أيونات P على مسافات تبلغ الواحدة منها 300 nm بشرط أن تكون الدقة المستهدفة مخفّضة عن قصد إلى 170 nm (الشكل 3b). اتخذت الإجراءات ليكون عدد الأيونات مساوياً بالضبط لعددها في التطعيم المرتّب. جرت بعد ذلك عملية إحماء بواسطة مصباح للعينات المغروسة عند درجة حرارة 900 C° لمدة 3 دقائق في N_2 لتنشيط الأيونات المغروسة كهربائياً. وجرى قياس V_{th} في ذات الشرط كما في قياس الفلطية الابتدائية V_{th} وقدر الفرق بين قيمتي V_{th} قبل وبعد عملية غرس الأيونات المفردة SII.

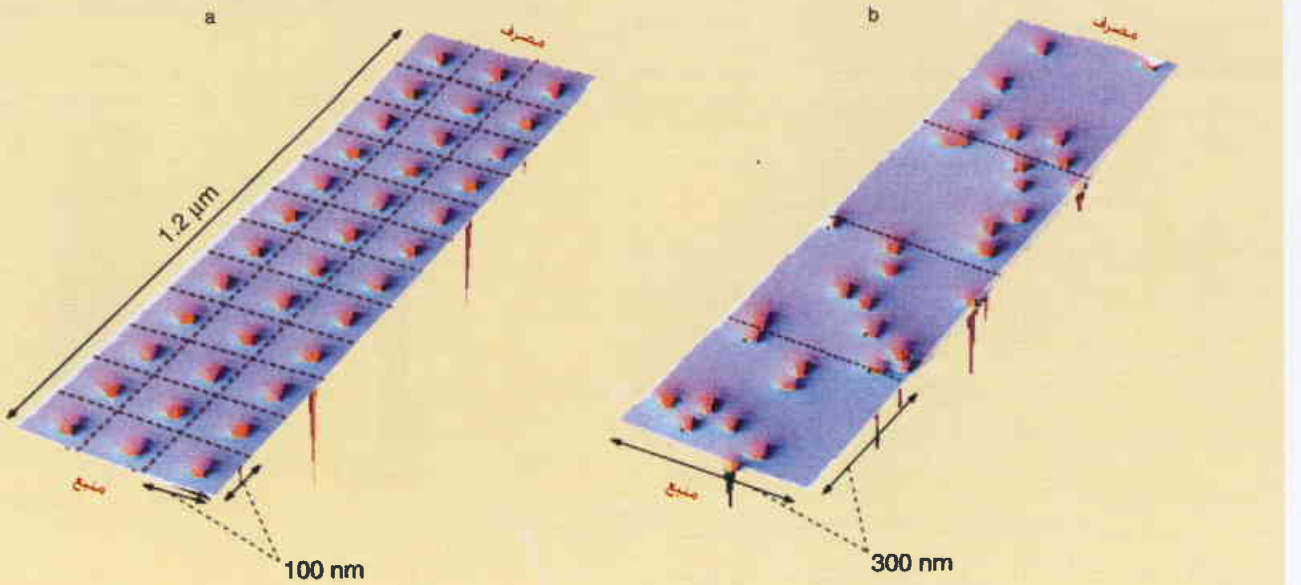
إن الانزياح V_{th} لنبائطنا يشتق الآن باستخدام معادلات ترانزستور مفعول الحقل FET العيارية. ويجري استنتاج تبعية I_d للفلطية V_d في نبيطة طول قناتها L وعرضها W وثخنها t_{SOI} في المنطقة الخطية منخفضة الانحياز من العلاقة:

$$I_d = (Wt_{SOI}/L)\mu_n C_T (V_g - V_{th})V_d \quad \text{حيث}$$

$$V_{th} = (1/C_T)(Q_{it} - qN_D - qN_D^i) = V_{th}^i - qN_D/C_T$$

حيث μ هي الحركية، q الشحنة العنصرية N_D^i التركيز الأولي للمطعمات، N_D تركيز الأيونات المغروسة، C_T السعة الكلية بواحدة المساحة، Q_{it} الشحنات المأسورة عند السطح البيني Si/SiO_2. تتناقص الفلطية V_{th} بصورة رتيبة مع تزايد عدد الأيونات المغروسة. نعرف الفرق بين الانزياحين V_{th} قبل وبعد زرع الأيونات المفردة، ونرمز له بالرمز (ΔV_{th}) بالعلاقة: $(\Delta V_{th}) = V_{th} - V_{th}^i = -qN_D/C_T$.

الشكل 3 - توزع الكمون المحسوب لمنطقة القنيوة.



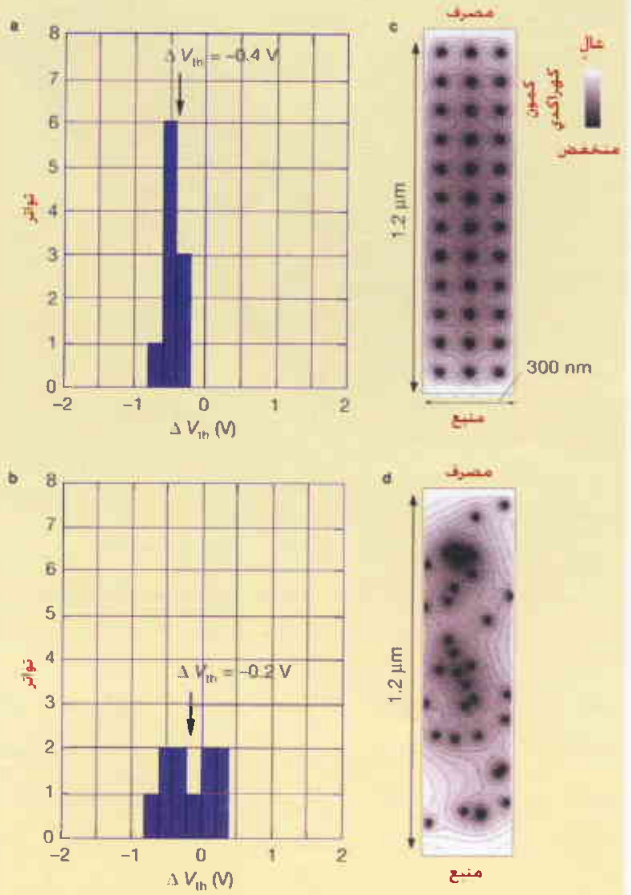
a، توزع كمون صفيف المطعّمات المرتّبة. قيست الطاقة باتجاه الأعلى. وقد جرى غرس أيونات الفسفور المفردة بعمق 100 nm بواسطة تقنية SII. b، جرى التوزع الكموني للتوزع العشوائي التقليدي لذرات المطعمات، عن طريق غرس الأيونات على مسافات تبلغ 300 nm تحت شرط دقة تصويب منخفضة تبلغ 170 nm من أجل المقارنة.

ونشير إلى أن ΔV_{th} يتناسب مباشرة مع عدد المطعمات التي أضيفت حديثاً، ومن ثم فهو وسيلة جيدة لإحصاء عدد المطعمات المضافة. بتقدير ΔV_{th} نكون قد حذفنا التأرجحات التي دخلت من غير قصد أثناء عمليات تصنيع النبيطة، كالتأرجح في التوزع الابتدائي للمطعمات، والتأرجح في حجم القنيوة وثخن الفلم من جراء عملية الطباعة الحجرية.

يبين الشكل 4 المخطط البياني الشريطي لتوزع الانزياح في الفلطية ΔV_{th} الذي حصلنا عليه من 10 ترانزستورات FETs ذوات تطعيم مرتب في القنيوة و10 ترانزستورات FETs ذوات تطعيم عشوائي في القنيوة. إن توزع ΔV_{th} لترانزستورات FETs ذوات صفيف المطعمات المرتبة (الشكل 4a) أضيق بكثير من توزع مثيله في ترانزستورات FET ذوات التطعيم العشوائي في القنيوة (الشكل 4b). إن قيم ΔV_{th} لترانزستورات FET ذوات الغرس العشوائي انحرفت بصورة ملحوظة عن القيمة الوسطى (الشكل 4b)؛ وتفسر التأرجحات في موضع ذرات المطعِّمات من نبيطة لأخرى هذا التشتت. وتبين الملاءمة الغوصية gaussion fitting في توزع المطعمات المرتبة انحرافاً عيارياً يساوي 0.1V فقط، وهذا أصغر بثلاث مرات من توزع المطعمات العشوائي. إننا نعزو الانخفاض في تأرجحات V_{th} إلى التحكم الدقيق في كل من عدد ذرات المطعمات وموضعها. وبالإضافة إلى ذلك، وجدنا فرقاً ملحوظاً في كون القيمة الوسطى للانزياح ΔV_{th} (-0.4 V) من أجل المطعمات المرتبة هو أخفض بمرتين من الانزياح في ترانزستورات FETs(-0.2V) ذوات التوزع العشوائي للمطعمات، رغم أن عدد المطعمات هو نفسه بالضبط لكلا الترانزستورين. ويشير ΔV_{th} الأكبر والسالب بخصوص التوزع المرتب إلى أن القنيوة مفتوحة عند فلطية البوابة المنخفضة.

حسبت قيمة ΔV_{th} النظرية باستخدام المعادلة، $(\Delta V_{th}) = -qN_D / C_T$ التي لم يؤخذ فيها مسبقاً توزع المطعِّمات المفردة بالحسبان. وجرى التعبير عن السعة الكلية لعينتنا كمجموع سعتين موصولتين على التسلسل هما سعة الأكسيد المطمور (C_{BOX}) وسعة ركازة نصف الناقل (C_S)، فتبين من الحساب أنها تساوي $C_T = C_S C_{BOX} / (C_S + C_{BOX}) = 6.7\times10^{-17}$ F. وحينما غرسنا 96 أيوناً حسبنا ΔV_{th} وجدنا أنها تساوي 0.2 V–، وهذه القيمة تتوافق مع متوسط ΔV_{th} التي حصلنا عليها في تطعيم القنيوة العشوائي. ونشير إلى أن الانزياح السالب الأكبر ΔV_{th} (البالغ 0.4 V-) في العينات المرتبة لا يمكن تفسيره وفق النموذج التقليدي، الذي تهمل فيه الطبيعة المتقطعة للذرة المطعِّمة. ولكي نفهم الانزياح السالب الأكبر في ΔV_{th} من وجهة نظر نموذج المطعمات المنفصلة، حسبنا توزع كمونات كولون Coulomb potentials التي تولدها ذرات المطعمات المتأينة في منطقة القنيوة. يبدي الشكل 4 خارطة الكفاف لكمونات كولون، حيث لا يطبق انحياز على بين المنبع والمصرف ولا على إلكترود البوابة. ويفترض بأن يكون الكمون كولونياً $q2/(4\pi\varepsilon_s r)$، بدون مفعول الحجب بالحاملات المتحركة وقد قيست طاقة الإلكترون للأعلى (ε_s و r هنا

الشكل 4 - مخطط نسيجي (هستوغرام) لانزياح فلطية العتبة ΔV_{th} V_{th} قبل غرس الأيونات المفردة وبعده مأخوذ من عشر مقاومات.



a، توزع المطعمات المرتّب. b، توزع المطعمات العشوائي التقليدي. يبين (منحني) الملاءمة الغوصية في توزع المطعمات المرتب انحرافاً عيارياً يساوي 0.1 V فقط، وهذا أصغر بثلاث مرات من توزع المطعمات العشوائي.c,d، خارطة كثافة الكمون الكولوني في القنيوة مع توزع مرتب (c) وتوزع عشوائي (d) للمطعمات.

يمثلان سماحية permittivity نصف الناقل الكهربائية وبُعْد مركز الذرَّة على التوالي).

تقابل المناطق الفاتحة في الشكلين 4c و d حاجز الكمون للإلكترونات المحقونة من المنبع. فحينما نطبق فلطية موجبة على بوابة عند فلطية معينة للمصرف، يتشكل ممر ناقل من المنبع إلى المصرف في منطقة القنيوة عند فلطية معينة للبوابة، وهذه تقابل فلطية العتبة للنبيطة. ويشكل صفيف المطعمات المرتبة توزعاً متجانساً للكمون في القنيوة، حسبما هو مبين في الشكل 4c، مما يؤدي إلى تشكل ممر منتظم للتيار.

إن ذرات المطعمات في الشكل 4d تتوزع بصورة عشوائية داخل منطقة القنيوة، ولذلك يوجد اختلاف ملموس في الكمون الكهراكدي عند أي نقطة في النبيطة. ونشير إلى أن التيار بوجود تأرجحات الكمون يَنْفُذُ عبر "الأودية valleys" الكائنة في المشهد الكموني. وسيعتمد موقع "أودية" الكمون وكبرها بشدة على ترتيب الأيونات المطعِّمة. هذا ويختلف ممر التيار عبر منطقة القنيوة من نبيطة إلى أخرى، مما يؤدي إلى انحراف في V_{th}. ونذكر أنه في التطعيم العشوائي للقنيوة، تكون بعض الأجزاء من القنيوة قد وصلت إلى الحالة الناقلة من قبل (المساحات الداكنة)، بينما لا تزال مناطق أخرى في حالة غير ناقلة (المساحات الأفتح). وهكذا، فإن المناطق غير الناقلة المتبقية يرجع سببها إلى الحصار الكموني اللامتجانس في تشكيل ممر التيار.

وكما هو مبين في الشكل 4c، نلاحظ أن كمون القنيوة المنتظم في العينة المرتبة يكون أقل بوضوح من الكمون في العينة العشوائية (الشكل 4d). ونستنتج من ذلك أن تجانس كمون القنيوة يخفض الفلطية اللازمة لفتح القنيوة من المنبع إلى المصرف، الأمر الذي يسمح بتشغيل مبكر في أجزاء من القنيوة ويسبّب فلطية العتبة المنخفضة. وهكذا يمكن الحصول على تحسينات ملحوظة في خواص النبيطة فيما يخصّ مستقبل إلكترونيات أنصاف النواقل إذا أمكن التحكم بدقة في توزع المطعمات. أما كيف يمكن تنفيذ خطة مشابهة في عملية الإنتاج بالجملة فيبقى سؤالاً مفتوحاً.

- المؤلفون:

تاكاهيرو شينادا: معهد الأبحاث الموحّد للعلوم المتقدمة والرعاية الصحية (ASMeW).

شينتارو أوكاموتو، وتاكاهيرو كوباياشي: مدرسة العلوم والهندسة، جامعة واسيدا، طوكيو، اليابان.

إيواو أوهدوماري: معهد الأبحاث الموحد للعلوم المتقدمة والرعاية الصحية، ومن معهد العلوم والهندسة في جامعة واسيدا.

- نشر هذا المقال في مجلة NATURE/Vol 437/ 20 October 2005،

وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

REFERENCES المراجع

[1] Keyes, R. W. The effect of randomness in the distribution of impurity atoms on FET thresholds. Appl. Phys. 8, 251-259 (1975).

[2] Mizuno, T., Okamura, J. & Toriumi, A. Experimental-study of threshold voltage fluctuation due to statistical variation of channel dopant number in MOSFET. IEEE Trans. Electron Devices 41, 2216-2221 (1994).

[3] Wong, H. S. & Taur, Y. Discrete dopant distribution effects in nanometer-scale MOSFETs. Microelectron. Reliab. 38,1447-1456 (1998).

[4] Sano, N. & Tomizawa, M. Random dopant model for three-dimensional drift-diffusion simulations in metal-oxide-semiconductor field-effect-transistors. Appl. Phys. Lett. 79, 2267-2269 (2001).

[5] Ebert, Ph., Jager, N. D., Urban, K. & Weber, E. R. Nanoscale fluctuations in the distribution of dopant atoms: Dopant-induced dots and roughness of electronic interfaces. J. Vac. Sci. Technol. B 22, 2018-2025 (2004).

[6] Ohdomari, I. in Proc. 1st Int. Symp. Control of Semiconductor Interfaces (eds Ohdomari, I., Oshima, M. & Hiraki, A.) 223-240 (North-Holland, Amsterdam, 1994).

[7] Matsukawa, T. et al. Development of single-ion implantation-Controllability of implanted ion number. Appl. Surf. Sci. 117/118, 677-683 (1997).

[8] Shinada, T., Ishikawa, A., Hinoshita, C., Koh, M. & Ohdomari, I. Reduction of fluctuation in semiconductor conductivity by one-by-one ion implantation of dopant atoms. Jpn J. Appl. Phys. 39, L265-L268 (2000).

[9] Shinada, T., Koyama, H., Hinoshita, C., Imamura, K. & Ohdomari, I. Improvement of focused ion-beam optics in single-ion implantation for higher aiming precision of one-by-one doping of impurity atoms into nano-scale semiconductor devices. Jpn. J. Appl. Phys. 41, L287-L290 (2002).

[10] Kane, B. E. A silicon-based nuclear spin quantum computer. Nature 393, 133-137 (1998).

[11] Sze, S. M. Physics of Semiconductor Devices: Physics and Technology 2nd edn (Wiley, New York, 2001).

مفعول شتارك القوي في الحصر الكمومي في بنى الآبار للجرمانيوم على السليكون

ملخص

السليكون هو نصف الناقل المهيمن في الإلكترونيات، ولكن توجد الآن حاجة متنامية لمكاملة مثل هذه المكونات مع الإلكترونيات الضوئية من أجل الاتصالات عن بعد والتوصيلات البينية في الحاسوب [1]. جرى حديثاً وبنجاح عرض معدّلات ضوئية optical modulators مبنية على السليكون [3,2]؛ ولكن نظراً لكون آليات تعديل الضوء في السليكون [4] ضعيفة نسبياً، فقد أصبح من الضروري وجود نبائط طويلة [2] (عدة مليمترات على سبيل المثال) أو مجاوبات معقدة ذات عامل جودة عال [3]. تبدي بنى الآبار الكمومية الرقيقة المصنوعة من أنصاف نواقل المجموعتين III-V كزرنيخيد الغاليوم GaAs، وفسفيد الإنديوم InP وسبائكهما الآلية الأكثر قوّة لمفعول شتارك في الحصر الكمومي quantum-confined stark effect (QCSE) [5]، مما يتيح صنع بنى معدّله طول مسارها الضوئي يقدّر بالمكرومتر فقط [7,6]. ولكن لسوء الحظ ، فإن مواد المجموعتين III-V يصعب مكاملتها مع السليكون في نبائط الإلكترونيات. يُستكمل الجرمانيوم بصورة روتينية مع السليكون في الإلكترونيات [8]، لكن بنى السليكون - جرمانيوم السابقة أيضاً لم تبد آثاراً معدّلة قوية [13-9]. نسجل هنا اكتشاف مفعول شتارك في الحصر الكمومي (QCSE)، عند درجة حرارة الغرفة، ولدى بنى آبار كمومية رقيقة في الجرمانيوم منمّاة على السليكون. إن لمفعول QCSE هنا شدات تضاهي شدات مواد المجموعتين III-V. وإن وضوحه وقوته مدهشان بشكل خاص لأن الجرمانيوم نصف ناقل ذو فرجة طاقة غير مباشرة؛ ومثل هذه الأنصاف نواقل غالباً ما تبدي آثاراً ضوئية أشد ضعفاً من المواد ذات الفرجة المباشرة (مثل مواد المجموعتين III-V التي تستخدم في الإلكترونيات الضوئية على نحو نموذجي). إن هذا الاكتشاف واعد جداً لغرض الحصول على نبائط ذات خرج ضوئي، صغيرة الحجم وعالية السرعة [14] ومنخفضة القدرة [17-15] متوافقة كلياً مع صناعة إلكترونيات السليكون.

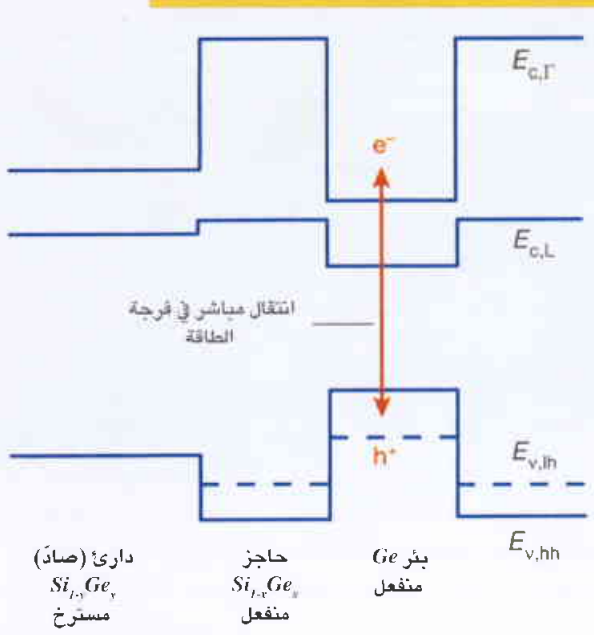
الكلمات المفتاحية:

مفعول شتارك في الحصر الكمومي، معدّل كهرامتصاصي؛
بئر كمومي متعدد، حاجز كمومي، بنية معدن- أكسيد - نصف ناقل متممة.

الآبار الكمومية طبقات رقيقة (10 nm على سبيل المثال) من أنصاف نواقل محاطة بمواد حاجزة. وغالباً ما يتم اختيار الحواجز بحيث تحصر الإلكترونات في عصابة النقل والثقوب (أو غياب الإلكترونات) في عصابة التكافؤ داخل البئر الكمومي؛ وهذا ما يسمى التراصف العصابي من النوع-I type-I band alignment. إن مفعول QCSE يعطي انزياحات طيفية قوية لحدّ الامتصاص الضوئي مع تطبيق حقل كهربائي بالقرب من فرجة العصابة المباشرة (أي بنية عصابية تكون فيها النهايات الصغرى لطاقة الإلكترونات والثقوب واقعة عند الاندفاع ذاته) في آبار كمومية كهذه من النوع I [18]. وفي العادة، تكون هذه النهايات الصغرى للعصابة عند اندفاع يساوي الصفر (النقطة Γ، أو مركز النطاق zone centre).

يستخدم مفعول QCSE بصورة روتينية في معدّلات ذات آبار كمومية عالية الأداء لغرض الاتصالات عن بعد. فهي تمتلك عدداً من الصفات الجذابة التي تتيح للمعدّلات التي لا يتجاوز طول مسارها مكرومترات أن تندمج في صفيفات ضخمة (أكثر من

الشكل 1 بنية الفرجة العصابية للبئر الكمومي Ge/SiGe
[مقياس الرسم ليس حقيقياً]



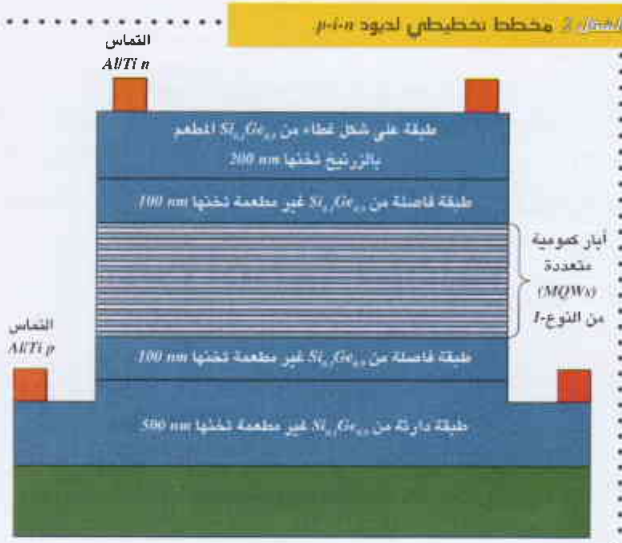
$E_{c,\Gamma}$ و $E_{c,L}$ هما طاقتا القاع (الحضيض) لعصابة النقل عند مركز القطاع (النقطة Γ) وعند الأودية L على التوالي. $E_{v,lh}$ و $E_{v,hh}$ هما طاقتا أوجي عصابتي التكافؤ للثقوب الخفيفة والثقوب الثقيلة على التوالي. البئر الكمومي $Ge/Si_{0.15}Ge_{0.85}$ على $Si_{0.1}Ge_{0.9}$ مسترخ ذو اصطفاف من النوع I عند مركز القطاع ويحصر الحاملات كمومياً داخل بئر الجرمانيوم.

38000 نبيطة على سبيل المثال) مربوطة بدارات سليكونية من النوع CMOS (التي تعني معدن- أكسيد - نصف ناقل متمم) [6]، بالإضافة إلى نبائط عند أطوال موجية للاتصالات عن بعد تقارب 1.5~ µm [7]. إن نبائط الأدلة الموجية من QCSE ذات أطوال تبلغ فقط حوالي 400 µm - 100 ~ بصورة نموذجية (انظر [14]، على سبيل المثال). ولقد عرض العمل الحالي [19] نبائط في آبار كمومية من InGaAs/InP من دون أدلة موجية تبدي تعديلاً مفيداً عند أطوال موجية للاتصال عن بعد من أجل سوق بأقل من 1V، وبالتراصف المسترْخي اللازم للتغليف العملي. نشير إلى أن نبائط QCSE لا تتطلب حقن حاملات شحنة، وتشغّل نموذجياً كديودات (ثنائيات) منحازة عكسياً. أما تبديد الطاقة المنخفض الحاصل - وهو من رتبة 10 mW لكل قناة - فإنه يتيح للصفيفات الضخمة من الروابط الضوئية أن تعمل عند معدلات معطيات عالية من شيبات السليكون [15-17]. من الناحية النظرية يُعتقد أن مفعول QCSE يعمل عند أزمنة دون البيكوثانية [21،20]، ولقد عرضت نبائط ذات عرض عصابي للتعديل أكبر من 50 GHz [14].

وخلافاً لمركبات المجموعتين III-V التي تستخدم بشكل نمطي في المعدِّلات QCSE، يتمتع كل من السليكون والجرمانيوم بأخفض فرجتي عصابة طاقية غير مباشرة (وهذا يعني أن النهايات الصغرى لطاقة الإلكترونات والثقوب ذات اندفاعات مختلفة). لم تبدِ الآبار الكمومية SiGe/Si من النوع I، في السابق، أي مفعول QCSE أو لم يكن هذا المفعول فعالاً [9-11]، في حين تبدي الآبار الكمومية SiGe/Si [12] والنقاط الكمومية [13] (كلاهما من النوع II للاصطفاف العصابي الذي تتمتع فيه الإلكترونات والثقوب بطاقة دنيا في طبقات مواد مختلفة) انزياحات كبيرة للانتقالات الإلكترونية بتأثير الحقل الكهربائي، لكنها تتمتع بكفاءة امتصاص منخفضة. ونعرض هنا مفاعيل حصر كمومي واضحة في آطياف امتصاص ضوئي لآبار كمومية للجرمانيوم، مصحوبة بانتقالات مركز القطاع، إضافة إلى امتصاص كهربائي electroabsorption بمفعول QCSE واضح وقوي. ورغم أن فرجة العصابة الأخفض للجرمانيوم هي غير مباشرة، فإننا نستفيد من فرجة عصابته المباشرة عند ~0.8 eV في درجة حرارة الغرفة. إن البنية العصابية المصاحبة لهذه الفرجة العصابية المباشرة مماثلة من الناحية الوصفية للفرجة العصابية في مواد QCSE من المجموعتين III-V. كما أنه يوجد امتصاص غير مباشر عند الطاقات الفوتونية ذاتها والأدنى منها، ولكنها أكثر ضعفاً، مما يسمح للامتصاص المباشر أن يهيمن.

نحن نستعمل الآبار الكمومية المتعددة (MQWs) في التركيبة Ge/SiGe المتوازنة انفعالياً والمنمّاة على دارئ SiGe مسترخ غني بالجرمانيوم على السليكون، معطياً تراصفاً من النوع I عند النقطة Γ. في البنى المتوازنة انفعالياً، يكون متوسط تركيز السليكون في طبقات الآبار الكمومية المتعددة Ge/SiGe (MQWs) مساوياً التركيز في الطبقة الدارئة، مما يسمح بإنماء بنى سميكة. ويبيّن الشكل 1 تراصف فرجة العصابة الحاصلة. هذا وقد حسبت الانقطاعات العصابية للثقوب الثقيلة، والثقوب الخفيفة، والإلكترونات عند النقطة Γ بين آبارنا والحواجز فوجد أنها تساوي 101 meV و47 meV و400 meV على الترتيب، استناداً إلى [22-24] باستقراء خطي لفرجة العصابة المباشرة للمركب SiGe بين Si (إلى العصابة Γ-2) وGe. لاحظ أن هذا الانقطاع العصابي 400 meV في النقطة Γ يقدم حصراً كمومياً قوياً للإلكترون في عصابة النقل. وهناك، بالطبع، نهايات صغرى لعصابة النقل بطاقات أخفض (أودية L) في حواجز SiGe. ولكن، بخصوص الحصر الكمومي فإننا نتوقع أن تكون العصائب ذات الصلة في الحواجز هي تلك التي لها تناظرات خلوية متشابهة الوحدة، مثلما نتوقع بأن العبور النفقي القوي يأخذ مجراه فقط إلى هذه العصائب. وعليه، فإننا نأخذ بالاعتبار هنا العصائب عند النقطة Γ في الحواجز من أجل حساب آثار الحصر الكمومي. ونظراً لكون النقطة Γ في آبار Ge أعلى من الأودية L في الحواجز SiGe فإننا على كل حال، وبالرغم من كون البئر الكمومي لإلكترون النقطة Γ عميق نسبياً، نتوقع أن تتبعثر بسرعة الإلكترونات المتولدة في الآبار Ge وتتفرق في الأودية L حيث يمكن كنسها وإزالتها بحقول كهربائية (وإن تكن ليست بالسرعة اللازمة لمنع استغلال الحصر الكمومي في الامتصاص الضوئي).

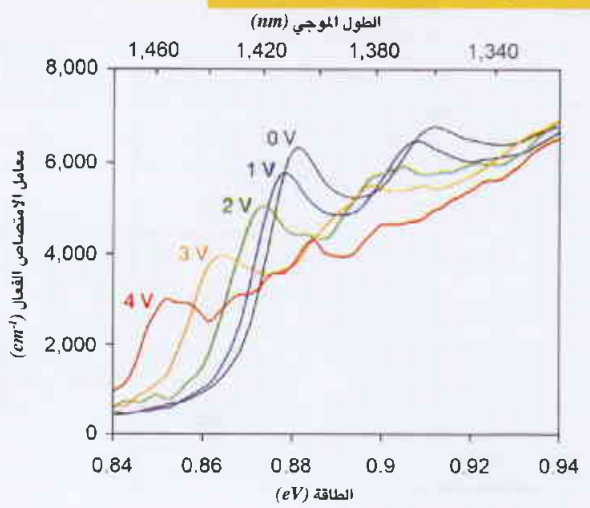
الشكل 2 مخطط تخطيطي لديود p-i-n



يبيّن منظر المقطع العرضاني بنية لآبار كمومية متعددة (MQWs) في بنية Ge/SiGe المسترخية والمنمّاة على سليكون على دارئات مباشرة من SiGe مسترخية (مقياس الرسم ليس حقيقياً). الضوء الآتي من الموحّد اللوني في القياسات يسقط على السطح العلوي (أي في تشكيلة 'ناظم على السطح') على المساحة المفتوحة داخل الإلكترود العلوي الذي هو عبارة عن إطار مستطيل (أي بين أجزاء تماسات Al/Ti من النوع n المبينة في هذا المقطع العرضي).

يبيّن الشكل 2 بنية ديود (p-i-n) لبئر كمومي متعدد Ge/SiGe (MQW). جرى إنماء الطبقات بصورة متعاقبة على رقاقة مفردة، في مفاعل ترسيب من البخار الكيميائي في ضغط منخفض reduced- pressure chemical vapour deposition (RPCVD)، وجدران باردة متوفر تجارياً، وذلك باستخدام غاز حامل هو الهدروجين وغازين طليعيّين هما السيلان silane والجرمان germane. نستخدم في هذه العملية ركازات على هيئة رقاقات من السليكون مطعَّمة بالبورون موجهة وفق (001) وقطرها أربع بوصات مقاوميتها من 10Ω إلى 20Ω. وبعد التنظيف عند درجة حرارة عالية في الموضع الأصلي، تنمّى الطبقات في الدرجة 400°C، مع تقوية بالإحماء (تلدين) annealing عند درجات حرارة أعلى. لقد جرى إنماء فلمين من $Si_{0.1}Ge_{0.9}$ بثخن 250 nm مطعّمين بذرات البور بكثافة تطعيم $5x10^{18}\ cm^{-3}$ وبصورة متعاقبة وجرى إخضاعهما إلى عملية إحماء في الدرجة 850°C لمدة 30 دقيقة وفي الدرجة 700°C لمدة 5 دقائق على التوالي، وذلك لتقليل الانخلاعات التي يسببها سوء المواءمة الشبيكية ولتشكيل طبقات صادة (دارئة) من النوع p. تُنمّى طبقة فاصلة من $Si_{0.1}Ge_{0.9}$ غير المطعَّم ثخنها 100 nm، تعقبها عشرة أزواج من الآبار الكمومية المتعددة MQWs (كل زوج فيها مكون من بئر من Ge ثخنها 10 nm/ حاجز من $Si_{0.15}Ge_{0.85}$ ثخنه 16 nm) ثم طبقة فاصلة أخرى من $Si_{0.1}Ge_{0.9}$ غير مطعمة ثخنها 100 nm. وأخيراً تحاط البنية الناتجة بغطاء هو طبقة من $Si_{0.1}Ge_{0.9}$ المطعم بالزرنيخ بكثافة تصل إلى $10^{19}\ cm^{-3}$. وبعد ذلك

الشكل 3 أطياف معاملات الامتصاص الفعال

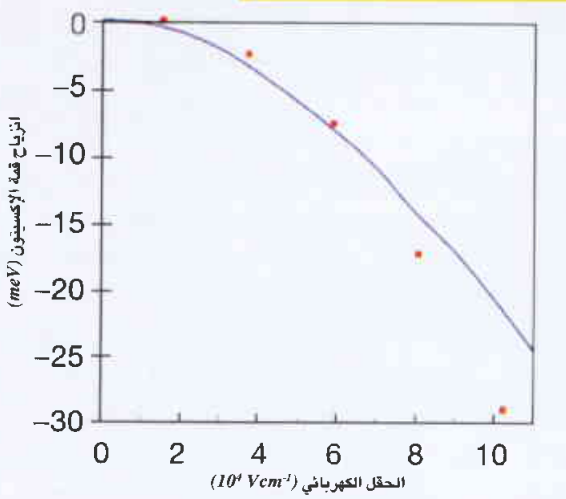


شوهد مفعول شتارك في الحصر الكمومي QCSE عند درجة حرارة الغرفة بانحياز عكسي من صفر حتى 4 فولطات. أما الثخن في حسابات معاملات الامتصاص الفعال فهو مبنيٌّ على ضم ثخن بئر الجرمانيوم وثخن حاجز SiGe.

جرى التكييف وفق نموذج معين باستخدام الطباعة الحجرية (الليتوغرافيا) المعيارية والتنميش (الرَّقش) الجاف dry-etching بغية تشكيل بنى ميسيّة (مسطّحة) مربعة الشكل square mesa structures يمتد عرضها من 200μm إلى 1400μm. يُبخَّر معدن Al/Ti ثم ترفع وتخضع إلى إحماء حراري سريع لتشكل تماسات أومية مستطيلة الأطر. ونظراً لأننا نتوقع أن تكون الطبقة العليا SiGe (من النوع n) المطعَّمة بالزرنيخ قوية النقل، فإن الحقل الكهربائي ينبغي أن يكون عمودياً بصورة أساسية على الآبار الكمومية في كافة أرجاء البنية. إن كل المواد، ومعدات المعالجة ودرجات الحرارة المستخدمة تتماشى مع العمليات المستخدمة في تصنيع إلكترونيات السليكون للترانزستورات CMOS.

نقيس أطياف التيارات الفوتونية (الضوئية) عند درجة حرارة الغرفة من أجل فولطيات انحياز عكسي لديودات مختلفة مستخدمين منبعاً ضوئياً متقطعاً صادراً عن مصباح كوارتز–تنغستين–هالوجين مع موحِّد لوني 0.25m مجهز بشبكة انعراج مؤلفة من 600 حزٍّ في كل مليمتر وشق slit عرضه 400μm، ومضخم طوري lock-in-amplifier. وهنا يرد الضوء ناظمياً على السطح، وباستقطاب عشوائي في مستوي السطح. وكما هو الحال في بنى الآبار الكمومية الأخرى فإننا نتوقع أن تكون انتقالات كل من الثقوب الخفيفة والثقيلة مسموحاً بها في هذا البنيان. أما الاستجابية responsivity (وهي التيار في وحدة القدرة الضوئية) داخل النبيطة فيجري استنباطها من شدة الضوء الوارد على المساحة المفتوحة من السطح الميسي mesa surface، مع إجراء التصحيح بسبب الانعكاس على السطح. ويتم حساب أطياف معاملات الامتصاص الفعال الموافقة (الشكل

الشكل 4: ازياحات قمم الاكسيتونات.



مقارنة انزياح قمة إكسايتون الثقب الثقيل من القياسات (المربعات المتلئة) وحسابات جُاوب العبور النفقي (مجموع الانزياحين في سوي الإلكترون والثقب).

3) بافتراض إسهام إلكترون واحد من التيار لكل ممتصّ، مثلما هو الشائع في ديودات p-i-n في حالة النضوب الكلي. (مع التسليم بعدم وجود كسب ناتج عن التيهور avalanche، وهذه الفرضية في أسوأ الأحوال تبخس في تقدير الامتصاص. إن عدم تبعية التيار الضوئي للانحياز عند طاقات فوتون عالية (0.94 eV على سبيل المثال) يوحي بأن عدد الإلكترونات لكل فوتون لا يعتمد على الانحياز، ومن ثم لا يوجد تيهور يُرى حصر كمومي واضح مصحوب بقمم إثارة قوية نعزوها إلى الانتقالات التالية : انتقال من إلكترون إلى ثقب ثقيل (e-hh ; ~ 0.88 eV، عند انحياز قدره 0 V) وانتقال من إلكترون إلى ثقب خفيف (e –lh ; ~ 0.91 eV، عند انحياز قدره 0 V). إن معامل الامتصاص الفعال، عند قمة الإثارة في الانتقال e – hh، كما حسب على أساس الثخن الكلي للآبار والحواجز (~0.26 µm)، هو 6,320cm^{-1}. يبلغ العرض النصفي عند منتصف القيمة العظمى half- width at half- maximum لذروة الإثارة التي تحدثها الثقوب الثقيلة حوالي8 meV، ولم تزل ذروة إثارة الثقوب الثقيلة واضحة الميْز حتى عند 8x10^4 Vcm^{-1} (أي انحياز قدره 3 V)، مما يشير إلى أن الحقل الكهربائي متجانس داخل هذه البنية، وهذا بدوره ينطوي بداهة على تطعيم منخفض جداً للخلفية في المنطقة الأصيلة. إن حدّ الامتصاص عند الانحياز الصفري أعلى مما هو للجرمانيوم غير المنفعل بحوالي 80 meV~. هذا الانزياح قريب للمجموع المحسوب من حصر الآبار الكمومية (وهو 56 meV) والانزياحات المحرَّضة بالانفعال (وهي 36 mev)[23]. ولما كانت طاقة الحصر الكمومي تنشأ في المقام الأول من الإلكترون، فإن وضوح هذا الانزياح الكمومي يبيّن أن الحصر (الكمومي) عند النقطة Γ قوي، بالرغم من إمكانية التبعثر إلى الأودية الخفيضة غير المباشرة.

عند انحياز عكسي من 0 V حتى 4 V، تنزاح كلتا الذروتين نحو الأحمر بمفعول شتارك في الحصر الكمومي QCSE. فالإكسيتون e-hh منزاح من 1,408 nm (عند 0 V) إلى 1,456 nm (عند 4 V). ويبلغ التغير الأعظمي في معامل الامتصاص الفعال 2,800 cm^{-1} عند 1,438 nm من أجل انحياز 3 V. وحسب معلوماتنا، فإن هذا هو أول تعديل كهرامتصاصي electro-absorption modulation فعّال يشاهد في مجموعتي المواد IV، وأداؤه يقارب مواد المجموعتين III-V (ذات الفرجة المباشرة) عند أطوال موجية مماثلة (انظر [19]، على سبيل المثال). إن وضوح قمم الإثارة بوجود حقل هو في الحقيقة أفضل من تلك القمم التي في بنى المجموعتين النموذجيتين III-V عند هذه الأطوال الموجية [19]، ويبيّن الامتصاص الكهربائي (أي بوجود حقل كهربائي) electroabsrption انزياحات أكثر وضوحاً من قياسات الامتصاص الكهربائي السابقة في مواد المجموعتين III-V المباشرة [25]. ونشير إلى أنه عند انحياز 4 V يكون تباين معامل الامتصاص أكبر من 3 على مدى عرض عصابي يمتد من 1,443 nm إلى 1,471 nm، بقمة ارتفاعها 4.69 عند 1,461 nm.

إن إمكانية تشغيل تصاميم لآبار كمومية عند طول موجي 1,550 nm مثلاً، والذي هو من رتبة الطول الموجي المستخدم في الاتصالات عن بعد من مسافات طويلة، سيكون موضوع العمل في المستقبل. ونحن أيضا نستبق الأحداث ونقول بأن بنى معدِّلات الأدلّة الموجية ستتحقق باستخدام مواد ملائمة لطبقات إكساء الأدلة الموجية.

يتفق الانزياح المقيس مع نتائج المحاكاة (الشكل 4) التي تمّ الحصول عليها بواسطة طريقة تجاوب العبور النفقي tunnelling resonance method [18,5]. وبالإضافة إلى ذلك، فإننا قيَّمنا انزياح طاقة ربط الإكسيتون (كما في [18])، مستخدمين توابع موجية للإلكترونات والثقوب جرى تقديرها عددياً، رغم أن هذا التصحيح هو <1meV وهو مهمل هنا. لقد استخدمنا كتلة فعالة للإلكترون في الوادي Γ معطاة بالعلاقة $0.041m_0+0.115(1-x)m_0$، وكتلة فعالة للثقوب الثقيلة $0.28m_0+0.21(1-x)m_0$، حيث m_0 هي كتلة الإلكترون الحر و x هو تركيز الجرمانيوم Ge [27,26] (اعتمدت كتلة الثقب ذات الصلة (001) في السليكون على أساس بارامترات لوتِنْجَر [28]).

لقد شرحنا مفعول شتارك في الحصر الكمومي الفعال في البنى القائمة على السليكون، باستخدام آبار كمومية متعددة من الجرمانيوم المنفعل strained Ge MQWs. تبين أن سلوك قمم الإكسيتونات، وانزياح حدّ العصابة والانزياح في معامل الامتصاص هي قريبة من تلك التي شوهدت في مواد المجموعتين III-V عند أطوال موجية مماثلة. ويجدر بالذكر أن المواد التي استخدمناها وعمليات التصنيع التي قمنا بها منسجمة كلياً مع CMOS وملائمة للإنتاج بالجملة. لذا فإن هذه الطريقة تُعدُّ واعدة جداً لصنع معدِّلات كهرامتصاصية قائمة على السليكون تعمل عند سرعة عالية، وتستهلك قدرة منخفضة، ولاتحتاج إلا لتوترات تشغيل منخفضة كما أن مساحات النبائط منها صغيرة.

References المراجع

[1] Miller, D. A. B. Rationale and challenges for optical interconnects to electronic chips. Proc. IEEE 88, 728-749 (2000).

[2] Liu, A. et al. A high-speed silicon optical modulator based on a metal-oxidesemiconductor capacitor. Nature 427, 615-618 (2004).

[3] Xu, Q., Schmidt, B., Pradhan, S. & Lipson, M. Micrometre-scale silicon electrooptic modulator. Nature 435, 325-327 (2005).

[4] Soref, R. A. & Bennett, B. R. Electrooptical effects in silicon. IEEE J. Quant. Electron. 23.123-129 (1987).

[5] Miller, D. A. B. et al. Band-edge electroabsorption in quantum well structures: the quantum-confined Stark effect. Phys. Rev. Lett. 53, 2173-2176 (1984).

[6] Arad, U. e: al. Development of a large high-performance 2-D array of GaAsAlGaAs multiple quantum-well modulators. IEEE Photon. Tech. Lett. 15, 1531-1533 (2003).

[7] Liu, C. P. et al. Design, fabrication and characterisation of normal-incidence 1.56-μm multiple-quantum-well asymmetric Fabry-Perot modulators for passive picocells. IEICE Trans. Electron. E 86C, 1281-1289 (2003).

[8] Cressler, J. D. SiGe HBT technology: a new contender for Si-Based RF and microwave circuit applications. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 46, 572-5890998).

[9] Qasaimeh, 0., Bhattacharya, P. & Croke, E. T. SiGe-Si quantum-well electroabsorption modulators. IEEE Photon. Tech. Lett. 10, 807-809 (1998).

[10] Miyake, Y., Kim, J. Y., Shiraki, Y. & Fukatsu, S. Absence of Stark shift in strained Si1-xGex/Si type-I quantum wells. Appl. Phys. Lett. 68, 2097-2099 (1996).

[11] Li, C. et al. Observation of quantum-confined Stark shifts in SiGe/Si type-Imultiple quantum wells. J. Appl. Phys. 87, 8195-8197 (2000).

[12] Park, J. S., Karunasiri, R. P. G. & Wang, K. L. Observation of large Stark shift in GexSi1-x/Si multiple quantum wells. J. Vac. Sci. Technol. B 8, 217-220 (1990)

[13] Yakimov, A. I. et al. Stark effect in type-II Ge/Si quantum dots. Phys. Rev. B 67, 125318 (2003).

[14] Lewen, R., Irmscher, S., Westergren, U., Thylen, L. & Eriksson, U. Segmented transmission-line electroabsorption modulators. J. Lightwave Technol. 22, 172-179 (2004).

[15] Krishnamoorthy, A. V. & Miller, D. A. B. Scaling optoelectronic-VLSI circuits into the 21St century: a technology roadmap. IEEE J. Select. Top. Quant. Electron. 2, 55-76 (1996).

[16] Kibar, 0., Van Blerkom, D. A., Fan, C. & Esener, S. C. Power minimization and technology comparisons for digital free-space optoelectronic interconnections. J. Lightwave Technol. 17, 546-555 (1999).

[17] Cho, H., Kapur, P. & Saraswat, K. C. Power comparison between high-speed electrical and optical interconnects for interchip communication. J. Lightwave Technol. 22, 2021-2033 (2004).

[18] Miller, D. A. B. et al. Electric field dependence of optical absorption near the bandgap of quantum well structures. Phys. Rev. B 32,1043-1060 (1985).

[19] Helman, N. C., Roth, J. E., Bour, D. P., _Altug, H. & Mil!er. D. A. Misalignment-tolerant surface-normal !ow-voftTge mode to or for optical interconnects. IEEE J. Select. Top. Quant. Electron. 11, 338-342 (2005).

[20] Schmitt-Rink, S., Chemla, D. S., Knox, W. H. & Miller, D. A. B. How fast is

excitonic electroabsorption? Opt. Lett. 15, 60-62 (1990).

[21] Maslov, A. V. & Citrin, D. S. Quantum-well optical modulator at terahertz

frequencies. J. App!. Phys. 93,10131-10133 (2003).

[22] Galdin, S., Dollfus, P., Aubry-Fortuna, V., Hesto, P. & Osten, H. J. Band offset predictions for strained group IV alloys: Si1-x-yGexCy on Si(001) and Si1-xGex on Si1-zGez(001). Semicond. Sci. Technol. 15, 565-572 (2000).

[23] Rieger, M. M. & Vogl, P. Electronic-band parameters in strained Si1_ XGeX alloys on Si1-YGey substrates. Phys. Rev. B 48.14276-14287 (1993).

[24] Schaffler, F. High-mobility Si and Ge structures. Semicond. Sci. Technol. 12, 1515-1549 (1997).

[25] Goossen, K. W., Yan, R. H., Cunningham, J. E. & Jan, W. Y. AIXGa1-XAs-AIAs quantum well surface-normal electroabsorption modulators operating at visible wavelengths. App!. Phys. Lett. 59,1829-1831 (1991).

[26] Crow, G. C. & Abram, R. A. Monte Carlo simulations of hole transport in SiGe and Ge quantum wells. Semicond. Sci. Technol. 15, 7-14 (2000).

[27] Dresselhaus, G., Kip, A. F. & Kittel, C. Cyclotron resonance of electrons and holes in silicon and germanium crystals. Phys. Rev. 98, 368-384 (1955).

[28] Lawaetz, P. Valence-band parameters in cubic semiconductors. Phys. Rev. B 4, 3460-3467 (1971).

المؤلفون:

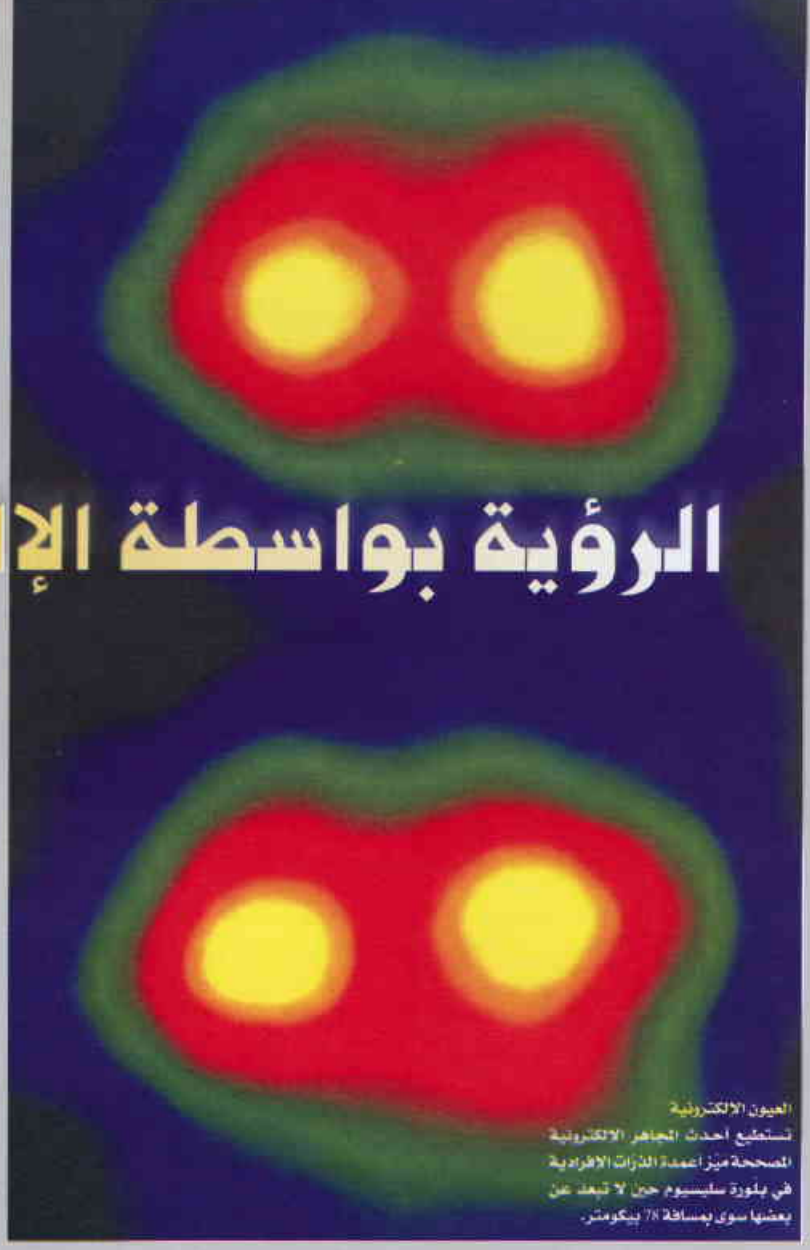
يو هسوان كيو ، يونغ كيو لي ، يانغسي جي ، شين رين ، جوناثان روث ، ديفيد ميللر و جيمس هاريس :
مختبر فوتونيات الحالة الصلبة، قسم الهندسة الإلكترونية، جامعة ستانفورد، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.

تيودور كامينز : أبحاث العلوم الكمومية، مختبرات هِوْلِتْ باكَرْد، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.
- مختبر فوتونيات الحالة الصلبة، قسم الهندسة الإلكترونية، جامعة ستانفورد، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية.

نشر هذا المقال في مجلة NATURE/Vol 437/ 27 October 2005
وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

الرؤية بواسطة الإلكترونات



العيون الالكترونية
تستطيع أحدث المجاهر الالكترونية المصححة مزاعمدة الذرات الافرادية في بلورة سليسيوم حين لا تبعد عن بعضها سوى بمسافة 78 بيكومتر.

ملخص

تجعل مصححات العدسات المتاحة تجارياً مدى المجاهر الإلكترونية يصل إلى مقاييس ذرية غير مسبوقة.

الكلمات المفتاحية

المجهر الإلكتروني، الزيغ الكروي، المَيْز.

كم من الطلاب يقال لهم (ربما خلال دروسهم الأولى في العلوم) أن الذرّات صغيرة لدرجة أنه لا يمكن رؤيتها؟ وبالفعل اعتبر العديد من العلماء لفترة طويلة أن الذرّات، ذات القطر النمطي البالغ 10^{-10} متر، أشياء يعتقدها العلماء اعتقاداً. ومن ثم علمونا أننا لا نستطيع رؤية الذرّات لأن الانعراج يضع حداً أساسياً لمَيْز resolution الصورة. وبكلام تقريبي، فإننا لا نستطيع رؤية أي شيء أصغر من طول موجة الضوء المستخدم لتكوين الصورة. وبما أن طول موجة الضوء المرئي أكبر بنحو 10000 مرة من المسافة العادية بين ذرّتين فإننا لا نستطيع رؤية الذرّات.

ولكن توجد أشكال أخرى من الإشعاع الكهرمغنطيسي ذات أطوال موجية أقصر من طول موجة الضوء المرئي. فالأشعة السينية المستخدمة في دراسة البلّورات على سبيل المثال تكون ذات أطوال موجية أقل من نانومتر. بيد أن المشكلة هنا تتمثل في أن من الصعب جداً تبئير الأشعة السينية. ولحسن الحظ يقدِّم ميكانيك الكم طريقة بديلة لرؤية العالم المجهري: إنها الجسيمات دون الذرّية subatomic particles.

ينص ميكانيك الكم أن الجسيمات جميعها ذات طول موجة دوبري تساوي $\lambda = h/p$، حيث h ثابت بلانك و p اندفاع الجسيم. وعلى سبيل المثال يمتلك الإلكترون المسرَّع إلى سرعة تبلغ 8.78 أمثال سرعة الضوء طول موجة دوبروي تساوي 2 بيكومتر (2×10^{-12} m)، وهذا أصغر بمقدار 100 مرة من المسافة العادية بين الذرّات في جسم صلب. وعدا عن ذلك، وبسبب كون الإلكترونات مشحونة فإنه يمكن حرفها بواسطة حقول كهربائية ومغنطيسية.

نظرة سريعة: المجهر الإلكتروني

- اخترع المجهر الإلكتروني في عام 1933 وهو يستند إلى المبدأ القائل أن للإلكترونات طولاً موجياً متناسباً عكساً مع اندفاعها.
- يوجد نوعان أساسيان للمجاهر الإلكترونية النافذة والمجاهر الإلكترونية الماسحة، إضافة إلى نوع هجين من الاثنين.
- توفر الحقول الكهرمغنطيسية العدسات للمجهر الإلكتروني لكنها تعاني من الزيغ الكروي.
- وقد حسّنت إضافة حقول لتصحيح رباعية وثمانية القطب ميْز المجهر الإلكتروني فأصبح أفضل من 0.1 نانومتر في العقد الأخير.
- تتمثل الخطوة التالية في تصحيح الزيغ اللوني الذي يصبح ميْز بعده محدوداً، ربما، بكبر الذرّة نفسها.

ويشكل الجمع بين مثل هذه "العدسات" الكهرمغنطيسية مع مدفع إلكتروني وإضافة نوع من منظومات كشف الإلكترونات، ما يعتبر مجهراً إلكترونياً. وقد وفرت هذه الأجهزة على مدى السنين السبعين الماضية للباحثين في العديد من الاختصاصات صوراً قيّمة وجميلة على الأغلب، للأشياء الفائقة الصغر. وبإمكان أحد أقوى المجاهر الإلكترونية اليوم التمييز بين أعمدة ذرّية إفرادية في مواد مثل السليسيوم (انظر الشكل 1). واستطاع هذا المجهر بالذات (الذي يبلغ عمره الآن أكثر من عشر سنوات) بلوغ ذلك المستوى غير المسبوق في الميْز (نحو 78 بيكومتر) بفضل ما أتيح تجارياً من مكوّنات خاصة تعرف باسم "مصححات الزيغ aberration correctors".

وتشبه إضافة مصحِّح الزيغ إلى مجهر ما وضع نظارات تسمح له أن يرى الأشياء التي لم يكن يراها من قبل. وقد أحدث هذا ثورة في دراسة خواص المواد. فالقدرة على كشف عيوب في الترتيب الذرّي في البلّورات، على سبيل المثال، يمكن أن تعني الفرق بين نبيطة إلكترونية مجهرية تعمل أو لا تعمل. والمقدرة على "رؤية" الترتيب الذرّي الدقيق في مادة ما أمر حاسم بالنسبة إلى التقانة النانوية التي يمكن أن تبنى فيها النبائط من مجرد ذرّات قليلة.

مجاهر في المبؤرة

هناك تشكيلة من أصناف المجاهر الإلكترونية. وقد كان أول نوع ظهر منها هو المجهر الإلكتروني النافذ transmission electron microscope الذي اخترعه ماكس كنول M. Knoll وإرنست روسكا E. Ruska في الكلية التقنية في برلين في العام 1933. والمجهر الإلكتروني النافذ هو ابن العم الإلكتروني للمجهر الضوئي النافذ: حزمة من الإلكترونات تمر عبر عينة رقيقة تتبعها سلسلة من العدسات فتشكل على شاشة صورة للعينة مكبرة جداً. وقد وجد كنول وروسكا أنه كان بمقدورهم تبئير الحزمة الإلكترونية بواسطة عدسة مغنطيسية مصنوعة من وشيعة يمر فيها تيار. وتتألف المجاهر الإلكترونية النافذة الحديثة عادة من عمود حزمة يبلغ طوله 2.5 متر وقطره نحو 30 سم. وبإمكان هذه المجاهر بلوغ ميْز يقدر بنحو 0.2 نانومتر. لكن إضافة مصححات الزيغ هذه، ضاعفت هذه الخاصة أكثر من مرتين.

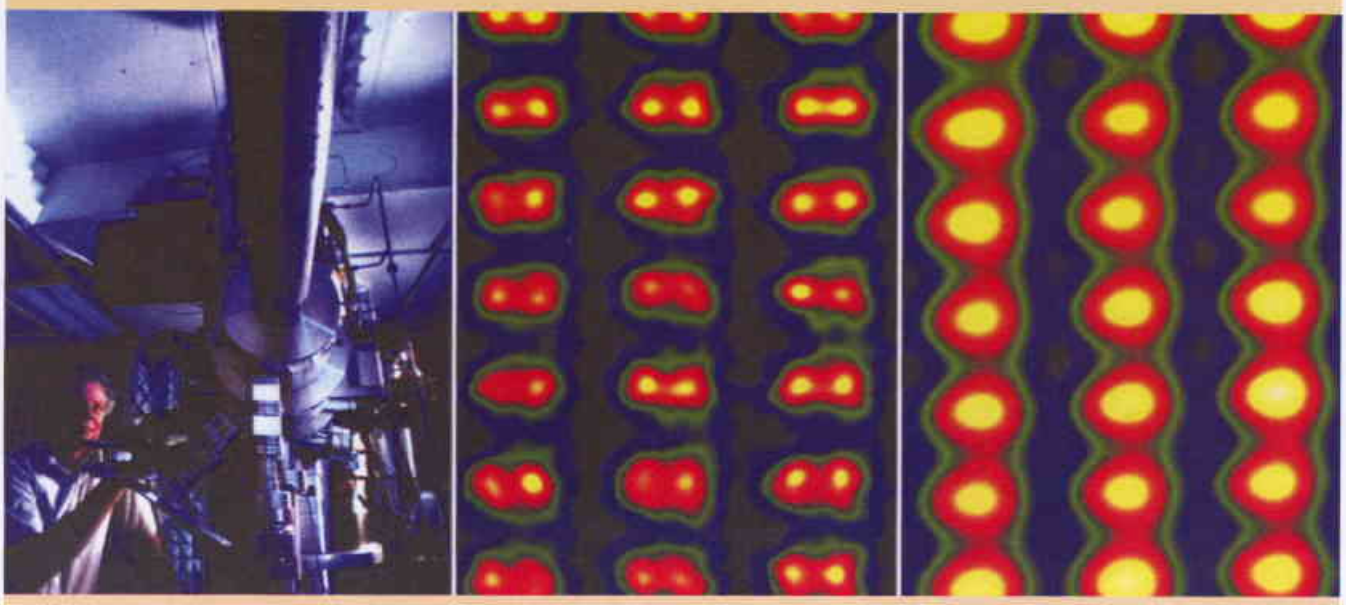
ربما كان أكثر المجاهر الإلكترونية استخداماً هو المجهر الإلكتروني الماسح scanning electron microscope الذي كان من رواده الأوائل في نهاية الأربعينيات من القرن الماضي تشارلز أوتلي Ch. Oatly والعاملون معه في جامعة كامبريدج. وفي هذه المجاهر توضع العدسات قبل العينة مما يتيح تبئير الإلكترونات في بقعة صغيرة يجري بعدئذ مسح سطح العينة بها فتتولد صورة ثنائية البعد (كما أنه بإمكان حزمة الإلكترونات أن تؤين الذرّات التي تعود بعدئذٍ إلى حالتها العادية مصدرة أشعة مميزة وهذا يتيح تحليل المادة ومعرفة مركباتها).

إن مقدرة المجهر الإلكتروني الماسح على تشكيل صور لأجسام جرمية bulk تجعله متعدد الاستخدامات إلى أقصى حد. وفي حين أن ميْز المجهر الإلكتروني النافذ يكون محدوداً بطول موجة الإلكترونات وبنوعية عدساته فإن ميزْ المجهر الإلكتروني الماسح محدود بمنطقة التأثر الكبيرة نسبياً بين الحزمة والعينة. ولكن المجاهر الإلكترونية النافذة قادرة على دراسة عيوب في البلّورات الذرّية المقياس.

ثمة مزيج من هذين الجهازين يشكّل المجهر الإلكتروني الماسح النافذ (STEM) الذي طوره ألبرت كرو A. Crewe في جامعة شيكاغو في العام 1970. ويتمتع المجهر STEM (لكونه يمسح حزمة إلكترونية مبأّرة تمر عبر عينة رقيقة ذات امتداد صغير) بمقدرات تحليل كيميائية موضعية ممتازة مثل المجهر الإلكتروني الماسح، لأن جزءاً صغيراً من العينة يضاء بالبقعة الصغيرة المبأرة. وهو أيضاً، مثل المجاهر النافذة، يتمتع بميز مكاني جيد يكفي لتصوير الذرّات.

وعلى الرغم من كل هذا التطور لم تكن المجاهر الإلكترونية، في الواقع، أوّل أدوات "ترى" الذرّات. فقد توصل إلى ذلك إروين مولر E. müller والعاملون معه في جامعة ولاية بِن Penn في العام 1955 عبر استخدامهم مجهر حقل الأيونات field-ion microscope. ففي هذا الجهاز يطبق حقل كهربائي كبير على رأس معدني مستدق ضمن غاز ذي ضغط منخفض بحيث تكون ذرّات الغاز التي تصل إلى الرأس متأينة، فتبتعد متسارعة حتى تصدم شاشة. وبما أن حدوث هذه العملية يكون أكبر احتمالاً في أماكن معينة من سطح الرأس،

الشكل 1 : السليسيوم في المحرق



حين يُنظر إلى الذرّات في بلورة السليسيوم وفق الاتجاه البلوري [112]. تكون متراصفة في أزواج من أعمدة يكون البعد بينها 78 بيكومتر فقط. ويستطيع المجهر الإلكتروني النافذ الماسح HB6030 الذي تمّ تصحيح زيغه. وذو 300 KV والموجود في مخبر أوك ريدج الوطني (إلى اليسار) أن يفصل كل الأعمدة الذرّية (في الوسط). وإذا لم تكن هناك مصححات زيغ فمن غير الممكن رؤية الأزواج (في اليمين) حيث تظهر وكأنها قمم وحيدة متطاولة.

مثلما هي الحال لدى الدرجات steps في البنية الذرّية، فإن الصورة الحاصلة تمثل البنية الذرّية للعينة.

وهناك جهاز ذو استخدامات متعددة لتصوير الذرّات على السطوح هو المجهر النفقي الماسح scanning tunneling (STM) microscope الذي اخترعه جيرد بينيغ G. Binnig وهانيريخ روهرر H. Rohrer في مركز بحوث IBM في زوريخ في العام 1982. ومع أن المجهر STM مجهر إلكتروني لكنه لا يعتمد على حزمة إلكترونات في الخلاء مثل المجهر الإلكتروني النافذ أو الماسح. بل يعتمد، عوضاً عن ذلك، على المرور النفقي الكمومي للإلكترونات بين رأس مستدق وسطح موصل conducting. ويكون عدد الإلكترونات التي تستطيع العبور نفقياً عبر هذه الثغرة حساساً جداً لعرضها بحيث يسمح بالحصول على صورة عالية الميْز جداً "للتغضُّنات corrugations" الذرّية على سطح العينة. وقد فرَّخ المجهر STM كذلك عدداً من المجاهر ذات المسابر الماسحة مثل مجهر القوة الذرّية ومجهر القوة المغنطيسية. وقد تشارك بينيغ ورهرر في جائزة نوبل لعام 1986 للفيزياء لتطويرهما هذه الأجهزة.

حدود كهرمغنطيسية

لطالما كان هدف المجاهر الإلكترونية تحقيق ميْز يبلغ أنغستروماً واحداً (1A° أو 0.1 nm). ومع أن هذا يمكن أن يبدو رقماً اختيارياً إلى حد ما إلا أن المجهر النافذ الذي يتمتع بميْز انغستروم واحد إنما يستطيع أن يكشف معظم المسافات بين الذرّية interatomic ذات الشأن في بلّورة ما. فلماذا إذاً مضت سبعة عقود تقريباً من البحث للوصول إلى ميْز هو أسوأ بمقدار خمسين مرة من ميْز الحد الأساسي الذي يفرضه طول موجة دوبروي؟

الجواب هو الانعراج: ينص معيار رايلي Rayleigh على أن قوة الميْز لمجهر ذي فتحة عدسة دائرية هي $d = 1.22\lambda/\theta$ حيث λ طول الموجة و θ الزاوية التي ترى ضمنها الفتحة من العينة. وللوصول إلى ميْز مقداره 78 بيكومتر باستخدام إلكترونات طول موجتها 2 pm ينبغي أن تكون فتحة العدسة التي تتحكم بعرض الحزمة مرئية من العينة بزاوية 1.8°.

وحيث أن البعد المحرقي النمطي لعدسة إلكترونية هو 2 nm وجب أن يكون عرض الحزمة 62 µm فقط. ولكي يكون التبئير دقيقاً ينبغي أن تعمل العدسة على تشكيل صدر الموجة عبر هذه المسافة بدقة أفضل من ربع طول الموجة (أي 0.5 pm). وبتشبيه أقرب إلى الإدراك فإن هذا يكافىء هندسة engineering سطح بعرض الولايات المتحدة ليس فيه اختلاف في الارتفاعات يفوق 3 سم!

ويظهر التحدي أكثر وضوحاً حين نأخذ بالاعتبار أن الأداة الوحيدة المتاحة لتشكيل الحزمة الإلكترونية هي حقل مغنطيسي أو

المراحل العشر الرئيسية على طريق المجز الذري

القرن السادس عشر: تطوير المجهر الضوئي المركب

1873 قدم إرنست آبّه Abbe نظرية مفصلة حول تشكل الصورة في المجهر

1896 عرّف اللورد رايلي Racy Leigh حدّ المِيز لمنظومة بصرية بأخذ انعراج الأمواج عند فتحة العدسة بالاعتبار.

1933 اخترع كنول Knoll وروسكا Ruska المجهر الإلكتروني النافذ.

1936 بين أولو شيرتسر أن العدسات الإلكترونية محدودة بزيغ كروي ذاتي.

1955 استخدم إروين موار muller مجهر حقل أيوني للحصول على أول صورة للذرات.

1970 حصل ألبرت كرو Crewe والعاملون معه على صور ذرات ثاليوم إفرادية باستخدام مجهر إلكتروني نافذ ماسح STEM.

1970 (سنوات السبعينيات) بدأ تمييز شبيكات البلّورات باستخدام المجهر الإلكتروني يصبح روتينياً.

1982 اخترع بنيغ Binnig وروهرر Rohrer المجهر النفقي الماسح STM الذي يستطيع تصوير الذرات على السطوح وتبعته مجاهر مسبرية ماسحة أخرى.

1998 بدأ تطوير تقانة تصحيح الزيغ الكروي لإحداث ثورة في أداء المجهر الإلكتروني النافذ TEM وجعل التصوير بميّز ما دون الأنغستروم شيء روتيني.

كهربائي. وإذا كان بالإمكان شحذ وصقل العدسة الزجاجية كما نرغب، فإن شكل العدسة في المجهر الإلكتروني محكوم بمعادلات ماكسويل. وهذا يعيق تشكيل حقل ذي شكل صحيح تماماً ويسبب زيوغات تحدُّ من أداء المجهر. وبالفعل فقد بيّن الألماني أوتو شيرتسر O. Scherzer بعد فترة قليلة من اختراع المجهر الإلكتروني النافذ أنه يستحيل تشكيل عدسة تامة لا تتغير مع الزمن وتكون متناظرة دائرياً بواسطة حقل كهربائي أو مغنطيسي في الفضاء الحر: فلا بد دوماً من وجود زيغ كروي متأصل.

لقد جرى تطبيق مصطلح الزيغ الكروي بادىء ذي بدء في البصريات الضوئية وهو ينشأ من عدم الوضوح الذي يرى حين تستخدم عدسات أو مرايا ذات سطوح كروية. أما في العدسة الإلكترونية فيسبب الزيغ الكروي التقاء الأشعة ذات الزوايا الكبيرة قبل المحرق (الشكل 2)، ولذلك يكون للحزمة الحاصلة "خَصْراً" waist – إذا ما تشكلت صورتها على شاشة – يأخذ شكل قرص غير واضح. ويُعدُّ الزيغ الكروي مفعولاً ثلاثي المرتبة بمعنى أن الانحراف الزاوي للشعاع بالنسبة إلى المحور الضوئي يعتمد على مكعب الزاوية.

فسحة للتحسين

خصص ريتشارد فانيمان R. Feynman في محاضرته الشهيرة بعنوان "هناك متّسع وافر في القاع" بعض الوقت لحاجتنا إلى مجاهر إلكترونية أفضل. وإدراكاً منه أن العدسات الإلكترونية الدائرية تعاني دوماً من الزيغ الكروي طرح السؤال البسيط التالي: لماذا ينبغي أن تكون العدسات مستديرة؟ لقد تمثّل مفتاح تصحيح الزيغ الكروي في المجهر الإلكتروني باستخدام عدسات ليست دائرية التناظر. وفي الواقع فقد أدرك شيرتسر منذ أربعينيات القرن الماضي أن التصحيح الضروري من المرتبة الثالثة يمكن أن يتأمّن باستخدام ائتلافٍ من حقلين أحدهما رباعي والآخر ثماني القطب.

يمتلك ثماني القطب ثمانية أقطاب متناوبة: أي كمونات موجبة وسالبة في حالة الثماني القطب الكهرراكدي وقطب شمالي وجنوبي في حالة القطب الثماني المغنطيسي (الشكل 2). ويكون لخطوط الحقل الناتجة بروفيل ذو تناظر دوراني رباعي التضاعف، لكن الأهم من ذلك أن شدة الحقل تتزايد متناسبة مع مكعب البعد عن مركز الثماني القطب. ونتيجة لذلك تنحرف الإلكترونات مبتعدة عن محور الحزمة في اتجاهين متعامدين ولكن نحو المحور في الاتجاهات بينهما، وبذلك تزيد الزيغ الكروي الموجود.

نظرات جديدة إلى الطبيعة

المجاهر الإلكترونية الماسحة هي أكثر المجاهر ملاءمة لتصوير العينات الجرمية، مثل هذا العنكبوت.

يمكن تصحيح ذلك بوضع رباعي القطب قبل ثُماني القطب. يؤمن رباعي القطب انحرافاً من المرتبة الأولى يتقارب في أحد الاتجاهات ويتباعد في الاتجاه الآخر، وهذا يعني أنه يمكن أن يمط الحزمة المستديرة فيجعلها على شكل خط. فإذا توافق هذا الخط مع أحد محاور التباعد لثماني القطب حصلنا على التصحيح من المرتبة الثالثة المرغوب به في ذلك الاتجاه. ولكن يبقى علينا أن نؤمن التصحيح في الاتجاهات العمودية الأخرى، وهذا ما يتم بواسطة استخدام بنيان آخر من رباعي القطب وثماني القطب مفتول على الأول

بزاوية 90°. ويؤدي هذا التركيب من العدسات إلى أن تبدو الحزمة المستديرة مربعة بعض الشيء لكن هذا يمكن أن يعدل باستخدام ثماني قطب ثالث.

هناك حالياً شركتان صغيرتان (Nion في الولايات المتحدة وCEOS في ألمانيا) تعتبران رائدتين في سوق قادة مصححات الزيغ الكروي. وفي الحقيقة فإن الفضل في الحصول على الصورة الموجودة في الشكل 1 إنما يعود إلى جهاز من الشركة Nion ذي ثلاثة ثمانيات قطب وأربعة رباعيات قطب.

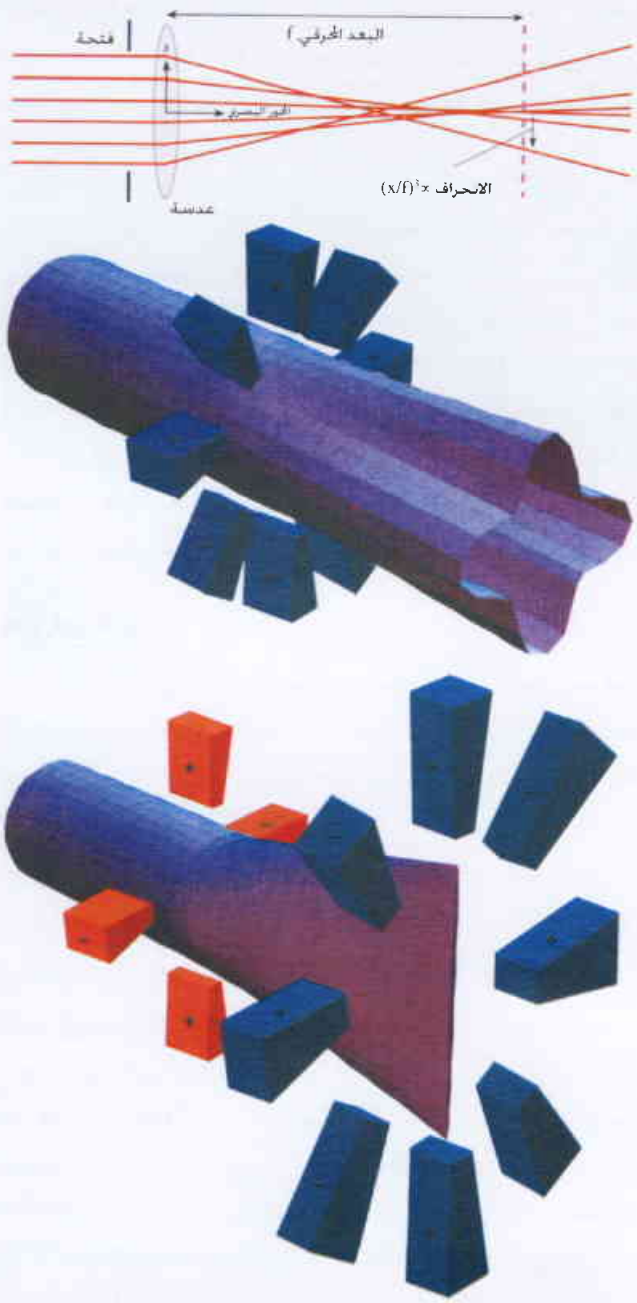
أسس الشركة Nion في العام 1997 كل من أوندري كريفانك O. Krivanek ونيكلاس دلبي N. Dellby اعتماداً على البحث الذي قاما به حين كانا باحثين في جامعة كامبردج في المملكة المتحدة. وقد ركزت الشركة حتى الآن على إضافة مصححات الزيغ المبنية وفق تصميم طوره أصلاً كرو Crewe ومعاونوه إلى المجاهر الإلكترونية الماسحة النافذة STEM. ولكن الشركة تختبر حالياً جهاز STEM الجديد كلياً والذي يدخل فيه آخر ما توصل إليه من مصححات الزيغ كجزء أصيل فيه.

أما الشركة CEOS التي أسسها ماكسميليان هيدر M. Haider وجواشيم زاخ J. Zach في العام 1996 فقد اعتمدت على الخبرة الأساسية السابقة في مجال مصححات الزيغ، وبخاصة على عمل هارالد روز H. Rose من جامعة دارمشتات التقنية. وقد ركزت هذه الشركة على تقديم مصححات مبنيَّة على سداسي القطب إلى صانعي المجاهر الإلكترونية النافذة الموجودة الذين يقدم معظمهم الآن مصححات زيغ مع أفضل مجاهرهم.

وقد زادت المصححات التي طورتها الشركتان Nion وCEOS ميْز المجاهر الإلكترونية من نحو 0.2 إلى أفضل من 0.1 نانومتر خلال العقد الماضي. ولكن بما أن شيرتسر كان قد استنبط مبدأ المصححات المتعددة القطب في الأربعينيات من القرن الماضي، فلنا أن نتساءل لماذا استغرق الأمر هذا الوقت الطويل ليتحقق. ومرة أخرى يكمن السبب في الدقة المطلوبة لتشكيل الحزمة الإلكترونية تشكيلاً صحيحاً.

إذا لم تتراصف ثمانيات القطب التي تولد الزيغ الكروي السالب بشكل تام فسوف تنشأ زيوغ طفيلية يمكن أن تطغى على أية فائدة نحصل عليها من المصحح. فتراصف الحقول يجب أن يكون أفضل من 0.1 مكرومتر وهذا أصغر كثيراً من التسامح الميكانيكي الذي يمكن أن يستمر على كامل طول المصحح (الذي يبلغ عادة 10 إلى 20 سم). وكانت الشركتان Nion وCEOS قد أدركتا هذه المسألة

الشكل 2: تصحيح الزيغ



يمنع الزيغ الكروي في عدسة ما الأشعة من أن تلتقي كلها في النقطة المحرقية نفسها وهذا يسبب عدم وضوح الأخيلة. ويتناسب انحراف الشعاع (أو الإلكترون في حالة المجهر الإلكتروني) مع مكعب بعد الشعاع عن المحور البصري والانحراف هو دوماً في اتجاه هذا المحور (الشكل الأعلى). وبإمكان ثماني قطب كهرمغنطيسي (الشكل الأوسط) أن يصحح هذا وفق محورين متعامدين. لكن فيما بين هذين المنحيين تنحرف الإلكترونات باتجاه المحور البصري - ولذلك تضاف إلى الزيغ البصري في هذه الاتجاهات. وهذا يمكن أن يُصحَّح بتمرير الحزمة أولاً عبر رباعي قطب (الشكل الأسفل) يمطّ ويضغط الحزمة إلى "خط" لا يتأثر إلاّ بالحقل المتباعد المرغوب لثماني القطب. ولتصحيح الزيغ في الاتجاه العمودي، تمرر الحزمة الخارجة من ثماني القطب عبر تركيب من رباعي قطب وثماني قطب دائر بزاوية 90°.

منذ البداية وكان الحل هو إضافة حقول متعددة القطب مثل ثنائيات القطب بهدف توجيه الحزمة توجيهاً دقيقاً عبر المصحح. وبالفعل فإن مصحح الشركة Nion الرباعي والثماني القطب الذي ورد ذكره سابقاً يستخدم ما لا يقل عن 33 لفيفة windings ووحدة تغذية!

لك أن تتخيل الرعب الذي يصيب مستخدم المجهر الإلكتروني إذا رأى أمامه على لوحة المفاتيح 33 مفتاحاً إضافياً يجب أن يضبط كلاً منها بدقة لكي يستطيع الحصول على صورة عالية الميْز. وكان الحل لجعل هذه التقانة قابلة للاستخدام هو تطوير حواسيب صغيرة لكنها قادرة على تصحيح الزيوغ الطفيلية بصورة آلية، وهذا يشبه إلى حد بعيد استخدام البصريات التلاؤمية adaptive optics في الفلك. وبالفعل، فباعتبار المجهر الإلكتروني نفسه كان في أساس تطوير النبائط الإلكترونية التي أدت إلى هذه القدرة الحاسوبية، فإن هذا يعد حالة حقيقية من تقنيات ذات علاقة تكافلية.

مَيْز في الرؤية

بعد عقود من الشُّغْل أصبحت مصححات الزيوغ تمكن الباحثين الآن من كسر حاجز 1Å أنغستروم بصورة روتينية. ولكن لأي أغراض نستخدم كل هذه القدرة المجهرية، وهل هناك شيء يمكن رؤيته بالفعل عند هذا المقياس تحت الأنغستروميsub - angström scale؟ الجواب هو "نعم" ساحقة، حسبما يمكن توضيحه عبر بضعة تطبيقات حديثة.

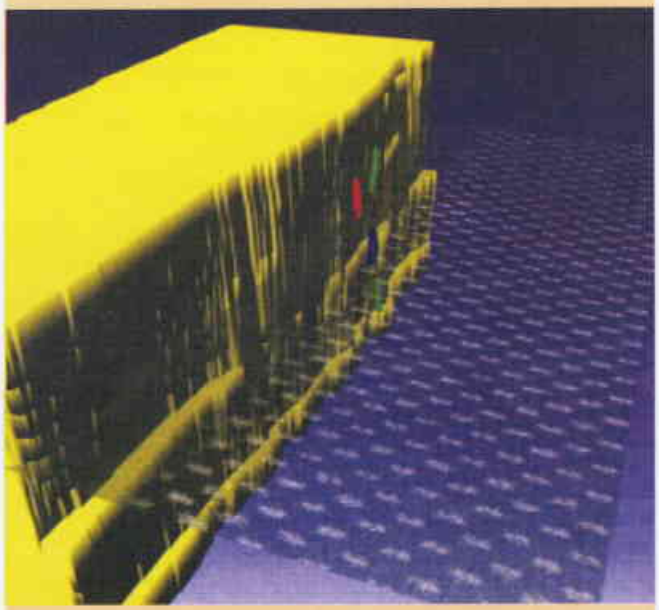
إن أحد المجالات التي كان للمجهرين الإلكترونيين النافذين (TEM وSTEM) تأثير كبير فيه يتمثّل في تحديد بنية العيوب والسطوح البينية في البلّورات. وتقدم المجاهر النافذة صوراً لمرتسم projection العينة، مما يعني أن الذرّات يمكن أن تبدو أقرب بعضها إلى بعض مما هي في واقع الأمر. وعلى سبيل المثال، كان من الممكن فقط على مدى سنوات طويلة تصوير الأعمدة الذرّية الإفرادية في السليسيوم حين تكون البلّورة موضوعة في الاتجاه [100] الذي يوازي حافة من حواف خليته المكعبة. وقد أدت التحسينات المستمرة في الميز إلى أن يمكن بحلول التسعينيات تمييز الأعمدة في الاتجاه [110] (الذي يشكل 45° مع الاتجاه [100]) أصبح من الممكن دراسة عيوب مثل حدود الحبيبات المتراصفة في هذا الاتجاه. وتستطيع الآن أحدث مجاهر STEM مَيْز جميع الأعمدة الذرّية في بلّورة السليسيوم في اتجاهات مركبة مثل الاتجاه [122] حين تكون المسافة بين الأعمدة صغيرة لا تتجاوز 78 بيكومتر.

وكذلك يساعد تصحيح الزيغ الكروي المجهريين في تصوير عناصر أخف (مثل الأكسجين والكربون) لا تبعثر الإلكترونات بشدة. والسبب في ذلك أن المجاهر TEM التقليدية العالية المَيْز تعتمد بشكل مهيمن على تباين الطور phase contrast الذي تبنى الصورة بواسطته من تغيرات في طور الإلكترونات لدى مرورها عبر العينة. ولكي "نرى" هذا الطور، الذي هو تظاهرة أخرى لطبيعة الإلكترونات الموجية، فإن عدسة المجهر TEM يجب أن تقدم تغيراً في طور الإلكترونات المتبعثرة أيضاً. وعلى سبيل المثال، تتيح لنا إمكانية إحداث زيغ كروي سالب في عدسة ما، زيادة في تباين الطور ومن ثم زيادة في وضوح الذرّات.

يزيد تصحيح الزيغ كذلك إمكان رؤية الذرّات الإفرادية وليس مجرد مرتسمات الأعمدة الذرّية في بلورة ما. فعلى سبيل المثال، إن إحدى الطرائق الشائعة في المجهر STEM هي رسم الخط البياني لعدد وقائع تبعثر الإلكترونات بزوايا كبيرة كتابع لموضع المسبر. وتجري هذه العمليات بصورة رئيسية عبر التآثرات مع نوى ذرات العينة، وهذا يجعلها حساسة جداً للعدد الذرّي لهذه الذرّات.

وعدا عن ذلك يمكن أن يساعد تصحيح الزيغ في تقديم معلومات ثلاثية البعد حول مواضع الذرّات لأنه يتيح استخدام حزم أكثر عرضاً في عدسة التصوير الرئيسية. وهذا يحسّن المَيْز الجانبي

الشكل 3: صور في العمق



يتيح فن المجاهر STEM المصححة الزيغ للباحثين بناء بروفيل لعينة ما عبر تصويرها عند أعماق مختلفة. تبين هذه الصورة كدساً كهرنافذياً من أكسيد الهافنيوم وأكسيد السليسيوم والسليسيوم من النوع المستخدم في صنع الترانزستورات الحديثة. ويظهر غشاء أكسيد الهافنيوم بلون أصفر وصورة واحدة لركازة السليسيوم تبين بنية السليسيوم الذرّية. أما ذرات الهافنيوم الإفرادية المشاهدة في الطبقة البينية من أكسيد السليسيوم فممثلة بأشكال ملونة تظهر الدرجة التي يمكن تكمين مواضعها في الأبعاد الثلاثة باستخدام مجهر STEM المصحّح الزيغ.

بينما ينقص عمق الحقل، الأمر الذي يشبه ما يفعله استخدام فتحة أكبر في آلة التصوير الفوتوغرافي، وبذلك يتيح لنا إجراء تقطيع بصري في المواد. فعلى سبيل المثال، استخدم مؤخراً كلاوس فانبثم وسيتف بنيكوك ومعاونوهما في مخبر أوك ريدج الوطني في الولايات المتحدة، هذه التقنية لإنتاج سلسلة من الصور في إعدادات محرقية مختلفة بهدف الحصول على معلومات حول عمق الذرّات في نبائط مثل الترانزستورات (الشكل 3).

من الواضح أن تصحيح الزيغ الكروي في المجاهر الإلكترونية النافذة يُؤتي أُكله لكن العديد من أعمدة المجاهر TEM المتاحة اليوم لم تكن أبداً مصممة لكي تستخدم في مثل هذا الميز العالي جداً وربما تكون محدودة بعدم استقرار ميكانيكي أو كهربائي. وقد وصف هذا الوضع بأنه يشبه تركيب محرك فراري في سيارة فورد إسكورت. ونتيجة لذلك فإن صانعي المجاهر TEM الرئيسين (FEI وZeiss وJEOL وHitachi وNion) يعملون على تحسين أعمدة مجاهرهم الحالية أو يطورون أعمدة جديدة كلياً يمكن تركيب مصححات الزيغ فيها.

لكن هناك أيضاً بالنسبة إلى المجاهر الإلكترونية ما يتعدّى الوصول إلى مَيْز يتزايد علوّاً وفي المدى الأبعد أظن أن تقانة تصحيح الزيغ سوف تؤدي إلى إمكانات تجريبية أخرى ستكون مثيرة هي الأخرى. فعلى سبيل المثال، فإن الفتحات الكبيرة التي يمكن الآن استخدامها في أدوات مجاهر STEM، تزيد التيار في المسبر المنير بمقدار عشر مرات أو أكثر وهذا يسرّع عملية التصوير، ومن المحتمل أن يتيح رصد العمليات الديناميكية في وقتها الحقيقي. وأكثر من ذلك، وبما أن زيوغ العدسات يزداد بازدياد البعد المحرقي في عدسة التصوير فإن الفاصل بين الأقطاب المغنطيسية في عدسة ما يجب أن يبقى دوماً أصغر المستطاع، وهذا يحد من الحيّز المتاح للتجارب. لكن تصحيح الزيغ يمكن أن يؤدي إلى هندسات جديدة للعدسات قد تحقق حلم فاينمان في مشاهدة البنى النانوية تتجمع ذرة فذرة.

الثورة التالية

يلتفت الباحثون بعد أن حققوا تصحيح الزيغ الكروي تحقيقاً مثيراً للإعجاب، إلى العامل التالي الذي يحد من مَيْز المجهر الإلكتروني وهو الزيغ اللوني Chromahic aberration. فالمدفع الإلكتروني، شأنه في ذلك شأن اختلاف الأطوال الموجية في الضوء المرئي، يولّد حزمة ذات طاقات منتشرة ويولّد بالتالي أطوالاً موجية إلكترونية مختلفة، وينشأ الزيغ اللوني من عدم إمكان تجميع كل الأطوال الموجية في الوقت نفسه، وهذا يؤدي إلى عدم وضوح آخر في الصورة.

تختلف درجة عدم الوضوح باختلاف نوع المدفع الإلكتروني المستخدم، لكن الزيغ اللوني بدأ يصبح ذا أهمية عند حدود الميز العالي جداً. ومع أن شيرتسر أشار أيضاً إلى طريقة لتصحيح الزيغ اللوني في أربعينيات القرن الماضي، فإن تطبيقها في المجهر الإلكتروني النافذ يبقى صعباً. ولكن من الأسهل تطبيقها في المجاهر الإلكترونية الماسحة التي تشتغل عند طاقات حزمة أدنى. وقد قدمت الشركة CEOS مصححاً مركباً للزيغين الكروي واللوني لهذه المجاهر، وهي تأخذ الآن بتطوير شكل آخر للمجاهر الإلكترونية النافذة. وهناك طريقة بديلة تستكشفها الشركة Nion وتتمثّل في إنقاص مدى الأطوال الموجية في الحزمة باعتماد تصميم دقيق للمدفع الإلكتروني.

من المؤكد أن السباق للوصول إلى ميز أفضل من خلال تصحيح الزيوغ ما يزال قائماً. ويتمثّل الهدف الآن، بعد أن كسر حاجز الأنغستروم، في الوصول إلى نصف الأنغستروم. وهذا يقابل نصف قطر بور لذرة الهدروجين. وبمجرد أن نصل إلى هذا المستوى يصبح كبر الذرّة نفسها – وليس المجهر – هو ما يحدّ من مَيْز المجهر الإلكتروني.

* المؤلف: بيتر نيليست: قسم الفيزياء، كلية ترينتي، دوبلين، أيرلندا.

- نشر هذا المقال في مجلة Physics World, November 2005.
وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

فطيرة في اليوم

هل حالة زيادة الوزن ضارة لصحتك، كما يُقال.

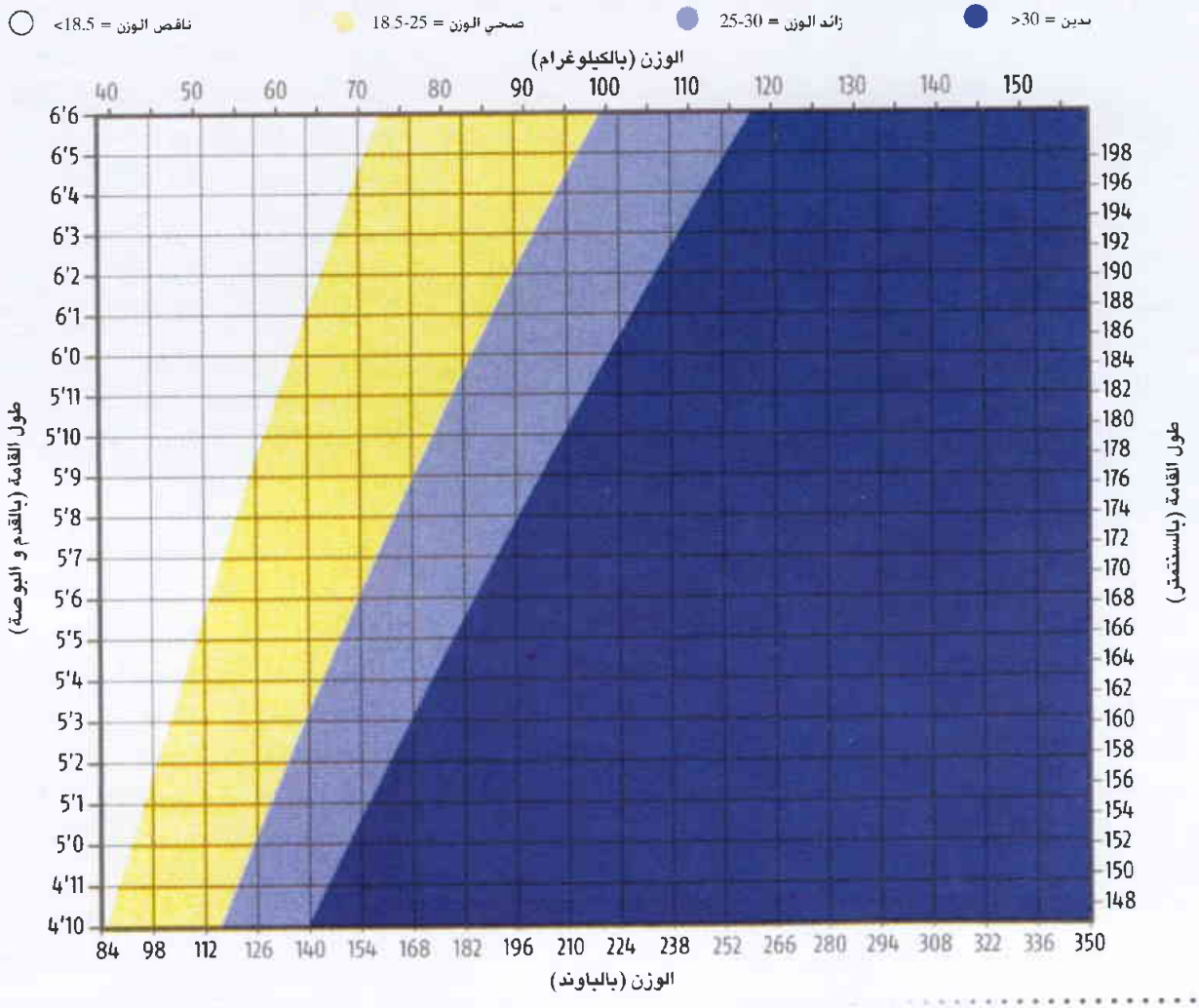
الكلمات المفتاحية:
فطيرة، سُمنة، زيادة وزن، صحة.

يقول أستاذ الطب في جامعة كاليفورنيا في سان فرنسيسكو، ستانتون غلانتس S. Glantz بشكل مرح: "أتمتع بقلب ممتاز وساقين قويتين، لكن ما تبقى من أعضائي فلا أمل فيه". وهذا البروفسور البالغ من العمر 59 عاماً يعتبر بعيداً عن البدانة الرسمية، ويدرك أنه في حالة ممتازة، إذ يقول: "عدت لتوي من رحلة لمسافة 350 ميلاً على الدراجة في جنوب غرب الولايات المتحدة". ويتنادر ضاحكاً بأن هذه الرحلة لابد أن تكون قد أحرقت بضعة أرطال؟ ويضيف قائلاً: "لم أفقد أي وزن، فقد كنت أتناول الأكل كخنزير، وكنت أشعر بالجوع طيلة الوقت".

تتوقع الحكمة الطبية المتداولة أن وزن غلانتس يعرّضه لخطر عدد من الأمراض، بدءاً من الفُصال العظمي والسرطان وانتهاءً بداء السكري، وفرط ضغط الدم ومرض القلب. لكنه واثق من أنه مادام يحافظ على وزنه مستقراً من خلال التمارين وتناول غذاء معقول، فإن المخاطر لن تصل إلى الخطورة المتوقعة تقريباً. وثمة أطباء كثيرون لا يوافقون على ذلك، لكن ميزان الدليل العلمي ربما يجنح إلى صالح توجهات غلانتس.

قرينة كتلة البدن

إذا أردت أن تحسب قرينة كتلة بدنك (BMI) قسّم وزنك بالكيلوغرامات على مربع طولك بالأمتار.
ويفترض أن يخبرك هذا الرقم مدى صحة وزنك.



وما من أحد يشك في أن الناس الذين يعيشون في الدول المتقدمة هم أكثر سمنة في المتوسط من الأجيال السابقة. لكن الادّعاء الشائع على نطاق واسع بأن وباء الترهّل هذا يعرّض حياة ملايين الناس للخطر هو الآن مثار الخلاف. ويدّعي بعض العلماء أن معظم التقديرات الإيحائية– التي تضع البدانة على قدم المساواة مع التدخين كخطر صحي عام– هي تقديرات مضخّمة بشكل كبير. وهم يجادلون كذلك بأن معظم الناس الذين يقعون في خانة "زيادة الوزن" بين السَّواء والبدانة هم أصحّاء تماماً. والأغرب من ذلك، أن هنالك دليلاً بأن توجيه النصح إلى هؤلاء الناس بالتزام الحمية قد يعرّض صحتهم فعلاً لخطر أكبر من خطر زيادة الوزن. وقد حان الوقت لإعادة وضع كتاب توجيهي حول ما يؤسِّس لوزن صحي.

تتمثل الطريقة المعيارية لقياس ما إذا كان الشخص ثقيل الوزن في تحديد قرينة كتلة الجسم body mass index (BMI) (انظر الشكل، في الأعلى) التي يجري حسابها بتقسيم وزن المرء على مربع طوله. فإذا كان حاصل القسمة أقل من 18.5 يكون الوزن أقل من المطلوب، وإذا تراوح بين 18.5 و 24.9 يكون الوزن عادياً، أما إذا كان يتراوح بين 25 و 29.9 فإن الوزن يكون زائداً، وإذا كان 30 وما فوق يكون الشخص بديناً.

واستناداً إلى هذه المسطرة، يكون أكثر من نصف البالغين في المملكة المتحدة زائدي الوزن وخُمْسهم بدينين. أما في الولايات المتحدة فإن ثلثي السكان أوزانهم عالية والثلث بدينون. ويوجد في العالم حوالي بليون شخص يعتبرون زائدي الوزن أو بدينين من بين مجموع سكان العالم البالغ 6.45 بليون نسمة.

إن قراءة مثل هذه الأرقام تسبِّب صدمة، لكن حتى وقت قريب كان من الصعوبة بمكان تقدير تأثير ذلك على الصحة العامة. وبالتأكيد، فإن حالة زيادة الوزن أو البدانة عُزيت إلى أنواع المشكلات الصحية جميعها، لكن ما مدى خطورة البدانة الزائدة؟

في شهر آذار من العام الماضي قدّم فريق، في مراكز مراقبة المرض والوقاية منه (CDC) في أتلانتا بولاية جورجيا، جواباً معقولاً. فقد ذكر

أن زيادة الوزن والبدانة كانتا تتسببان في 400000 وفاة قبل أوانها في العام في الولايات المتحدة لوحدها جاعلاً منهما السبب الثاني بعد التدخين (الذي يسبب 438000 وفاة) الذي يمكن تفاديه. وقد أقرت هذه المراكز بخطأ في الحساب وخفّضت التقدير إلى 325000، لكن هذا الرقم يتقزّم بقدر 85000 وفاة تعود إلى السبب الثالث الذي هو أكثر شيوعاً للوفاة قبل الأوان والمتمثل باستهلاك الكحول.

وحتى حينما كانت المراكز CDC تعمل على هذه الأرقام، أخذ بعض الخبراء مع ذلك يشككون في موضوع الإجماع حول تأثير البدانة على الصحة العامة. ففي شهر أيار من عام 2004 أصدر بول كامبوس P. Campos، وهو أستاذ بجامعة كولورادو في بولدر، كتاباً بعنوان أسطورة البدانة Obesity Myth جادل فيه أن ليس هناك من دليل صحيح على أن زيادة الوزن أو البدانة تمثلان بذاتهما خطراً صحياً.

وبعد ذلك بوقت قصير أخبر باحث لامع في مجال البدانة صحيفة نيويورك تايمز أن الانفجار الظاهر في البدانة في الولايات المتحدة لم يكن انفجاراً بادياً. إذ إن جيفري فريدمان J. Friedman من جامعة روكفلر في نيويورك (وهو الذي اكتشف في العام 1994 الجين المسؤول عن هرمون اللبتين leptin الكابح للشهية)، ذكر للصحيفة أن الهبّة الظاهرة في البدانة نجمت عن أن عدداً كبيراً من أناس كانوا أصلاً من ذوي الوزن الزائد تجاوزوا خط القسمة الكيفي ووصلوا مرحلة البدانة، وهذا ما قدم بحسب قوله رقماً بارزاً للزيادة في البدانة قدره 30%، لكن في الحقيقة فإن كل ما كان يحدث يتلخص في أن هؤلاء البدينين أصلاً كانوا يزدادون بدانة في حدود قليلة.

وبعد ذلك أصدرت مجموعة بحث أخرى في المراكز CDC في شهر نيسان من العام 2005 تقديراً بديلاً لعدد من الوفيات قبل الأوان بسبب حالة زيادة الوزن أو البدانة في الولايات المتحدة. وباستخدام بيانات أكثر حداثة، توصّل فريق بقيادة المتخصصة بالوبائيات كاثرين فليجال K. Flegal إلى تقدير عدد الوفيات الزائدة التي تسببها البدانة بمعدل وسطي قدره 112000 وفاة.

وإن هذا بحدّ ذاته لم يغير شيئاً- فالتقدير السابق، بعد كل ذلك، كان يخصّ البدانة وزيادة الوزن معاً. ولكن عندما نظر فريق فليجال إلى فئة الوزن الزائد، وجد أمراً مثيراً للدهشة. فحالة الوزن الزائد ارتبطت مع انخفاض في خطر الوفاة قبل الأوان- إذ قلّت الوفيات بمقدار 86094 سنوياً في هذه الفئة عما هي عليه في المدى الطبيعي (انظر المخطط في الصفحة التالية). بمعنى آخر، إن زيادة الوزن والبدانة معاً كانتا تسببان حوالي 325000 وفاة سنوياً. وجاء الرقم الصافي أقرب إلى 26000 حادثة وفاة.

لقد أثار هذا البحث عاصفة، إذ قال أحد الباحثين بأن ورقة فليجال العلمية كانت "هزيلة"، بينما امتدح باحث آخر دقتها الإحصائية الصارمة، وذكر لمجلة نيو سينتست أن ورقة CDC الأصلية التي كانت تقدر الوفيات بـ 400000 سنوياً هي "عمل تافه". فمنظّرو المؤامرة من كلا الطرفين كالوا الاتهامات بأن الطرف الآخر كان مأجوراً لجماعة ذات مصلحة مثل صناعة الأغذية أو صناعة أقوات الحمية.

واستجابة للجدل المثار، عقدت كلية هارفرد للصحة العامة على وجه السرعة ندوة حول البدانة ومعدل الوفيات. ومثّلت هذه الندوة فوزاً لوجهة النظر الأصولية. وهاجم متحدث بعد الآخر نتائج فليجال المعاكسة للمفهوم العام حول فئة الوزن الزائد واعتبر ذلك علامة على عدم الوثوق بها. وجادل معظم النقاد بأن المفعول الوقائي الظاهري لحالة الوزن الزائد هو ناتج مصطنع من كون فئة الوزن الزائد تشمل الكثير من المدخنين والناس المصابين بأمراض غير مشخّصة تسبب الهزال.

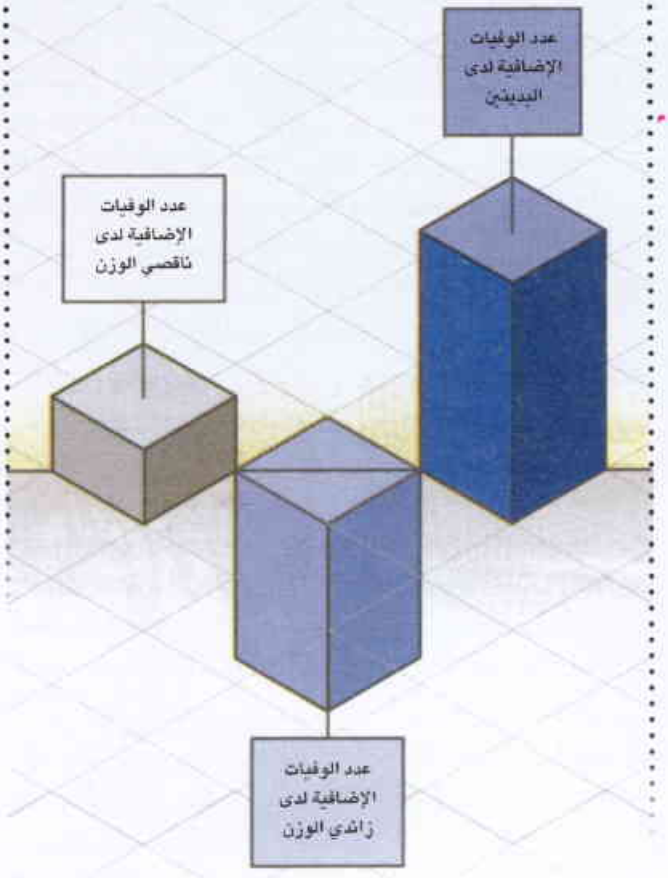
نتائج مدهشة

من المؤكد أن التدخين يعزّز فقدان الوزن ويترافق بلا شك مع حالات مميتة كثيرة. وثمّة بعض أمراض خطيرة كالنُّفاخ emphysema تسبب الهزال وقد تبقى غير مشخّصة لعدة سنوات. لذلك يبدو معقولاً افتراض أن يكون المدخنون والمرضى غير المشخصين قد تم تمثيلهم بشكل مفرط ضمن فئة الوزن الطبيعي. يقول وولتر ويليت W. Willet أستاذ الطب في جامعة هارفرد الذي ترأس الندوة: "إن الكثير من هؤلاء الناس لديهم أمراض ستفتك بهم".

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

هل يكون في صالحك زيادة وزنك

يقدّر فريق كاترين فليجال عدد من ماتوا من ناقصي الوزن وزائدي الوزن في الولايات المتحدة في العام 2000 بالمقارنة مع ذوي قرينة وزن البدن السويّة.



ولكن فليجال تصرّ على أن فريقها قطع أشواطاً كبيرة لإزالة الانحرافات الناجمة عن التدخين أو المرض. فعلى سبيل المثال، قام فريقها باستبعاد الوفيات التي حدثت في الأعوام الثلاثة الأولى بعد أن تمّ وزن المفحوصين وقياسهم، الأمر الذي يفسّر الكثير من تأثير المرض غير المشخّص. ويعتقد غلانتس أن المتخصصين بالوبائيات سيأخذون النتائج بشكل جدّي. إذ يقول: "أقوم بتدريس علم الإحصاء، وتعدّ تلك الورقة العلمية جزءاً ممتازاً من العمل، فهي بمثابة إثبات مدوٍّ وقد اطّلعت على انتقادات هارفرد وهي لا تعني لي شيئاً على الإطلاق".

وذهلت فليجال بنتائجها كأي شخص آخر، لكنها حينما قامت ببعض التمحيص، اكتشفت بضع دراسات أخرى لقرينة كتلة الجسم BMI والوفاة أبدت النموذج ذاته لدى أناس من فئة الوزن الزائد يكون احتمال موتهم أقل من احتمال موت الأشخاص البدينين أو ذوي الوزن "العادي". وثمة تحليل حديث، على سبيل المثال، جمع بيانات من 26 دراسة منفصلة ووجد أنه حتى بعد كبح التدخين، ارتبطت حالة الوزن الزائد بهبوط طفيف في خطر الوفاة بالمقارنة مع حالة الوزن العادي. وتقول فليجال: "مع أن الناس يعتقدون بوجود كل هذه الأدلة التي تبين نسبة الوفيات العالية التي ترافق زيادة الوزن، فإن الأدبيات في الواقع لا تبيّن ذلك".

يقول غلانتس: "إذا صحّ ذلك، فإن جميع دواعي القلق فيما يخص شريحة ضخمة من السكان حول وزنهم الزائد ستذهب أدراج الرياح، ولئن كان صحيحاً أن الأمر ليس مشكلة تافهة، فإننا ينبغي أن نركّز الآن على زيادة الوزن الشديدة". وهو يعتقد أن الأدلة التي أتت بها فليجال وآخرون تتطلب الآن تغييراً في المدى الصحي لقرينة كتلة الجسم BMI. ويضيف قائلاً: "إن التعريف الحالي لزيادة الوزن ليس مثل سرعة الضوء أو مثل (π). فما كان يعتبر وزناً عادياً مرغوباً به هو الآن وزن قليل جداً".

ولكن حتى لو صمدت نتائج فليجال، فلن يقبل كل الناس ضرورة تغيير تعليمات قرينة كتلة الجسم BMI. إنهم يشيرون إلى أن الهدف الأوحد لورقة فليجال العلمية قد تمثل في حساب زيادة الوفيات، وأن هذه الزيادة لا تسرد كامل القصة.

ستتلاشى تماماً جميع دواعي القلق هذه لدى شريحة ضخمة من السكان فيما يخصّ وزنهم الزائد

وثمّة مشكلة مع أرقام الوفيات تتمثل في أنها لم تأخذ بالحسبان طبيعة حياة الناس. ويقول س. جاي أولشانسكي S. Jay Olshansky، وهو أستاذ الوبائيات بجامعة إيلينوي في شيكاغو: "إذا كان الأمر الوحيد الذي تدقق فيه هو نسبة الوفيات فإنك تخطئ الصورة الكبيرة، فالأشخاص ذوو الوزن الزائد قد لا يموتون سريعاً، ولكنهم يواجهون مشاكل صحية خطيرة". وهنالك أدلة جيدة مثلاً على أن الإنجازات الطبية مثل عقاقير مقاومة فرط ضغط الدم وارتفاع الكولسترول تعمل على إبقاء الناس ذوي الوزن على قيد الحياة بأعداد متزايدة. لكن هذا لا يعني أنهم يعيشون حياة صحية وسعيدة. يقول أولشانسكي: "إن التلميح إلى أنه من المسموح به أن تكون زائد الوزن لأننا غدونا نجيد معالجة مضاعفات الوزن الزائد هو أمر يدعو للسخرية، إنه يشبه القول بأنه ليس ثمّة مشكلة في الإصابة بفيروس (HIV) لأننا غدونا نستطيع معالجة ذلك بشكل أفضل".

وثمّة مشكلة أخرى تتعلق بأرقام الوفيات وهي أنها يمكن أن تخفي المخاطر التي يواجهها شباب فرط البدانة وزيادة الوزن في هذه الأيام وهم يكبرون عمراً. ويُعدّ دافيد لودفيغ D. Ludwig، مدير برنامج البدانة في مشفى بوسطن للأطفال، من أوائل من أعطى بيّنة عن هذه المخاطر، فهو يقول بأن الأطفال ذوي الوزن الزائد والبدينين يكبرون في ظل شروط غير طبيعية "بصورة استثنائية" وبأن "الآثار المحتملة على صحة هذا الجيل من الأطفال على المدى البعيد مرعبة حقاً". وفي مطلع هذا العام تنبأ لودفيغ وأولشانسكي وزملاؤهما أن

البدانة وزيادة الوزن ستخفضان متوسط العمر المتوقع في الولايات المتحدة بمقدار يصل إلى خمس سنوات خلال هذا القرن.

إن الرعاية الطبية المعدَّلة قد تحمي حياة آلاف الناس من ذوي الوزن الزائد، ولكن هذا لا يفسّر سبب كون خطر الوفاة المبكرة في هذه الفئة يبدو أقل منه لدى الناس من فئة الوزن العادي. ويشير ويليت إلى أن ثمّة حفنة قليلة من الحالات توفر فيها الزيادة المعتدلة في الوزن لأصحابها تعرضاً أقل للوفاة – وهي الكسور العظمية في سن الشيخوخة وسرطان الثدي قبل سن الإياس. ويقول ويليت في هذا الشأن: "وباستثناء هاتين الحالتين لا يوجد مرض شائع تكون فيه زيادة الوزن مفيدة، بل توجد قائمة طويلة من الأمراض ذات تأثير عكسي على الصحة". ويزعم ويليت عدم وجود آلية بيولوجية وجيهة يمكنها جعل زيادة الوزن حالة مفيدة. وهذا، من وجهة نظره، لابد أن يكون المسمار الأخير في نعش ورقة فليجال العلمية.

ولكن يوجد لدى فليجال تفسير لذلك. فالسمنة الزائدة يمكن أن تكون أمراً سيئاً، لكن وزن الجسم البشري يتعدى مجرد الشحوم. فهنالك أيضاً "الكتلة العجفاء lean mass" – كالعضلات والعظام والأعضاء والنسج الضامّة. وما يمكن أن يكون قد تراءى لفليجال هو إضافة صحية من نسج عجفاء زائدة وليس من زيادة في الشحوم. إذ تقول: "أتساءل ما إذا كان ما نتعرّف عليه يعود إلى الكتلة العجفاء، ولكن هذا مجرد توقّع في هذه المرحلة".

ويدّعي آخرون أن كل ماتفعله هذه الدراسة يتمثل في توضيح مواطن الضعف في قرينة كتلة الجسم BMI. وبالاستناد إلى قرينة كتلة الجسم منفردة، يُعدّ كل من براد بيت B. Pitt والمولع باللياقة fitness، جورج دبليو بوش من ذوي الوزن الزائد. ويقول هاوارد ستريكلر H. Strickler، وهو متخصص بالوبائيات في كلية ألبرت أينشتاين للطب في نيويورك: "إنه لمقياس فجّ ذاك الذي يتقيد بحدود معلومة تماماً، فالعضلة تزن أكثر من الدهن، وبذلك يكون لدى اللاعب الرياضي الصحي قرينة كتلة جسم مرتفعة مع أنه يتمتع بلياقة تامة فعلياً". إنه يعتقد أن نسبة الوفيات الناقصة التي نراها في فئة الوزن الزائد قد تبدي الفوائد الصحية لكون المرء سليماً وعضلاتياً.

لكن حتى هذا الشرح لم يقدم جواباً كاملاً. فهنالك بالتأكيد العديد من أصحاب اللياقة الجسمية في فئة الوزن العادي، إن لم يكونوا أكثر من ذلك. فكيف تكون نسبة الوفيات الإجمالية أعلى قليلاً في هذه الزمرة منها في زمرة الوزن الزائد؟ والجواب قد لا يكمن في مستويات الكتلة العجفاء بمفردها، وإنما بالتأثير المذهل على صحة الناس حينما يفتقرون إليها.

في شهر حزيران/يونيو من العام الفائت أجرى باحثون في الدانمارك وفنلندا دراسة اقترحوا فيها أن الناس الذين يفلحون في إنقاص وزنهم يمكن أن يزيدوا من مخاطر وفاتهم قبل الأوان. ومن المعروف جيداً أنه عندما ينقص الناس أوزانهم من خلال تقليل كمية طعامهم، يخسرون أنسجة عجفاء مثلما يخسرون الشحوم. وقد يكون لخسارة الكتلة العجفاء ثمن يوازي فوائد نقصان السمنة.

لقد أجال ثوركليد سيرنسن T. Sørensen من مستشفى جامعة كوبنهاغن وزملاؤه النظر في بيانات مأخوذة من دراسة Twin Cohort الفنلندية التي عبأ فيها متطوعون استبيانات حول صحتهم ونمط حياتهم في العام 1975 أولاً ثم في العام 1981 ثانياً. وتضمنت هذه الاستبيانات أسئلة حول الطول والوزن والدوافع لإنقاص الوزن. وحتى بعد حصر التدخين واستبعاد كل شخص مصاب بمرض مزمن يمكن أن يؤدي إلى نقصان الوزن، وجد سيرنسن أن الناس البدينين أو ذوي الوزن الزائد الذين لجؤوا إلى إنقاص وزنهم في العام 1975 ونجحوا في ذلك زاد بمقدار المثلين احتمال وفاتهم بحلول العام 1999 بالمقارنة مع أولئك الذين لم تكن لديهم الرغبة بإنقاص وزنهم وأبقوه على حاله.

لم يتيقّن سيرنسن من سببية تحمّل نقصان مسؤولية هذه المخاطرة الإضافية، لكنه يتوقع أن يكون لهذا النقصان علاقة بنقصان النسج العجفاء. وهو يشير إلى عدة دراسات تبيّن أنه كلما انخفضت كتلة النسج العجفاء باعتبارها تشكل نسبة الكتلة الإجمالية للجسم يزداد خطر الوفاة. ويقول: "لسبب ما يكون من الخطر نوعاً ما أن تمتلك كتلة جسم عجفاء ناقصة الوزن أو آخذة بالتناقص، ولكن السؤال حول لماذا يحدث ذلك يبقى غير واضح".

لقد كانت دراسته صغيرة نسبياً – حيث كان عدد المفحوصين 2957 شخصاً– ومن المبكر القفز إلى الاستنتاجات. فهو يقول: "لا أود أن أقول بالاستناد إلى بحثنا إنه ينبغي على كل امرئ أن يمتنع عن محاولة إنقاص وزنه".

ولحسن الحظ، هنالك الكثير من الأبحاث تبيّن أن إنقاص الوزن بواسطة الرياضة يفيد في الحفاظ على الكتلة العجفاء أو زيادتها. ويشير لودفيغ إلى دليل مبكر من دراسات أجريت على الحيوانات يتمثل في أن الحميات diets التي تحذف الكربوهيدرات المشذّبة (كالخبز الأبيض) يمكن أن تخفض الشحوم في حين تحافظ على الكتلة العجفاء. ويقول في هذا الصدد: "ليس هنالك سبب يضطر أن يكون لجميع الحميات نفس المفعول على الكتلة العجفاء وكتلة الشحم".

سيكون لكل هذا وقعٌ موسيقي على أذني ستانتون غلانتس الذي تخلى عن المشروبات الرطبة السكرية قبل سنوات. إذ إن قرينة كتلة الجسم لديه يمكن أن تقول أنه عند حافة البدانة، ولكنه يدرك إنه يملك مقداراً وافراً من الكتلة العجفاء وكذلك قلباً قوياً. ويقول: "إن هذا أهم كثيراً من مظهرك". فإذا كان لأعمال فليجال أن تحظى بالثقة، فإن هذه الأعمال تستطيع أن تتطلع إلى حياة صحية ومديدة.

- المؤلف: ج . كينغزلاند .
- نشر هذا المقال في مجلة NewScientist, 26 November 2005.

وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

هجرة الطيور تهدد بإرسال إنفلونزا الطيور نحو الجنوب

يخشى الباحثون أن تكون المحطة القادمة لفيروس إنفلونزا الطيور هي أفريقيا التي تعتمد على الدواجن، مما يعني أن العواقب يمكن أن تكون أسوأ منها في جنوب شرق آسيا.

الطيور المهاجرة يمكن أن توسع الانتشار الجغرافي لفيروس إنفلونزا الطيور وصولاً إلى إفريقيا في هذا العام

حذّرت منظمة الأغذية والزراعة FAO التابعة للأمم المتحدة في الأسبوع الفائت من أنه من المتوقع أن تحمل الطيور فيروس إنفلونزا الطيور القاتل H5N1 إلى الشرق الأوسط وشرق إفريقيا في غضون أسابيع.

ويتزايد القلق من كون غَوْر Rift Valley شرق إفريقيا في خطر بصورة خاصة. وقد أبلغ الباحثون مجلة نيتشر أن الفيروس إذا وصل إلى بحيرات هذه المنطقة، يمكن أن تكون العواقب الصحية والاقتصادية أسوأ منها في جنوب شرق آسيا، حيث يُعدُّ الفيروس مستوطناً في مناطق عديدة.

يقول وارد هاغيمايير W. Hageimeijer، من منظمة حماية الأراضي الرطبة الدولية في واختنجن بهولندا: "نتوقع أن تكون الخطوة القادمة التي يتخذها الفيروس هي الدخول إلى إفريقيا لأنها تقع على طريق الهجرة الرئيسة للطيور. فالطيور الأولى هي الآن في شرق إفريقيا". وعلى حدِّ تعبيره، ليس ثمة دليل قاطع على أن الطيور المهاجرة تحمل المرض، لكن نمط انتشار الفيروس يشير بقوة إلى سفر البط البري باتجاه الجنوب الغربي انطلاقاً من شمال روسيا نحو شرق إفريقيا.

لقد حدثت تفشيات للمرض مؤخراً على طول الطريق بين رومانيا وتركيا. حيث يبدو أنه قد تمّت السيطرة على هذه التفشيات من خلال أوامر القضاء عليها أو الحجر الصحي. لكن الهجرة الآن هي في ذروة النشاط، وقد عبرت بعض الطيور الشرق الأوسط ووصلت إلى غور شرق أفريقيا. وبذلت الدول في الشرق الأوسط جهوداً للتخطيط لمواجهة تفشيات محتملة للمرض، وأخذ بعضها يرصد الطيور المهاجرة، لكن ما تزال الاستجابة ضعيفة في بلدان شرق إفريقيا الأكثر تأثُّراً بمثل هذه التفشيات، مما يعني أن الفيروس، إذا وصل هناك، سرعان ما قد يصبح مستوطناً.

يقول هاغيمايير: "سيكون الواقع في

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

إفريقيا مختلفاً إلى حدٍّ مأساوي عنه في أوربا" فالتجمعات الريفية حول بحيرات غور شرق أفريقيا تعتمد بكثافة في بُقْياها على الدواجن، وتعيش في تماس مباشر مع الطيور المهاجرة والمستأنسة على السواء.

لقد ذكر المسؤول البيطري الرئيسي في منظمة الأغذية والزراعة، جوزيف دومينيتش J. Domenech، في التاسع عشر من تشرين الأول عام 2005 أنه ينبغي تقديم معونة دولية للدول الإفريقية من أجل تقصي الفيروس والتحكّم بتفشيّه. كما حذّر من أنه إذا ما أصبح الفيروس مستوطناً في إفريقيا، فستزداد فرص تطفّره mutating للانتشار بين البشر ليطلق وباءً على سبيل الاحتمال.

لكن التهديد الأقرب يتمثل بالخسارة الاقتصادية التي ستنجم إذا ما نفقت أعداد كبيرة من الدواجن بسبب المرض أو كان ينبغي ذبحها. إذ يقول لي بروكنهاغن L. Brokenhagen، مدير التنمية المستدامة في مؤسسة Oxfam في بريطانيا: "سيكون لخسارة الدواجن تأثير مدمّر على سبل العيش في المنطقة، وستتأثر النساء بوجه خاص لأن الدواجن تمثل الممتلكات الوحيدة التي يستطعن اقتناءَها.

ويوافق على ذلك تادل ديزي T. Dessie، وهو باحث دواجن في معهد أبحاث المواشي الدولي في أديس أبابا/أثيوبيا. وفي مطلع هذا العام سافر إلى فيتنام حيث لاقى أكثر من 40 شخصاً حتفه بفيروس H5N1، وقضى وقتاً يعمل مع الخبراء لاحتواء الفيروس ووَضعِ منظومات لاستكشافه مبكراً. ويحذر قائلاً: "إن الوضع في إفريقيا يمكن أن يكون أسوأ".

وثمة قلق حتى الآن حول عدم كفاية تقصّي إنفلونزا الطيور في هذه المنطقة. إذ يقول هاغيماير: "نحن بحاجة إلى رفع درجة الوعي بالأخطار. فالخبراء يلمون بها ولكن لا يوجد تنسيق أوسع" وها هو يتنقل حالياً في إفريقيا كجزء من جهود تبذلها وتلاندس الدولية لتأسيس شبكة بشرية ترصد الطيور المائية بحثاً عن علامات للمرض.

هناك قلة من البلدان في المنطقة التي لديها أجهزة منصوبة في أماكن مناسبة لاختبار فيروس H5N1. وربما تتعرقل الجهود المبذولة للتحكم في تفشي الفيروس بفعل صعوبة التضاريس في التجمعات النائية حول بحيرات هذه المنطقة، وكذلك بفعل انخفاض مستوى الثقافة في المنطقة. ويقول بروكنهاغن: إن تقديرنا لغور شرق أفريقيا يفيد بأن معدّلات القراءة والكتابة تقع ما بين 10% و 40% مع كونها لدى النساء في الحدود الدنيا، ويشار إلى أن تلك المعدّلات أدنى بكثير مما هي عليه في بلدان أخرى كفيتنام، لذلك سيكون من الصعب على الناس هناك أن يستوعبوا نوع المعلومات التي سيكون من الضروري تقديمها لهم".

يقول ديزي إن محاولاته لجعل الحكومة الأثيوبية تعترف بالمشكلة لم تنجح حتى الآن لكنه يأمل أن يفضي تحذير منظمة الأغذية والزراعة العالمية إلى نتيجة.

واستجابة لبيان دومينيتش، فرضت كينيا والسودان وتنزانيا قيوداً على استيراد الدواجن، ويقول المسؤولون التنزانيون في مجال المواشي إنهم يحثون الناس في مناطق الأراضي الرطبة على استبعاد الدواجن عن الطيور البرية. وستجتمع الدول الإفريقية الشرقية الشهر القادم في رواندا لوضع استراتيجية إقليمية لمعالجة تهديد فيروس إنفلونزا الطيور.

علماء الطيور في خط الجبهة

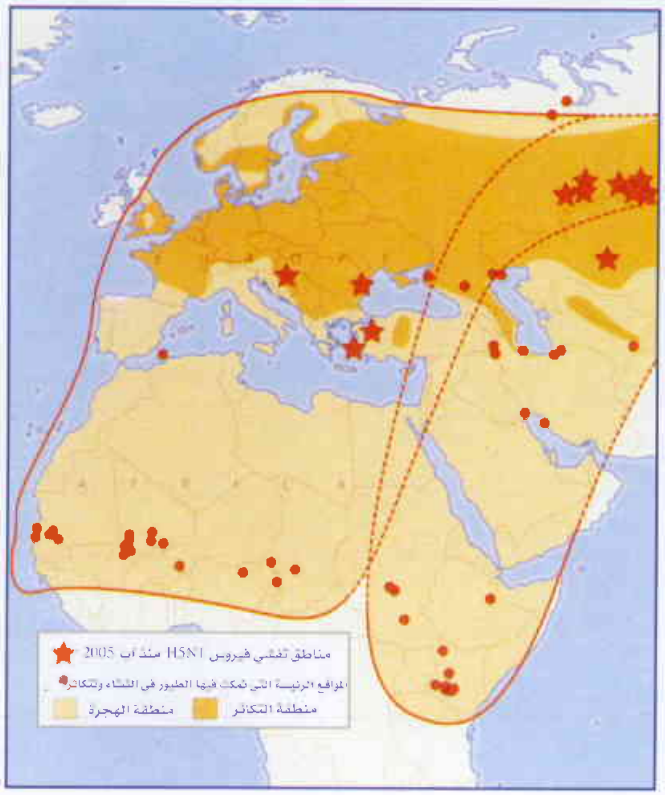
أقلعت طيور الإوز من بحيرة في ريف فرنسا في بداية فلم جاك بيري لعام 2001 الهجرة المجنحة Winged Migration الذي يتتبّع الطيور حتى عودتها في الربيع التالي. وقد تتبّع بيري عشرات الأنواع من الطيور عبر كل قارة، لمعرفة المقياس النسبي الكبير لظاهرة الهجرة.

والطيور المهاجرة هي الآن قيد التتبّع ثانية، لكن بسبب الاشتباه بنشرها لفيروس إنفلونزا الطيور في هذه المرة. بيد أن دور الطيور البرية في ذلك هو مثار خلاف، ويتعجل علماء الطيور الاستدلال بأن اتجاه وتوقيت انتشار الإنفلونزا في حالات عديدة يتناقض مع ما هو معروف عن مسارات الهجرة. لكن بعد التفشي الأخير لسلالة فيروس H5N1 في الطيور البرية في رومانيا وتركيا واليونان، أصبح لدى الخبراء شك ضعيف بأن الطيور المهاجرة كانت تحمله من صربيا وكازاخستان ومنغوليا التي انتشر فيها فيروس H5N1 في وقت مبكر من هذا العام.

أما القلق الآن فيكمن في أن الطيور المتجهة من الشمال إلى المناطق الجنوبية لقضاء الشتاء ستوسع بشكل كبير نطاق فيروس H5N1 – وأن عودتها في الربيع ستجلب موجة جديدة من الفيروس إلى الشمال. وتريد الحكومات يائسةً أن تعرف متى وأين تكون حوادث التفشي القادمة محتملة. لذلك كان علماء الطيور وما يزالون في بؤرة الحدث. وأصبحت مواقع الأراضي الرطبة عبر العالم خط الجبهة الجديد ضد إنفلونزا الطيور.

يصوِّر علماء الطيور مجازات الهجرة كمسالك طيران مرسومة على خرائط واضعين أماكن التكاثر في طرف وأماكن قضاء فصل الشتاء في الطرف الآخر، وفيما بينهما الساحات التي تطير فوقها الطيور للانتقال من طرف إلى طرف (انظر الخريطة). وتضمُّ مسالك طرقات الطيران في حزمة واحدة مسارات عشرات الأنواع التي تنبئ عنها الدراسات وتعطي صورة عامة عن المكان الذي يمكن أن تقصده الطيور المصابة.

يقول جان فين J. Veen، وهو خبير في مسارات الهجرة السيبيرية في مؤسسة الأراضي الرطبة الدولية، أن العديد من الطيور تطير من سيبيريا إلى أوربا لكن



الهجرة الجماعية: تبين الخطوط الحمراء مسالك طيران البط الغارغاني، وهي أنواع تحمل خطراً كبيراً في نشر فيروس H5N1. فالطيور تتكاثر في الشمال صيفاً (البرتقالي الغامق) ومن ثم تطير باتجاه الجنوب لقضاء الشتاء.

الطريق الرئيسي هو باتجاه جنوب غرب آسيا وشرق إفريقيا. وهنالك مسلكان آخران كبيران لطيران الطيور يربطان سيبيريا بشبه القارة الهندية كما يوجد طريق آخر يذهب إلى البحر الأسود وشمال وشرق إفريقيا. وحسب رأي فين Veen، يبدو أن التفشّيات الحديثة للمرض في أوربا تسير طول مسلك طيران الطيور الأخير هذا، الأمر الذي يوحي بأن البلدان الواقعة على طول هذا المسار تقع في دائرة الخطر.

ويمكن أن تساعد مسالك طيران الطيور لذلك في إظهار أين تعبر الأنواع المختلفة الممرات وأين يمكن أن تعدي طيور أحد المسالك طيور المسلك الآخر. وتحتل أنواع البط والإوز والتم (الإوز العراقي) اهتماماً خاصاً طالما أن هذه الطيور تكون على تماس مع الإنسان أكثر من طيور المخوّض waders والكركي cranes. إذ إنها ناقلات شائعة للإنفلونزا بحيث تصل نسبة الطيور المصابة إلى 20%.

ولكن من أجل تقييم دقيق للمخاطر لابد أن يدرس الباحثون مسارات أنواع فرادى وحتى جماعات فرادى من هذه الأنواع، وأن يأخذوا بالحسبان مجموعة عوامل أخرى كعلم فيروسات الطيور.

وحتى الآن لم يتم تمويل هذا المجال بالشكل المطلوب، والمعلومات ناقصة بشكل خطير. يقول جاك كلارك J. Clarke، رئيس وحدة الاتصالات في شركة برتش تراست للأورنيتولوجيا، إن قواعد البيانات الواسعة، لبيانات الاتصال التي تغطي القرن الماضي يمكن أن تقدم معلومات أكثر دقة، لكن تشحّ الأموال اللازمة لتحليلها.

وثمة طريقة عالية التقانة لاقتفاء الهجرة تستخدم رصد الطيور بسائل ذي هوائيات تخصُّ منظومة عالمية للتموضع (GPS). ويقول ديرك ديركسن D. Derksen، رئيس فرع إيكولوجيا الأراضي الرطبة واليابسة في مركز الاسكا للعلوم، إنه يمكن تتبُّع الطيور في الزمن الصحيح وعلى مرمى أمتار قليلة فقط على المحور بين المسلك الأوربي الأسيوي والمسلك الأمريكي الشمالي للطيور.

وحتى وقت قريب، فإن ثقل هوائيات GPS قيّد استخدامها فيما يخص الطيور الكبيرة كطائر التمّ. ولكن النمنمة تسمح الآن برصد الطيور الأصغر، ولكن تبقى هذه التقنية باهظة التكاليف. ويعمل مركز الاسكا للعلوم أيضاً مع القوى الجوية الأمريكية على تقنية أخرى وهي الحصول على معلومات تفصيلية حول حركة أسراب الطيور من بيانات الرادار.

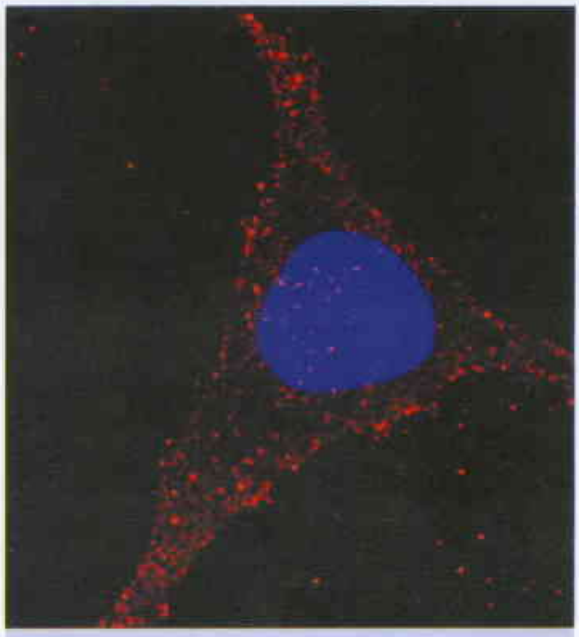
ومع ذلك يتعجل العلماء فهم دور الطيور المهاجرة في نشر فيروس إنفلونزا الطيور، فهؤلاء الذين يراقبون الطيور الطائرة من أوربا إلى إفريقيا يخشون أن تكون عملية الهجرة تلك قد بدأت فعلاً. ويقول أشيليز بايروهانغا A. Bayruhanga، المسؤول التنفيذي في أوغندا الطبيعية، إن بحيرة فكتوريا تستقبل أعداداً هائلة من الطيور المهاجرة من شرق أوربا وصربيا، مع مليونين تقريباً من طيور الحرشنة terns ذات الأجنحة البيضاء يتوقع لها أن تصل إلى ملاذها في سبخة خليج Letembe.

ويقوم بايروهانغا برصد الهجرة لأغراض الحماية – وهذا العام، سيعمل أيضاً على تقصّي الطيور النافقة. لكن أوغندا لا تمتلك، على حدّ تعبيره، منظومة جاهزة لرصد الطيور بحثاً عن فيروس H5N1.

نشر هذا الخبر في مجلة *Nature, 27 October 2005*.

هل تستطيع الفيزياء تعجيل تقدُّم البيولوجيا

تستطيع التقنيات التي يطورها الفيزيائيون أن تيسِّر الأمور في مختبرات البيولوجيا، ولكن علماء الحياة ما يزالون بحاجة إلى الاقتناع.



جمال الفيزياء: خلية موسومة بنقطة كمومية

في السنوات الحالية، أتاح عدد من التقنيّات لعلماء الحياة أن يفحصوا عيّنات بيولوجية يزداد صغرها أكثر فأكثر بمعدّل غير مسبوق. ونذكر من هذه التقنيات بشكل رئيس تفاعل البوليميراز السلسلي polyme rase chain reaction (PCR)، الذي يضاعف الكميّات الضئيلة للمادة الجينية حتى تصل إلى مقدار يكفي لتحليلها. وقد أحدث التفاعل PCR هذا ثورة في اكتشاف العقاقير والاستقصاء الجينومي والطب التشخيصي، في حين حصل مبتكر هذه التقنية، كاري موللييس K. Mullis على جائزة نوبل للكيمياء في العام 1993 مشاركة.

بيد أن بعض الفيزيائيين يظنُّون أنهم يستطيعون فعل ما هو أفضل. إنهم يعتقدون أنه يمكن استخدام تشكيلة منوعة من التقنيات المبنيّة على الفيزياء لإجراء تجارب في البيولوجيا أكثر سرعة ودقة. ولكن يجب عليهم أولاً تسويق مزايا هذه التقنيّات للبيولوجيين الذين ينوعون أصلاً بحمل ثقيل من المعلومات.

رؤية الضوء

يعمل عدد من الفيزيائيين على تحسين تقانات التحليل الحيوي المتَّبعة. ويتضمن الفحص المجهري بالتألُّق fluorescence microscopy على سبيل المثال تحديد موضع بروتينات معيّنة عن طريق وسمها بجزيئات عضوية تُعرف باسم حاملات التألّق flu- rophores، علماً أن هذه الأخيرة تصدر ضوءاً ملوّناً حينما تستثار بواسطة منبع ضوئي. وتستعمل هذه التقنية غير الباضعة noninvasive لغرض التصوير العالي الميز للمتعضيات الحية على نطاق واسع.

يعتقد جيوتي جيسوال J. Jaiswal وزملاؤه في جامعة روكفلر بنيويورك أن البلورات النانوية المتألقة غير العضوية، التي تعرف باسم النقط الكمومية quantum dots، تستطيع أن توفر إشارة أقوى مما توفره حاملات التألق العضوية، وأنها أقل احتمالاً أن تضمحلّ أثناء المشاهدات الطويلة الأمد. وقد بيَّن جيسوال ومعاونوه أن النقط الكمومية المتفلورة المتاحة تجارياً يمكن أن تستخدم في تصوير الخلايا الحية، ولكن ما يزال عليها أن تبيّن مدى ملاءمة

هذه التقنية لتطبيقات نوعية وأن تُقدِّر متانة البلورات النانوية المختلفة.

في هذه الأثناء، طوّر كلود وايزبوخ C. Weisbch من مدرسة البولتكنيك في باريس وجامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا ما سمي جهاز "أمبليسلايد AmpliSlide" وهو نمط جديد من الشريحة المجهرية للاستخدام في مجهر التألّق. ويقول وايزبوخ: "إنني باستمراعي إلى أحاديث البيولوجيين حول الشيبات الحيوية biochips والمحسّات ذات الأساس السائل fluid-based sensors، أرعبني التصميم الضوئي لهذه المنظومات". فجهاز الأمبليسلايد يحتوي على غشاء coating رقيق يعكس الضوء الذي لولاه لضاع داخل الشريحة، ثم يُضخّم هذا الضوء عن طريق السماح للحزم المرتدة بأن يتداخل بعضها مع بعض بشكل بنّاء. ونشير إلى أن وايزبوخ أنشأ شركة لصنع هذه الشرائح الجديدة وبيعها تسمى جينويف Genewave.

نقاط القوة والضعف

ثمة بديل جذري للفحص المجهري التألّقي يقوم الآن بتطويره جوزيف كاس J. Kas ومعاونوه في جامعة لايبزيغ/ألمانيا. ويقيس هذا الجهاز المؤتمت بشكل كامل مرونة elasticity حجيرة الخلية (بمعنى السقالة الداخلية internal scaffold للخلية)، ويستطيع على سبيل المثال تحديد هوية الخلايا السرطانية لكونها ذات حجيرات ضعيفة. ويستخدم كاس لهذا الغرض حزمتين ليزريتين متقابلتين من أجل شدّ الخلية. ويكتسب هذان الليزران اندفاعاً momentum حين دخولهما الخلية، فيسبّبان "هزّة kick" إلى الوراء، ثم يفقدان ذلك الاندفاع لدى خروجهما من الخلية، فيسببان لها هزّة إلى الأمام.

وطبقاً لرأي كاس يمكن استخدام قياسات مرونة الخلية هذه المعتمدة على الليزر للتمييز بين الخلايا بدرجة كبيرة من الدقة تفوق بكثير تقنيات الوسم التقليدية. فعلى سبيل المثال، فإن هذا المشدّ الخلوي cell stretcher سيكون قادراً على تحديد التراكيز القليلة للخلايا السرطانية في مجرى الدم، وبالتالي تستطيع اكتشاف انتشار الخباثة في مرحلة مبكرة، الأمر الذي قد يقود إلى معالجات أكثر فعالية.

ثمة فيزيائي آخر، اسمه جون هسارد J. Hassard (من إمبريال كوليج في لندن)، يعتقد أن البيولوجيين ينبغي أن يلغوا اعتمادهم على الواسمات الجزيئية molecular labels. فبدلاً من دمغ الجزيئات الحيوية بواسمات ثم تصوير هذه الواسمات، قد يكون من الأفضل لهم تصوير الجزيئات الحيوية المستهدفة نفسها. ويدّعي هسارد قائلاً: إنك تستطيع زيادة الحساسية بقدر ما، عبر إدخالك مزيداً من الفوتونات في المنظومة".

ويجادل هسارد، الذي يُعدّ عضواً في فريق فيزياء الجسيمات particle-physics بالإمبريال كوليج، بأن التقنيات الحاسوبية الخاصة بموضوعه يمكن استخدامها لحل مسائل طبية حيوية. ويقول في هذا الصدد إنه متلما ينبغي على الفيزيائيين الذين يبحثون عن الجسيمات الأساسية fundamental particles ربط الإشارات المعقدة جداً بالتنبؤات النظرية كذلك، فإن العديد من البيولوجيين يصرفون أوقاتهم في فحص الارتباطات بين البروتينات المختلفة الموجودة في عيّنات الدنا DNA وعلاقاتها الممكنة مع مرض ما.

وقد كيّف هسارد إحدى تقنيات فيزياء الجسيمات للقيام بعملية سَلْسَلة sequencing الدنا على نحو أكثر سرعة وأرخص كلفة من الأجهزة القائمة حالياً والتي تعتمد على الواسمات الجزيئية. وكذلك طوّر فريقه جهاز رحلان كهربائي معتمد على شبيبة chip-based electrophoresis لغرض تحديد هوية البروتينات ومعرفة كمياتها وذلك باستخدام القوى الشَّعرية capillary forces. ويقول هسارد أن لهذه التقنية إمكانية الحلول محل أجهزة الرحلان الكهربائي بالهلامة gel electrophoresis والتي تستخدم حالياً لفصل الجزيئات الحيوية ذات الشحنات الكهربائية.

وكذلك يهتم روبرت أوستن R. Austin (من جامعة برنستون) بطرائق بديلة لفصل وتحليل العيّنات البيولوجية. وهو يعتقد على وجه الخصوص أن التقنيات المعتمدة على الفيزياء تستطيع أن تزيل تماماً الحاجة إلى تضخيم العيّنات باستخدام التفاعل PCR. كما وتستطيع تمهيد الطريق لتحليل خلية واحدة. ويقول في هذا الصدد "ثمة شيء تعلمته عن السرطان ويتمثل في أن كل خلية تختلف عن غيرها. وكثيراً ما ترغب من جانبك في تحليل خلية واحدة وليس 10^8 خلية".

يهتم أوستن بتطبيق تقنيات الطباعة الحجرية lithography من صناعة أنصاف النواقل إلى البيولوجيا. فقد أظهر أن "المتاهات mazes" المكروية الحجم والمنقوشة على رقاقات من السليكون تستطيع محاكاة طوبوغرافيا الهلامات التي تُستخدم حالياً لفصل صبغيات (كروموزومات) فرادى من قطعة من الدنا. وكذلك فهو يدرس استخدام قُنيّات نانومترية القطر لشدّ قطع من الدنا بقصد زيادة إمكانية رؤيتها. وسيفيد هذا الأمر في دراسة البروتينات المعروفة باسم "عوامل الانتساخ transcription factors" التي ترتبط بالدنا.

نقل التقانة

يمكن أن يكون لتطبيق هذه الأفكار، وغيرها مما هو شبيه بها، وَقْع رائع في البحوث الجينومية وفي اكتشاف الأدوية. بيد أن التقدّم في هذا المضمار يعتمد على إرادة العلماء الحيويين bioscientists في استخدام التقانات الجديدة. ويقول كاس "إن علماء الخلايا منفتحون جداً على الفيزياء الحيوية" ولكن الباحثين في المجالات الأخرى هم أقل تقبُّلاً منهم.

وهناك أيضاً مشكلة جعل التقانة متاحة في المقام الأول. إذ يسهل على شركة راسخة في العلوم الحيوية أن تطرح في الأسواق منتجات جديدة ولكن يصعب الأمر على شركة ناشئة لم يسمع بها أحد. بيد أن الشركات ذات

سيعتمد التقدُّم على
إرادة علماء الحياة في
استخدام التقنيات الجديدة.

النصيب الرئيس في المنتجات الراهنة قد تتردد في استثمار الأموال في تقنيات جديدة مبنية على الفيزياء.

فعلى سبيل المثال، يهيمن على سوق سَلْسَلة الدنا DNA sequencing شركتان متعددتا الجنسيات تبيع أجهزة هائلة العدد يُكلِّف تشغيلها حوالي 2500 جنيهاً إسترلينياً في اليوم حسبما يقول هسارد، في حين يستطيع مُسَلْسِل للدنا خالٍ من الواسمات أن يؤدي عملاً أحسن لقاءً دريهمات قليلة في اليوم. وما على الزبائن إلا الاقتناع بالوثوق بهذه التقانة. ويقول هسارد في هذا الصدد: "المشكلة تكمن في ما اعتاد عليه السوق". ولكن يبقى هسارد على ثقة بأنه يستطيع إقامة أعمال مع المجتمع البيولوجي. وقد تلقّت شركته الناشئة التي تحمل اسم (deltaDOT) طلبات شراء لجهاز الرحلان الكهربائي الشعري العائد إليها، وهناك خطط لتسويق مُسلسِل الدنا DAN sequencer على نطاق تجاري.

ولكن أوستن لم يُسوِّق أفكاره تجارياً. وهو يقول في هذا الشأن: "تكمن خيبتي في أننا قد طوّرنا أدوات قوية يمكن تقديمها للبيولوجيين، ولكنني لا أملك الخبرة أو الأموال اللازمة للقيام بهذا التسويق. وسيكون هدفي الرئيسي الدفع باستمرار للوصول إلى مزيدٍ من المقاسات الأصغر طولاً والأكبر مَيْزاً.

وفي الواقع، ثمة إجماع عام على أن الفيزيائيين الذين يشتغلون على نطاق ضيق بالميادين البيولوجية لا يجوز لهم الابتعاد عن جذورهم. ويعتقد وايزبوخ أن بعضهم لا يعمل أكثر من استطلاع تقنيات بيولوجية راهنة. وإنهم يمكن أن يكونوا أكثر تأثيراً إذا ما أدخلوا أفكاراً جديدة أو مبتكرة بشكل أصيل.

يوافق هسارد على أن الفيزيائيين لا يجوز أن يصبحوا مجرد صناعة خدميّة أخرى لصالح قطاع العلوم الحيوية. ويقول في هذا الصدد: "هناك تشكيلة ضخمة من الميادين يستطيع الفيزيائيون أن يسهموا فيها بالعلوم الطبية الحيوية، وتتمثل ببساطة في تقديم تقانات عصرية ورشيدة. ولكن يوجد العديد من الأسباب لعدم رغبتك في فعل ما لا يستطيع غير الفيزيائيين فعله".

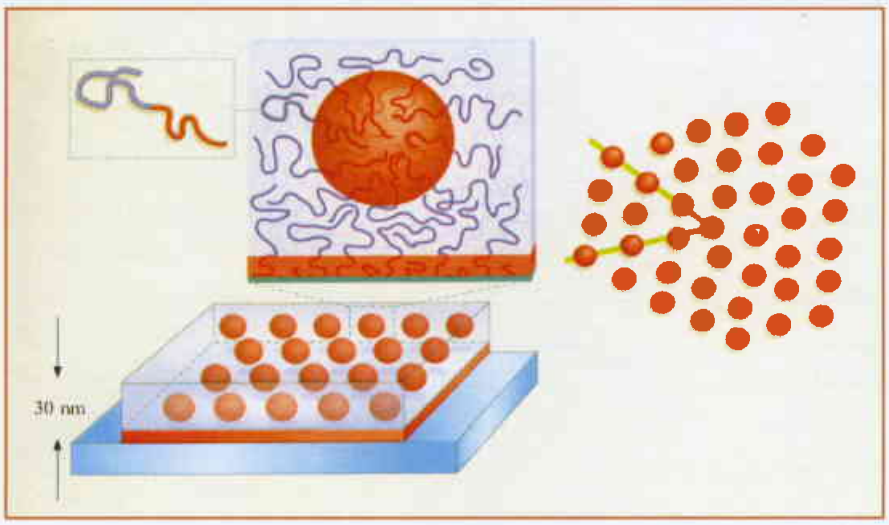
نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, November 2005.

انصهار مَعيب

تتمتع البوليميرات الثنائية البعد بإمكانات بنيوية مفيدة – شريطة أن نتمكن من فهم خواصها. قد تساعد الملاحظات حول الانصهار الانتقالي لبوليمير معقد ثنائي البعد، في فهم ذلك.

هل يمكن للبوليميرات التي تُصنّع منها نعال الأحذية أن تتجمع وفق بنىً متكررة ثنائية البعد بشكل دقيق يكفي لابتداع مواد تصلح لتطبيقات مغنطيسية وأنصاف نواقل معينة؟ إن إنجازاً كهذا يمكن أن يستبدل التقانات المكلفة في مجال الإلكترونيات والحفر بأشعة X التي تلزم لتلك التطبيقات. ومن خلال كتاباته في مجلة Physical Review Letters، يُسهم أنجيليسكو ومعاونوه في هذا التصور من خلال تجارب تعمق معرفتنا في العمليات التي تصوغ بعض البوليميرات. وكذلك فإنهم يختبرون نظرية تقول بأن انصهار البلورات الثنائية البعد ينجم عن عيوب مُحرّضة حرارياً في بنياتها.

وبشكل عام فإن الأفلام الرقيقة من زمر الكوبوليميرات copolymers (وهي بوليميرات تتألف من زمر لا تقل عن سلسلتين جزيئيتين مختلفتين مترابطتين تساهمياً covalently يتمُّ صبُّها وتسخينها بحيث تشكل طبقة وحيدة منصهرة غير منتظمة. ويمكن تبريد هذه الطبقة الوحيدة كي تخلق أنساقاً منتظمة (ذات مقاييس 20–50 نانومتر) يمكن مضاعفتها في طبقات أساسية من مواد لاعضوية [2]. الكوبوليميرات الثنائية



الشكل 1: الكوبوليمير الثنائي الزمرة B-A المستخدم من قبل أنجيليسكو ومعاونيه [1]. a، يتكون كل جزيء من كتلة طويلة من البوليمير A (الأزرق) المرتبط الى كتلة قصيرة من B (الأحمر). ففي المقاطع الكبيرة، يتجمع البوليمير تلقائيا ضمن بنية مكعب مركزي بقطاعات كروية من B مغلفة بقطاع مستمر من A. وفي فلم رقيق (30 نانومتر) مدروس، تنتظم الكرات B نفسها ضمن طبقة وحيدة، متجمعة بشكل مسدسي بتباعد وسطي مقداره 25 نانومتر على هيئة سلاسل متصلة b.A.B، تظهر صفيفة سداسية ثنائية البعد مثالية حيث تتجاور الكرة بست كرات أخرى. كما نلاحظ عيوبا مكونة من صفين من كرات أكثر تقاربا (الخطان الأخضران). يجتمع هذا الخطان عند كرة تجاورها فقط خمس كرات، وبجانبها كرة محاطة بسبع كرات – زوج متجاور من الالتواءات. تكون الكرة المحاطة بخمس كرات فقط فاقدة لقطاع زاوي مقداره 60° من الكرات (التواء -60°). وتكون الكرة المحاطة بسبع كرات مكتسبة لقطاع إضافي 60° (التواء مقداره +60°). ففي الطور السداسي تحدث الانخلاعات حراريا، ولكن لاتوجد التواءات سائبة. وحينما ينصهر الطور السداسي، تنفصل الالتواءات (تفقد ارتباطها) لتشكل السائل الفوضوي.

الزمرة (A-B) التي درسها أنجيليسكو ومعاونوه [1]، تتكون قطاعات كروية من البوليمير B تحيط بها قطاعات مستمرة من البوليمير A (الشكل 1a). وفي مقاطع ثخينة، تشكل هذه البنية صفيفة منتظمة تحت درجة الحرارة الانتقالية بين النظامية والفوضوية قيمتها 121 درجة مئوية؛ وفوق هذه الدرجة تكون الحشوة شبيهة بالسائل. وعندما تطبق هذه الحشوة كفلم ثخانته 30 نانومتر على ركازة من أكسيد السليكون، فإن ثنائيات الزمر البوليميرية تتجمع ضمن صفيفة سداسية من كرات من B فوق طبقة فرجونية الشكل من A و B.

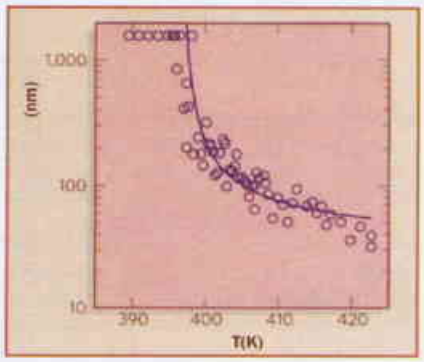
لقد جرت دراسة انصهار صفيفات ثنائية البعد متشابهة مكونة من ذرات (كزينون على غرافيت، على سبيل المثال) ومن جزيئات بلورية سائلة أو غروانيات طيلة العقدين الماضيين، بدافع من وضع نظرية KTHNY [3-5]. وتتنبأ هذه النظرية (المسماة بالحروف الأولى لأسماء مبتكريها) بأن الانتقال من بلورة إلى سائل يمكن شطره إلى انتقالين. هذان الانتقالان، اللذان يحصلان عند درجات حرارة مختلفة، يرافقان تشكل عيوب منعزلة تعرف بالانخلاعات dislocations والالتواءات disclinations على التوالي (الشكل 1b). ولقد سبق أن تمّ تحديد الحالة السداسية hexatic الوسيطية عبر التصوير المباشر لصفيفات ثنائية البعد من كوبوليميرات زُمريّة [6] و فقاعات مغنطيسية [7] وكذلك معظم [8-10]، وليس جميع [11] الغروانيات الثنائية البعد. ففي هذه الحالة يضمحل الترابط بين توجهات الروابط في أحد القطاعات وتوجهات الروابط في القطاعات الأخرى ببطء فقط (حسب قانون القوة) مع المسافة بين هذه القطاعات. ونشير إلى أن هذا الترابط التوجهي في البلورة لا يضمحل، في حين أنه يضمحل في السائل فوق أنصاف أقطار قليلة من الجسيمات.

ففي نظرية KTHNY يتناقص الانتظام في الصفيفة الثنائية البعد استمرارياً خلال الانتقالين الانصهاريين كليهما – على عكس الانتقال المتقطع الملاحظ في البلورات الثلاثية البعد. لكن بعض نتائج التجارب والمحاكاة تتحدى هذا التنبؤ. ففي صفيفات غروانية ثنائية البعد أُعدَّ فيها تدرّج كثافة الجسيمات لسبر عملية الانصهار، تمت ملاحظة الانتقالين (المستمر [8] والمتقطع [9]) كليهما، اعتماداً على ما إذا كان "كمون التآثر interaction potential" بين الجسيمات الغروانية طويل المدى أو قصير المدى.

وبالتالي فماذا عن الكرات الكوبوليميرية الزمرية؟ قام أنجيليسكو ومعاونوه [1] بوضع أفلامهم في تدرّج حراري واستخدموا مجهرية القوة الماسحة scanning force microscopy لتصوير درجة الانتظام في الصفيفة مباشرة، وذلك على تشكيلة من درجات الحرارة تشمل الانتقال من الحالة السداسية إلى السائلة. لقد رصدوا التغيرات في طول الترابط التوجهي (ξ) –وهو قياس للمسافة في السائل يكون توجه الرابطة فيه حول كرة محددة مترابطاً مع توجه الرابطة في الكرات المحيطة بها. فوجدوا أن ξ يتزايد ببطء كلما تناقصت درجة الحرارة، T، باتجاه T_i، وهي درجة حرارة الانتقال من الحالة السداسية إلى السائلة (الشكل 2). وإذا ما تناقصت T أكثر من ذلك يبدو أن (ξ) تقفز بشكل مفاجئ نوعاً ما، وعند درجة الحرارة نفسها تهبط كثافة الالتواءات إلى الصفر.

لاتكون مثل هذه القفزات المفاجئة متساوقة بوضوح مع التزايد السلس في الانتظام الذي تتنبأ به النظرية. لكن KTHNY [4] تتنبأ أن طول الترابط يتزايد أسيّاً مع $(T - T_i)^{-1/2}$ أثناء تبرُّد الفلم إلى الدرجة T_i. وهذه الصيغة التابعية، مع أنها مستمرة، تختلف جداً عن افتراق قانون القوة power law divergence الذي نجده عادة لحالات الانتقال الطورية المستمرة (مثلاً، حالة فصل مزيج سائل ذي مكونين).

وكذلك يضع هذا التنبؤ بيانات إنجيليسكو ومعاونيه [1] بجوار الانتقال إلى حالة التبعثر التجريبي (الشكل 2).



الشكل 2: هل يوجد توافق جيد مع النظرية؟ رسم يبين طول الترابط بدلالة درجة الحرارة T وفق بيانات قدمها انجيليسكو ومعاونوه [1] (الدوائر الفارغة). تمثل قيم الثابت عند الدرجة الدنيا للحرارة T الحدود الدنيا التي يفرضها حجم المسح المحدود. والخط المتصل متوافق مع الانتقال الأسي الذي تنبأت به نظرية KTHNY: $\xi \sim \exp(B/(T-T_t)^{1/2})$ حيث إن الثابت $B = 4.28\ K^{1/2}$ ودرجة حرارة الانتقال $T_t = 396.5\ K$.

وهكذا يبدو أن هذه الناحية من نظرية KTHNY قد تتجنب نقمتها حاضراً. ونظراً للتزايد في طول علاقة KTHNY في جوار الانتقال، سيكون من الصعب تصميم تجربة تدعم القفزة المفاجئة أو التأويل الأسّي بشكل مقنع.

يجب أن لايحجب هذا الغموض التجريبي حقيقة أن الطبقات الكوبوليميرية الزمرية الثنائية البعد تبدي دليلاً واضحاً على طور سداسي hexatic بين الحالتين الصلبة والسائلة – وهو تنبؤ أساسي في نظرية KTHNY. وبشكل حاسم، يحتمل أن يقود الطور السداسي إلى طرائق جديدة لتحضير طبقات وحيدة كوبوليميرية زمرية ذات انتظام أفضل: إن الحواف المستقيمة للقُنّيات التي تحصر طبقة ما وحيدة تحرض السائل المتناحي الخواص على أن يتجمد في حالة سداسية ذات توجه حسن التحديد [12].

ثمة أنماط أخرى من طبقات وحيدة كوبوليميرية زمرية تنصهر بشكل مختلف عن البلورات الثلاثية البعد. ويجري التنبؤ على سبيل المثال [13] بأسطوانات تتموضع موازية للركازة، تمارس توليداً حرارياً عند الانخلاعات وتنفصل الالتواءات فيها كذلك عن بعضها البعض عند الانصهار، وهو تنبؤ جرى إثباته حديثاً بشكل تجريبي [14]. ومع ذلك، لا يوجد حتى الآن تأكيد تجريبي فيما إذا كان الانتقال الانصهاري إلى السائل المتناحي الخواص انتقالاً مستمراً حسبما تتنبأ به النظرية.

إن آليات إزالة العيوب أثناء تبرّد الكوبوليميرات يمكن أن تملي ما إذا كانت الأفلام الكوبوليميرية الزمرية الثنائية البعد يمكن تصنيعها برقابة على أنساقها تكفي لاستخدامها في عمليات الحفر. وتوضح نتائج إنجيليسكو ومعاونيه [1] أهمية اجتثاث العيوب المتولدة حرارياً أثناء عملية التبريد. وقد قدمت تجاربهم [15]، وكذلك المحاكيات [16]، تبصرات قيمة في الآليات التي تتحكم بهذه الحركيات kinetics. ولكن حتى عند الحاجة لاستخدام حفر ليثوغرافي مرتفع الكلفة فإنه يمكن أن تلعب الكوبوليميرات الزمرية الثنائية البعد دوراً حاسماً في تنعيم خشونة حواف النماذج [17].

References المراجع

[1] Angelescu, D. A., Harrison, C. K., Trawick, M. L., Register. R. A. & Chaikin, P. M. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 025702 (2005).

[2] Segalman, R. A. Mater. Sci. Eng. R **48**,191-226,2005).

[3] Kosterlitz, J. M. & Thouless, D. J. J. *Phys.* C **6**, 1181-1203 (1973).

[4] Nelson, D. R. & Halperin, B. I. *Phys. Rev.* B **19**, 2457-2484 (1979).

[5] Young, A. P. *Phys. Rev.* B19,1855-1866 (1979).

[6] Segalman, R. A., Hexemer, A., Hayward, R. C. & Kramer, E. J. Macromolecules **36**, 3272-3288 (2003).

[7] Seshadri, R. & Westervelt, R. M. *Phys. Rev.* B **46**, 5150-5161 (1992).

[8] Murray, C. A., Sorenger, W. 0. & Wenk, R. A. *Phys. Rev.* B **42**, 688-703 (1990).

[9] Marcus, A. H. & Rice, S. A. *Phys. Rev.* E **55**, 637-656 (1997).

[10] Zahn, K., Lenke. R, & Maret, G. *Phys Rev.* Lett. **82**, 2721-2724 (1999).

[11] Karnchanaphanurach, P., Lin, B. H. & Rice, S. A. *Phys. Rev* E **61**,4036-4044 (2000).

[12] Segalman, R. A., Hexemer, A. & Kramer. E. J. *Phys .Rev.* Lett. **91**,196101(2003).

[13] Toner, J. & Nelson, D. R. *Phys. Rev.* B **23**,316-334 (1981).

[14] Hammond. M. R., Cochran, E., Fredrickson, G. H. & Kramer. E.J. Macromolecules **38**, 6575-6585 (2005).

[15] Harrison, C. et al. Europhys. Lett. **67**,800-806 (2004).

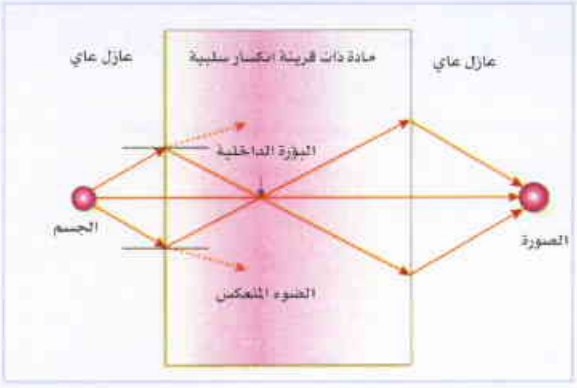
[16] Vega, D. A. et al *Phys. Rev.* E **71**, 061803 (2005).

[17] Sloykovich, M. P. et al. Scrence **308**,1442-1446 (2005).

نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature, Vol 437,6 october 2005*.

الذهب يفقد بريقه

يمكن للعدسات المثالية أن تنشئ صورة لجسم ما بشكل عالي النقاء، دون ضياعات ضوئية في أثناء العبور. إن الخواص البصرية العجيبة التي تتصف بها بنية نانوية من الذهب تضع إمكانية الاستفادة من هذه البنية النانوية للذهب في بؤرة الاهتمام.

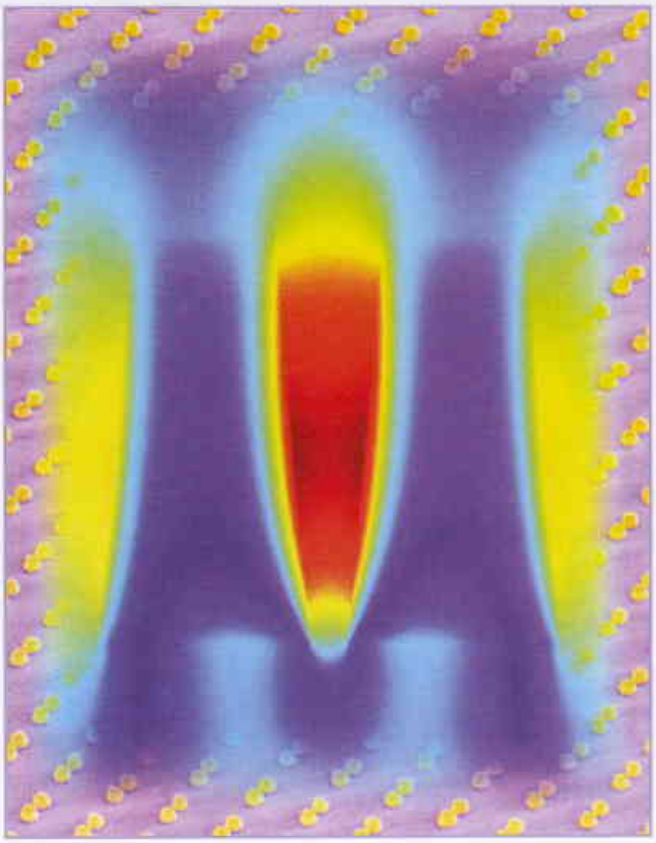


الشكل 1 - تذبذب عكسي. إن الموجات الضوئية (ممثلة بالأسهم) الصادرة عن منبع خارجي عند السطح البيني بين مادتين متصفتين بقرينتي انكسار مختلفتين سوف تنحرف مقتربة من الناظم على السطح البيني أو مبتعدة عنه (الأسهم المنقطة) لكنها لا تتخطاه. ويتم التغلب على هذا التقييد إذا كانت إحدى المواد تتميز بقرينة انكسار سالبة القيمة. ويحدث الشيء ذاته عند السطح البيني الثاني للمادة، وبذلك فهي تعمل كعدسة مثالية تولّد صورة للشيء. أما العدسة التقليدية التي تحتاج إلى سطح منحنٍ لاتستطيع أبداً أن تنتج صورة تامة لأنها سوف تفشل دائماً في إعادة تبئير الضوء من الجسم على شكل موجاتٍ متلاشية. وهكذا لن تحتوي الصورة على المعلومات التابعة للجسم والمحمولة عبر تلك الموجات.

على غرار ما يكتشفه أحد السعاة من قليلي الحظ في مسرحية شكسبير"تاجر البندقية"، فإنه ليس كل ما يلمع ذهباً. ولكن ماذا لو لم يلمع الذهب على الإطلاق، وبعبارة أخرى، ماذا لو كان بالإمكان حقاً جعل الذهب شفافاً؟ ستكون مثل هذه المادة ثمينةً بحدّ ذاتها، باعتبارها تشكل أساساً محتملاً لعدسة "مثالية". وفي كتابات حول هذا الموضوع، يُقدِّم جريجورينكو Grigorenko وزملاؤه دليلاً مقنعاً بأنهم قد أنتجوا ذهباً نانوي البنية يتصف بخواص بصرية ملفتة للنظر. وبالرغم من أن ما أنتجوه لم يكن مادة عدساتٍ مثاليةٍ تماماً، فإنه يُعدُّ خطوةً هامةً باتجاه تلك الغاية.

يوضح ذهب جريجورينكو وزملائه، حين إنارته بضوء مرئي ذي استقطابات معينة وعند زوايا ورود معينة، خاصيةً تُعرَف بالنفوذية السالبة negative permeability. ومن أجل فهم مضمون هذا النص، فإننا نحتاج إلى بعض التعاريف. أولاً، تُعبِّر النفوذية permeability (μ) لمادة ما عن مدى تحسن حقل مغنطيسي ما مطبق في تلك المادة؛ إذ كلما ازدادت النفوذية، أصبحت المادة أكثر مغنطيسيةً. وثمة كَمّ ثانٍ مماثل، وهو السماحية (أو ثابت العزل) permittivity (ε) لمادةٍ ما، ذو صلة بالحقول الكهربائية. ففي هذه الحالة، يكون التعريف مختلفاً بعض الشيء: فثوابت العزل الموجبة توجد في مواد تدعى العوازل insulators أو المواد الكهرنافذة (dielectrics)– التي تستجيب لحقل كهربائي يطبق خارجياً لعمل توزيعٍ للشحنة المختزنة يخفّض الحقل الكهربائي الموجود فيها. وأخيراً، يتعلق كل من النفوذية وثابت العزل لمادة ما بقرينة انكسارها (n)، وهي الدرجة التي ينحني إليها الشعاع الكهرمغنطيسي الوارد، مثل الضوء. ويجري تعريف هذه العلاقة بالصيغة: $n=(\mu\varepsilon)^{1/2}$.

فإذاً، لماذا تعد النفوذية السالبة لمادة جريجورينكو وزملائه شيئاً مثيراً؟ للإجابة عن ذلك، من المهم أن نثمّن أنه حتى المعادن العادية تكون استثنائية تماماً في استجابتها للضوء. فالإلكترونات الحرة داخل المعادن تستجيب بسرعة للحقل الكهربائي للشعاع الكهرمغنطيسي الوارد، وبذلك تلغيه بشكلٍ كامل تقريباً، شريطة عدم تذبذب هذا الحقل بشكل سريع جداً؛ وهكذا فإن الجزء الحقيقي من ثابت العزل الضوئي لمعدن ما يكون سالباً فيما دون تردد حقلي معين، يدعى التردد البلازمي (تواتر البلازما) plasma-frequency (حيث يُعبّر عن ثابت العزل بعدد عقدي ذي جزء حقيقي وآخر تخيلي يمثّل إنشاءً رياضياتياً يسمح بأخذ الطبيعة الموجية للحقول المنخرطة في الحسبان؛ إن الجزء التخيلي من ثابت العزل، والذي يقاس بالوحدة التخيلية (i)، يترافق بتبعثر الإلكترونات وما ينجم عنه من تسخين في المادة.



الشكل 2 - النتائج السلبية للمغنطيسية. توزع الحقل المغنطيسي الذي يثيره الضوء حول زوج من محطات نانوية من الذهب في دراسة جريكورينكو وزملائه. إن كبت الحقل المغنطيسي بفعل المغانط القضيبية التي تؤدي إلى النفاذية السالبة للبنية يتبيَّن هنا في المناطق الملونة بالأزرق. وتتراكب هذه الصورة على مخطط مكروي لمجموعة من أزواج محطات نانوية.

يمتلك الذهب، فيما يخص حقلاً كهربائياً وارداً ما عند أطوال موجية حمراء، ثابت عزل بصري يقارب (10+2i-)، ويقترن بنفوذية موجبة عادية. وإذا أخذنا تلك الحقائق في الحسبان، وباستخدام الصيغة الخاصة بـ (n)، يمكن عندئذ الحساب بأن قرينة انكسار الذهب ينبغي أن تكون تخيلية بشكل كلي تقريباً. وهذا هو المكافئ الرياضياتي للقول بأن المعدن عاتم opaque. أي أنه يعمل كحاجز للضوء، يأخذ فيه الحقل الكهربائي الوارد بالاضمحلال أسّياً حال دخوله السطح.

ولكن إذا أصبحت نفوذية معدن ما كالذهب سلبية بدلاً من أن تكون إيجابية، فإنه يتبين أنها ستمتلك معاملاً انكسارياً سالب القيمة. ومثل هذه المادة سوف تحرف الضوء في الاتجاه المعاكس للمواد العادية، حيث تمنحها مقدرتها كعدسات مثالية: إذ تقوم صفيحة مسطحة من هذه المادة بتبئير focus الضوء إلى صورة تامة على الجانب الآخر من الصفيحة (الشكل 1).

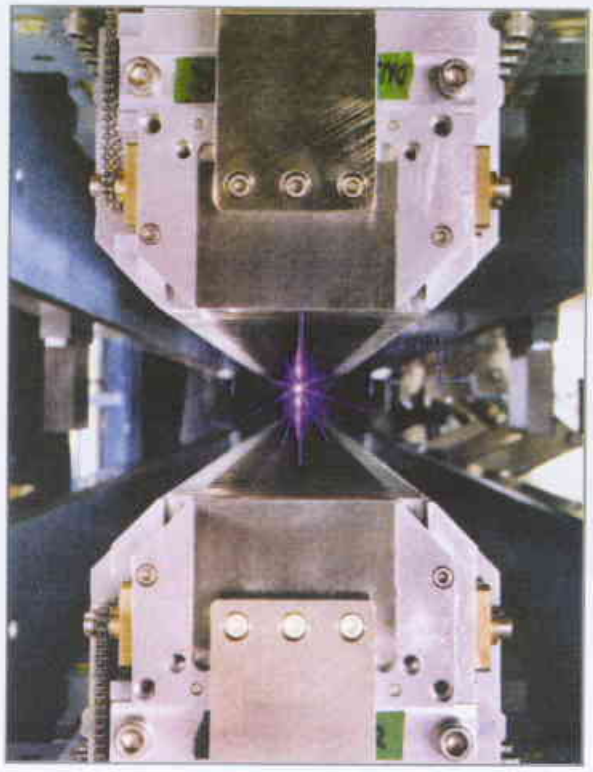
لقد تم اختبار هذا المفهوم للمواد ذات قرينة الانكسار السالبة في المجال ذي الموجات القصيرة من الطيف الإلكترومغنطيسي. وهنا، أثبت هذا الاختبار عدم صعوبة تصنيع مادة معدنية تجاوبية resnant من مكونات تعرف بمجاوبات الحلقة المشطورة split-ring resonators، تتميز بثابت عزل ونفوذية سالبتين عند تشكيلة صغيرة من التواترات الواردة. ولكن صنع مادة مماثلة تستجيب عند تواترات عالية في المجال المرئي ليس بالأمر السهل، حيث يتطلب الأمر مجاوبات حلقة مشطورة نانوية المقياس. إن إسهام جريجورينكو وزملائه يتمثل في التغلب على هذا الحاجز إلى حدٍّ معين. إنهم يستخدمون عمليات تصنيع نانوية لصنع سطح منسق يتألف من محطات ذهب مستدقة جرى ترتيبها بشكل دوري periodically في أزواج. وتسلك هذه الأزواج في مجال محدود من التواتر في الطيف المرئي سلوك مغانط قضيبية صغيرة عالية التواتر يشبه سلوك المجاوبات المشطورة الحلقة حين استخدامها في التواترات الموجية المكروية. وثمة خاصية تتميز بها مثل هذه المغانط القضيبية في التواترات البصرية تتمثل في أنها تعمل على إلغاء المكوِّن component المغنطيسي للشعاع الوارد (الشكل 2) بشكل مشابه جداً لفعل الإلكترونات في المعدن، الذي يتمثل في إلغاء الحقل الكهربائي. وهذا يقود بنية الذهب لأن تتصف بنفوذية سالبة.

ولو لم يكن ذلك عائداً لإسهامهم التخيلي الكبير فيما يتعلق بنفوذية معدنهم هذا، لكان جريجورينكو وزملاؤه قد اهتدوا إلى الطريق الموصل إلى الانكسار السلبي. وبالرغم من أن إنجازهم عجز عن تحقيق ذلك، فإن هؤلاء الباحثين حالوا دون دوره كعاكس، وذلك عن طريق مضاهاة الممانعة matching impedance التي تتحدد بالنسبة (ε/μ) في ذهبهم المنسّق مع ممانعة كهرنافذ مجاور. ويعتبر هذا الأمر بحدِّ ذاته خطوةً هامةً نحو العدسة المثالية، ومكونات بصرية أخرى مبتكرة للتواترات المرئية.

هناك عوائق أخرى يجب التغلب عليها. إذ إن التقليل من الإسهام التخيلي للنفوذية البصرية لن يكون مهمةً سهلةً. ولا يتضح أيضاً كيف يمكن جعل بنىً structures- كتلك التي أوجدها جريجورينكو وزملاؤه- ثلاثية البعد. ولكن، يبدو أن ما يخسره الذهب النانوي النسق من لمعان يربحه في شفافيته.

نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, 17 November 2005.

ليزرات الإلكترونات الحرة تسطع



يجري سباق عالمي لبناء ليزر يستطيع إنتاج أشعة سينية مترابطة عالية الاستطاعة.

يتصور معظم الناس أن الليزرات هي نبائط صغيرة تصدر ضوءاً أحمر وتوجد في المؤشرات الليزرية أو في ماسحات الباركود. أما الفيزيائيون التجريبيون فإنهم يحبّذون نبائط ليزرية أقوى (بعضها كبير لدرجة أنه يملأ الغرفة) تصدر ضوءاً عند أطوال موجية أقصر. ولكن يوجد نوع من الليزرات نسيج وحده من حيث حجمه وأدائه هو ليزر الإلكترونات الحرة FEL.

لقد جرى تشغيل أول ليزر إلكترونات حرة في العالم في جامعة ستانفورد في العام 1977، وكان يصدر ضوءاً تحت أحمر طول موجته 3400 nm. ويوجد اليوم أكثر من 30 ليزر إلكترونات حرة قيد العمل في مختلف أنحاء العالم إضافة إلى نحو اثني عشر أخرى في مراحل مختلفة من التخطيط والبناء. وهذه المنشآت الجديدة التي جرى النقاش حولها في مؤتمر "FEL 2005" في ستانفورد في شهر آب الماضي، سوف تنتج نبضات قصيرة إلى أقصى حد من الإشعاع العالي الشدة جداً في مجال الأشعة السينية من الطيف. ولذلك فهي ستكون بمثابة ستروبوسكوب مجهري يمكّن الباحثين من تحري العمليات الكيميائية والفيزيائية على المستوى الذرّي وفي الزمن الحقيقي.

ضوء من الإلكترونات

تستطيع الليزرات التقليدية إنتاج نبضات ذات مُدد تقل عن الفمتوثانية (10^{-15}s) وشدّات تقع في مجال التيراواط (10^{12}w). لكن طول موجة الإشعاع يبلغ نحو 800 nm، وهو أطول من أن يستطيع تحديد مواضع الذرّات. وتستطيع تقنيات مثل توليد التوافقيات، التي يتم فيها تحويل نبضة ليزرية إلى أطوال موجية أقصر عن طريق إمرارها عبر بلّورة، أن تنتج أطوالاً موجية قصيرة تبلغ 5 nm (راجع Physics World, November 2004 pp29-32) لكن هذه الطريقة غير فعّالة إذا ما قورنت بليزر الإلكترونات الحرة، وتكون شدة النبضات فيها أضعف بكثير.

لقد أطلق على هذه الليزرات اسم ليزرات الإلكترونات الحرة لأنها، مثل الليزرات التقليدية، تنتج حزماً مترابطة من الإشعاع الكهرمغنطيسي. لكنها، عوضاً عن الاعتماد على الإصدار المحثوث من ذرّات أو جزيئات، فإنها تولّد الضوء من حزمة من الإلكترونات.

حين يجري تسريع إلكترون أو تبطيئه فإنه يصدر إشعاعاً سنكروترونياً، وعلى سبيل المثال، تتحرك الإلكترونات الموجودة في هوائي مرسل التلفاز أو الراديو إلى أعلاه وأسفله بشكل متّسق مصدرة إشعاعاً مترابطاً في مجال التواترات الراديوية. لكن فولطية مرسلات الراديو radio transmitters ليست عالية لدرجة تكفي لإنتاج التسارع اللازم لتوليد إشعاع عند الأطوال الموجية الضوئية أو السينية. وبدلاً من ذلك يجري تمرير حزمة الإلكترونات الموجودة في ليزر الإلكترونات الحرة (التي تتألف من رزم تحوي الواحدة منها نحو 10^{10} إلكترون) عبر مغنطيس دوري يدعى المموّج undulator. وهذا يجعل الإلكترونات "تتذبذب" في

في المشهد أدناه نرى مموِّجاً عند منبع ضوء متقدم (أقصى اليسار) يعمل لدى مشروع (TESLA) في DESY (يساراً).

سيرها، فتغير اتجاهها – ولذلك تتسارع وتصدر إشعاعاً سنكروترونياً – خلال رحلتها عبر هذه النبيطة.

وتتراكب دفقات الإشعاع هذه فتشكل حزمة شديدة من الأشعة السينية. لكن هذه العملية هي أقرب إلى الفوضى فيفني معظم الومضات بعضه بعضاً ويكون للإشعاع الناتج تشكيلة من الأطوال الموجية. ولجعل الإلكترونات تشع بشكل متساوق، لا بد من أن تكون طاقاتها متساوية قدر الإمكان وأن تكون ذات امتداد عرضي صغير وذات كثافة كبيرة جداً. فإذا سرت حزمة إلكترونية تتصف بهذه الصفات عبر مموّج، سوف يتحرك كل إلكترون تقريباً بشكل متسق مع الإشعاع السنكروتروني للإلكترون المجاور. وبعد مسير عدة أمتار تتراكم دفقات الإشعاع بدل أن يفني بعضها بعضاً. وكل ما يبقى علينا فعله هو شفط الإلكترونات بواسطة مغنطيس حارف يخلّف حزمة مترابطة من الإشعاع المضخَّم. وعلاوة على ذلك يمكن التحكم بطول موجة هذه الحزمة ببساطة بواسطة تعديل طاقة حزمة الإلكترونات.

يذكّر تفجر النشاط هذا في ليزرات الإلكترونات الحرة بالقفزة الأخيرة في سباق تتابع.

يتضمن جيل ليزرات الإلكترونات الحرة القادم ثلاثة مشاريع مصممة لإنتاج أشعة سينية "قاسية hard" ذات أطوال موجية قصيرة من رتبة الأنغستروم (10^{-10}m)، ومن المخطط له أن ينتج منبع الضوء المترابط (LCLS) في المسرِّع الخطي في مركز ستانفورد (SLAC) أول حزمة ليزرية سينية في العالم طول موجتها 1.5 أنغستروم وذات 10^{12} فوتون في كل نبضة مدّتها 100 فمتوثانية، وذلك في العام 2009. ولن يكون منبع الضوء المترابط LCLS هذا وحيداً لمدة طويلة فهناك XFEL في مخبر المسرِّع بوهانغ Pohang في كوريا، وهناك منشأة المنبع السنكروتروني في مخبر Spring-8 في اليابان ينبغي أن يبدأ بالعمل عند الطول الموجي 1 أنغستروم وما دون ذلك في العام 2010. وفي أوربا سوف يعمل ليزر الإلكترونات الحرة للأشعة السينية في مخبر DESY في هامبورغ في العام 2010 أيضاً وسيكون أول منبع من أصل خمسة تصل إلى أطوال موجية أقل من 1 أنغستروم.

تقدم سريع

يذكّر تفجر هذا النشاط في ليزرات الإلكترونات الحرة بالقفزة الأخيرة من سباق التتابع. فقد رأى باحثو ليزرات الإلكترونات الحرة طريقاً إلى ليزر للأشعة السينية في أواسط الثمانينيات لكنهم كانوا يعرفون أن مثل هذا النبيطة تتطلب مسرّعاً خطياً ذا طاقة عالية جداً. وفي ذلك الوقت لم يكن يوجد سوى مسرّع واحد من هذا النوع (هو الماكينة الموجودة في SLAC ذات الطول 3 km) وكان هذا المسرِّع مشغولاً جداً بتجارب فيزياء الطاقة العالية. لكن تمَّ الاتفاق بأن يُستخدم الكيلومتر الأخير من هذا المسرِّع لبناء منبع الضوء المترابط LCLS. وفي تلك الأثناء، في العام 1995، اقترح الباحثون في المخبر DESY إضافة ليزر إلكترونات حرة للأشعة السينية إلى المسرِّع الخطي الفائق الناقلية (TESLA) المنوي بناؤه، وهو آلة عملاقة لفيزياء الجسيمات تطورت إلى المصادم الخطي الدولي. وقد أعلن عن منشأة TESLA الاختبارية في شهر آب الماضي وأنتجت نبضات قصيرة جداً من الإشعاع ما بين الطول الموجي 60 و300 أنغستروم، فكانت هذه أول منشأة لاستخدام ليزر إلكترونات حرة للأشعة السينية "الطرية" في العالم.

في الوقت الحاضر يستمر ورود أسطع حزم الأشعة السينية من حلقات تخزين الإلكترونات في نحو ما يقرب من 50 منشأة بحثية في كافة أرجاء العالم. وتضم هذه المنشآت منبع الإشعاع السنكروتروني في دارسبوري في المملكة المتحدة والمنبع الضوئي الذي نشأ عنه (المسمى DIAMOND) في مخبر رذافورد آبلتون، كما تضم منشأة الإشعاع السنكروتروني الأوربية في فرنسا ومنبع الفوتونات المتقدم في مخبر آرغون الوطني في الولايات المتحدة. ويستخدم هذه المنشآت كل عام عدة ألوف من الباحثين بمن فيهم كيميائيين وبيولوجيين وحتى مؤرخي فنون وعلماء آثار، لإجراء تجارب باستخدام تقنيات مثل علم البلورات وتصوير الأوعية والمقايسة الكيميائية البالغة الحساسية.

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

وسوف ينقل الجيل التالي من ليزرات الإلكترونات الحرة دقة هذه التقنيات إلى أفق جديد. فعلى سبيل المثال، سيكون في كل نبضة مدّتها 100 فمتوثانية من نبضات ليزر الأشعة السينية، مثل الليزر LCLS، ما يعادل الموجود في ثانية كاملة من هذه الأشعة الصادرة عن أسطع المصادر السنكروترونية الموجودة اليوم. ففي فترة زمنية مقدارها 100 فمتوثانية لا تكون موجة الصدم قد تقدمت أكثر من ذرّة واحدة لدى سيرها في مادة صلبة. ولذلك سيتيح الليزر LCLS لنا أن نرصد بالضبط كيفية تحرك ذرّات مادة ما لدى تقدم موجة الصدم، ومثل هذه الحركة تضيع زائغة باستخدام منابع الضوء التقليدية.

وأكثر من ذلك يمكن أن توسِّع بعض ليزرات الإلكترونات الحرة والليزرات العادية مقدرات بعضها الآخر. فقد بيّن الباحثون، على سبيل المثال، أن ليزراً عادياً يمكن أن يطلق على الحزمة الإلكترونية لليزر الإلكترونات الحرة فيولّد توافقيات harmonics قصيرة الموجة لضوء الليزر الأصلي. وكذلك يمكن استخدام الليزرات العادية لتداول ضمَّة الإلكترونات وتشكيلها في ليزر الإلكترونات الحرة للأشعة السينية وذلك بهدف إنتاج نبضات أشعة سينية في مجال الأتوثانية (10^{-18} ثانية). وباستخدام ضوء متقطع بهذه السرعة ربما يصبح بالإمكان أخذ صور ثابتة للإلكترونات وهي تتحرك من سوية ذرية إلى أخرى. ولذلك يبدو مؤكداً أن ليزرات الإلكترونات الحرة التي تستخدم إشعاعاً كان يعتقد في الماضي أنه نتاج ثانوي لبحوث فيزياء الطاقة العالية لا فائدة منه – ستكون في المستقبل المنظور في الطليعة لفهم الديناميك الجزيئي والذرّي والإلكتروني.

نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World, November 2005*

إشراقة جديدة للسليكون

المادة نصف الناقلة المستخدمة في منظومات الحساب لا تصدر ضوءاً، لكن بنيةً مبنية على السليكون وتستطيع أن تعدِّل الضوء الصادر عن منبع مستقل قد تساعد على المزاوجة بين المكونات الضوئية والمكونات الإلكترونية.

لقد صمدت المكونات الإلكترونية المصنوعة من السليكون حتى الآن أمام كل تحدٍّ جديد في معالجة البيانات وتخزينها. لكن يكون من الممكن إحراز أي تقدم ملموس آخر إذا استخدمت التقانة البصرية (المبنية على الضوء) في المساعدة على توزيع أو نقل المعلومات في داخل المعالجات processrs، أو ربما فيما بينها [2,1]. وقد ذكر كيو Kuo وزملاؤه [3] أول مشاهدة لمفعول ضوئي في جسم نصف ناقل من الجرمانيوم والسليكون، وهو مفعول شتارك في الحصر الكمومي quantum – confined Stark effect. ويمكن أن يؤدي اكتشافهم هذا إلى تصنيع دارات متكاملة مبنية على السليكون تحتوي على مركبات إلكترونية وضوئية جنباً إلى جنب.

إن شبكات الاتصالات عن بعد الضوئية التي تمتد عبر الكرة الأرضية تغلب التقانات الإلكترونية والضوئية المنفصلة. لكن فوائد المكاملة المتناغمة monolithic integration (بمعنى صنع دارة متكاملة من الحالة الصلبة فيها مكونات فاعلة ومنفعلة مجتمعة في رقاقة واحدة)– المتمثلة بتكلفة منخفضة ومعوّلية محسَّنة وتجميع أبسط– تبرز أكثر في داخل منظومة الحساب أو المعالجة المرصوصة. بيد أنه طالما عانت محاولات استخدام أجزاء ضوئية وإلكترونية معاً في منظومة كهذه من مشكلة كون المكونات الضوئية المصدرة للضوء مصنوعة من أنصاف نواقل مركّبة compound semiconductors ذات بنية بلّورية مختلفة جداً عن السليكون المستعمل بنجاح كبير في إلكترونيات أنصاف النواقل، الأمر الذي يجعل التكامل بين الاثنين أمراً صعباً.

ورغم أن السليكون يستطيع امتصاص الضوء وتحويله إلى إشارة كهربائية، فإنه لا يستطيع أن يصدر ضوءاً من ذاته، خلافاً

لبعض البلّورات نصف الناقلة الأخرى التي يمكن أن تستعمل لبناء ليزرات؛ فالسليكون ينتمي إلى صنف من أنصاف النواقل يعرف بأنصاف النواقل ذات الفرجة العصابية غير المباشرة indirect-band-gap semiconductor. وفي مثل هذه المواد، لا يسمح بالانتقالات المصدرة للضوء بين إلكترونات موجودة في حالات عصابة النقل العالية الطاقة (التي يمكنها أن تتحرك بحرية في البلورة وتساهم في النقل الإلكتروني) والإلكترونات الموجودة في حالات عصابة التكافؤ valence band states ذات الطاقة المنخفضة (التي تكون متموضعة على إلكترون خاص). وعلى مر السنين، جرت محاولات للالتفاف حول هذه المشكلة ولاقت نجاحات حقيقية قليلة، وانتقل الاهتمام من الإمكانيات التي تقدمها الليزرات المبنية على السليكون إلى المعدِّلات modulators الضوئية المبنية على السليكون [2].

يماثل المعدِّل modulator حظار آلة التصوير: فهو يسمح بنفوذ الضوء عندما يكون مفتوحاً، ولكنه يمتص الضوء عندما يكون مغلقاً. واعتماداً على الفولطية التي تطبقها المكونات الإلكترونية المجاورة، فإن المعدِّل إما أن يمرِّر أو يمتص حزمة الليزر المستمرة، المولّدة من بعد والمتجهة نحوه. هذه الطريقة في التحكم بخرج الضوء تكون جيدة إلى حدٍّ يماثل الجودة الحاصلة فيما لو ولّدت المادة المعدِّلة الضوء بنفسها. إن أفضل المعدِّلات الضوئية هي المبنية على مواد نصف ناقلة مركبة تستخدم مفعول شتارك في الحصر الكمومي [4]، التي تتغير فيها سويات الطاقة المتاحة للإلكترونات في طبقات رقيقة جداً (10 نانومترات نموذجياً) عندما يطبق حقل كهربائي. وتستطيع هذه المعدِّلات أن تعمل عند فولطيات منخفضة، كما يستطاع تحويلها من وضع التشغيل إلى وضع الإيقاف حتى عند تواترات أعلى مما يمكن باستعمال الليزرات.

لاحظ كيو وآخرون [3]، وللمرة الأولى، مفعول شتارك في الحصر الكمومي كمومياً في طبقات من الجرمانيوم البلّوري منماة على رقائق من السليكون. وعلى عكس أنصاف النواقل المركبة، فإن الجرمانيوم (Ge) وسبيكته المكونة من السليكون والجرمانيوم (SiGe) هما مادتان مقبولتان للاستعمال بصورة تامة في إلكترونيات السليكون، لأنهما تتصفان ببنية بلّورية مماثلة لبنية السليكون. إن طبقات Ge التي استخدمها كيو وآخرون ذات ثخن يبلغ 10 نانومترات، وعشرة منها مفصولة بطبقات من SiGe، ثخن كل منها 16 نانومتراً. وتشكل طبقات SiGe الفاصلة هذه حاجزاً للإلكترونات وتحصرها في طبقات Ge الرقيقة. ونتيجة لذلك، فإن سويات طاقة هذه الإلكترونات تختلف عن سويات طاقة الإلكترونات الموجودة في جملة البلّورة، ويمكن حساب سويات الطاقة المضبوطة وفق ميكانيك الكم آخذين بالحسبان شكل البئر.

يتم اختيار ثخانات الطبقات بحيث لا تمتلك الفوتونات الواردة طاقة كافية لامتصاصها عندما لا توجد فولطية مطبقة (ولكي يحدث ذلك، فإنها بحاجة إلى طاقة كافية لتركل إلكتروناً في هذه البنية إلى سوية طاقة تالية مسموح بها وفق ميكانيك الكم). ولكن حينما تطبق فولطية ما، فإن الحقل الكهربائي يغير شكل بئر الطاقة، كما تتغير سوية طاقة الإلكترونات المتاحة بقدر كاف لامتصاص الفوتونات الواردة. وهكذا فإن Ge-SiGe يمتص الضوء أو يسمح له بالنفوذ منه وفق إشارة إلكترونية ترد من مكوِّنات إلكترونية مجاورة، فهو بذلك يلعب دور معدِّل.

لم يُتوقع أن يوجد هذا المفعول في Ge-SiGe بالرغم من أنه عُرف واستخدم على مدى عشرين عاماً في أنصاف نواقل مركبة لأغراض الاتصالات الضوئية [4]. ويرجع هذا إلى كون الجرمانيوم، مثل السليكون، مادة ذات فرجة عصابية غير مباشرة. إن التقنية البارعة التي جاءت في ورقة كيو وزملائه [3] تتضمّن امتصاص الفوتونات للانتقال إلى سويات طاقة أعلى في عصابة النقل في الآبار الكمومية للجرمانيوم. وتستفيد هذه من كون الانتقالات بين سويات الطاقة المختارة تلك مسموح بها – على عكس الانتقالات بين عصابتي النقل والتكافؤ المنخفض. إن المفعول الذي شاهده مؤلفو هذه الورقة يعادل في قوته المفعول الذي يشاهد في أنصاف النواقل المركّبة.

ينبغي أن يحصل مزيد من التطويرات قبل أن نرى دارات إلكترونيات ضوئية من السليكون متكاملة بشكل تام. وعلى سبيل المثال، فإن معظم الدارات الإلكترونية السليكونية تصنع بترسيب طبقات أكسيدية ومعدنية متنوعة، في حين تمَّ إنتاج البنى التي استعملها كيو وآخرون بالإنماء البلّوري. إن مؤلفي هذه الورقة لعلى ثقة بأن عملية تصنيعهم المختلفة ملائمة للإنتاج بالجملة. دعونا نأمل أن يكونوا على حق.

المراجع Refereces

[1] Cho, H., Kapur, P. & Saraswat, K. C. J. Lightwave Technol. 22, 2021-2033 (2004).

[2] Liu, A. et al. Nature 427. 615-618 (2004).

[3] Kuo, Y. –H. et al. Nature 437, 1334-1336 (2005).

[4] Miller, D. A. B. et al. Phys. Rev. B 32, 1043-1060 (1985).

نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 437.27 October 2005.

إنفلونزا الطيور:

يجب البدء بالتلقيح أو مواجهة العواقب

يحتاج العالم لخطة عمل دولية، وسريعة، إذا كنا نأمل في إيقاف وباء الإنفلونزا.

استدعى انتشار الفيروس في رومانيا التلقيح الفوري، لكن المخزون من اللقاحات محدود

فجأة بدأ تهديد إنفلونزا الطيور يستقطب بعض الاهتمام الجديّ في الولايات المتحدة. ففي الأسبوع الأخير اجتمع ممثلو 80 دولة في مدينة واشنطن العاصمة، لمناقشة استراتيجيات لاحتواء اجتياحات هذا الفيروس.

وبهذه المناسبة، قام مايكل ليفيت وزير الصحة والخدمات الإنسانية في الولايات المتحدة بزيارته الرسمية الأولى في هذا الأسبوع إلى آسيا، لتشجيع قادة المنطقة على فعل المزيد لإيقاف انتشار هذا الفيروس. وهناك قرار من مجلس الشيوخ في الولايات المتحدة بتخصيص أربعة بلايين دولار أمريكي إضافية لحماية البلاد من وباء الإنفلونزا، ينتظر الموافقة عليه من قبل مجلس النواب.

ويقول خبراء الإنفلونزا بأن هذه التحركات مُرحَّب بها لكنها غير كافية؛ إذ لا تزال هناك حواجز تجارية وسياسية وبيروقراطية أساسية تمنعنا من أن نكون قادرين على تلقيح عدد كاف من سكان العالم وصولاً إلى احتواء أية جائحة لهذا الوباء. ونحتّاج بشكل عاجل إلى خطة عالمية لمواجهة هذا التهديد.

"وبسبب كون هذا الفيروس جديداً على أجهزتنا المناعية، سيحتاج الناس حقنتين، الأمر الذي يخفض عدد من نستطيع حمايتهم إلى النصف."

هل يمكن لذبح الطيور أن يوقف الفيروس؟

يمكن تلخيص المشكلة بالأرقام. فقد تم الآن إنتاج فيروس لقاح هجين يستطيع تمنيع immunise الناس ضد فيروس إنفلونزا الطيور H5N1. لكن لا يستطيع المصنعون إنتاج ما يكفي منه. ولن تزداد استطاعة الإنتاج بشكل كبير في وقت قريب، لقاء قلة المنشآت الجديدة التي هي قيد الإنشاء في أوربا حالياً. ولقاء التجهيزات المتاحة التي لا تمكنهم إلا من إنتاج كيلو غرامات قليلة من البروتين الفيروسي الذي يشكل أساس هذا اللقاح. فإذا كانت كل جرعة تحتوي على 15 ميكرو غرام من البروتين الفيروسي، مثلما هي الحال في لقاحات الإنفلونزا العادية، فإنه على مدى دورة إنتاج عادية لمدة 6 أشهر سيتوافر ما يكفي لـ 900 مليون جرعة من اللقاح.

لكن ذلك لا يعني أنه يمكن حماية 900 مليون إنسان. وبالنظر إلى أن H5N1 جديد على جهازنا المناعي، فإن الناس سيحتاجون لقاحين تفصل بينهما أسابيع قليلة. وهذا يخفض عدد من يستطاع حمايتهم خلال 6 أشهر إلى 450 مليون شخص.

وحتى هذا فهو يحتمل أن يكون تقديراً متفائلاً بصورة هوجاء. ويقول في هذا الصدد روبرت ويبستر الذي يعمل في مشفى سانت جود لأبحاث أمراض الأطفال في ممفيس بتينيسي: "لقد غشّنا هذا الفيروس". ففي شهر آب/أغسطس الفائت أظهرت تجارب اللقاح الهجين على البشر أن كل شخص يحتاج إلى جرعتين من عيار 90- µg. وهذا يلبي لقاحات عبر العالم تكفي لـ 75 مليون شخص أو ما يعادل ربع سكان الولايات المتحدة.

ويقول خبراء اللقاحات أن طريق الالتفاف على هذا يتمثل في زيادة قوة الحقنات عبر مزجها بمادة كيميائية بسيطة محرضة للمناعة تسمى مُساند"adjuvant". وقد أنتج نوربيرت هيهميه الذي يعمل في شركة غلاكسوسميثكلاين لصنع اللقاحات في مدينة درسدن بألمانيا لقاحاً يستطيع إحداث مناعة كاملة ضد مشتقات فصيلة H5 من فيروسات إنفلونزا الطيور بجرعتين من عيار (1.9– µg) فقط لكل جرعة.

بناءً على السعة الإنتاجية الراهنة للفيروس H_5N_1 فإن ذلك سيسمح بحماية 3.5 بليون من الناس. ويقول ديفيد فيدسون مؤسس سلطة المهمات الوبائية لصناعة اللقاحات أن هذا هو عدد الناس الذين يمكن عملياً تمنيعهم، مع الأخذ بعين الاعتبار القيود الأخرى. غير أن التجارب الأمريكية لم تستخدم مُساناً "adjuvant" رغم التحذيرات من أنه بدون المساند لن تصحّ إلا الجرعات الكبيرة.

هذا، وبدأت في أستراليا والمجر التجارب على "المُساند" مع جرعات تبلغ 7.5 ميكرو غرام، ويُخطط لإجراء مثل هذه التجارب في كندا والولايات المتحدة واليابان. لكن لا أحد يدرس الجرعات الأصغر التي توجد حاجة لها من أجل توسيع اللقاحات المتاحة إلى الحد الأقصى الذي يجب أن تصله.

وقد أخبر فيدسون مجلة نيوساينتست أنه "مع عدم تحديد الجرعة الأدنى التي تولد المناعة بشكل مقبول، فإنه لا يمكن لشركات اللقاحات أن تفهم الحساب القاسي لإمدادات اللقاحات الوبائية" ويتابع فيدسون قائلاً للمجلة "ذلك يعني أن ملايين من الناس لن تحصل على اللقاح وسيموت الآلاف. يسمي الاقتصاديون هذه الحالة مغامرة البديل opportunity cost، أما أنا فأسميها مأساة."

وتدخل أيضاً في هذا المجال الاعتبارات الاقتصادية، إذ لم تتبين الشركات بعد كيفية المشاركة بالتقنيات الحائزة على براءات اختراع لصالح إنتاج اللقاحات، وهي مترددة في الشروع بتجارب لقاحات على البشر ليس لها سوق مضمونة. ويقول برام بالاتش الذي يعمل في شركة صولفاي البلجيكية الصانعة للقاح: "لو كانت لدينا ضمانات شراء من الحكومات فإن ذلك سيغير الأمور". هذا وقد قامت الولايات المتحدة والمملكة المتحدة وفرنسا ودول أخرى بتثبيت طلبات مثل طلبات الشراء هذه في الأشهر القليلة الماضية وهذا هو سبب بدء التجارب الآن، ولكن القيود المفروضة على إنتاج اللقاحات تعني أنه لن يتم تنفيذ طلبات الشراء هذه أبداً.

وهناك أيضاً عوائق سياسية؛ إذ يتركز ما يقارب 70% من السعة الإنتاجية العالمية للقاحات في 5 دول في أوربا الغربية. ويتنبأ الخبير في الفيروسات ألبرت أوسترهاوس الذي يعمل في جامعة روتردام في هولندا أن هذه الدول ستتردد في السماح بتصدير اللقاحات قبل أن يتم تمنيع شعوبها.

لكن فيدسون يعتقد أنه يمكن التغلب على هذه العوائق. فهو يجادل في أن هناك حاجة لإيجاد هيئة دولية جيدة التمويل إلى

جانب الصندوق الدولي لمكافحة الإيدز والسل والملاريا الذي أنشأته الأمم المتحدة في عام 2002 والذي أنفق 3 بلايين دولار أمريكي في التصدي لهذه الأمراض. ويقول فيدسون أنه يمكن لهيئة مشابهة من أجل الإنفلونزا الوبائية أن تنسق تطوير اللقاح وأن تمول الاختبارات التي تقودنا للتوصل إلى لقاح مساند منخفض الجرعة نحتاجه لمكافحة الوباء العالمي. كما يقول: "ألن يكون رهيباً إذا حل الوباء واكتشفنا بعد ذلك أنه كان بالإمكان إنتاج لقاحات أكثر بكثير؟" "وعندها سنبدو مثل الأغبياء."

ويمكن لمثل هذه الهيئة أن تتفادى الأزمة السياسية التي قد تنشأ إذا قررت الدول المنتجة للقاحات تمنيع شعوبها قبل السماح بتصدير اللقاحات. ويقول فيدسون: "هل يمكنكم تخيل النزاع الذي يمكن أن ينشأ إذا تم تلقيح الناس في بوردو ولم يتم تلقيح الناس في برشلونة؟" ويقول أنه بواسطة الدفع باتجاه التعاون الدولي تضمن الدول "التي لا تملك اللقاحات" حصولها على حصة من اللقاحات التي تُنتج في أمكنة أخرى.

يجب تقديم شيء ما قريباً. فقد تجددت في الأسبوع الماضي المخاوف جراء إصابة طيور في تركيا ورومانيا بالفيروس القاتل H_5N_1. وعندما ذهبت نيوساينتست للطباعة، لم يستطع الخبراء إلا القول بأن الفيروس في تركيا يمكن أن يكون من فصيلة H5، بينما لا يزال من غير الواضح ما هو الكائن المُمرض الذي سبب الإصابة في رومانيا. لكن العالم يزداد قلقه من أن الفيروس أو فيروساً آخر مشابهاً له سيتطور عاجلاً أو آجلاً إلى شكل يمكنه الانتقال بين البشر.

إذا كان لذلك أن يحدث، فإن الموجة الأولى من الإصابة ستنتشر حول العالم خلال أسابيع. ومن المحتمل أنها ستتلاشى بعد ثلاثة أشهر، فاسحة المجال أمام المنتجين لالتقاط أنفاسهم وتحديد هوية السلالة المضبوطة وإنتاج اللقاح لاحتواء الموجة الثانية من الإصابة.

ومع ذلك، إذا كانت هناك إرادة سياسية، يمكننا القيام بخطوات لحماية أنفسنا من الموجة الأولى. فعندما فحص الباحثون في شركة تشيرون الصانعة للقاح دماء أناس حقنوا بلقاح تجريبي مضاد لسلالة العام 1997 من الفيروس H5 لإنفلونزا الطيور وجدوا أنه تفاعل تصالبياً بقوة مع الفيروس H5 للإنفلونزا التي قتلت الناس في فيتنام في العام الماضي. وهذا يزيد من الآمال في أن اللقاح المضاد للفيروس H5 لإنفلونزا العام 2004 حتى H5 1997 يمكن أن يصلح لمكافحة سلالة وبائية من H5، حتى ولو كانت مختلفة قليلاً.

"لن يحصل الملايين من الناس على اللقاح وسيموت الآلاف، يُسمي الاقتصاديون هذه الحالة مغامرة البديل، أما أنا فأسميها مأساة".

وقد قال جيوسيب ديل جيوديس (الذي يعمل في شركة تشيرون) لمجلة نيوساينتست: "نحن واثقون أن اللقاح مفيد حتى لو لم يكن متوافقاً بشكل كامل مع السلالة الوبائية طالما يوجد مساند قوي". ورغم أنه من غير المحتمل أن يحمي هذا اللقاح بنسبة 100%، فإنه يمكن أن يعني أن الـ H5 لن يقتل الكثير من الناس. وقد يفيد كجرعة "تحضيرية"، الأمر الذي يعني أن الناس سيحتاجون لاحقاً إلى حقنة واحدة من اللقاح توافق السلالة الوبائية.

والعلم هو الآن في الوضع الصحيح. ويجب على العالم أن يبذل اليوم جهوداً لاختبار اللقاح الملائم وترخيصه. فعندما ظهرت مخاوف وبائية من إنفلونزا الخنازير في العام 1976، قامت حكومة الولايات المتحدة بتطوير لقاح واختبرته ورخصته وأنتجت بعد ذلك ما يكفي معظم شعبها خلال ستة أشهر. ويقول فيدسون: "لقد قمنا بذلك في العام 1976، لماذا لا نستطيع القيام بذلك الآن؟".

نُشر هذا الخبر في مجلة Newscientist.15 October 2005

وصفة كمومية للحياة

بول ديفيس

لم يتم منذ ستين عاماً وحتى الآن تحقيق نبوءة إيروين شرودينغر بأن علم ميكانيك الكم سيتمكن من حلّ اللغز حول كيفية نشوء الحياة. لكن لا يزال التطلّع لاستخدام نظرية الكمّ لحل هذا الغموض قائماً.

العثور على آدم الذرّي: يمكن لعلم ميكانيك الكمّ أن يكون قد أتاح نشوء الحياة دونما حاجة إلى كيمياء معقدة وسيطة.

إن أحد أكثر كتب الفيزياء تأثيراً في القرن العشرين كان، في الحقيقة، حول البيولوجيا. فقد قدّم إيروين شرودينغر من خلال سلسلة من المحاضرات وصفاً لكيفية اعتقاده بأن علم ميكانيك الكمّ أو ضرباً من ضروبه سرعان ما سيحلّ لغز الحياة. وقد نُشرت هذه المحاضرات في العام 1944 تحت عنوان: "ما هي الحياة؟" وتمّ اعتمادها من قبل البعض كمرشد لعصر البيولوجيا الجزيئية.

وفي القرن التاسع عشر ظن الكثير من العلماء أنهم عرفوا الجواب عن سؤال شرودينغر المتكلّف. واستمروا بالاعتقاد أن الحياة كانت نوعاً من مادة سحرية. وما الاستمرار في استخدام عبارة "الكيمياء العضوية" إلاّ من مخلّفات تلك الحقبة. وقد قاد الاعتقاد بوجود وصفة كيميائية للحياة إلى الأمل بأنه إذا علمنا ما هي هذه الوصفة، سيكون بإمكاننا مزج المادة الصحيحة في أنبوب الاختبار وتشكيل الحياة في المختبر.

وقد اتبعت هذا التقليد معظم الأبحاث في مجال النشوء الأحيائي، وذلك بادعاء أن الكيمياء كانت جسراً – وجسراً طويلاً في هذا الشأن– يصل المادة بالحياة. وقد كان توضيح هذا المسار الكيميائي هدفاً مضنياً حفّزته تجربة ميللر–يوري الشهيرة في العام 1952 التي جرى فيها صنع الحموض الأمينية عن طريق قدح شرارة كهربائية عبر مزيج من ماء وغازات شائعة. غير أنه تبيّن أن هذه الفكرة أمرٌ لا طائل منه، كما جاء النجاح اللاحق في التركيب الكيميائي قبل الحيوي prebiotic بطيئاً بشكل محبط. وهكذا يبقى أصل الحياة واحداً من الألغاز البارزة للعلم.

وإذا أخذنا باقتراح شرودينغر، الذي يمثّل حلاً متطرفاً لمعضلة "ماهية الحياة" فهل يمكن يا ترى أن يكون ميكانيك الكمّ قد أتاح نشوء الحياة بشكل مباشر من العالم الذرّي دونما حاجة إلى كيمياء معقدة وسيطة. إن الحياة لابد أن يكون لها أساس كيميائي: فالجزيئات العضوية تهيّئ العتاديات hardware اللازمة للبيولوجيا. ولكن ماذا عن البرمجيات software؟

حينما سأل شرودينغر: "ما هي الحياة؟" قد يكون لاحظ سلفاً الأهمية المحورية لاختزان معلومات الخلية وعمليات الانتساخ replication حتى وإن لم يكن في حينها قد تمّ اكتشاف دور الدنا (DNA) والكود الجيني. واليوم، لا يُنظر إلى الخلية وكأنها أمر سحري بل كأنها جهاز حاسوب (بمعنى أنها منظومة لمعالجة المعلومات ونسخها بدقة مذهلة).

وعندما يُنظر للحياة من خلال مصطلح معالجة المعلومات، فإن هذه المعضلة تأخذ منحى مختلفاً من التعقيد. فعلماء البيولوجيا

كانوا دائماً ينظرون إلى التناسل reproduction، الذي هو إحدى الصفات المميزة للحياة، كبنىً للنسخ والتضاعف سواء أكانت على شكل جزيئات من الدنا (DNA) أو خلايا بكاملها. ولكن كل ما نحن بحاجة إليه للشروع بالحياة هو انتساخ أو مضاعفة المعلومات.

يمكن معالجة المعلومات عند مرتبات من المستوى الكمومي للكبر بسرعة تفوق معالجته بالشكل التقليدي، وهذا هو سبب احتدام السباق إلى بناء حاسوب كمومي. علاوة على ذلك، يمكن أن تستفيد المنظومات الكمومية من ظواهر مثل التراكب superposition والتشابك entanglement والتنفيق tunnelling ابتغاء تحسين أدائها.

لا يحتاج الناسخ الكمومي أن يكون منظومة ذرّية يستنسل نفسه. ففي الحقيقة، توجد نظرية كمومية غير استنسالية تحرّم انتساخ الدالات الموجية. وبدلاً من ذلك، يجب نسخ محتويات معلومات المنظومة الذرّية بشكل سليم لحدٍّ ما (وليس بالضرورة في خطوة واحدة، ولكن ربما بعد متوالية من التأثرات interaction). كما يمكن أن تكون هذه المعلومات بشكل ثنائي binary، بالاستفادة مثلاً من التوجيه السبيني لإلكترون ما أو ذرّة ما. وبذلك يقدّم علم ميكانيك الكمّ تفريداً discretization أتوماتيكياً للمعلومات الجينية.

ما هو آدم الذرّي هذا، ذلك الناسخ الكمومي الذي يولّد الحياة؟ أعترف أنه ليس لدي دالّة عن البيئة الفضلى التي يمكن فيها اكتشاف مثل هذا الشيء، رغم أنني أعرف أنه لن يكون في إعداد حسائي تقليدي للبداءات primordial. إنه قد يكون موقعاً جليدياً مثل حبة بين النجوم. وحيثما كان ذلك، ما إن تأسّست جمهرة من ناسخات المعلومات حتى قدّم ارتياب الكم quantum uncertainty آلية ضمنية inbuilt للتنوّع. وهكذا يمكن أن يكون الارتماء في أحضان آلية الاصطفاء واللعبة الداروينية العظمى قد ابتدأ.

إذا كان الحال هكذا، فكيف نشأت الحياة العضوية؟ يمكن تمرير المعلومات من وسط إلى آخر بسهولة. وفي مرحلة معينة يمكن للحياة الكمومية أن يكون قد وقع اختيارها على جزيئات عضوية ضخمة من أجل الذاكرة الداعمة. وفي النهاية، ربما خطّت المواد العضوية حياة خاصة بها بكل معنى الكلمة. وربما تمّ التعويض عن الخسارة في سرعة المعالجة بزيادة التعقيد وتعدُّد الإمكانات واستقرار الجزيئات العضوية التي بدورها ربما مكّنت الحياة العضوية من غزو بيئات عديدة.

هناك شيء غاب عن الحسبان حتى الآن – إنه التعقيد complexity، فانتساخ نتفة من المعلومات هو شيء وتوليد وانتساخ سلاسل طويلة من النتف هو شيء آخر. أما كيف نشأ التعقيد في المنظومات فإنه موضوع ما يزال في طفولته. ولكن يمكن إنارة الأسس المعينة عن طريق تطبيق التعقيد الخوارزمي على نظرية المعلومات الكمومية.

حينما نشر شرودينغر كتابه انبهر فيزيائيو الكمّ بالنجاح في شرح طبيعة المادة. فالحياة هي في النهاية مجرد حالة للمادة، وإن كانت حالة عجيبة. ولقد انقضى ستون عاماً دون أن تتحقق توقعات شرودينغر. وها هم علماء البيولوجيا الجزيئية راضون بموديلات الكرة والعصا المبنية على المفاهيم الكلاسيكية. لكنهم ماداموا متشبثين بها، فإن أصل الحياة سيبقى غامضاً.

وحتى لو لم نتمكن من إعادة بناء التفاصيل الدقيقة لنشوء الحياة، فإن معرفة المبادئ العامة قد تكون إنجازاً كبيراً. ويمكن لإثبات النظرية الميكانيكية الكمومية، التي تضع حداً لاحتمال استطاعة منظومة كهذه بأن تتضاعف بدرجة معينة من الدقة وأن تتطور إلى مستوى معين من التعقيد، أن يجيب عن السؤال البيولوجي الفلكي المتقد أوراه والمتمثل في الاستفسار: هل كان أصل الحياة المعروفة مجرد حادث عجيب، أم أنه النتيجة المتوقعة لقوانين فيزيائية صديقة للبيولوجيا بشكل ذاتي؟ والجواب ينطوي على تضمينات خطيرة لأن هذه القضية تتعلق بإحدى أعمق مسائل الكون ومفادها: هل الحياة ظاهرة كونية، أم أننا فريدون في هذا الكون الشاسع؟

بول ديفيس: هو فيزيائي في المركز الأسترالي للبيولوجيا الفلكية في جامعة ماكواير في سيدني وهو مؤلف "أصل الحياة" (بنكوان 2003).

نشر هذا الخبر في مجلة Nature Vol 437, 6 October 2005

مستوى البحر والبراكين

تقوم الاندفاعات البركانية بتبريد المحيطات في العالم. وبعملها هذا، فإنها تقلّل بشكل مؤقت من ازدياد المخزون الحراري للمحيطات ومن ارتفاع مستوى البحر العائد إلى الاحترار الذي تسبّبه انبعاثات غازات الدفيئة.

يولِّد احترار الأرض ارتفاعاً في مستوى البحار. وتشير مشاهدات مقاييس المد وقياس الارتفاعات بواسطة السواتل إلى أن مستوى البحر كان ولا يزال يرتفع بمعدل 1.8 مليمتر سنوياً منذ عام 1950 [1] وحوالي 3 مليمترات في السنة خلال التسعينيات من القرن الماضي [2]. أما السببان المسؤولان فهما التمدد الحراري لمياه البحر نتيجةً لاحترار المحيط من جهة، والمدخول الزائد للمياه الناجم عن انصهار الكتل والطبقات الجليدية على اليابسة [3]. ولكن مقابل خلفية هذا التزايد الإجمالي، يبيّن المستوى الوسطي البحري العالمي تأرجحات بين سنوية وأخرى بين كل عشر سنوات تبلغ بضعة مليمترات. ولم تحظَ هذه التأرجحات إلاّ بالقليل من الاهتمام حتى الآن. ونشير إلى أن بعض التأرجحات ينجم عن تغيُّرات في المخزون الحراري تصاحب الاضطرابات الداخلية في منظومة الجو والمحيط مثل اهتزاز (إل -نينو) الجنوبي والاهتزاز الباسيفيكي العَقْدي decadal [4]. ولكن ثمة عمليات أخرى (ربما ترتبط بالتأثيرات "القسرية" للتغيُّر المناخي الطبيعي) لها دورٌ تلعبه أيضاً.

ويمكن الإشارة إلى المرجع Church et al [5] الذي يستخدم محاكيات مناخية للكشف عن تأثيرات الاندفاعات البركانية على مستوى البحر بين عامي 1890 و2000. وتأخذ هذه المحاكيات عامل الضغط الأنثروبوجيني (بفعل المجموعات البشرية) الذي نجم عن غازات الدفيئة والحلالات الهوائية وعلاقتها بطبقة الأوزون، وكذلك عامل الضغط المناخي الطبيعي الناجم عن التغييرات في النشاط البركاني، ومدخول input الإشعاع الشمسي. إن عوامل الضغط هذه تؤثر على المحيطات عبر تسخين (أو تبريد) أعالي المحيطات، مما يؤدي إلى زيادة (أو انخفاض) المخزون الحراري للمحيط، ومن ثم إلى ارتفاع (أو انخفاض) في مستوى البحر من خلال التمدد (أو الانكماش) الحراري للمحيط. ويذكر المرجع المذكور آنفاً أنه خلال الأشهر الأولى القليلة والتي تلي الاندفاعات البركانية الكبيرة يحدث هبوط بمقدار عدة مليمترات في متوسط المستوى البحري العالمي. ويتبع ذلك ارتفاع بطيء، يستغرق مدة عقدٍ من الزمن أو أكثر، وصولاً إلى حالة ما قبل الثورة البركانية.

يتمثّل الوصل هنا في أن الاندفاعات البركانية الكبيرة تضخُّ جسيمات وغازات في الغلاف الجوي، وبالذات الغازات الكبريتية والتي تتحول إلى حلالات هوائية كبريتية في طبقة الستراتوسفير، أي طبقة الغلاف الجوي للأرض التي تقع مباشرةً فوق الطبقة الأدنى أو التروبوسفير. ويتمثل أثرها المهيمن في رفع نسبة الإشعاع الوارد المنعكس بواسطة هذا الكوكب، مما يخفض بذلك من كمية الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض. وقد تمّت دراسة التبريد الهوائي-السطحي الصافي ونتائجه على الطقس بشكل كبير [6]، على خلاف التأثير على المخزون الحراري للمحيط ومستوى البحر.

يُبيِّن المرجع Church et al [5] أنه نظراً لانخفاض التدفق الشمسي الصافي على سطح المحيط، تستحثّ الاندفاعات البركانية تبريداً آنياً للطبقات السطحية، وبذلك يحصل انخفاض في المخزون الحراري وفي مستوى البحر. ويترابط الهبوط المفاجئ الحاد المتوقع في المخزون الحراري للمحيط مع المشاهدات بشكل جيد [7]. ورغم أن حرارة الهواء السطحي تسترد وضعها السوي خلال بضعة أعوام، فإن تأثيرات التبريد على المحيط تستمر لمدة عقد على الأقل. ويعود ذلك إلى سعة الحرارة الكبيرة الخاصة بالمحيطات إذا ما قورنت بمثيلتها الخاصة بالغلاف الجوي وإلى عملية إعادة التوزيع البطيئة للحرارة بفعل الدوران المحيطي ocean circulation [8,5].

يُبيِّن تحليل مشاهدات درجات حرارة المحيطات احتراراً تاريخياً صافياً للمحيطات منذ عام 1950، مُسْهماً بحوالي 85% من الارتفاع الكلّي في المخزون الحراري لمنظومة الأرض [7] قاطبةً ومتوائماً مع حالة اللاتوازن inbalance الحالية بين الطاقتين الممتصة والصادرة عن هذا الكوكب [9]. وتوحي دراسات النمذجة أن معظم احترار المحيطات ينتج عن الأنشطة الإنسانية والزيادة المرافقة لها في مستويات غازات الدفيئة [10]. ولكن، خلال العقود القليلة الماضية، أحدثت اندفاعات بركانية كبيرة (مثل جبل أجنج Mt Agung في أندونيسيا 1963، والشيشون El Chichon في المكسيك عام 1982، وجبل بيناتوبو Pinatubo في الفلبين عام 1991، تخفيضاً مؤقتاً في الاحترار الأنثروبوجيني للمحيطات. ونظراً لكون تأثيرات التبريد

الشكل 1: اندفاعات بركان جبل بيناتوبو: إن التأثير المبرد للحلالات الهوائية الكبريتية التي يولّدها هذا الاندفاع وغيره من الاندفاعات يفيد في تعليل التأرجحات في سجل المستوى البحري.

تحت السطحي subsurface للمحيطات يمكن أن تدوم لمدة تتراوح بين عقدٍ واحدٍ إلى عدة عقود، فإنها على الأقل قامت بحجب جزء من الزيادة المتسارعة لمستوى البحر.

تدل المحاكيات simulations [5] على أن اندفاع بركان جبل بيناتوبو في العام 1991 (الشكل1) قد سبّب هبوطاً في مستوى البحر بمقدارٍ يقارب 6 مليمترات في غضون عام واحدٍ تقريباً، الأمر الذي تبعه ارتفاع بطيء يبلغ حوالي ($0.5\ mm\ yr^{-1}$) خلال العقد اللاحق أو أكثر. وهكذا، فإن حوالي ($0.5\ mm\ yr^{-1}$) من الارتفاع الحاد لمستوى البحر الناجم عن التمدد الحراري، والمقدر بالاستناد إلى معطيات درجة حرارة المحيط خلال العقد المنصرم (حوالي $1.5\ mm\ yr^{-1}$) وذلك بالمقارنة مع ($0.4\ mm\ yr^{-1}$) وهي النسبة المتوسطة للسنوات الخمسين الماضية) [11]، قد يعكس التعافي من اندفاع جبل بيناتوبو. وهذا بدوره يمكن أن يفسّر جزءاً من المعدّل العالي لارتفاع مستوى البحر الذي لوحظ بواسطة قياس الارتفاعات باستخدام الساتل منذ أوائل العام 1993 وهو ($3\ mm\ yr^{-1}$)، بالمقارنة مع ($1.8\ mm\ yr^{-1}$) المسجَّلة بمقاييس المدّ التاريخية منذ عام 1950. ورغم أنه لا يزال من غير الواضح ما إذا كان ارتفاع مستوى البحر خلال العقد الماضي يشير إلى مَنْحىً متسارع، فإن دراسة Church et al [5] توحي بأن جزءاً منه (وليس كله على أيّة حال) يمكن أن يتم تفسيره بالتغيُّرية الطبيعية natural variability في سلّم الزمن بين السنوي interannual وسلّم الزمن في سنوات عشرٍ decadal timescale.

تشير تنبؤات نمذجة المناخ إلى أن مستوى البحر سوف يستمر في الارتفاع في العقود القادمة، حتى في القرون المقبلة، وذلك بسبب التمدد الحراري للمحيط استجابةً للاحترار الأنثروبوجيني [3]. ولكن يبيّن Church et al [5] بوضوح أن الاندفاعات البركانية الكبيرة تستطيع حجب ذلك التأثير (بشكلٍ جزئي ومؤقت). وتُعدُّ دراستهم هذه خطوةً أولى نحو فهم أفضل لسجل مستوى البحر– الأمر الذي يعتبر أساسياً إذا أردنا تحسين إسقاطات ارتفاع مستوى البحر، والاستعداد لمفعول هذا الارتفاع على الأقاليم الساحلية الحسّاسة وعلى أقوام الجزر.

المراجع

Refereces

[1] Church, J. A., White, N. J., Coleman, R., Lambeck, K. & Mirovica, J. X. J. Clim. 17, 2609-2625 (2004).

[2] Leuliette, E. W., Nerem, R.S. & Mitchum, G. T. Mar. Geodesy 27, 79- 94 (2004).

[3] Church, J. A. et al. in Climate Change 2001: The Scientific Basis (eds Houghton, J. T. et al) 639-694 (Cambridge Univ. Press, 2001).

[4] Lombard, A., Cazenave, A., Le Traon, P. Y. & Ishii, M. Glob. Planet. Change 47, 1-16 (2005).

[5] Church, J. A., White, N. J. & Arblaster, J. M. Nature 438, 74-77 (2005).

[6] Robock, A. Rev. Geophys. 38, 191-219 (2000).

[7] Levitus, S., Antonov, J. I. & Boyer, T. P. Geophys. Res. Lett. 32, (2005).

[8] Delworth, T. L., Ramaswamy, V. & Stenchikov, G. L. Geophys. Res. Lett. (in the press).

[9] Hansen, J. et al. Science 308, 1431-1435 (2005).

[10] Barnett, T. P. et al. Science 309, 248-287 (2005).

[11] Antonov, J. I., Levitus, S. & Boyer, T. P. Geophys. Res. Lett. 32, (2005)

نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, Vol 438, 3 November 2005

اليورانيوم المستنفد

ما هو اليورانيوم المستنفد؟

يتكون اليورانيوم المستنفد كمنتج خلال معالجة اليورانيوم الطبيعي بغية جعله ملائماً للاستخدام كوقود في منشآت إنتاج الطاقة النووية أو كعنصر مكوِّن في الأسلحة النووية. في اليورانيوم الطبيعي، يتألف 99.27% من الكتلة من ذرات اليورانيوم-238، ويتكوّن حوالي 0.72% من هذه الكتلة من ذرات اليورانيوم-235، بالإضافة إلى كمية صغيرة للغاية (0.0055% ككتلة) من اليورانيوم-234. ومع أن اليورانيوم-235 هو الأكثر ندرةً بين نظيري اليورانيوم الرئيسيين، فإنه يعدُّ النظير الذي يعاني بسرعة من الانشطار النووي ويكون بذلك المكوِّن الأكثر نفعاً لغرض تطبيقات الطاقة النووية الشائعة. وبالنسبة لمعظم هذه التطبيقات، يجب زيادة نسبة النظير اليورانيوم-235 الموجود في اليورانيوم الطبيعي من خلال عملية تدعى بالتخصيب enrichment.

تسبِّب عملية تخصيب اليورانيوم إنتاج اليورانيوم "المُخَصَّب" (والذي يحتوي على ما هو أقل من 0.72% من اليورانيوم-235) ويورانيوم "مستنفد" (يحتوي على ما هو أكثر من 0.72 % من اليورانيوم235-). وكذلك تزيل عملية تخصيب اليورانيوم الكثير من اليورانيوم234- من اليورانيوم المستنفد. يحتوي أغلب اليورانيوم المستنفد في الولايات المتحدة على ما بين 0.2 و0.4% من اليورانيوم -235، مع بقية هي اليورانيوم-238 وكمية ضئيلة من اليورانيوم-234. ويعد اليورانيوم المستنفد أقل نشاطاً إشعاعياً من اليورانيوم الطبيعي لأن بعضاً من اليورانيوم-235 ومعظم اليورانيوم-234 قد تم التخلص منهما. وبهذا، فلن يخضع اليورانيوم المستنفد لتفاعل نووي متسلسل.

كيفية إنتاجه

يتم تخصيب اليورانيوم في الولايات المتحدة، بواسطة عملية الانتشار الغازي التي يتم فيها تسخين مركب هيكسافلوريد اليورانيوم (UF_6) وتحويله من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية. ويجري دفع غاز (UF_6) عبر سلسلة طويلة من ضواغط con-verters ومحوِّلات compressors ذات حواجز مسامية. وبما أنّ اليورانيوم-235 يتميز بكتلة نظيرية أقل نوعاً ما من اليورانيوم-238، فإن الجزيئات UF_6 المتأتّية من انتشار اليورانيوم-235 عبر هذه الحواجز تكون أعلى نسبة بقليل مما يتأتى من الجزيئات المحتوية على اليورانيوم238- (تنتشر جزيئات اليورانيوم-234 عبر الحواجز بمعدّل يفوق جزيئات اليورانيوم-235).

ويوجد في نهاية هذه العملية مسربان لمُركب UF_6، أحدهما يمتلك تركيزاً من اليورانيوم-235 يفوق الآخر. ويوصف المسرب ذو تركيز اليورانيوم-235 الأعلى بـ (UF_6) المخصب، بينما يوصف الآخر الذي انخفض فيه تركيز اليورانيوم -235 بـ (UF_6) المستنفد. ويمكن تحويل هذا الأخير إلى مركبات كيميائية أخرى، مثل أكسيد اليورانيوم المستنفد أو معدن اليورانيوم المستنفد. ويمكن أن تستخدم طرق أخرى لتخصيب اليورانيوم، وهي تنتج أيضاً اليورانيوم المستنفد كناتج عرضي. أما عملية التخصيب الأكثر شيوعاً في استخدامها خارج الولايات المتحدة فهي التخصيب بالنبذ أو الطرد الغازي. وقد جرى أيضاً استكشاف عمليات تخصيب ليزرية الأساس، ولكنها لم تُطوَّر بشكلٍ اقتصادي.

كيفية استخدامه

على الرغم من أن الغالبية العظمى من اليورانيوم المستنفد يُدَّخر كناتج ثانوي من عمليات التخصيب في مواقع محطات الانتشار الغازي، فهناك بضعة استخدامات راهنة ومحتملة. ونظراً لكثافة اليورانيوم المستنفد العالية، فإنه يستخدم في الوقت الحالي في التدريع ضد الإشعاع. لقد كان معدن اليورانيوم المستنفد

النشاط النوعي لليورانيوم المخصب والمستنفد

يعتمد النشاط النوعي (SA) لمركب ما لليورانيوم على تركيبه النظيري. يبلغ النشاط النوعي لليورانيوم الطبيعي (المحتوي على0.72% من اليورانيوم-235) ما مقداره (6.77×10^7) كوري لكل غرام (Ci/g). يمكن أن يقدر النشاط النوعي للمزيد من خلائط اليورانيوم-238 ، واليورانيوم-235 ، واليورانيوم-234 باستخدام المقاربة المطورة من قبل الهيئة الأميركية للتنظيم النووي:

بالنسبة لليورانيوم المستنفد (اليورانيوم235- المحتوي على أقل من 0.72 %) :

$$SA = 3.6 \times 10^{-7} \text{ Ci/g}$$

وبالنسبة لليورانيوم المخصب (اليورانيوم235- المحتوي على أكثر من 0.72 %) :

$$SA = \{0.4 + 0.38\ (\text{enrichment}) + 0.0034\ (\text{enrichment})^2\} \times 10^{-7} \text{ Ci/g}$$

حيث enrichment (أي التخصيب) هو النسبة المئوية لليورانيوم-235.

وبذلك، فإن النشاط النوعي لليورانيوم المستنفد يبلغ حوالي نصف ما لدى اليورانيوم الطبيعي تقريباً. (وللتعبير عن النشاط النوعي SA بشكل وحدات عالمية قياسية، أوجد حاصل ضرب القيمة بـ Ci/g بـ 3.7×10^{10} بكريل).

يستخدم في السابق في صناعة الطائرات التجارية الكبيرة كأوزان معاكسة في الأجنحة. أما التطبيقات العسكرية لليورانيوم المستنفد فإنها تتضمن استخدامه في دروع الدبابات والقذائف المخترقة للدروع (بمعنى الأسلحة المضادة للدبابات)، وكأوزان معاكسة في الصواريخ والطائرات العالية الأداء. وكاستخدام مستقبليٍّ محتمل، يمكن مزج اليورانيوم المستنفد باليورانيوم العالي التخصيب المأخوذ من الأسلحة النووية الموقَفة عن الاستخدام وذلك من أجل إنتاج وقود مفاعلات نووية. ويطلق على هذه العملية اسم المزج أو التوليف blending ولم يستثمر حتى الآن إلا اليورانيوم الطبيعي أو القليل التخصيب في هذا المجال من التطبيقات. ونشير أيضاً إلى إمكانية استخدام كميات محدودة من اليورانيوم المستنفد من أجل تصنيع وقود خليط من اليورانيوم وأكسيد البلوتونيوم (MOX)، الأمر الذي يعدُّ حالياً ذا قيمة هامة للاستخدام في محطات الكهرباء النووية التجارية.

ما هي أعتدة اليورانيوم المستنفد الحربية؟

لقد أجريت بحوث واختبارات وتقييمات خلال السبعينيات من القرن الماضي في شأن تطوير أعتدة حربية مخترقة للدروع محسنة تقوى على دحر هدف ثقيل الدروع؛ فلقد كانت مواد عالية الكثافة كالتنغستين واليورانيوم المستنفد تعتبر مرشحةً لهذا النوع من العتاد الحربي، وأخيراً وقع الاختيار على اليورانيوم المستنفد بسبب كثافته العالية، ووفرته، واستخداماته التي لا تُنافس، وبسبب قابلية اشتعاله التلقائي إثر التعرض للهواء pyrophoricity.

إن السلاحين الأساسيين المضادين للدبابات والمصنوعين من اليورانيوم المستنفد هما قذائف مدفعية عيار 120 ملّيمتراً تستخدمها دبابة M1 Abrams، وذخائر 30 ملّيمتراً تستخدمها الطائرات A-10 المضادة للدبابات. وتستخدم أسلحة اليورانيوم المستنفد أيضاً في الدبابة البريطانية شلنجر، ومنظومات مدفعية سلاح البحرية البريطانية والأمريكية. فالدبابات M1 Abrams تطلق قذائف عيار 120 ملّيمتراً تحتوي على ثاقب طاقي حركي على شكل قضيب صلب ذي طرف مستدق، وهو مصنوع من حوالي 5 كيلوغرامات (11 باوندا) من معدن اليورانيوم المستنفد المخلوط مع ما يقل عن 1% من التيتانيوم. وتكون القذيفة دائرية قبقابية الشكل، مما يعني أن الثاقب يكون موجوداً ضمن حامل carrier لدى إطلاقه من السبطانة. وينفصل الحامل عن الثاقب بعد إخراج سبطانة السلاح يضاف إلى ذلك، أن العديد من دبابات M1 Abrams تدمج معدن اليورانيوم المستنفد كجزء من الدرع الخارجي.

وكذلك يجري إطلاق قذائف اليورانيوم المستنفد بواسطة مدفع رشاش عيار 30 ملّيمتراً ذي سبع سبطانات يثبّت في مقدمة الطائرة المسمّاة A-10 Thunderbolt، وهي الطائرة الحربية الأميركية الوحيدة التي تستخدم قذائف اليورانيوم المستنفد؛ فاليورانيوم المستنفد هو العتاد الأساسي للطائرة السابقة الذكر في القتال. ونشير إلى أن كل قذيفة يورانيوم مستنفد عيار (30-mm) تحتوي على ما يقارب 0.3 كيلو غرام (0.66 باوند) من معدن اليورانيوم المستنفد المبثوق بالضغط والممزوج مع ما نسبته 0.75% من التيتانيوم. ويتم تغليف كل قذيفة بطبقة من الألمنيوم سماكتها 0.8 ملّيمتر بحيث تأخذ الشكل الأخير لطلقة اليورانيوم المستنفد.

تمتلك ثواقب اليورانيوم المستنفد "مفعولاً شاحذاً" لدى ارتطامها مما يسمح باختراق قوي عبر الدرع. وتبيّن اختبارات هذا السلاح أنه عندما تخترق قذيفة اليورانيوم المستنفد إحدى المركبات المدرعة فإنها يمكن أن تجتاز المركبة بشكل كامل أو أن ترتد وتتشظى بداخلها. وهنا يمكن للشظايا المعدنيّة الناتجة من الثاقب وهيكل المركبة أن تتبعثر داخل المركبة الأمر الذي يتسبّب في قتل وجرح الأشخاص، وفي تخريب التجهيزات وفي إحداث انفجارات ثانوية وحرائق. ونذكر أن ما يساوي 70% من ثاقب اليورانيوم المستنفد قد يصبح حلالة هوائية حينما يضرب دبابة. ويمكن للحلالات الهوائية aerosols التي تحتوي على أكاسيد اليورانيوم أن تلوث المنطقة حسب اتجاه الريح. كما يمكن لشظايا معدن اليورانيوم وأكسيده أن تلوث التربة حول المركبة المضروبة. لقد أظهرت الاختبارات على ثواقب اليورانيوم المستنفد التي تضرب مركبات مدَّرعة باليورانيوم المستنفد أن معظم التلوث سيحدث ضمن حدود 5 إلى7 أمتار (16 إلى 23 قدماً) من المركبة.

من هم المعرضون لأخطاره؟

يمكن أن يتعرض الجنود لليورانيوم المستنفد حينما تكون القذائف السليمة في حالة التخزين أو حين تحميلها في عربات مدرعة، أو يتعرضون له بعد استخدام عتاد اليورانيوم المستنفد في أرض المعركة. لقد برهنت الدراسات على أن التعرض لمنظومات أسلحة اليورانيوم المستنفد السليمة، بما فيها الأعتدة والمدرعات، يشكل خطراً قليلاً جداً من الإشعاع الخارجي. أما اليورانيوم ومركبات الاضمحلال المرتبطة به فهما بشكل أساسي مصدرات ألفا alpha emitters، التي لا تصدر عنها إلا مستويات منخفضة جداً من إشعاعات غاما. بيد أن الأشخاص ذوي الصلة بتداول أو معالجة اليورانيوم المستنفد يرتدون عادةً قفازات سميكة للوقاية من جسيمات بيتا العالية الطاقة من البروتكتينيوم-m234، التي لا تشكل خطراً إلا في حالة التعرض الجلدي.

أما في أرض المعركة، يمكن أن يحدث التعرض لليورانيوم المستنفد في بضعة طرق فبعد الاصطدام بمركبة مدرعة ما، سيلوِّث اليورانيوم المستنفد بشكله الأكسيدي وكذلك شظاياه المعدنية المركبة المقصوفة والمنطقة المحيطة بها، ولا سيما إذا وقع انفجار أو حريق. ويمكن لأكسيد اليورانيوم المستنفد أن يصبح حلالة هوائية، وبذلك يمثل استنشاقه خطورةً على الجنود في الجوار أو باتجاه ريح المركبة المقصوفة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن لغبار اليورانيوم المستنفد أن يتوزع بشكل معلّق في الهواء بسبب تلوث التربة حول المركبة. كما يمكن أن يدخل الفم ابتلاعاً من التربة المتلوثة بشكلٍ غير مقصود عبر تماس اليد. وفي مثالٍ آخر عن التعرض بأرض المعركة، فقد تم الإبلاغ عن 36 جندياً على الأقل في عملية عاصفة الصحراء أصيبوا بجروح محتويةً على

شُدَف fragments مغروزة من اليورانيوم المستنفد. (لم يتم إزالة العديد من هذه الشدف بسبب خطورة إجراء جراحتها التي قُيّمت بأنها خطيرةٌ للغاية). وبعد المعركة، يمكن أن يتعرض العاملون في الصيانة والترميم لتجهيزات ملوثة باليورانيوم المستنفد. أما الغبار المحتوي على اليورانيوم المستنفد فقد يصبح حلالة هوائية من جديد خلال عمليات الترميم، الأمر الذي يطرح خطراً استنشاقياً. ويمكن أيضاً أن تتناثر قذائف اليورانيوم المستنفد المستهلكة والصواريخ التي تم إطلاقها وأخطأت أهدافها في أرض المعركة وبذلك يمكن أن تفضي إلى مزيد من أشكال التعرُّض.

مسيرته في الجسم

بعد ابتلاعه، يتم طرح معظمه من الجسم في غضون أيام قليلة ولا يدخل مجرى الدم مطلقاً. أما الجزء الصغير الذي يُمتص في مجرى الدم (من 0.2 إلى 5%) فإنه يترسب بشكل تفضيلي في العظام والكلى. ويغادر الكلى معظم ما يدخل منه إليها خلال أيام قليلة (في البول)، في حين أن ما يتراكم منه في العظام يمكن أن يبقى لسنوات عديدة. أما في حالة استنشاقه فإن جزءاً صغيراً منه فقط ينفذ عادة إلى المنطقة السنخية من الرئة، حيث يمكن أن يبقى لسنوات ويستطيع كذلك أن يدخل إلى مجرى الدم.

تأثيراته الصحية الرئيسية

لا يشكل اليورانيوم خطراً على الصحة إلّا في حال دخوله إلى الجسم. وبشكل عام، لا يشكل التعرض الخارجي لأشعة غاما قلقاً رئيسياً لأن اليورانيوم يصدر كمية صغيرة فقط من أشعة غاما المنخفضة الطاقة، أما التعرض لأشعة بيتا فلا يقلق إلّا بالنسبة لاستعمالات المناولة المباشرة (نظراً للتأثيرات/الآثار الجلدية المحتملة). أما أهم طرق التعرض فهي تناول الطعام والماء المحتوي على نظائر اليورانيوم ابتلاعاً وكذلك استنشاق الغبار الملوث باليورانيوم. ويعتبر الاستنشاق عادةً أكثر وسائل التعرض إقلاقاً ما لم يكن هناك مصدرٌ قريب للغبار المحمول بالهواء. ومع أن اليورانيوم يدخل إلى الجسم استنشاقاً بسهولة أكبر منه في حال الابتلاع، كلا مَسْلكي التعرُّض قد يكونان غاية في الأهمية. وما يثير القلق الصحي الأكبر هو التلف الكلوي الذي تسببه سميّة مركبات اليورانيوم المنحلة؛ وقد تكون هذه التأثيرات عكوسة استناداً إلى مستوى التعرض. ولا يعد اليورانيوم مادةً كيميائية مسرطنةً. أما الأثر الآخر المقلق فإنه يخصُّ اليورانيوم المتوضع في العظم، والذي قد يؤدي إلى سرطان العظام كنتيجة للإشعاع المتأين الذي يرافق نواتج الاضمحلال المشعّة. لقد سبَّب اليورانيوم مشكلات تناسلية في حيوانات المخابر وكذلك مشكلات نمائية لدى صغار الحيوانات، ولكن ليس من المعلوم ما إذا كانت هذه المشكلات موجودة فيما يخصُّ البشر.

مخاطره

لقد جرى حساب معاملات الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان فيما يتعلَّق بجميع النلكيدات المشعة تقريباً، بما فيها اليورانيوم. وعلى أساس أحد أنشطة كوري curie، فإن هذه المعاملات هي ذاتها بشكل أساسي بالنسبة لجميع نظائر اليورانيوم الطبيعية الثلاثة. وبذلك، تكون الخطورة مستقلة عن نسب النظائر المختلفة في مركب ما لليورانيوم. ولهذا السبب، فإن خطورة الإصابة بسرطان قاتل بسبب التعرض لليورانيوم المستنفد هي من حيث الأساس نفس خطورة التعرُّض لليورانيوم المخصب استناداً إلى النشاط الإشعاعي. ولكن، نظراً للاختلاف في النشاط النوعي، فإن الأنشطة المتساوية لكل من اليورانيوم المستنفد والمخصب ترتبط بكتل مختلفة إلى حد كبير.

يُسبِّب اضمحلال نظائر اليورانيوم في اليورانيوم المستنفد توليد نواتج اضمحلال مشعَّة. فعلى سبيل المثال، يتولد الثوريوم-234 والبروتكتينيوم-234 m (m تعني مقلقل metastable) من اضمحلال اليورانيوم-238. وقد تسبب إعادة تدوير recycling اليورانيوم المشعَّع أيضاً بعض الشوائب المشعّة في اليورانيوم المستنفد. ويحتمل أن تبدي بعض نواتج الاضمحلال هذه سمية كيميائية. هذا وتسهم مركبات وشوائب الاضمحلال في الإشعاع الذي يصدره اليورانيوم المستنفد؛ لكن التراكيز بشكل عام تعتبر أصغر من أن تكون مهمة حين تقيّم التأثيرات الصحية الكيميائية الناجمة عن التعرض لليورانيوم المستنفد.

ويعتمد مدى الضرر الكيميائي جراء التعرض لأحد مركبات اليورانيوم المستنفد على ذوبانيته solubility وطريق التعرض له. ففي أغلب التقييمات يؤخذ بالحسبان الاستنشاق والابتلاع فقط وذلك لأنه على الرغم من أن الامتصاص الجلدي لبعض المركبات الذوّابة يعد أمراً محتملاً (مثال: نيترات اليورانيل)، فإن هذا التعرُّض لا يعد ذا أهمية بالمشاركة مع الإصدارات الصناعية أو التعرضات البيئية. وحينما يتم استنشاق مركبات ذوّابة أو متوسطة الذوبان مثل فلوريد اليورانيل (UO_2F_2) أو تيترافلوريد اليورانيوم (UF_4) أو حتى حينما تبتلع، يدخل بعض اليورانيوم إلى مجرى الدم ويصل إلى الكلية وأعضاء داخلية أخرى، وبذلك تكون السمية الكيميائية ذات أهمية أساسية.

عندما يتم استنشاق مركبات غير ذوّابة مثل UO_2 و U_3O_8، يتراكم اليورانيوم بشكل عام في الرئتين ويمكن أن يبقى هناك لفترات طويلة من الزمن (لشهور أو سنوات). ويتمثل أهم ما يدعو للقلق جرّاء التعرض لهذه المركبات غير الذوّابة في الخطورة المتزايدة للسرطان جرّاء التعرض الداخلي إلى النشاط الإشعاعي. أما المركبات غير الذوابة المبتلعة فيكون امتصاصها ضعيفاً من القناة المعوية المعدية، وبذلك تكون سميتها منخفضة بشكل عام.

نُشر هذا الخبر في مجلة *ANL, October 2001*

دراسة محطة تحلية غشائية RO لتعويض نقص المياه في المنطقة الريفية لدمشق

ملخص

دُرس في هذا العمل الوضع المائي بالتفصيل في منطقة ريف دمشق متضمناً مصادر المياه المتاحة ومعدلات الاستهلاك ومقدار العجز ونوعية المياه المتوفرة. وبناءً على نقص مياه الشرب في هذه المنطقة تمّ اقتراح محطة مياه تعمل بطريقة الـ RO الملائمة. تمّ كذلك إعداد التصميم المفصل لكافة أجزاء المحطة بما في ذلك المعالجة الأولية اللازمة. وعرضت منهجية لحساب تكلفة المياه المنتجة وطبقت على المحطة المقترحة.

الكلمات المفتاحية:

التناضح العكسي، المعالجة الأولية، التكلفة الموازية لإنتاج الماء.

مقدمة

عانت سوريا خلال العقدين الأخيرين من مشكلة نقص الموارد المائية، وزيادة في عدد السكان بالإضافة إلى موجة الجفاف المنتشرة وكذلك فإن معدل استهلاك المياه قد زاد بشكل ملحوظ خلال هذه الفترة الزمنية. لذا تعتبر سوريا من البلدان التي تعاني من شح في توافر المياه الصالحة للشرب. وتعتبر مدينة دمشق وريفها من أكثر المناطق معاناةً في القطر، وبالتالي يجب أن يكون هناك حلول عاجلة وملحة منها:

- ترشيد توزيع واستهلاك الموارد المائية المتاحة.
- جلب المياه من مصادر جديدة كشاطئ البحر أو نهر الفرات.
- تحلية المياه.

دُرست في هذا العمل منابع المياه في منطقة ريف دمشق وبحث استهلاك المياه في الوقت الحالي والمستقبل، وكذلك درس شح مياه الشرب الآني وفي المستقبل في مناطق ريف دمشق، وحللت عينات مياه من مناطق الشح. وبالتالي تمكنا من تحديد حجم ونوع محطة التحلية المناسبة لسد العجز. عُدت عملية التحلية بطريقة RO أفضل حل كي تغطي النقص في مياه الشرب، وأُعد التصميم الكامل لمحطة من هذا النوع مع المعالجة الأولية. وفي النهاية تمّ إعداد دراسة اقتصادية مفصلة ومقارنة لهذه المحطة.

الوضع المائي

تحيط ريف دمشق بالمدينة من كافة جهاتها وتمتد من جبل الشيخ غرباً إلى جبال لبنان شرقاً ومن جبال القلمون شمالاً حيث تلتقي بالجزء المسطح من بادية الشام وصولاً إلى حوران من الجنوب وتقدر مساحتها الإجمالية بـ [18000 كم^2] وحسب إحصاء عام 2000 بلغ عدد سكانها 2000000 نسمة ينتشرون في 14 مدينة و30 بلدة وحوالي 200 قرية.

الموارد المائية

تبلغ مساحة الحوض المائي لمدينة دمشق حوالي 8630 كم^2 [1]. ويستمد هذا الحوض تغذيته طبيعياً من مياه الأمطار. وتتراوح معدلات الهطول السنوية من [130 مم/سنة] في المناطق المسطحة كبحيرة العتيبة والهيجانة و[250 مم/سنة] في الجبال المجاورة للحوض المائي

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
احتياجات المياه [مليون م³/سنة]	103	131	167	212	168	340	415
المصادر المائية المتاحة [مليون م³/سنة]	94	105	107	109	113	116	121
مقدار النقص [مليون م³/سنة]	9	26	59	102	155	223	293

الجدول (1) الاحتياجات والنقص والمصادر للمياه الصالحة للشرب.

لدمشق وبين [600-800 مم/سنة] في الجبال المرتفعة وفي المنطقة الحدودية لحوض دمشق وحوض الليطاني وحوض العاصي وبين [1500-1800 مم/سنة] في الجبال الغربية المرتفعة التي يربو ارتفاعها عن سطح البحر عن 2000 م.

وتعتبر الأمطار والثلوج المصدر الوحيد الذي يغذي الحوض المائي لدمشق ويقدر معدل التدفق السنوي لهذه الأمطار بحوالي [1300 مليون م³ /سنة]. ومن المعلوم أن معدل الاستبخار لهذه المياه يبلغ 44% فبالنتيجة يسيل الباقي لرفد الأنهار والسيول ويغذي المياه الجوفية. ويعتبر نهرا الأعوج وبردى النهرين الموسميين الرئيسيين في المنطقة واللذين يسيلان في نفس الموسم.

تأخذ بعض المناطق في ريف دمشق تغذيتها من المصادر المائية لدمشق كالمناطق الواقعة قرب نهري بردى والأعوج في وادي بردى أما المناطق الباقية فتستمد تغذيتها المائية من الينابيع المحلية أو الآبار العميقة. ويبلغ مجموع المصادر المائية المتوفرة في مناطق ريف دمشق حالياً حوالي [94 مليون م³/سنة] ويتوقع أن يبلغ هذا الرقم في عام 2020 حوالي [121 مليون م³/سنة] وذلك بسبب وجود بعض المشاريع المائية الجديدة التي تسعى لتوفير كميات من المياه الصالحة للشرب [1].

تستخدم مياه نهري بردى والأعوج لتغطية المتطلبات المائية للمناطق الواقعة قرب هذين النهرين ولمدينة دمشق. لذلك تغطي الينابيع المحلية والآبار العميقة المتطلبات المائية للأماكن الباقية من ريف دمشق، ويعتبر الجزء الشرقي من ريف دمشق أكثر الأجزاء معاناةً من شح المياه حيث لا وجود للينابيع فيها مما يضطر سكان هذه المنطقة للحصول على أغلب احتياجاتهم المائية من الآبار العميقة ويمكن تقسيم هذه الآبار إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي كالتالي:

1- الآبار التي تصل إلى طبقة الـ Quadruple والتي تنتشر في الجنوب والجنوب الشرقي من مدينة دمشق ويتراوح عمق هذه الآبار بين [70 – 150 م] ويبلغ إجمالي غزارتها حوالي [29 مليون م³/سنة] ناتجة من 400 بئر.

2- الآبار التي تصل إلى طبقتي Newgean and Baliogean ويتراوح عمق هذه الآبار بين [250 – 150 م] ويبلغ إجمالي غزارتها حوالي [10 مليون م³/سنة] ناتجة من 255 بئر.

3- الآبار التي تصل إلى طبقتي الكريتاسي ويتراوح عمق هذه الآبار بين 250 - 400 م ويبلغ إجمالي غزارتها حوالي [30 مليون م³/سنة] ناتجة من 100 بئر.

معدلات استهلاك المياه والنقص الموجود

بلغ عدد سكان ريف دمشق عام 2000 حوالي 2 مليون نسمة. مع العلم أن معدل النمو السكاني قد تناقص ببطء شديد من 5% إلى 4% ومن المتوقع أن يثبت عند هذا الرقم 4 ويتوقع أيضاً أن تزداد حصة الفرد من الاستهلاك اليومي للمياه كما يلي: 125,135,145,155,165 وذلك للسنوات 2000، 2010، 2020، 2030، 2040 على التوالي [3,2]. ويظهر الجدول 1 كل من احتياجات المياه ومقدار النقص والموارد المتاحة للمياه الصالحة في منطقة ريف دمشق [1].

يشكل المخزون الجوفي للمياه مصدراً هاماً لموازنة (تعويض) النقص في طلب المياه. ولكن من ناحية ثانية لا يأخذ هذا المصدر تغذيته بشكل منتظم، فبسبب الاستهلاك المفرط لهذه المياه الجوفية تناقصت مستوياتها بشكل شديد بالإضافة إلى ذلك فإن الازدياد المتوقع في عدد السكان سوف يكون هائلاً في السنوات الثلاثين القادمة. إن الاستهلاك الواعي لهذه المياه والبحث عن مصادر إضافية للمياه يعتبران من الحلول المثالية لهذه المشكلة.

نوعية المياه في المناطق الجافة

من المعلوم أن المياه الصادرة عن الينابيع الطبيعية مثل نبع بردى ونبع الفيجة تكون ذات نوعية جيدة جداً، حيث تحتوي على المقادير الصحيحة من الأملاح المعدنية الواجب توافرها في المياه الصالحة للشرب، وكذلك عدد من الآبار، ولكن في الجزء الشرقي من ريف دمشق توجد بعض المناطق التي تحصل على حاجاتها من المياه من الآبار العميقة والتي تكون مياهها غير صالحة للشرب بسبب محتواها العالي من الأملاح، ويظهر الجدول 2 التحاليل الكيميائية للمياه الجوفية لبعض هذه المناطق. فمن الضروري معالجة هذه المياه العالية الملوحة لتحسين نوعيتها. وبرأينا فإن استخدام محطة تحلية غشائية من نوع التناضح العكسي RO سيكون الخطوة الأولى نحو حل مشكلة المياه في المنطقة، ويتراوح عدد السكان الوسطي في كل قرية من هذه القرى بين 10000 إلى 20000 نسمة لذلك تعتبر محطة تحلية بإنتاجية [100م³/يوم] كافية لكي تغطي كافة الاحتياجات المائية لقرية واحدة حسب نسب الاستهلاك الوسطية للشخص.

الشاردة	كفرين	حران العواميد 2	حران العواميد 1	العتيبة 2	العتيبة 1	الشجانة
F^-	21.49±0.07	0.74±0.00	0.66±0.00	22.26±0.07	21.61±0.07	20.24±0.07
Cl^-	206.3±5.3	100.3±2.6	105.3±2.7	255.4±6.6	128.3±3.29	763.3±19.6
Br^-	<0.1	0.51±0.01	0.34±0.01	<0.1	<0.1	<0.1
NO_3^-	<0.1	1.88±0.03	0.21±0.00	19.24±0.31	<0.1	116.3±1.9
PO_4^{---}	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
SO_4^{--}	334.1±10.4	298.8±9.3	742.7±23.1	1253±39	625.3±19.5	1061±33
Li^+	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Na^+	147.5±0.1	91.69±0.07	109.3±0.1	436.4±0.3	216.6±0.2	767.7±0.6
K^+	<0.1	4.27±0.38	3.68±0.33	22.27±2.02	8.42±0.76	5.41±0.49
Mg^{++}	<0.25	86.1±2.8	83.91±2.73	<0.25	<0.25	50.31±1.64
Ca^{++}	483.8±4.7	89.93±0.86	111.5±1.1	1241±12	391.3±3.8	299.3±2.9
NH_4^+	16.03±0.01	<0.1	<0.1	59.92±0.02	18.48±0.01	<0.1
الناقلية (µs/cm)	2093±6	1227±1	1393.66±1.5	3216±6	2130±10	5253±6
TDS (ppm)	1554	871	943.5	2853	1761	3814

الجدول (2) التحليل الكيميائي لمياه الآبار في بعض قرى ريف دمشق.

محطة التحلية

تمَّ اختيار محطة تحلية غشائية RO وذلك بالاعتماد على المتطلبات المذكورة سابقاً بالإنتاجية المناسبة والبالغة [100م^3/ يوم] مع إجراءات المعالجة الأولية اللازمة لتحسين نوعية المياه المنتجة لتلائم معظم القرى المعنية لذلك سوف يتم تصميم كامل للمحطة المثالية اللازمة مع نظام المعالجة الأولية.

نظام المعالجة الأولية

تستلزم كل محطة من محطات تحلية المياه أنظمة معالجة أولية لتحسين أدائها ومنع تشكل الترسبات والقشور الكلسية والتي يمكن أن تترسب على أجزاء المحطة أثناء عملية التشغيل. يتألف هذا النظام من نوعين من المعالجة الأولية:

1- معالجة ميكانيكية 2- معالجة كيميائية.

المعالجة الميكانيكية الأولية

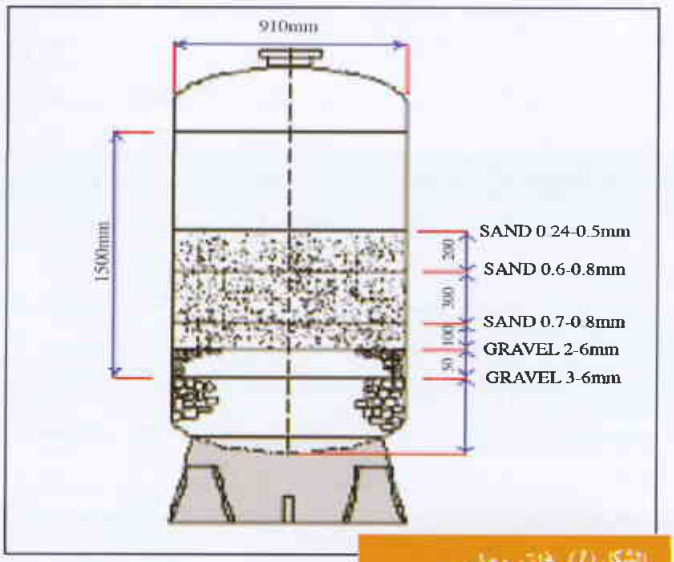
تتم في هذه الطريقة معالجة مياه التغذية معالجة فيزيائية لإزالة المواد الصلبة والسائلة المعلّقة ضمنها مثل الزيوت، الشحوم، حبيبات قاسية، خلايا جرثومية، مواد غروية، بكتريا، وفيروسات، والتي تعمل عادة على تخريب أغشية الـRO.

تتم عملية معالجة المياه بشكل عام بأربع طرق مختلفة يتم الانتقاء فيما بينها تبعاً لنوعية الملوثات الموجودة في مياه التغذية. سوف نتطرق في دراستنا هذه إلى ثلاث طرق وسوف نستثني المعالجة بواسطة فلاتر إزالة الشوارد المعدنية (Birm Filter) [5,6].

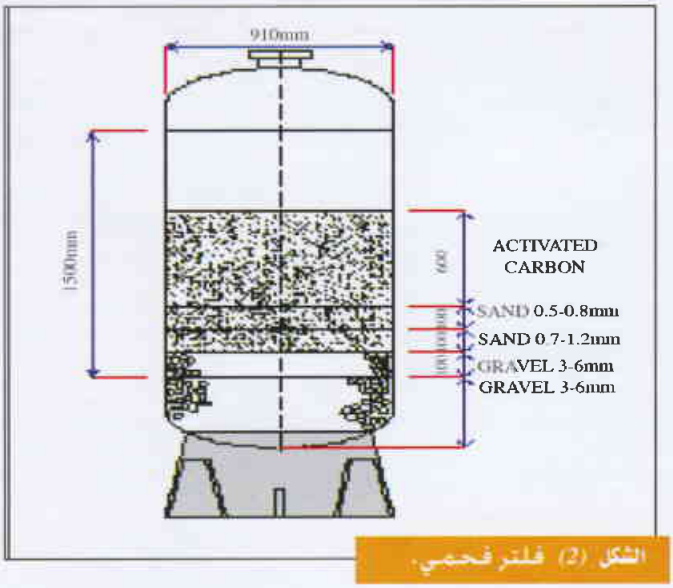
1- **تقنية الاحتباس:** تستخدم في هذه التقنية من المعالجة الفيزيائية فلاتر رملية لإزالة الجسيمات الصلبة المعلّقة والمواد الغروية. انظر الشكل (1).

2- **تقنية الامتزاز:** تستخدم في هذه التقنية فلاتر رملية أيضاً وتعمل على النحو التالي: ترتبط الزيوت والشحوم وأنواع أخرى من المواد الغروية مع حبيبات الرمل مشكّلة رابطة كيميائية ضعيفة.

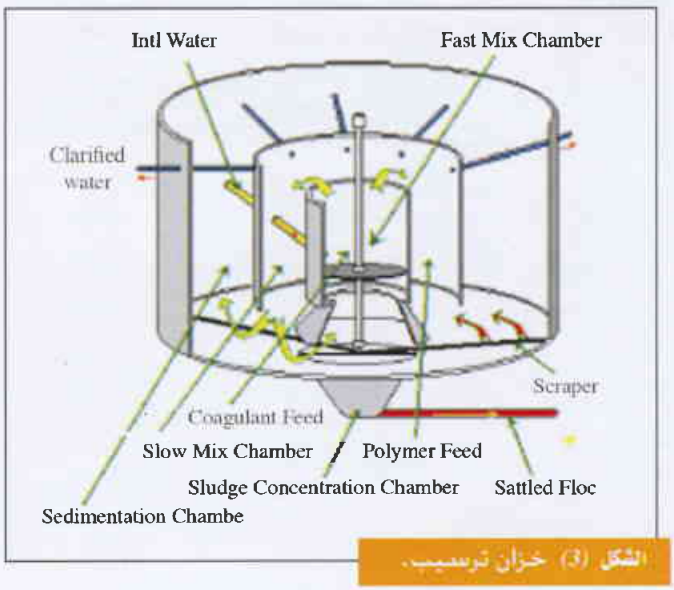
تمّ وصف الفلاتر الرملية الموجودة في المحطة المقترحة كما هي في الشكل (1).



الشكل (1) فلتر رملي.



الشكل (2) فلتر فحمي.



الشكل (3) خزان ترسيب.

3- تقنية الإرجاع: يعتمد مبدأ هذه التقنية في المعالجة على إزالة المواد العضوية والمواد المؤكسدة مثل الكلور الحر (Cl_2)، والذي يُحقن عادة من أجل إزالة البكتريا والفيروسات من مياه التغذية. ويمكن إزالة هذه المواد بإرجاع الكلور الحر مثلاً إلى الحالة الشاردية بوجود الكربون الفعّال الذي يتفاعل معه كما هو موضح في المعادلة التالية:

$$C + 2Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 4HCl + CO_2 \qquad (1)$$

يستخدم فلتر الفحم الفعال في هذه المعالجة، والشكل (2) يوضح وصفاً لهذا النوع من الفلاتر.

المعالجة الكيميائية الأولية

تستخدم المعالجة الكيميائية الأولية في محطات التحلية RO لمنع تشكل القشور والترسبات.

يُعتمد هنا على نوعين من المعالجة تبعاً لنوع المشكلة الموجودة في مياه التغذية:

1- الترسبات الناتجة عن المواد المعلّقة: تسبب المواد المعلّقة بشكل رئيسي ما يسمى بالعكارة، حيث تتراكم هذه المواد على سطح الأغشية مسببة ما يسمى بـ Fouling. تمتلك عادة المواد المعلّقة شحنة سالبة في الماء وتجعلها بوضعيتها المعلّقة. تضاف بعض أملاح المعادن (والتي تدعى بالمخثّرات) إلى الماء وهي تعمل على تعديل شحنة المواد المعلّقة وبالتالي تفقدها ثباتيتها بالشكل المعلّق فتقوم بتجميعها وترسيبها، ومن بين هذه الأملاح المعدنية: كلور الحديد وكبريتات الألمنيوم وكبريتات الحديد. يستخدم بوليمير البولي أكريلات للمساعدة على عملية الترسيب وتسريعها.

يتم تحديد كمية المواد المعلّقة عادة بالاعتماد على مفهوم SDI (محتوى الطمي)، والذي يقاس عادة بجهاز (Nepholometer). إن القيمة الأعظمية المسموح بها لـ SDI من أجل مياه تغذية محطات التحلية RO هي أقل من (3 NTU)، وفيما عدا ذلك فإنه يجب إضافة المواد المخثرة لإرجاع قيمة SDI إلى القيمة 3 أو أقل منها.

تُعبّر الواحدة NTU عن اسم الجهاز المقيسة به Nepholometer Turbidity units.

2- القشور: تملك بعض الأملاح التي تحتوي على كاتيونات ثنائية التكافؤ مثل (Ca^{+2}, Mg^{+2} , Sr^{+2} ..) انحلالية منخفضة، وبالتالي من الممكن جداً أن تترسب على الأغشية بسبب هذه الانحلالية المنخفضة. تدعى هذه الظاهرة بالتقشر أو التكلّس.

تضاف بعض المواد مثل (Na_2CO_3, $Ca(OH)_2$) إلى مياه التغذية لمنع حدوث التكلّس أو الترسيب لهذه الأملاح ضمن المحطة (ترسيب مسبق) وذلك ضمن حوض خاص يدعى بحوض الترسيب (الشكل 3) [7,6]. تتفاعل هذه المواد مع الشوارد ثنائية التكافؤ وتتحول بالنتيجة الأملاح المنحلّة إلى أملاح راسبة كما هو موضح في التفاعلات التالية:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$
$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4 \qquad (2)$$
$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$
$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$
$$MgCl_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

يظهر الشكل (3) خزان ترسيب [7] وهو يستخدم عادة في إزالة المواد المعلّقة والأملاح الرسوبية.

3- كمية الإضافات الكيميائية: تحدد كمية الإضافات الكيميائية إلى مياه التغذية تبعاً لنوعية هذه المياه (كما هي موضحة في الجدول 2) لكل قرية من القرى وتبعاً لنوعية المعالجة الأولية لها. وفي الجدول (3) تمّ تحديد كمية الإضافات الكيميائية (كمثال لبئر العتيبة 2) إلى مياه

Type of material	Amount Of material per permeate water (g/m³)	Tolerance (g/m³)	Price of material (US cent)	Tolerance Price of material (US cent)
$Ca(OH)_2$	226	60 ±	1.5	0.4 ±
Na_2CO_3	122.2	43 ±	3	1.44 ±
Poly Electroliet	1.5	0.5 ±	1	0 34 ±
$FeCl_3$	40	10 ±	10	1.5 ±
$Na(OCl$	2.5	-	0.4	-
H_2SO_4	(ml/m³) 9.12	-	3.04	-
NaOH	20	-	0.66	-
Sum Total	-	-	20.24	3.68

الجدول (3) يبين كمية وتكلفة الإضافات الكيميائية.

التغذية وتكلفة هذه المواد تبعاً للسوق المحلّية وتمَّ تحويلها إلى الدولار الأمريكي.

محطة التناضح العكسي RO المقترحة

بافتراض أن معدل تدفق الماء الناتج يساوي [100م³/ يوم] ونسبة الاستعادة للمحطة ككل تساوي 60% وملوحة ماء التغذية تساوي 5000 ppm بناءً عليه يكون معدل تدفق مياه التغذية 166.5م³/يوم. وقد تمَّ استخدام برنامج لتصميم محطات التناضح العكسي والمسمى ROSA [10] عند المعطيات السابقة وتمَّ الحصول على توصيف للمحطة كما في الشكل 4 وكانت التفاصيل كالتالي:

- مرحلة واحدة تحتوي على حجرة واحدة للضغط العالي، تحتوي على ستة عناصر غشائية من الطراز (BW30-400)
- ضغط ماء التغذية عند مخرج مضخة الضغط العالي يساوي 273.6 [psig]= 15 بار.
- يبلغ الضغط الأسموزي لمياه التغذية عند مدخل الأغشية 50 [psig] = 3.5 بار.

يمكن حساب استطاعة الضخ من العلاقة التالية [8]:

$$N = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta \times 1000} \qquad (3)$$

حيث: N: استطاعة المضخة [kw]، ρ: كثافة الماء [kg/m³]، g: تسارع الجاذبية الأرضية [m/sec²]، Q: معدل التدفق الحجمي [m³/sec]، H: ضاغط المضخة [mlc]، η_p: مردود المضخة، η_M: مردود محرك المضخة الكهربائي.

من أجل المضخة المساعدة يتم حساب إستطاعتها بإستخدام العلاقة 2 كما يلي:

$$N = \frac{1000.44 \times 9.8 \times 0.001921 \times 40}{0.85 \times 0.9 \times 1000} = 0.98[kW]$$

وبنفس الطريقة يتم حساب استطاعة مضخة الضغط العالي كما يلي:

$$N = \frac{1000.44 \times 9.8 \times 0.001921 \times 173.356}{0\,85 \times 0\,9 \times 1000} = 4.3[kW]$$

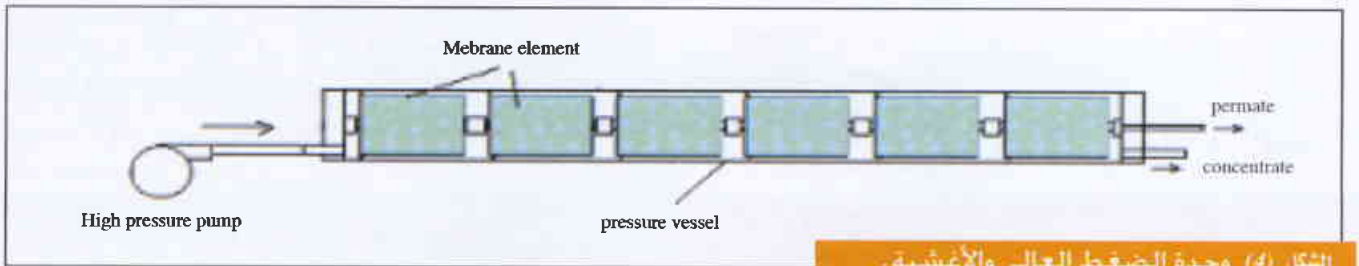
وبالتالي تكون استطاعة الضخ الكلية 0.98+4.3 = 5.3 [kWh]، ويكون استهلاك طاقة الضخ للمتر المكعب الواحد يساوي 5.3/4.11=1.28 [kWh/m³].

الناحية البيئية للتخلص من الماء شديد الملوحة

كما هو مبين في الجدول 2 تبلغ الملوحة العظمى لماء التغذية حوالي 3800 ppm. فبالنتيجة يكون تدفق الماء المالح الناتج من المحطة 66 (م³/يوم) عند ملوحة تبلغ 9406 ppm. كماهو معلوم يمكن أن تكون هذه المياه ملائمة لري بعض الأشجار المثمرة مثل الرمان والنخيل أو الأشجار الحراجية مثل الكينا. وكما هو معلوم كانت منطقة ريف دمشق منطقة خضراء في الماضي، إن استخدام هذه المياه المالحة سيكون مفيداً لإعادة تشجير هذه المنطقة بالأشجار المذكورة سابقاً.

تكلفة إنتاج المياه

تحدد تكلفة إنتاج الماء عن طريق تعيين القيم الآنية لكافة المصاريف السنوية المتتالية المتعلقة بإنتاج الماء PVE وتقسيم هذه القيمة على كمية إنتاج الماء PVp على مدى العمر الكلي للمحطة n [11].



الشكل (4) وحدة الضغط العالي والأغشية.

أجزاء المحطة	المواصفات	العدد	التكلفة
خزان الترسيب		1	1600 $
الفلاتر الرملية		1	500 $
الفلاتر الفحمية		1	600 $
التمديدات الأنبوبيةوالتجهيزات الأخرى ومعدات التحكم			6000 $
خزانات ماء التغذية والماء المنتج	إسمنت	2	2000 $tanks
تكاليف الأبنية			10000 $
التكاليف المحلية الكلية C_o			20100 $
الفلاتر الخرطوشية	3 Length "20	3	500 $
المضخات المساعدة	Power 0.98 kW	2	1500 $
مضخة الضغط العالي	Power 4.3 kW	1	2500 $
العناصر الغشائية	1 Bw 30 400	6	10000 $
حجرات الضغط العالي	6 membrane elements	1	2500 $
التكاليف الكلية للتجهيزات متضمنة أسعار الأغشية C_{VO}			17000 $
المقدار السنوي للتكاليف الرأسمالية الكلية C_{ca}			4090.8 $
المقدار السنوي لتكاليف التشغيل والصيانة $C_{O\&M}$			11132.5 $
المقدار السنوي لتكاليف الطاقة C_p			1898 $
المقدار السنوي لنفقات الماء المعالج			17121.3 $
مقدار الماء المنتج سنوياً			36500 m^3
المقدار السنوي للتكلفة المعدلة لإنتاج الماء			**0.47 $**
التكلفة المعدلة لإنتاج الماء			**0.55 $**

الجدول (5) تكاليف التشغيل والصيانة واستهلاك الطاقة.

تعرف القيمة الآنية للمصاريف المتعلقة بإنتاج المياه بأنها مجموع المصاريف السنوية المتتالية بأخذ نسبة حسم منسوبة إلى سنة الأساس لـ T_o مقدارها r= 8 %. نفترض أن كافة المصاريف تدفع في نهاية كل سنة وهذه المصاريف متدرجة بنسبة التدرج e = 2 %، وتحسب PVE كما يلي:

$$PV_E = \sum_{t=T_{cs}}^{Tc} \frac{C_0(t).(1+e)^{t-T_0}}{(1+r)^{t-T_0}} \qquad (4)$$

حيث: $C_0(t)$: المصاريف في السنة t والمستخدمة في إنتاج الماء بحسب قيمة العملة في سنة الأساس T_{cs}، T_o سنة بدء الإنشاء، T_c هي سنة نهاية عمر محطة التحلية. وتحدد قيمة إنتاج المحطة على مدى طول عمرها كما يلي:

$$PV_p = \sum_{t=T_{os}}^{T_{oe}} \frac{P(t)}{(1+r)^{t-T_0+0.5}} \qquad (5)$$

حيث: PV_p هي القيمة الحالية لإنتاج الماء، P(t) معدل إنتاج الماء في السنة t، T_{os} سنة بدء الإنتاج، T_{oe} سنة نهاية الإنتاج. والآن نستطيع حساب تكلفة إنتاج الماء المعدلة بالعلاقة:

$$C = \frac{PV_E}{PV_p} \qquad (6)$$

C_o: المصاريف السنوية لإنتاج الماء متضمنة C_{ca} التكاليف الإنشائية و$C_{O\&M}$ تكاليف التشغيل والصيانة وتكاليف الطاقة المصروفة C_p أي:

$$C_o = C_{ca} + C_{O\&M} + C_P \qquad (7)$$

وتحسب C_{ca} بدلالة التكاليف الاستثمارية الكلية C_{To} ومعدل الصرف الثابت a_n كما يلي:

$$a_n = \frac{r.(r+1)^n}{(1+r)^n - 1} \qquad (8)$$

حيث $C_{ca} = C_{TO}.a_n$

حيث r: معدل الخصم و n عمر المحطة. نفترض r = 7% و n = 30 سنة، فتكون a_n= 0.11.

	التكلفة		التكلفة
راتب العامل الشهري	200 $	تكاليف تبديل الأغشية	0.017 $/m³
رواتب العمال	0.06 $/m³	نظام الغسيل	300 $ per a
قطع التبديل	0.02 $/m³	التكاليف السنوية للتشغيل والصيانة متضمنة تبديل الأغشية	11132.5 $
المواد الكيميائية المستخدمة في المعالجة الأولية والنهائية	0.20 $/m³	استهلاك الطاقة	1.3 kWh/m³
المعدل السنوي لتبديل الأغشية	14 %	كلفة الطاقة	0.04 $/kWh
سعر العنصر الغشائي	800 $	تكلفة الطاقة للمتر المكعب	0.052 $/m³
أسعار تبديل الأغشية	19200 $	الكلفة السنوية للطاقة	1898 $

الجدول (4) تكاليف محطة التناضح العكسي لإنتاج الماء.

وتحسب C_{To} كما يلي:

$$C_{TO} = (C_{VO} + C_o).(1 + IDC) \qquad (9)$$

حيث C_{VO} هي تكلفة البائع المباشرة، C_o هي تكلفة الشاري، IDC معامل الفائدة أثناء عملية البناء والتي تعطى كما يلي:

$$IDC = (1 + i_{cs})^{\frac{i_{cs}}{2}} - 1 \qquad (10)$$

حيث ics: معدل الفائدة أثناء عملية البناء، من أجل ics= 7% تكون IDC = 0.0024

وقد تمَّ إستخدام الأسعار المحلية لكل من العناصر والأيدي العاملة وأسعار القطع الأجنبية ومنهجية الحساب المذكورة سابقاً لحساب تكاليف التشغيل والصيانة وتكاليف المحطة من ثم تكلفة إنتاج المتر المكعب من الماء كما هو مبين في الجدولين 4 و5.

خاتمة

نستنتج من هذا العمل أن العديد من قرى ريف دمشق يستخدمون حالياً مياه آبار مالحة كمياه الشرب والتي لا تعتبر صالحة من الناحية الصحية. فتكون محطة تناضح عكسي كالمقترحة في هذا العمل ملائمة لتزويد العديد من هذه القرى "كالتي تتوضع في القسم الشرقي من دمشق "بمياه صالحة للشرب وبسعر مقبول لا يتجاوز 0.55 دولار للمتر المكعب وهو سعر يستطيع دفعه الكثير من السكان حيث أنهم يستخدمون حالياً مياه صالحة للشرب تجلب لهم عن طريق صهاريج من أماكن بعيدة وبكلفة لاتقل عن 4 دولارات للمتر المكعب الواحد. هذا يعني أن الماء المنتج عن طريق محطة التحلية أرخص بحوالي ثماني مرات. بالإضافة إلى أن استخدام محطة التحلية في هذا البلد له العديد من المزايا خصوصاً من ناحية نقل تقانة تحلية المياه. كون تحلية المياه تعتبر أحد أهم الحلول المثالية في المستقبل.

References المراجع

[1] The Ninth Scientific Engineering Week, Engineering society, Damascus, 1998.

[2] The Water Status in Syria, International Water Day Meeting, April 2002

[3] Statistical Abstract, General Bureau of Statistics, vol 53, year 2000

[4] Statistical Abstract, General Bureau of Statistics year 1980 -1999

[5] Water Treatment, Training Program, A.E.S, phase 1, vol. 1, section 2, KSA, 2003

[6] Demineralization by Ion Exchange, Applebaum, Academic Press, 1968

[7] Coagulants and Flocculants, Theory and Practice, Kim Tall, Oaks Publishing,1995

[8] A.K. Chatterjee, Water Supply, Waste Disposal, Khanna Publishers 1998.

[9] FilmTec, Membrane Elements, Technical Manual, April 1995

[10] ROSA 5.3 RO design software, by FilmTec, 1998

[11] IAEA-TECDOC-942 Vienna 1997.

[12] Filmtec internet list of prices 1998.

- إعداد د. سهيل سليمان، فادي كروما، جاك موجبان: قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرية السورية.

- نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Desalination 173 (2005) 000-000.

دراسة وتحديد النطاق المشبع لوسط كارستي

باستخدام طريقة الرنين المغنطيسي والمسح الجيوكهربائي الثنائي البعد

ملخص

للإجابة على أحد الأسئلة الرئيسية التي تواجه الهيدروجيولوجيين فيما يتعلق باختيار المكان الأفضل لحفر بئر، أو فيما يتعلق بمشاكل التلوث في بيئة كارستية فإنه لابد من التعرف على مكان وجود الطبقة الحاملة. ما هي الطرائق الجيوفيزيائية التي نحتاج إليها؟ وما هي مساهمة كل طريقة بالنسبة للأخرى؟

تختلف مساهمة الطرائق الجيوفيزيائية من طريقة إلى أخرى. فمثلاً تعد طريقة الرنين المغنطيسي magnetic resonance sounding (MRS) طريقة متقدمة وحديثة في التحري المباشر عن المياه الجوفية بالمقارنة مع الطرائق الجيوفيزيائية التقليدية الأخرى. لقد نفذت ثمانية أسبار بهذه الطريقة على بنية كارستية معلومة تحوي مجرى كارستياً جوفياً (karst conduit) تم تحديده بدقة من قبل فريق من الغطاسين المختصين بالغوص في الكهوف والمجاري الجوفية الكارستية (speleologists). بهدف التعرف على فعالية هذه الطريقة في تحديد الحامل المائي، إضافة إلى ذلك تم تنفيذ بروفيلين بطريقة السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد (DC-2D) بهدف التحقق من فعالية هاتين التقانتين في كشف كهف كارستي معروف.

لقد وجدنا أن طريقة MRS مفيدة وفعالة في تحديد الحوامل المائية في الصخور الكارستية عندما تكون كمية المياه كافية للاستكشاف وعتبة هذه الكمية تابعة للعمق ويمكن تقديرها بنموذج متقدم ومقترح على شكل رسم بياني مساعد للهيدروجيولوجيين. ويمكن استخدام الإشارات الناتجة عن MRS في حساب عامل النفاذية والناقلية المائية. ويمكن الاستفادة من هذه العوامل في وضع خريطة لموقع الدراسة مع مقطع عرضي يبين موقع وعمق مسار المياه في الكارست.

لقد تمكنا من خلال السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد للمقاومية الكهربائية من تحديد معالم البنية العامة لوسط كارستي وبدقة عالية للكهف الكارستي وإظهار ارتباطه الواضح بفوالق وكسور تكتونية محلية. وقمنا بتنفيذ تمثيل رياضي (computer simulation) على الحاسب من أجل التحقق من عمق الكهف المحرض الشاذ ذي المقاومية الكهربائية والذي يمكن قياسه في شروط مشابهة.

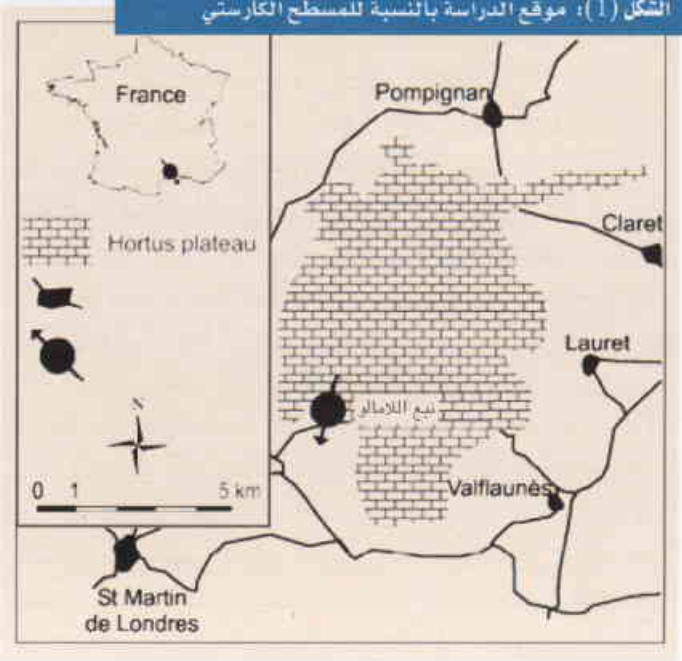
الكلمات المفتاحية:

طريقة الرنين المغنطيسي، سبر جيوكهربائي ثنائي البعد، كارست، موقع اللامالو- فرنسا.

مقدمة

تعد رابطة مقاومة المجاعة (Action contre la Faim) منظمة عالمية غير حكومية تناضل ضد الجوع في العالم من خلال برنامج الغذاء العالمي والصحة والمياه وتعمل في أكثر من 40 بلداً على مستوى العالم، حيث يمثل كل بلد تنوعاً طبيعياً كبيراً على الصعيد الجيولوجي وخاصة فيما يتعلق بالصخور الكربوناتية والتي يشكل فيها الكارست الخازن الرئيسي والمهمّ للمياه. يشكل استثمار وإدارة هذه المياه تحدياً مباشراً يواجه الهيدروجيولوجيين، كون هذه الأوساط تعتبر من الناحية الهدروجولوجية أوساطاً معقدة وغير متجانسة بنيوياً، الأمر الذي يؤدي إلى صعوبة بالغة في فهم الآلية الهيدروليكية والسلوكية التي تميزها، مما يؤدي إلى صعوبة في تحديد أماكن لحفر الآبار فيها، إضافة إلى الحساسية العالية التي تتصف بها هذه النظم وكيفية حمايتها من التلوث. من أجل حماية ودراسة وتطوير هذه المصادر المائية والاستفادة قدر الإمكان منها، تم وضع برنامج بحث علمي متكامل بين منظمة مقاومة المجاعة وكل من معهد الأبحاث والتطوير (IRD) ومكتب البحوث الجيولوجية والمنجمية (BRGM) بالإضافة إلى جامعة مونبلييه (فرنسا).

الشكل (1): موقع الدراسة بالنسبة للمسطح الكارستي



تعد الجيوفيزياء واحدة من أهم الأدوات والوسائل الأساسية المتبعة في دراسة النظم الكارستية من خلال دراسة البنية الجيولوجية والهدروجولوجية العامة وذلك بتطبيق عدة طرائق جيوفيزيائية في آن واحد، كالجيورادار والطرائق الكهرطيسية [1] أو المقاومية الكهربائية والطريقة السيسمية [2] أو طريقة غاما بالمشاركة مع المقاومية الكهربائية [3].

أما بالنسبة لطريقة الكشف بالرنين المغنطيسي (MRS)، فإن الميزة الأساسية التي تتصف بها هذه الطريقة هي أن الإشارة المقيسة مرتبطة بشكل مباشر بجزيئات الماء الموجودة ضمن الصخور الحاملة وبالتالي فهي تقلل من الالتباس والخطأ في تفسير المعطيات [4]. هذا التحري المباشر للمياه يقود الهيدروجيولوجيين إلى اعتبار هذه الطريقة إحدى الأدوات المفيدة والفعالة في تقدير الأبعاد الجيوهندسية والنفاذية (permeability) والناقلية (transmissivity) للحوامل المائية [6,5].

ومن أجل التحقق من فعالية طريقة الرنين المغنطيسي في دراسة وتحديد النطاق غير المشبع لوسط كارستي، فقد تمّ تطبيق طريقة السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد (DC-2D) مع هذه الطريقة على موقع كارستي معروف مسبقاً ومدروس جيولوجياً وهيدروجيولوجياً (Lamalou site) حيث يقع إلى الشمال الغربي من مدينة مونبلييه في جنوب فرنسا. تقدم هذه الورقة العلمية النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها من تطبيق طريقة MRS وطريقة DC-2D وتقييم فعاليتهما في تحديد الحوامل المائية لبيئة كارستية.

الوضع الجغرافي

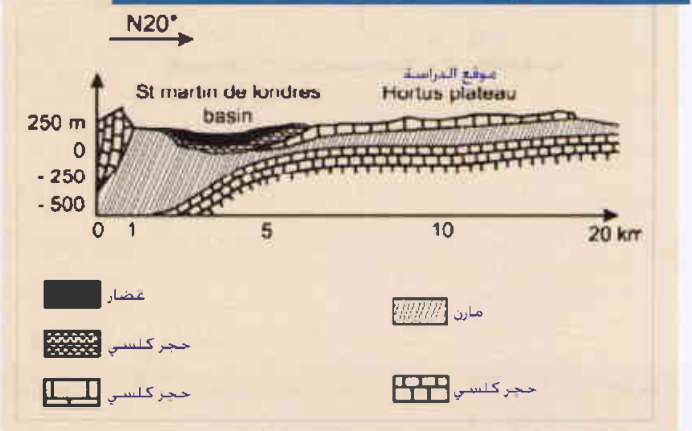
تقع منطقة الدراسة "لامالو" في موقع كارستي يبعد 40 كم عن مدينة مونبلييه في جنوب فرنسا (الشكل 1). تغطي المنطقة توضعات من الحجر الكلسي بمساحة 50 كم²، في حين تتراوح قيم الارتفاعات ما بين 195-512م عن مستوى سطح البحر. يسود منطقة الدراسة مناخ متوسطي، يتميز بوجود فترتين مطيرتين (الأولى في الخريف والثانية في الربيع) وبدرجة حرارة يمكن أن تصل صيفاً كحد أعظمي في بعض الأحيان إلى (45°) درجة مئوية وتهبط شتاءً إلى (10°-) درجات مئوية.

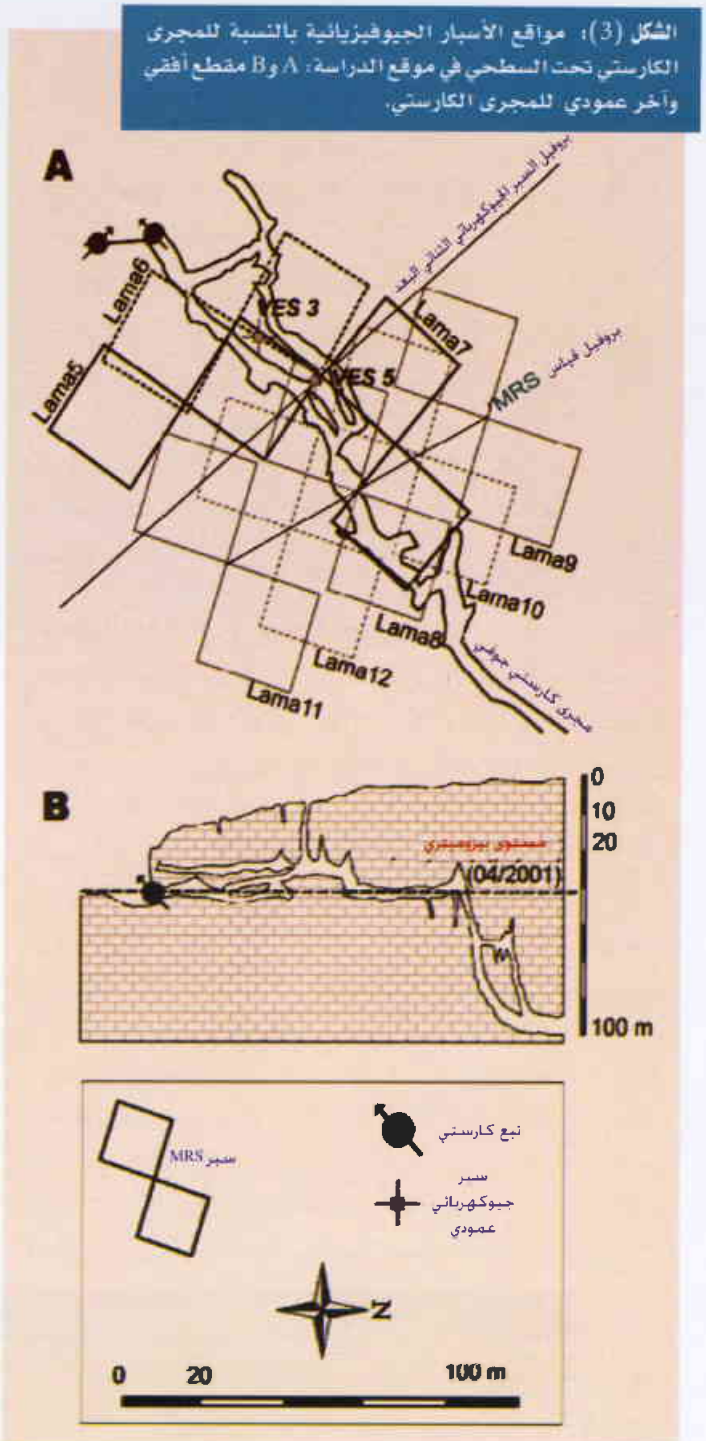
تتكشف على سطح الأرض في هذه المنطقة صخور كربوناتية شديدة التشقق باستثناء بعض المنخفضات الصغيرة فيها حيث الشقوق مليئة بتوضعات غضارية، يسود المنطقة غطاء نباتي متوسطي كثيف مؤلف من أشجار حراجية كالسنديان والبلوط. ويتصف سطح المنطقة بغياب مركبة الجريان السطحي.

الوضع الجيولوجي والهيدروجيولوجي

تتألف الطبقة السطحية لمنطقة الدراسة من صخور كربوناتية تعود إلى عصر الفالنجنيان العلوي (Upper Valanginian) بسماكة تتراوح بين 80-100م. يليها طبقة مؤلفة من المارل تعود إلى البيرسيان الأعلى (Upper Berriassien) (الشكل 2). يتم صرف المياه الجوفية للطبقة الكارستية الحاملة بغالبيتها على شكل ينابيع موزعة على أطراف المسطح الكارستي. تشكل طبقة الفالنجنيان العلوي المكونة من صخور كربوناتية شديدة التشقق والتجوية الحامل المائي الرئيسي في منطقة الدراسة. يتشكل، في بعض الأحيان، في الجزء العلوي من نطاق الإبيكارست، خزان مائي محلي يساهم في تغذية النطاقات المشبعة والعميقة [7]، ويتوضع تحت هذا النطاق طبقة بسماكة 20 م تشكل ما يسمى بنطاق الرشح أو النطاق غير المشبع. يتم رشح المياه إلى النطاق المشبع والمجرى الكارستي (karst conduit) عبر مجموعة من الشقوق العمودية والمفتوحة وأخرى شعرية دقيقة. تتميز الصخور الكربوناتية المكونة بمسامية منخفضة جداً تصل إلى 1.8%

الشكل (2): الوضع الجيولوجي لموقع الدراسة [1].





الشكل (3): مواقع الأسبار الجيوفيزيائية بالنسبة للمجرى الكارستي تحت السطحي في موقع الدراسة: A و B مقطع أفقي وآخر عمودي للمجرى الكارستي.

[8]، وهذا يعني أن معظم عمليات الرشح تتم عن طريق الشقوق والمسالك الكارستية. لقد تمَّ استكشاف بعض أجزاء المجرى الجوفي الكارستي وتحديده بواسطة غواصين مختصين في هذا المجال (الشكل 3).

هدف المسح والمنهجية

لقد تم القيام بالعديد من أعمال التحري المختلفة في منطقة الدراسة (Lamalou site)، وذلك بهدف التعرف على البنية الجيولوجية والهدروديناميكية للوسط الكارستي، وكانت الطرائق الجيوفيزيائية واحدة من أهم الطرائق المستخدمة خلال عام 2000 و2001، مثال ذلك: الطريقة الكهرطيسية، السبر الجيوكهربائي العمودي، والجيورادار [9]. ولإتمام عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائي، تمَّ تنفيذ مسح بطريقة الرنين المغنطيسي (MRS) وآخر بطريقة السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد (DC-2D)، وكان الهدف الرئيسي لاستخدام هاتين التقانتين هو مساعدة الهيدروجيولوجيين على تحديد نطاقات المياه الجوفية ضمن وسط كارستي وبشكل خاص تحديد أعماق وسماكة هذه الحوامل ضمن النطاق الإبيكارستي المشبع، ومن جهة أخرى، التحقق من فعّالية وحساسية طريقة DC-2D في الكشف عن الكهوف تحت السطحية. من أجل ذلك، تمَّ تنفيذ 8 أسبار بطريقة MRS واثنين بطريقة DC-2D على نظام كارستي معروف فيه العمق والأبعاد الجيوهندسية لكهف ومجرى كارستي طبيعيين (الشكل 3). كما تمَّت الاستعانة بلباب بئرين محفورين مباشرة فوق الكهف الكارستي وذلك لقياس المنسوب الستاتيكي والتعرف على العمود الليتولوجي.

المسح بطريقة الرنين المغنطيسي

تستخدم طريقة MRS لأهداف هيدروجولوجية كون هذه الطريقة تتأثر (ذات حساسية) بالمياه الجوفية.

مبدأ طريقة MRS

يعتمد مبدأ هذه الطريقة على تحريض بروتونات ذرّة الهدروجين المشكلة لجزيئات المياه الموجودة في الصخور وقياس الحقل المغنطيسي الصادر عن البروتونات بعد زوال السبب المحرض. نحن نعلم من الفيزياء النووية أن بروتونات الهدروجين تمتلك سرعة زاوية S وقوة دفع مغنطيسية μ ترتبطان بالعلاقة، $\mu=\gamma.S$ بحيث γ هو ثابت فيرومغنطيسي خاص بالبروتون (gyromagnetic constant).

ضمن حقل مغنطيسي متجانس B_0، يمكن اعتبار البروتونات كمغانط صغيرة تدور لتأخذ اتجاه الحقل المغنطيسي الأرضي، إن قوة الدفع الزاوية للبروتون تسبب حركة ترنحية لـ μ حول B_0. تعطى السرعة الزاوية للبروتون بعلاقة لارمور الترددية (Larmor frequency) الشكل 4a:

$$\omega_0 = \gamma B_0 / 2\pi \qquad (1)$$

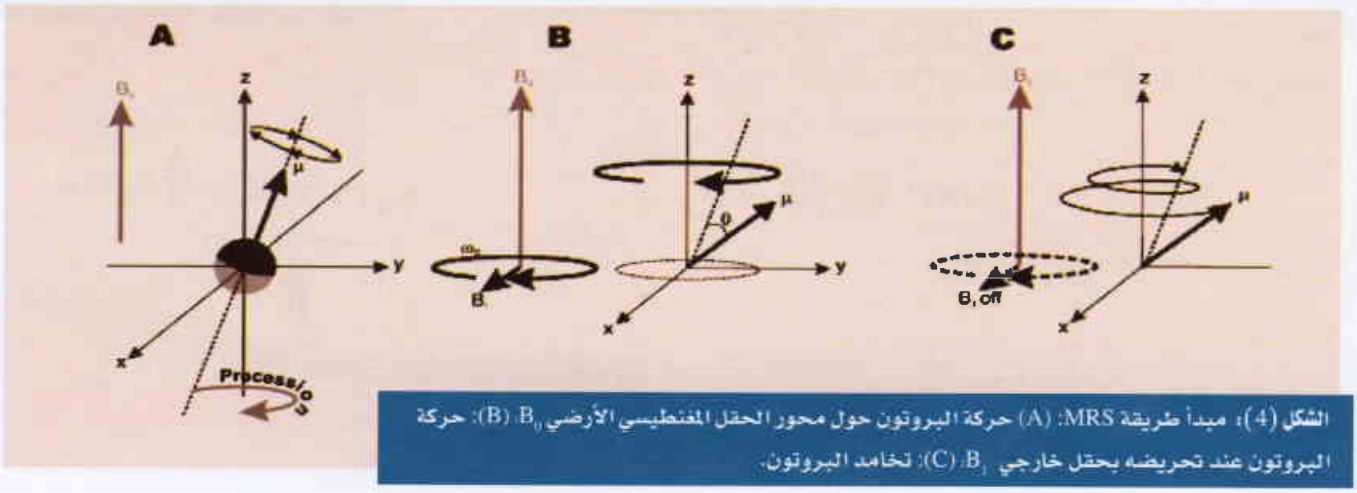
ولتنفيذ سبر بطريقة MRS، يتم تحريض حقل مغنطيسي (B1) في وشيعة المرسل عن طريق إرسال تيار كهربائي متناوب على شكل نبضات متتالية بتردد يساوي تردد لارمور:

$$i(t) = I_0 \cos(\omega_0 t), \quad 0 < t \le \tau \qquad (2)$$

بحيث I_0 وτ سعة ودور النبضة.

بعد حدوث التجاوب أو الرنين المغنطيسي، تبدأ بروتونات ذرات

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



الشكل (4): مبدأ طريقة MRS: (A) حركة البروتون حول محور الحقل المغنطيسي الأرضي B_0 (B): حركة البروتون عند تحريضه بحقل خارجي B_1 (C): تخامد البروتون.

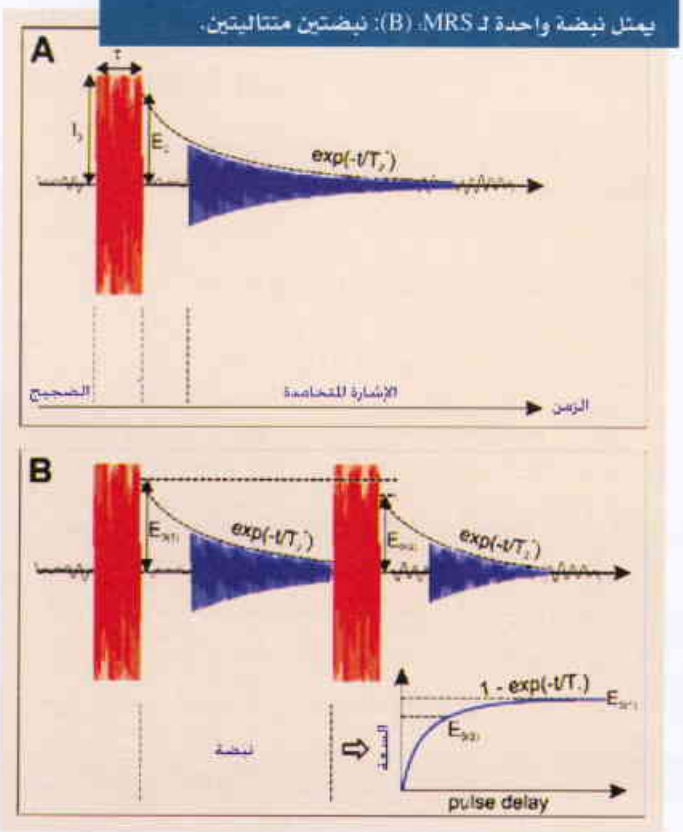
الهدروجين بالعودة إلى حالة التوازن الطبيعية بعد زوال الحقل المغنطيسي المحرض B1 في الوشيعة المرسلة، الأمر الذي يؤدي إلى نشوء حقل مغنطيسي ثانوي يمكن قياس شدته بنفس الوشيعة المرسلة (الشكل 4c). هذا الحقل المتحرض هو حقل متخامد يعبر عنه بالعلاقة الأسية التالية [10] الشكل 5a:

$$e(t,q) = E_0(q)\exp(-t/T_2^*(q))\cos(\omega_0 t + \varphi_0(q)) \quad (3)$$

بحيث:

$q = I_0\tau$: عامل يتعلق بشدة الإشارة، φ_0: الطور، T_2^*: زمن التخامد

الشكل (5): تمثيل للإشارة المرسلة والمتحرضة MRS: (A) يمثل نبضة واحدة لـ MRS: (B): نبضتين متتاليتين.



و$E_0(q)$ هي السعة البدائية للإشارة ويعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$E_0(q) = \omega_0 M_0 \int_v B_{1\perp} \sin(\frac{1}{2}\gamma_p B_{1\perp} q) w(r) dV(r) \quad (4)$$

بحيث:

M_0: التمغنط النووي للبروتون، $B_{1\perp}$: مركبة الحقل المغنطيسي المرسل والمتعامد مع الحقل الستاتيكي B_0، r: شعاع الإحداثيات، w(r): محتوى الصخر من المياه.

يفهم من المعادلة (3) و(4) أن:

- سعة الإشارة البدائية E_0 متعلقة بمحتوى الماء في الصخر w(r)، وحل المعادلة (4) يقود إلى تقدير مباشر لمحتوى المياه ضمن حجم الصخر المسبور.
- انتشار الإشارة فراغياً محدود بـ q، والعمق الاستكشافي يتعلق بشدة الإشارة البدائية I_0.
- تخامد الإشارة مع الزمن يتوافق مع الثابت T_2^*، حيث يتعلق هذا الثابت بحجم المسام الذي يحتوي المياه [4] وأيضاً بعدم التجانس المكاني للحقل B_0 والذي هو في الغالب متحرّض من الخواص المغنطيسية للصخور [10].

وللوصول إلى عامل أكثر وثوقية يعبر عن حجم المسام، تستخدم سلسلة تحريضية من نبضتين [11] الشكل 5b. وهذا يقود إلى تقدير قيمة الثابت T_1، والذي يدعى بزمن التخامد الطولاني(longitudinal relaxation time). ويرتبط بحجم المسام في الحامل المائي [12].

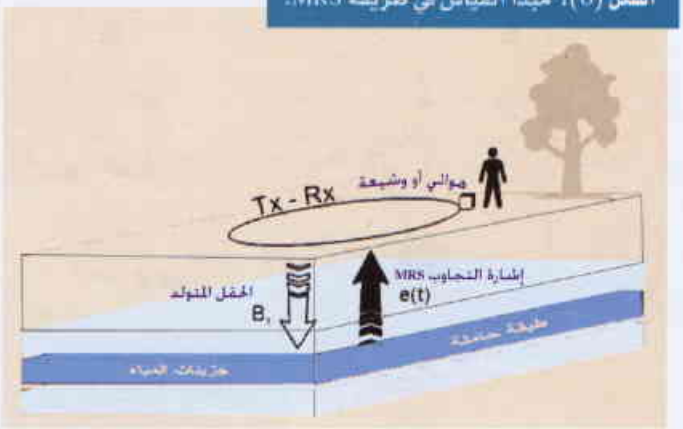
$$T_1 = \frac{V_p}{\rho \cdot S_p} \quad (5)$$

حيث Vp وSp حجم وسطح المسام، ρ سطح الصخر.

الأعمال الحقلية وتفسير المعطيات

إن الحقل الستاتيكي B_0 هو الحقل الجيومغنطيسي الذي يحدد تردد لارمور المحلي (المعادلة 1). لتوليد تيار تحريضي في طبقات

الشكل (6): مبدأ القياس في طريقة MRS.

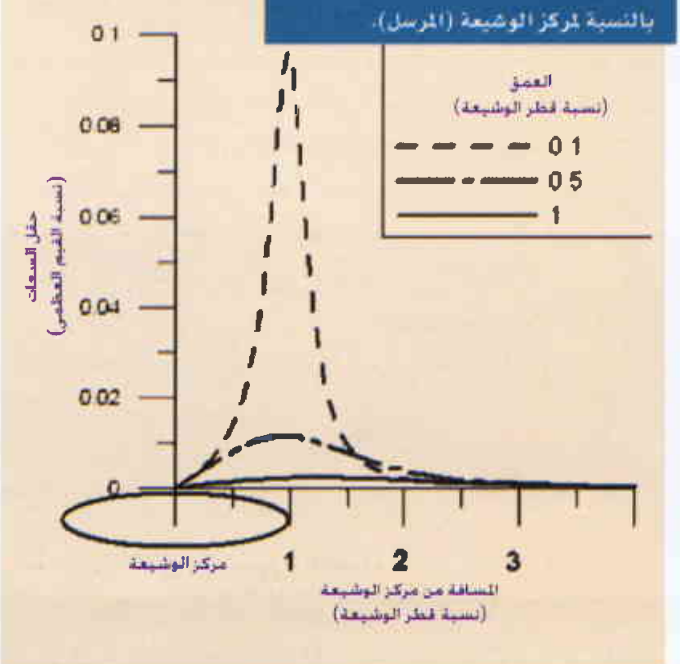


الأرض، يستخدم سلك على شكل وشيعة يمرر بها تيار كهربائي متناوب بتردد يساوي تردد لارمور (الشكل 6). وللحصول على سبر لأعماق مختلفة فإننا نلجأ إلى زيادة شدة التيار التحريضية I_0 لذلك فإن عدداً معيناً (typical number) من النبضات يستخدم عادة من أجل إجراء سبر MRS هو 16 q.

يظهر الشكل 7، شدة حقل التحريض كتابع للمسافة الجانبية لعدة أعماق. تنخفض شدة الحقل بشكل كبير خارج السطح الذي تشغله وشيعة الإرسال، وكذلك عندما يصبح العمق أكبر من قطر الوشيعة، فإن حجم الطبقات الأعظمي المستكشف يمكن أن يعادل 1.5 مرة حجم الوشيعة المستخدمة بالنسبة لعمق يتعلق بقطر هذه الوشيعة.

بعد قطع الحقل المحرض (النبضة التحريضية) يتم قياس الإشارة المتحرضة بنفس وشيعة الإرسال لكل نبضة مرسلة q،

الشكل (7): علاقة سعة الحقل المحرض بالنسبة لمركز الوشيعة (المرسل).



وبتطبيق المعالجة بالطريقة العكسية للمعادلة 3 و4، والتي تمثل الإشارة المقيسة، يمكن الحصول من $E_0(q)$ و $T_2^*(q)$ على محتوى الصخر من المياه w(z) بدلالة العمق [13].

المحتوى المائي وزمن التخامد

بالمقارنة مع المسامية الكلية، فإن محتوى الصخر من المياه والمحسوب من السبر MRS يحدد من العلاقة:

$$w = \frac{V_{long}}{V_{total}}.100 \qquad (6)$$

حيث:

V_{long} هو حجم المياه بالنسبة لزمن طويل وكاف، V_{total} هو الحجم الكلي للعينة المقاسة. يختلف محتوى المياه المحسوب عن المسامية الكلية للوسط المشبع وذلك لأن زمن التخامد يمكن أن يجعل إشارة MRS أقصر من عتبة الاستكشاف التي يقيسها الجهاز (حيث الزمن الميت للجهاز المستخدم هو 40 ملّي ثانية ms) (الشكل5). زمن التخامد بالنسبة للمياه الثقالية (Gravitation water)، والذي يتراوح بين عدة عشرات إلى عدة آلاف من الملّي ثانية، هو أطول من زمن المياه الملتصقة (adhesive water) والذي يتراوح بين عدة أجزاء إلى عشرات من الملي ثانية). إن الاختلاف في زمن التخامد بين المياه الثقالية والمياه الملتصقة والمحتوى المائي المستنتج من السبر MRS والمسامية الفعالة يحتاج إلى تصحيح ومقارنة مع معطيات تجارب الضخ حتى تكون النتائج أكثر وثوقية ودقة [5].

النفاذية والناقلية المائية

إن المحتوى المائي w(z) وزمن التخامد $T_1(z)$ المحسوب من معطيات السبر MRS يمكن أن يستخدم في تقدير النفاذية k والناقلية T لحامل مائي [12, 5]:

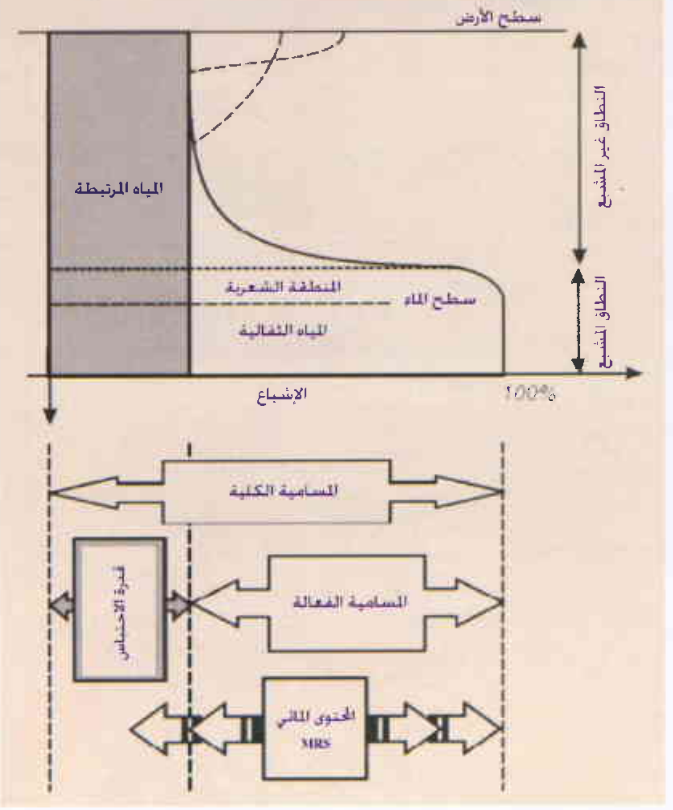
$$k_{MRS} = C_P.w(z).T_1^2(z) \qquad (7)$$

$$T_{MRS} = \int_{\Delta z} k_{MRS}(z).dz \qquad (8)$$

حيث: Cp هو ثابت تجريبي، Δz هو سماكة الوسط المائي. والثابت Cp يحتاج إلى معايرة وتصحيح من معطيات تجارب الضخ.

تفترض المعادلة 7 أن الخصائص الهدروديناميكية للصخور هي متجانسة ضمن الحجم المدروس بطريقة MRS، لكن من الواضح أن هذا الافتراض غير صحيح في الوسط الكارستي، وذلك لوجود عوامل أخرى يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار: إن المحتوى المائي وزمن التخامد بالنسبة لمجرى كارستي أو كهف يحتوي على مياه (مسامية ثانوية) هو أكبر بالنسبة لصخور قاسية (مسامية أولية). وعلى سبيل المثال، إن الكهف الكارستي في موقع اللامالو (karstic site of Lamalou) يحتوي على آلاف الأمتار المكعبة من المياه الحرة، حيث

الشكل (8): علاقة المسامية والمحتوى المائي المحسوب من MRS في وسط مشبع.



المسامية الكلية للصخور الكلسية المحيطة هي بحدود 1,8% [8]. لذلك، وللوصول إلى مفهوم أكثر دقة، يُستخدم المعاملان التاليان لتحديد بعض الخصائص الهيدروليكية لوسط كارستي:

$$k_x(z) = \frac{w_x(z).T_{1x}^2(z)}{w_r(x).T_{1r}^2(z)} \qquad (9)$$

$$T_x = \frac{\int_{\Delta z} w_x(z).T_{1x}^2(z).dz}{\int_{\Delta z} w_r(z).T_{1r}^2(z).dz} \qquad (10)$$

حيث: x و r يمثلان محطتين من n محطة قياس n MRS(n, r ,x ,1). واختيار المحطة المرجع r يجب أن يكون ضمن الشروط $k_{x\,max}(z) \le 1$ أو $T_{x\,max} \le 1$ من أجل الأسبار (x=1 to x=n).

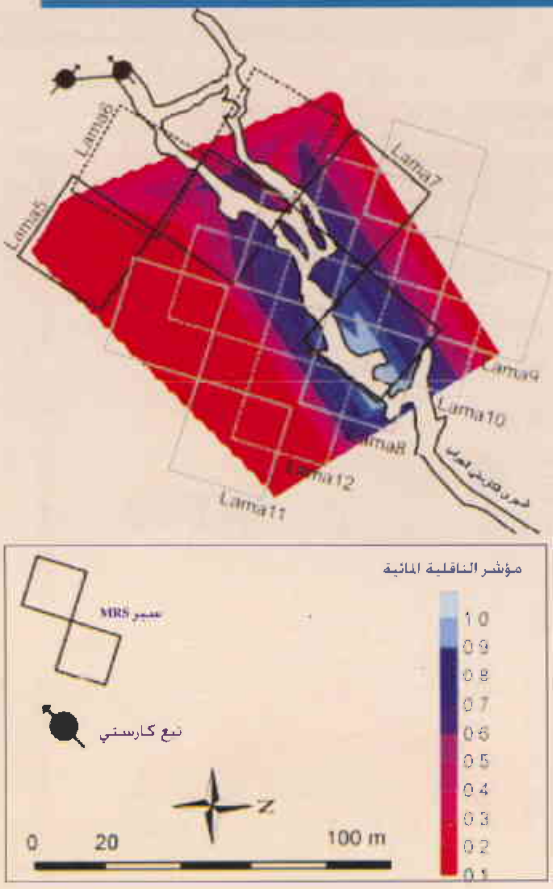
ويمكن استخدام K_x و T_x من قبل الهيدروجيولوجيين في الحالات التالية:

1. عندما لا تتوفر معطيات عن النفاذية والناقلية المائية،
2. في حال كون الوسط الهيدروجيولوجي غير متجانس بشكل كلي، وبهذه الحالة فإن المعادلتين 7 و8 لا يمكن تطبيقهما.

النتائج الحقلية

إن شدة الحقل المغنطيسي الأرضي المقيسة في موقع اللامالو هي

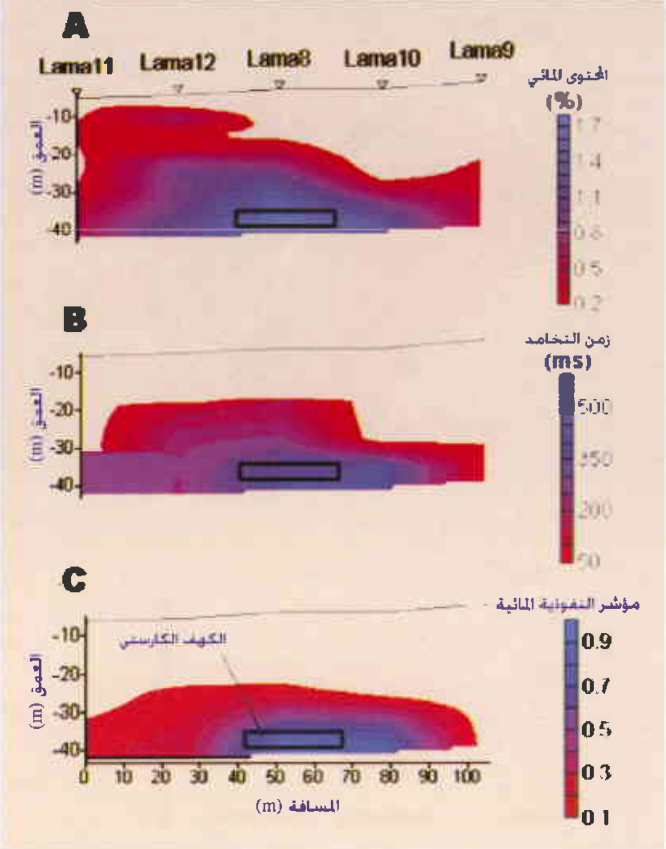
الشكل (9): المجرى الكارستي مع مؤشر الناقلية المائية (T-estimator).



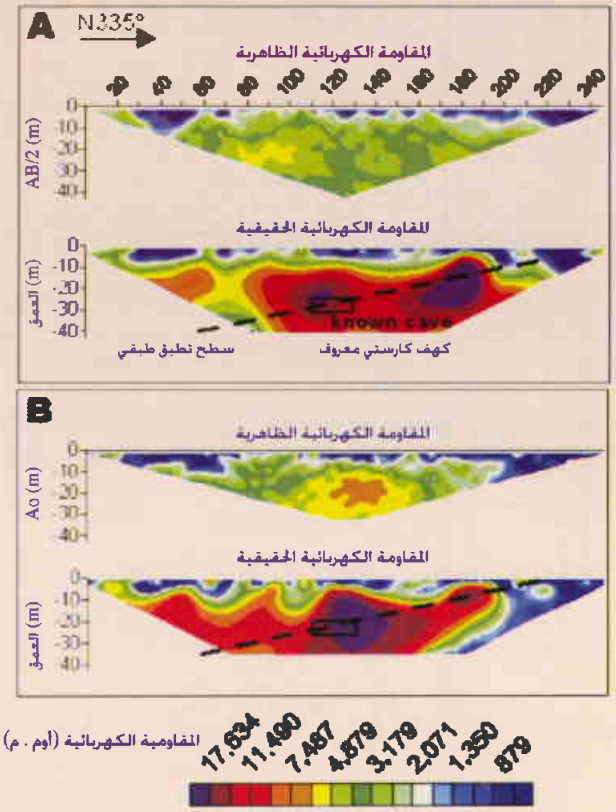
45.928 نانو تسلا (nT) وهذا يعني أن تردد لارمور يساوي 1957هرتزاً (γ = 0426 Hz/nT). وأن قيمة الضجيج الكهرطيسي تتراوح بين 200 إلى 500 نانو فولط، لذلك فالعديد من تقنيات التصفية قد استخدمت من أجل تحسين نسبة الإشارة الملتقطة إلى الضجيج: فعلى سبيل المثال، فقد استخدمت وشيعة على شكل الرقم 8 [13]، لتخفيف الضجيج الكهرطيسي، حيث كانت مؤلفة من مربعين طول كل ضلع 37.5 م، بالإضافة إلى تقنيات تصفية أخرى متطورة. إن الأجهزة والبرامج المستخدمة في هذه القياسات هي (Numis plus) وهي من تطوير وإنتاج شركة (IRIS Instruments). يجب الأخذ بعين الاعتبار أن قياسات MRS هي وحيدة البعد (1D)، وللحصول على صورة ثنائية البعد (2D) يجب تنفيذ عدة أسبار متتالية (الشكل 9 و10).

خريطة الكارست

وضعت الخريطة باستخدام المعامل (T) المحسوب من أسبار MRS وباعتبار السبر Lama 7 كمحطة مرجع (الشكل 9). يظهر هذا الشكل بوضوح قناة ذات ناقلية مائية عالية مرتبطة بمجرى كارستي جوفي معروف ومحدد بشكل دقيق. تتعلق مساهمة طريقة MRS في دراسة الكارست وتحديد بعض خصائصه البنيوية والهدروديناميكية



الشكل (10): مقاطع عرضية في الكارست: (A): المحتوى المائي؛ (B): زمن التخامد (C): cT_1: تحديد المجرى الكارستي اعتماداً على مؤشر النفاذية (k-estimator).



الشكل (11): مقاطع المقاومية الكهربائية الظاهرية والحقيقية (A): يمثل تشكيل وينر الفا (Wenner alpha array) (B): وينر بيتا (Wenner beta array).

بمكان إجراء القياس، أي بمكان وضع وشيعة إرسال واستقبال الإشارة. وهذا ما يلاحظ في نقاط السبر Lama 7,8,10، حيث يمكن قياس إشارات الحقل المغنطيسي المتحرضة بسهولة وذلك لوقوع وشيعة القياس في منطقة تغطي مساحة لا بأس بها من المجرى الكارستي تحت السطحي والذي يحتوي على كمية من المياه، أما في النقاط Lama 5,6 فالإشارة ضعيفة.

المقطع الكارستي الأولي

يتراوح محتوى المياه في الصخور المسبورة بين 0% و1.7% (الشكل 10 a)، أما القيمة العظمى للمحتوى المائي فهي مسجلة فوق المجرى الكارستي، الذي تقدر سماكة المياه فيه بـ 1.5 م. أما المستوى الثاني فيقع على عمق عدة أمتار من سطح الأرض ويصل محتوى المياه الأعظمي فيه إلى 0.6% وهو مرتبط بمخزون مائي صغير يقع ضمن نطاق الإبيكارست [7].

يشير المقطع (الشكل 10b) إلى أن زمن التخامد بالنسبة للمجرى الكارستي المعروف هو أكبر من 400 ملي ثانية وأقل من هذه القيمة بالنسبة لنطاق الإبيكارست والتشكيلات الكلسية وحسب المعامل k من القيمة العظمى المقدرة من خلال كل سبر MRS. ويظهر المقطع كما في الشكل 10c منطقة تتميز بقيم نفاذية عالية ضمن المجرى الكارستي المحدد.

السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد (DC-2Dimagery)

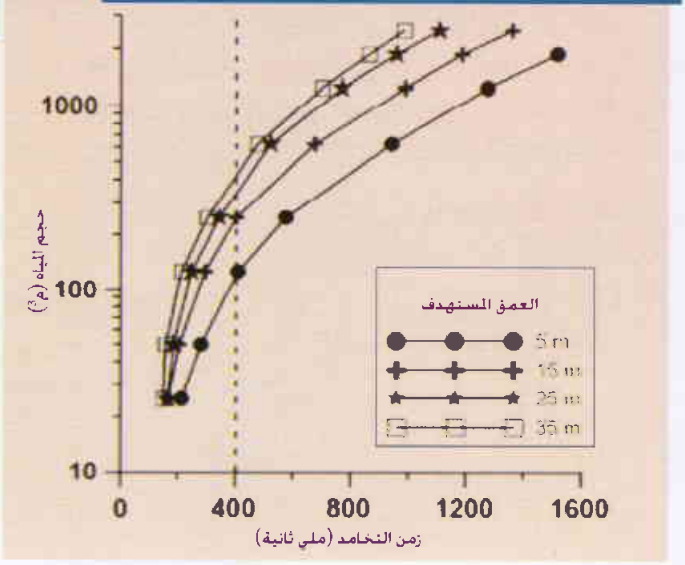
تم تنفذ سبرين لقياس المقاومية الكهربائية للصخور باستخدام الجهاز (IRIS Syscal R2) وذلك من خلال زرع 64 إلكترود وبفاصل 4 م بين كل إلكترودين متتاليين، تمّت معالجة المعطيات وتفسيرها باستخدام برامج RES2DINV [14].

يمثل الشكل 11 تفسيراً لنتائج القياس بطريقة وينر، حيث يظهر في مركز الشكل شاذان ذوا مقاومية كهربائية عالية تصل حتى 20000 أوم. م، تقع على عمق يتراوح بين 10 و30 م. هذان الشاذان مرتبطان بوجود كهوف كارستية نشأت وتطورت على نقاط تقاطع كسور وفوالق شبه عمودية مع سطوح تطبق التشكيلات الكلسية.

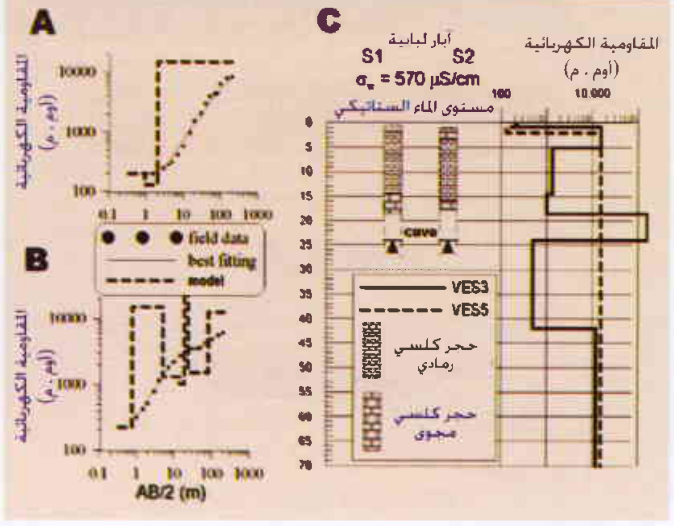
المناقشة

مساهمة MRS في تحديد الحوامل الكارستية:

يبدي مؤشرا النفاذية والناقلية المائية (k- and T- estimators) ارتفاعاً كبيراً فوق الشذوذات الكارستية التي تحتوي على المياه.



الشكل (12): حجم الماء الحر الواجب وجوده لقياس MRS على أعماق مختلفة.



الشكل (13): يمثل تشكيل شلومبرجير المستخدم: (A) السبر العمودي الخامس (VES: 5). السبر العمودي الثالث (VES 3) (C) العمود الليتولوجي للآبار S1 وS2.

يستخدم كلٌ من المعامل k- لإيجاد أعماق المسارات الكارستية للمنطقة، والمعامل T- لرسم التغيرات الجانبية للناقلية المائية تحت المنطقة المسبورة. وإن زمن التخامد T1 المشتق من MRS هو زمن طويل وأكبر من 400 ملّي ثانية بالنسبة للمياه الموجودة في المجرى الكارستي الجوفي، في حين هو أقصر بالنسبة للمياه الموجودة ضمن النسيج الصخري.

إن المحتوى المائي المقدر من قياسات MRS، بشكل عام هو منخفض لأن حجم المياه في المنطقة المسبورة قليل نسبياً بالمقارنة مع الحجم الكلي للصخر المسبور، وبالتالي شدة الإشارة المقيسة تكون ضعيفة نسبياً (وكحد أعظمي تتراوح بين 4 إلى 10 نانو فولط في موقع الدراسة) وهذه القيمة قريبة من حدود حساسية الجهاز المستخدم في القياس. لقد طبق موديل حسابي (computer modeling) لتمثيل مسح كارستي بواسطة وشيعة مربعة 40 × 40 م. تمثلت البنية الكارستية بمجسم نصف فراغ متجانس بمحتوى مائي يعادل 1% وزمن تخامد 150 ملّي ثانية بالنسبة للصخور الكربوناتية، وتحتوي على مجسم متوازي المستطيلات مؤلف من مجرى كارستي (كهف) بأبعاد 50م × 50م × 1م. حيث لا تؤثر أبعاده الجيوهندسية بشكل مباشر على إشارة MRS المرتبطة بشكل أساسي بحجم المياه في الصخر والذي يمكن حسابه كالتالي:

$$V_{karst} = a.b.h.w_{karst}$$

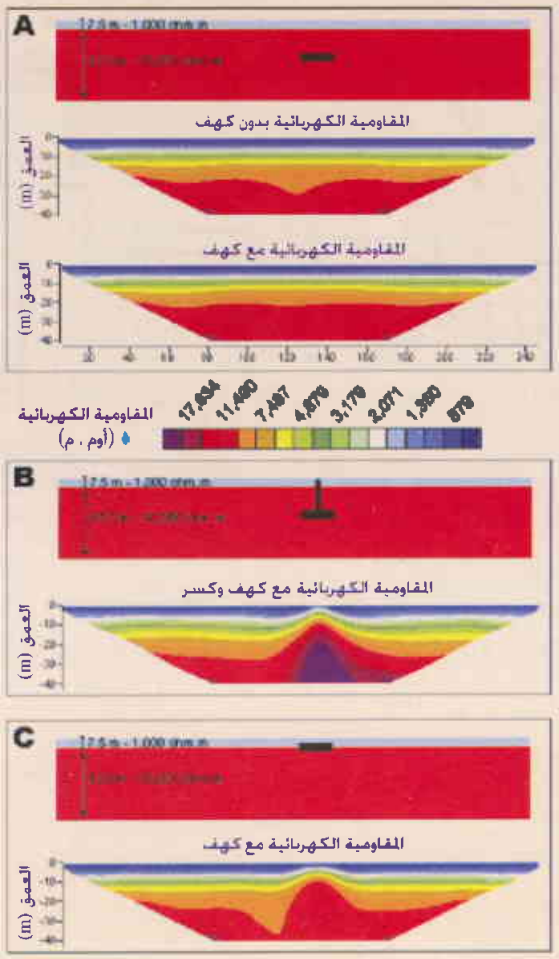
حيث: h =1، a = b = 50 م وwkarst المحتوى المائي المقدر من أجل زمن تخامد 1500 ملّ ثانية.

العديد من عمليات التمثيل الرياضية أو الحسابية قد طبقت من خلال تغير قيم المحتوى المائي وتثبيت عمق المجرى الكارستي أو الحالة المعاكسة أي تغير العمق وتثبيت المحتوى. نتائج هذا التمثيل مبيّنة في الشكل 12: حجم 100 م3 من المياه يمكن كشفها على عمق 5 م، في حين على عمق 35 م تحتاج إلى 400 م3 من المياه لكشفها. إن زيادة العمق يمكن أن يفسر بانخفاض شدة الإشارة MRS المقيسة وكذلك انخفاض شدة التمييز في المعالجة بزيادة العمق [15].

مساهمة السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد (DC-2D)

تظهر نتائج السبر الجيوكهربائي المنفذة في منطقة الدراسة (Lamalou site) بنية ذات مقاومية كهربائية عالية متعلقة بوجود كهف كارستي معروف يقع في الجزء المركزي من المقطع الجيوكهربائي. وقد تمّ تنفيذ تمثيل رياضي (simulation) باستخدام برنامج RES2DMOD من أجل التحقق من الأبعاد الجيوهندسية ومكان وجود الكهف الكارستي المحدد ومعرفة فيما إذا كان الشاذ المتولد ناتجاً عن وجود هذا الكهف. من أجل ذلك تمّ استخدام تشكيل Wenner alpha and beta وذلك بزرع 64 وتداً (إلكترود) على طول خط قياس وبفاصل مسافة 4 م بين الأوتاد. يتمثل الكارست بنصف فراغ ذي مقاومية كهربائية 10000 أوم.م في الصخور الكربوناتية و100000 أوم.م بالنسبة للكهف الكارستي. قيم المقاومية الكهربائية اشتقت من سبرين جيوكهربائيين عموديين نفذا في المنطقة ومن العينات المأخوذة من لباب الآبار الاستكشافية المنفذة فوق الكهف الكارستي (الشكل 3 و13). يبين الموديل المقدم أن الكهف الكارستي لا يمكن أن يخلق شاذاً مقاوماً يمكن قياسه ضمن هذا السياق الجيولوجي الحالي(الشكل 14a). أما إذا اعتبرنا وجود كسر على قمة الكهف وهذا الكسر موجود بالفعل على أرض الواقع، في هذه الحالة يصبح قياس شاذ مقاوم كهذا أمراً ممكناً (الشكل 14b).

الشكل (14): موديلات ثنائية البعد للمقاومية الكهربائية: (A): مقطع المقاومية الكهربائية الحقيقية بوجود كهف؛ (B): مقطع للمقاومية الكهربائية بوجود كهف وكسر؛ (C): مقطع للمقاومية بوجود كهف ضحل.



أن يستخدموا الشكل 12 لتقدير ما إذا كانت هذه التقانة قابلة للاستخدام لأهداف جيولوجية، وذلك في الحالات التي يكون فيها عمق وكمية المياه كافيين لإصدار إشارة MRS يمكن قياسها. شيء آخر يجب أخذه بعين الاعتبار وهو أن الأبعاد الجيوهندسية للبنيات الثلاثية الأبعاد يمكن الحصول عليها من أسبار وحيدة البعد لـ MRS.

عندما تكون كمية المياه في الصخور قليلة وعميقة فان الإشارات الكهرطيسية المتحرضة سوف تكون منخفضة الشدة، وفي هذه الحالة قد يستغرق إجراء قياس MRS زمناً يصل إلى 20 ساعة متواصلة، أي بمعدل سبر في كل يوم بالنسبة لبيئة معقدة وغير متجانسة الخواص كالبنية الكارستية.

ضمن وسط جيولوجي ذي مقاومية كهربائية عالية، يمكن لطريقة السبر الجيوكهربائي الثنائي البعد (DC-2D) قياس، وبشكل مباشر، الإشارة المتحرضة من بنيات جيولوجية أعمق من 10 م كما أنه من الممكن تحديد بنيات جيولوجية أعمق كالكهوف أو مجاري كارستية إذا كانت هذه البنيات المرتبطة بشذوذ ضحلة ناتجة عن وجود كسور أو شقوق أو فوالق.

يتألف سطح الأرض في موقع الدراسة (Lamalou site) من صخور كلسية قاسية، لذلك من أجل زرع الإلكترودات كان لا بد من حفر ثقوب في الصخر تثبت بها الإلكترودات بواسطة ملاط غضاري لتأمين التماس مع الصخر وبالتالي الاتصال الكهربائي، وقد نحتاج إلى أسبوع كامل لزرع الإلكترودات وليوم آخر لأخذ قياسات بروفيل واحد من هذا النوع من الأسبار.

وهكذا فإنه لوضع جيولوجي ذي مقاومية كهربائية عالية، يكون الكشف عن وجود كهف كارستي ممكناً باستخدام تقانة DC-2D ضمن نطاقات ضحلة نسبياً. وعلى أي حال فإن الكهف القليل العمق يمكن تحديده مباشرة إذا توضع بعمق أقل من 15 م (الشكل 14c).

الخلاصة

الفائدة الأساسية لاستخدام تقانة MRS في الدراسات الهيدروجولوجية هي قياس الإشارة المتحرضة حصراً عن المياه الجوفية. تعد هذه الطريقة أداة فعالة لدى الهيدروجيولوجيين في دراسة النظم الكارستية وذلك من خلال تقدير التوزع المكاني للنفاذية والناقلية المائية التي تميّز بنية كارستية تحتوي على المياه في نطاق الإبيكارست والمجاري والكهوف الكارستية. إن وجود كمية من المياه الجوفية شرط ضروري للحصول على إشارة متحرضة يمكن قياسها على سطح الأرض. وفي المجالات التطبيقية، يمكن للهيدروجيولوجيين

د. وليد الفارس: قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرية السورية.
جان ميشل فوياموز: IRD بوندي– فرنسا
أناتولي لكشنكو: BRGM أورليون– فرنسا
إيف ألبوي: IRD، بوندي– فرنسا
ميشل بكالوفيتش: جامعة مونبلييه– فرنسا
جان ميشل بالتاسا: BRGM، أورليون– فرنسا
- نشرت ورقة البحث هذه في مجلة GROUND WATER, Vol. 41, No. 5, August - September 2003.

REFRENCES المراجع

[1] Al-Fares, W., M. Bakalowicz, R. Guerin, and M. Dukhan. 2002. Analysis of the karst aquifer structure by means of a ground penetrating radar (GPR)-Example of the Lamalou area. Journal of Applied Geophysics 51, no. 2: 35-44.

[2] Sumanovac, S., and M. Weisser. 2001. Evaluation of resistivity and seismic methods for hydrogeological mapping in karst terrains. Journal of Applied Geophysics 47, no. 1: 13-28.

[3] Gautman, P., S. Raj Pant, and H. Ando. 2000. Mapping of subsurface karst structure with gamma ray and electrical resistivity profiling: A case study from Pokhara Valley, central Nepal. Journal of Applied Geophysics 45, no. 2: 97-110.

[4] Schirov, M., A.V. Legchenko, and G. Creer. 1991. New direct noninvasive ground water detection technology for Australia. Exploration Geophysics 22, 333-338.

[5] Legchenko, A.V., J.M. Baltassat, A. Beauce, and J. Bernard. 2002. Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists. Journal of Applied Geophysics 50, no. 1-2: 21-46.

[6] Vouillamoz, J.M., M. Descloitres, J. Bernard, P. Fourcassier, and L. Romagny. 2002. Application of integrated magnetic resonance sounding and resistivity methods for borehole implementation: A case study in Cambodia. Journal of Applied Geophysics 50, no. 1-2: 67-81.

[7] Bakalowicz, M. 1995. La zone d'infiltration des aquiferes karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement. Hydrogéologie 4, 3-21.

[8] Bonin, H. 1980. Contribution à la connaissance des réservoirs aquifères karstiques, un exemple: Le causse de l'Hortus, un site expérimental: la source du Lamalou. Doctorat, Université Montpellier II, Montpellier, France.

[9] Al-Fares, W. 2002. Caractérisation des milieux aquifères karstiques et fractures par différentes méthodes géophysiques. Doctorat, Université Montpellier II, Montpellier, France.

[10] Legchenko, A.V., and P. Valla. 2002. A review of the basic principles for proton magnetic resonance sounding measurements. Journal of Applied Geophysics 50, 3-19.

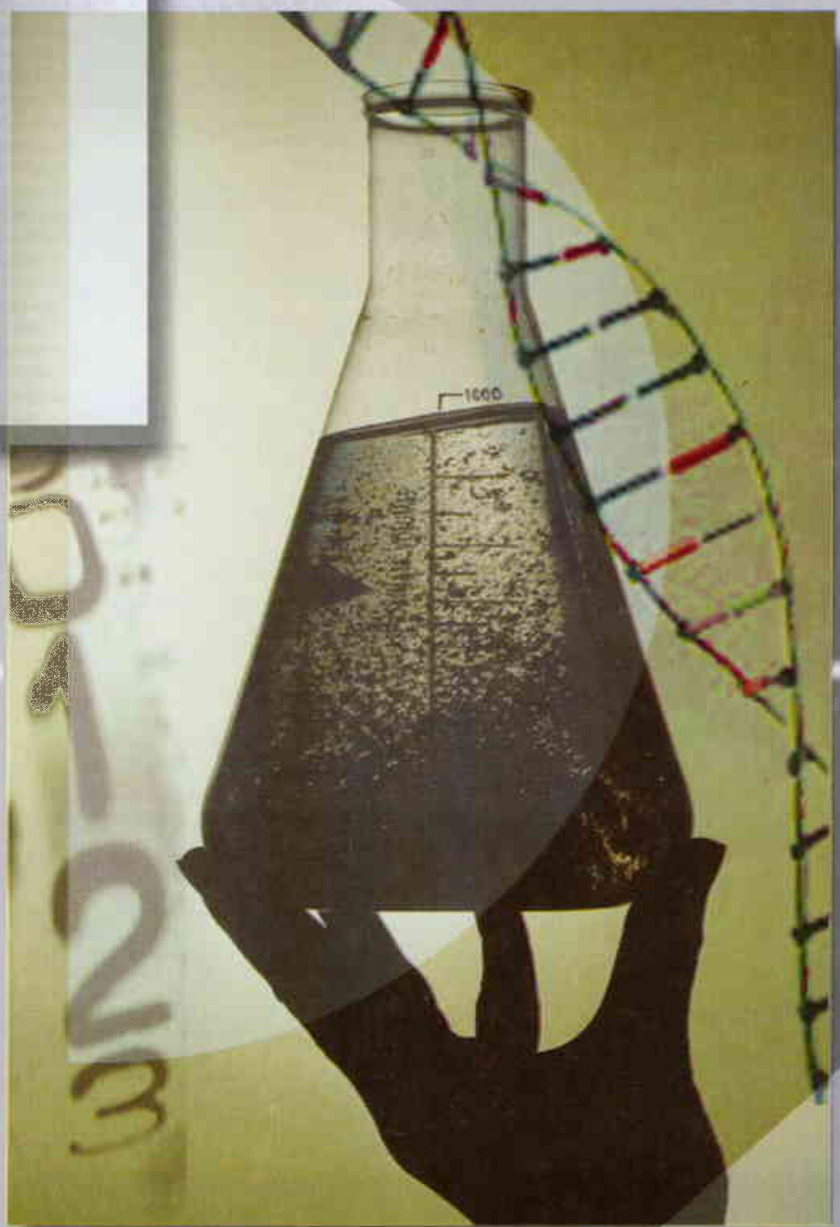
[11] Dunn, K.J., D. Bergman, and G. Latorraca. 2002. Nuclear Magnetic Resonance Petrophysical and Logging Applications. St. Louis, Missouri: Elsevier Science.

[12] Kenyon, W.E. 1997. Petrophysical principles of applications of NMR logging. The Log Analyst, March-April, 21-43.

[13] Trushkin, D.V., O.A. Shushakov, and A.V. Legchenko. 1994. The potential of a noise-reducing antenna for surface NMR ground water surveys in the earth's magnetic field. Geophysical Prospecting 42, 855-862.

[14] Locke, M. H, and R. D. Barber. 1995. Least - squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. Geophysics 60, no. 6: 1682-1690.

[15] Legchenko, A.V., and O.A. Shushakov. 1998. Inversion of surface NMR data. Geophysics 63, no. 1: 75-84.



خواص الإشارة والضجيج عند خرج المضخم الأولي تبعاً لطريقة ربطه مع الكاشف

د. جمال الدين عساف

قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب. 6091– دمشق – سورية.

ملخص

تمت دراسة طرق ربط المضخم الأولي بكاشف الإشعاع النووي عبر إجراء تحليل لثلاثة وسطاء هي: استجابة المضخم، ممانعة دخله والضجيج الإلكتروني. تتضمن الدراسة بشكل رئيسي المقارنة بين هذه الوسطاء لطرق الربط الثلاث التي تصنف عادة ضمن حالتي ربط رئيسيتين: الربط السكوني (DC connection)، والقرن الديناميكي (AC coupling) وهو أكثر الطرق استعمالاً وتتفرع عنه طريقتا ربط تعتبر إحداهما تطويراً للأخرى، لذا كان لابد من إلقاء الضوء على ميزات الطريقة المطورة بشكل خاص مع المقارنة أيضاً بالطريقة الأساسية السكونية.

الكلمات المفتاحية: الربط السكوني، القرن الديناميكي، استجابة المضخم، ممانعة الدخل، الضجيج الإلكتروني.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية أُنجزت في قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تحضير أغشية بوليميرية من البولي فينيل الكحول المطعم باستخدام أشعة غاما

د. زكي عجي* - علي العلي**

* دائرة تقانات البوليميرات – قسم تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب. 6091 – دمشق – سورية.

**جامعة تشرين، كلية العلوم، قسم الكيمياء.

ملخص

حُضّرت في هذا العمل أغشية من البولي فينيل الكحول المطعم بكلٍّ من حمض الأكريليك والإميد أزول على حدة ومن ثم بوجود المونوميرين معاً. كما درست العوامل التي تؤثر على عملية التطعيم مثل تركيز المونومير، تركيز الحمض المضاف، نوع المذيب، الجرعة المتصة. كما تم تحديد الظروف المناسبة لتلك العملية. وقد درست أيضاً العوامل التي تؤثر على عملية التطعيم في وجود المونوميرين في نفس الوقت على أغشية البولي فينيل الكحول وذلك لمحاولة تحضير كوبوليميرات مطعمة لها صفات تجمع بين صفات كل من المونوميرين وهما حمض الأكريليك والإميد أزول مثل: اختيار نسب التراكيز لكلا المونوميرين بالنسبة للآخر وتحديد المذيب المناسب والجرعة المتصة.

ودرست خواص الأغشية المطعمة مثل الإنتباجية العظمى ودرجة التطعيم، كما درست إمكانية استخدام الأغشية المحضرة لفصل بعض العناصر الثقيلة.

الكلمات المفتاحية: بولي فينيل الكحول، حمض الأكريليك، إميد أزول، إشعاع.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

استخلاص اليورانيوم من محاليل حمض الآزوت بوساطة فسفات ثلاثي البوتيل/ كيروسين

د. جمال سطاس - عجاج دحدوح - حبيب شليويط

قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب.6091– دمشق – سورية.

ملخص

درس استخلاص حمض الآزوت واليورانيوم السداسي من وسط حمض الآزوت بوساطة المخلص فسفات ثلاثي البوتيل/ كيروسين، كما درس تأثير جميع العوامل التي تؤثر على عملية الاستخلاص (زمن الخلط، تركيز اليورانيوم، تركيز حمض الآزوت، تركيز المخلص TBP، درجة الحرارة)، حسب ثابت التوازن لتفاعل الاستخلاص:

$$UO^{2+}_2 + 2NO^-_3 + 2TBP \rightleftarrows UO_2(NO_3)_2.2TBP$$

فوجد بأنه يساوي $10^{2.464}$ و$10^{2.668}$ لتر^4 / مول^4 عند درجة الحرارة 25 °C أما إنتالبية التفاعل فكانت 23.07– ،16.47– كيلو جول/مول وذلك من أجل تركيزي حمض الآزوت 0.5 و1 مول/لتر على الترتيب. كما تم تطبيق الشروط المثلى لعملية الاستخلاص الناتجة عن هذا البحث على تنقية الكعكة الصفراء المنتجة في الوحدة الرائدة لتنقية حمض الفسفور بمعمل السماد الفسفاتي بحمص.

الكلمات المفتاحية: استخلاص، يورانيوم (VI)، حمض الآزوت، فسفات ثلاثي البوتيل/كيروسين.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية أُنجزت في قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة محددات نبضة الانفراغ في مصباح الضخ الوميضي لليزر Nd: YAG

د. محمد بهاء الصوص

قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

جرى في هذا العمل تصميم برنامج حاسوبي متكامل يعطي حلاً عددياً للمعادلات التفاضلية التي تصف انفراغ مصباح الضخ الوميضي باستخدام لغة C++Builder. يعرض البرنامج النتيجة على شكل منحن لنبضة الانفراغ يبين قيمة تيار الانفراغ اللحظي. يقوم البرنامج أيضاً بحساب المحددات المختلفة للانفراغ كالطاقة والعرض الزمني وتيار الذروة، وبأمثلة قيم المكثف والوشيعة لتحقيق المتطلبات المفروضة من قبل المستثمر.

الكلمات المفتاحية: مصباح ضخ وميضي، ليزر Nd:YAG، حل عددي.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تعرية الفاناديوم من المذيب العضوي DEHPA المشحون

د. محمد الخالد عبد الباقي – غسان شدود – عبد الرحمن وحود

مكتب التعدين المائي – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

تمت دراسة العوامل المؤثرة على تعرية المذيب العضوي ديبا المشحون بالفاناديوم بوساطة حمض الكبريت وحمض كلور الماء، حيث تبين أن زيادة مولية الحمض تؤثر سلبياً على التعرية، كما أن لدرجة الحرارة دوراً سلبياً أيضاً على التعرية. تم تحديد منحنٍ متساوي درجة الحرارة لتعرية الفاناديوم من المذيب DEHPA حيث لزم ثلاث مراحل تعرية بنسبة A/O=(1/6).

الكلمات المفتاحية: فاناديوم – تعرية – مذيب عضوي – ديبا.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في مكتب التعدين المائي – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الأسس الفيزيائية-الكيميائية لمعيقات تآكل المعادن والسبائك المعدنية وآلية عمل هذه المعيقات

د. محمد سوقية - فريزة نصر الله - محمود كاخيا - هيفاء الجبولي

قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

يُعد استخدام معيقات التآكل واحداً من أهم الوسائل الفعالة وأسهلها وأرخصها في الحد من عمليات تآكل السطوح المعدنية. تعتمد هذه الطريقة على إضافة مادة كيميائية أو أكثر بتراكيز محددة إلى الأوساط الآكلة لتثبيط عمليات تآكل سطوح المعادن والسبائك. وتُعد المعيقات خط الدفاع الأول ضد عمليات التآكل المختلفة في المنشآت الصناعية النفطية والكيميائية وفي محطات معالجة المياه. يُعد موضوع الإعاقة موضوعاً معقداً ويطبق بنجاح في حالات خاصة فقط. فمثلاً يمكن أن يكون المعيق فعالاً لأكثر من معدن أو سبيكة. ولكل معيق شروطٌ خاصة لفعاليته المثلى (مثل التركيز ودرجة الحرارة ودرجة pH). وقد يكون المعيق لمعدن ما في شروط خاصة وسطاً آكلاً في شروط أخرى أو لمعدن آخر. يوجد عدد كبير من المركبات المستخدمة كمعيقات لعمليات التآكل ولا يوجد تصنيف موحد للمعيقات حتى الآن. توجد عدة محاولات لتصنيف المعيقات وفقاً لطبيعتها الكيميائية (عضوية ولا عضوية وغازية وحيوية وخضراء) أو لصفاتها (مؤكسدة أو غير مؤكسدة) أو لمجالها التطبيقي (تنظيف، تقشير). من ناحية أخرى، يؤدي الاستخدام غير الصحيح للمعيقات إلى زيادة معدل التآكل و/أو إلى الهشاشة الهدروجينية للمعادن والسبائك.

تعتمد آلية عمل المعيقات اللاعضوية بشكل عام على تشكيل طبقات واقية على سطوح المعادن والسبائك لتثبيط عمليات التآكل، في حين يعتمد عمل المعيقات العضوية على امتزاز جذور المواد ذات التوترات السطحية الفعالة surfactant مثل: N, S, COOH, NH_2, SH على السطوح المعدنية مشكلة تجمعات (مذيلات) micelle كحاجز فيزيائي تحجب الوسط الآكل عن السطح أو تساعد على تشكيل معقدات سطحية مستقرة. يمكن أن تقاس فعالية أداء المعيق بمدى التصاق جزيئاته على كامل السطح أو بقائه في الوسط الآكل بتركيز كافٍ للوقاية من التآكل.

الكلمات المفتاحية: معيقات التآكل، تصنيف المعيقات، فعالية أداء المعيق، مذيلات.

- تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تأثير معدلات مختلفة من السماد البوتاسي ومياه الري في كفاءتي استخدام الآزوت والبوتاسيوم وإنتاج البندورة ، باستخدام تقنية التخفيف النظيري بالآزوت15

د. خلف خليفة، محمد الشماع، فريد العين

قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية – ص ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

نفذت تجربة أصص لمعرفة مدى استجابة البندورة لـ 4 معدلات سماد بوتاسي 150، 120، 90، 0 كغ K_2O /هـ ومعدل واحد من الآزوت (150 كغ/هـ) ومعاملتي ري (65%، 85% من السعة الحقلية) على الإنتاج وكفاءة استخدام السماد الآزوتي والبوتاسي.

بينت النتائج أن إنتاج المادة الجافة يزداد بزيادة معدل البوتاسيوم المضاف عند استخدام معاملتي الري 65% و85% إلا أن هذه الزيادة كانت أوضح وأكبر عند استخدام معاملة الري 85%. كما وجد الاتجاه نفسه في كمية البوتاسيوم المتص من قبل المجموعين الخضري والجذري إلا أن هذه الكمية كانت عند استعمال معاملة الري 65% أكبر منها عند استعمال معاملة الري 85%؛ في حين لوحظ العكس في الثمار وكامل النبات حيث كانت كميات البوتاسيوم المتصة أعلى لمعاملة الري 85% وبفروق معنوية مؤكدة بين معاملتي الري عند كل من معدلات البوتاسيوم المضافة. بينت الدراسة أيضاً أن كفاءة استخدام البوتاسيوم عند كل من معاملتي الري المستخدمتين تزداد بزيادة معدل البوتاسيوم المضاف وكانت قيم هذه الكفاءة عند استعمال معاملة الري 85% أعلى منها عند استعمال معاملة الري 65%. ازدادت كفاءة استخدام النتروجين في المجموع الخضري، والجذري، والثمار، وكامل النبات بزيادة معدل البوتاسيوم المضاف عند معاملتي الري المستخدمتين وبلغت أقصاها عند استخدام معدل التسميد 150 كغ ومعاملة الري 85%.

الكلمات المفتاحية: بندورة، سماد بوتاسي، سماد نتروجيني، إنتاج، كفاءة استخدام النتروجين والبوتاسيوم، معاملة الري.

- تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أُنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تحليل الصيغة الصبغية اعتباراً من عينات الدم المحيطي البشري لأمراض الأطفال والغدد والنسائية والعقم

د. وليد الأشقر

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى كشف التبدلات التي تطرأ على الصبغيات التي تسبب العديد من الأمراض والتشوهات عند الأطفال والغدد والنسائية والعقم الواردة لمخبر الصبغيات خلال عام 2004. وتم هذا عن طريق استنبات لمفاويات الدم المحيطي للحصول على الانقسامات الخلوية، ودراسة الصيغة الصبغية لتحديد حدوث أي خلل فيها، سواء كان التبدل عددياً أم بنيوياً. تم استقبال 260 حالة محولة إلى المخبر عن طريق الأطباء أو المشافي، وكانت موزعة على الشكل التالي:

(55) حالة شك منغولية وتشوهات خلقية، و(65) حالة شك تنانر تيرنر وكلاينفلتر، و(31) حالة شك لتحديد حالة الجنس (خنوثة)، و(38) حالة تخلف عقلي، و(71) حالة إسقاطات وتشوه مواليد.

الكلمات المفتاحية: النمط النووي، تشوهات خُلقية (ولادية)، العقم، شذوذات صبغية.

- تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تعيين معامل تصحيح التوهين الذاتي في الاختبارات اللاإتلافية السلبية لنترات اليورانيل انطلاقاً من نسب شدات خطوط غاما وX المميزة لليورانيوم

د. خالد حداد - د. حازم سومان

قسم الهندسة النووية – قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تم تجريبياً ونظرياً تحرّي الترابط الممكن ما بين معامل تصحيح التوهين الذاتي في الاختبارات اللاإتلافية السلبية لنترات اليورانيل ونسب شدات خطوط غاما وX. أجريت المحاكاة الحاسوبية للعمل التجريبي باستخدام الكود MCNP واستخدمت في هذا العمل خطوط غاما وX المميزة لنظائر اليورانيوم وبناته. وقد بينت النتائج التجريبية، التي توافقت مع الحاسوبية، ترابطاً واضحاً ما بين معامل التوهين الذاتي ونسب شدات الخطوط (63.23 keV)/ (185.7 keV), (185.7 keV)/ (98.44 keV), (143.8keV)/(185.7keV). يبسِّط هذا الترابط تحديد معامل تصحيح التوهين الذاتي إلى حدٍّ كبير.

الكلمات المفتاحية: معامل تصحيح التوهين الذاتي، الاختبارات اللا إتلافية السلبية، نسبة شدات، MCNP.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تصميم وتنفيذ واختبار خلية رادون عيارية

د. رياض شويكاني - غسان رجا

قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

جرى في هذا العمل تصميم وتنفيذ واختبار خلية عيارية جديدة للرادون تلبي تقنيات قياس الرادون المختلفة والعديدة بشقيها الفعالة والمنفعلة (active and passive).

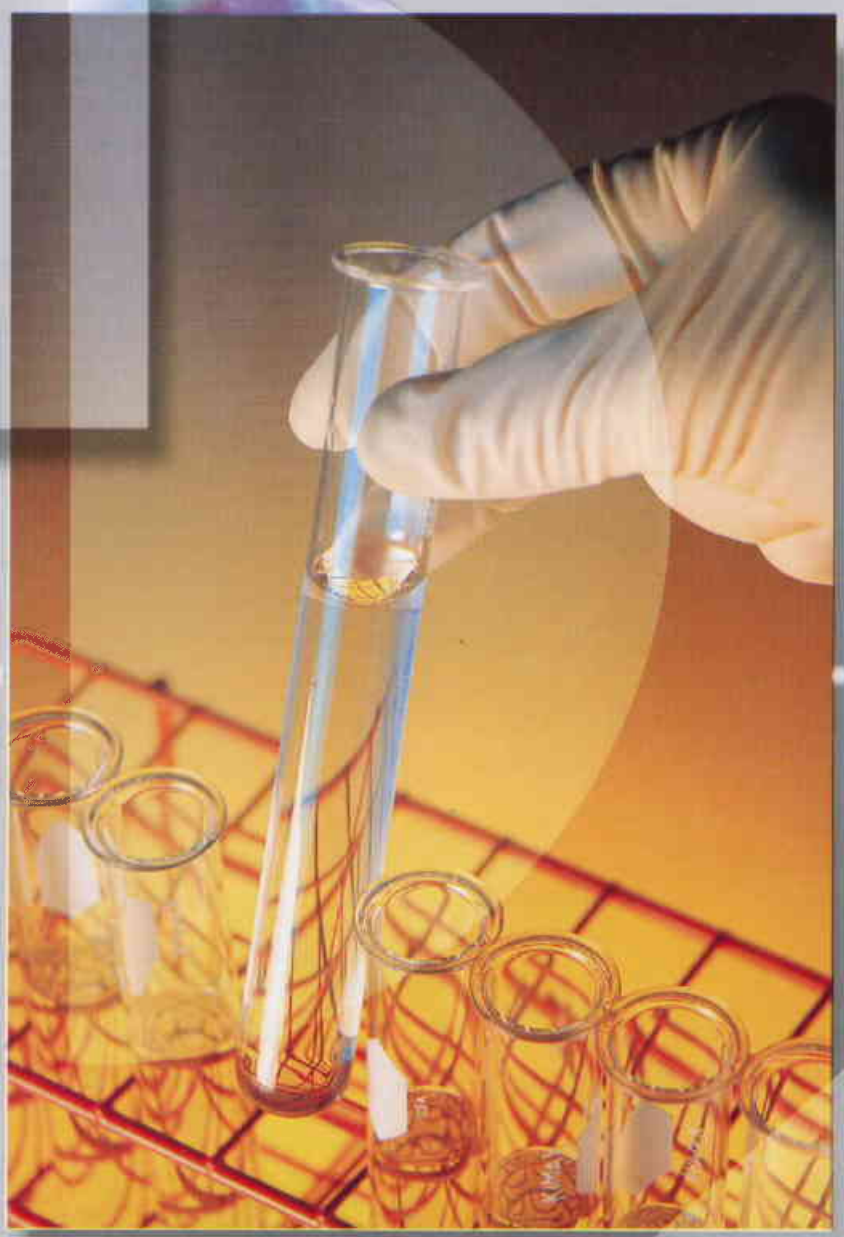
صممت ونفذت الخلية على شكل متوازي مستطيلات مصنوع من البيرسبيكس (بحجم 100م^3، 0.65 سم ارتفاعاً، بقاعدة مربعة طول ضلعها 80 سم). يوجد على الغطاء فتحة دائرية ذات نظام إغلاق مضاعف وذلك لإدخال وإخراج العينات دون إحداث أي تغير في التركيز الداخلي. زودت الخلية أيضاً بإمكانية تعريض كواشف الرادون المنفعلة لتراكيز مختلفة من الرادون داخل الخلية. كما وضعت مروحتان، يمكن التحكم بسرعة دوران كل منها، عند زاويتين متقابلتين وذلك للحفاظ على تجانس غاز الرادون داخل الحجيرة. كما احتوت الخلية على بعض الإضافات الأخرى التي جرى إدخالها لتساعد في إجراء العديد من الدراسات الخاصة بقياسات الرادون. هذا وتم وضع منبع راديوم -226 نشاطه 122 كيلوبكريل، أسفل الحجيرة وذلك لتوليد غاز الرادون.

حُدد تركيز الرادون ضمن الخلية وذلك بإجراء معايرة تصالبية (cross calibration) مع خلية الرادون العيارية الأولية الموجودة في مخبر الرادون في النرويج، ووجد أن تركيز الرادون ضمن الخلية هو 170 كيلوبكريل/م^3 (±10%). كما جرت دراسة تجانس توزع الرادون ضمن الخلية.

يمكن أن تستعمل هذه الخلية العيارية لإنجاز الأبحاث والدراسات المتعلقة بسلوك غاز الرادون إضافة لمعايرة أنواع مختلفة من الكواشف (فعالة ومنفعلة) التي تستخدم لقياس غاز الرادون ومنتجات تفككه.

الكلمات المفتاحية: الرادون، خلية معايرة، كواشف الأثر النووي، خلية لوكاس.

- تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.



فهم نسبية أينشتاين

It's about Time: Understanding Einstein's Relativity

تأليف : ن . د . ميرمن
عرض وتحليل : ديريك رين

طُلب مني منذ سنوات عديدة تأليف كتاب "لليافعين" أشرح فيه نظريات أينشتاين النسبية. وتصديت للتحدي باعتباري عديم الخبرة ولا أعرف أيّ يافعين عاديين. وظننت أنني أفلحت في كتابة عرض مبسّط حتى قابلت قراء بالغين وطلاباً من الصفوف المسائية أخبروني عن الصعوبة التي لمسوها في كتابي. أجل، ربما كان الموضوع صعباً بالفعل. فقد اعتاد هرمان بوندي H. Bondi القول إن الجمهور لن يفهم النسبية إلى أن توجد ألعاب نسبوية يلعب بها. واليوم يمكن أن تحقق الألعاب الحاسوبية دوراً في تعليم الطلاب الصغار، وتفيد المحاضرات ذات الرسوم المتحركة على شبكة الويب جمهوراً أعمّ وأوسع. ولكننا مازلنا نلجأ إلى شروح مطبوعة للنسبية.

يمكن اختصار النسبية في عبارة كان أينشتاين قد استخدمها حين كان يدقّق في أصل هذه النظرية: "أخيراً تبيّن لي أن الزمن نفسه كان مدعاة للشبهة" وما يميز الشروح الكثيرة للموضوع أحدها عن الآخر هو طريقة عرض بنود هذا النصّ. ويتصدى دافيد ميرمن لهذه المهمة بخبرته الطويلة في جعل النسبية في متناول فهم الطلاب غير المختصين من دون أن يبسّط أكثر مما يسمح به القول الفصل المعروف جيداً لأينشتاين.

لقد نشأ كتاب It's about Time من كتاب سابق مخصَّص للمدارس الثانوية ومن مذكّرات محاضرات ميرمن حول مقرَّر النسبية الدراسي لغير العلميين في جامعة كورنل. يبدأ الكتاب بمعالجة معمقة حول جمل المحاور الإحداثية. و يجري حلّ المسائل التي تحتوي على تصادمات جسيمات عن طريق انتقاء جملة إحداثيات يكون فيها الحل واضحاً (عادة جملة الإحداثيات المرتبطة بمركز الكتل). وهذا يساعد القارئ في أن يتعرف على التحويلات بين جمل الإحداثيات وفق ميكانيك نيوتن قبل استخدامها في نظرية غير مألوفة تماماً. ويوضح العرض أيضاً مبدأ النسبية توضيحاً جميلاً.

تتمثل نقطة بدء المؤلف لمعالجة النسبية في قانون جمع السرعات. وكان هذا عنصراً رئيسياً أيضاً في مقاربة أينشتاين وليس مجرد نتيجة بسيطة من تحويل لورنتس حسبما يُذكر عادةً في الكتب التدريسية. ونحصل على الاشتقاق بواسطة النظر في سباق بين جسيم ما وفوتون ما في جمل إحداثيات مختلفة، مع الأخذ بعين الاعتبار العنصر الإضافي الذي يميز نسبية أينشتاين ممثلاً في ثبات سرعة الضوء.

يعطي ميرمن دوراً مركزياً لنسبية التزامن simultaneity مقدرة كمياً. وهذا يؤدي إلى تباطؤ الساعات (الميقاتيات) المتحركة وإلى انكماش المساطر المتحركة وإلى صيغة انزياح دوبلر Doppler shift. ولعل ما يميز نمطية أصالة جدة المقاربة هو الحقيقة المثيرة المتعلقة بكون سرعة الضوء (c)، تساوي قدماً واحداً في النانوثانية بحدود 20% من الدقة وهذا يحلّ اللغز بالنسبة إلى القارئ العادي حول جعل c=1. إن هذه المعالجة كاملة ولا تتضمن ما هو أكثر من الجبر البسيط. ويقترح ميرمن أن يغفل قرّاؤه المداولة الجبرية عند اللزوم. وهذا يختلف عن إغفال الصياغة الجبرية للمناقشة والتي هي أساسية بالنسبة للشرح. إنَّ العمليات الجبرية بالنسبة لي هي الجزء السهل: فالنسبية، بكل هذه السلاسل والجسيمات والحزم الضوئية تبدو دوماً أنها تتضمن حُجَجاً تفلت من المرء حين يحاول أن يكررها. وهذا هو أحد الأسباب التي تجعل محترفي النسبية يعتمدون على مخططات الزمكان space-time diagrams.

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

ربما كان الفصل المتعلق بمخططات الزمكان هو الأهم في هذا الكتاب. فكل النتائج السابقة، بالإضافة إلى لاتغير invariance المجال، يعاد اشتقاقها من وجهة النظر هذه، ولكن بطريقة تتحاشى الهندسة التحليلية ولا تستخدم سوى الاستدلال الهندسي (ولا سيما المثلثات المتشابهة).

وكما يقول المؤلف، فإنه لا يمكن كتابة كتاب حول النسبية بدون تضمينه فصلاً عن العلاقة $E=mc^2$. ويعالج ميرمن ذلك بتحويرات في قوانين انحفاظ الاندفاع، مثلما يتطلبها قانون الجمع النسبوي فيما يخصّ السرعات. وهذه المقاربة هي تقنية تماماً، وأعتقد أن التجربة الذهنيّة التقليدية بخصوص مدفع ضوئي في عربة سكّة قطار حديد تهيئ فهماً أفضل.

يحتوي الفصل الأخير مناقشة حول حقيقة التقلص اللورنتسي (وتمدد الزمن). فما الذي يجعل قضيباً ينكمش من وجهة نظر الراصد المتحرك، أو يجعل عمر الميون muon يزداد، في حين لا يحدث شيء من ذلك في جملة الإحداثيات الساكنة؟ إننا نميل لأن ننبذ اعتبار ذلك مسألة هندسة (زمكانية) وليس سببيّة فيزيائية physical causality على الرغم من حقيقة كون أينشتاين نفسه قد عاد في عدة مناسبات إلى الأصل الديناميكي للانكماش. ويتمثل استنتاج ميرمن في أن بإمكان المرء أن يبحث عن الجواب في معادلات الإلكترودينامیك الكمومي التي تنسجم تماماً مع النتائج الحركية. فهل هذا مجرد موضوع مذاق؟ إن أي حساب صحيح لطول قضيب ما باستخدام نظرية لورنتس في اللاتغيُّر يعطي نتيجة تتفق مع النسبية – ولكن هل يعني ذلك أن الحساب يعطي سبب الانكماش؟

يصف ميرمن قرّاءه الأساسيين بأنهم من غُير العلميين لكنّه يأمل كذلك أن يخاطب الطلاب الجامعيين وطلاب الدراسات العليا الذين يمكن أن يجدوا أشياء تهمّهم فيه. وأعتقد أن المشكلة بالنسبة لهذه الفئة الثانية من القرّاء تكمن في وجود كلام كثير، كما تكمن بالنسبة للقارئ العادي في وجود معادلات كثيرة. وهذا ما يؤسف له، لأنه كتاب غنيٌّ بالاستبصار وذو أسلوب جذاب. وإنني أوصي به كل شخص يعلّم الدارسين من كلا الفئتين؛ فهو أساس باهر لمجموعة من المحاضرات.

ديريك رين : موجود في قسم الفيزياء والفلك بجامعة لايسستر في المملكة المتحدة .

تشابه قُرْبى

Our Inner Ape

تأليف : فرانس دو فال
عرض وتحليل : روبرت سابولسكي

إننا نرتبط بقرابة وثيقة مع قرود أخرى، لكن ما مدى التشابه بيننا حقاً؟

غالباً ما يُستثار العلماء حينما يواجهون شخصاً لا يؤمن بالتطور evolution، ولاسيما حينما يحاول مثل هؤلاء الأشخاص (كما في الولايات المتحدة) إملاء الحقائق التي يجب تعليمها لأولادنا في المدارس. والأقل إزعاجاً من ذلك أن تقابل شخصاً يؤمن بالتطور بشكل متحمس ولكن مع مفاهيم خاطئة تكفي لجعل داروين يتلوّى في قبره. ففي هذا الكتاب الرائع الذي يخاطب عامة الناس، يعالج مؤلفه فرانس دو فال بعض المفاهيم الخاطئة المثيرة للسخط حول تطوُّر السلوك الاجتماعي لدى القرود، وبخاصة لدى البشر.

ترتكز المفاهيم الخاطئة على أمرين هما: جين غودأول Jane Goodall والرقم 98. فقد أذهلت غودأول العالم لفترة طويلة باكتشافاتها عن سلوك قرود الشمبانزي البرية. وكانت هي التي ذكرت الحقيقة المزعجة كثيراً بأن الحياة الاجتماعية للشمبانزي يمكن

أن تتضمن القتل وأكل لحوم البشر والعنف المنظم داخل المجموعات، وهي اكتشافات نشرتها بشكل واسع مجلة National Geographic. أما الرقم 98 فهو على وجه التقريب النسبة المئوية العالية جداً للدنا DNA التي يتشارك فيها البشر مع قرود الشمبانزي. فإذا ما جمعنا هذين الأمرين يظهر قدرنا مبتوتاً فيه: ذلك أن أقرب أقربائنا الذي نتطابق معه من الناحية الجينية هو قاطع طريق. إنها الحقيقة أمامنا: مصير إنساننا كمصير قرد قاتل.

إن العلاج الشافي لكل ذلك هو البونوبو bonobo. والبونوبو، الذي عُرف يوماً ما باسم الشمبانزي القزم pygmy يصنَّف الآن كنوع مستقل من الرئيسات Primates. ومن وجهة نظر تصنيفية جينية، فإننا على قرابة وثيقة به كما بالشمبانزي. ونشير إلى أن البونوبو مختلف جداً، ذلك أن ذكوره غير عدوانيين ويفتقرون إلى الجهاز العضلي الضخم الذي يميِّز أنواعاً (مثل قرود الشمبانزي) تعتمد فيها إمكانية تمرير الذكر نسخاً من جيناته إلى خَلَفه بشكل كبير على قدرته على ضرب ذكور آخرين. وعلاوة على ذلك، فإن النظام الاجتماعي لدى قرود البونوبو تهيمن فيه الأنثى، وغالباً ما يتّصف بالمشاركة بالطعام، كما يحفل بوسائل متطورة جيداً لتسوية النزاعات الاجتماعية.

وبالإضافة إلى ذلك، يبرز الجنس في هذا الصدد. فالجنس لدى قرود البونوبو هو الموضوع الشهواني البارز في مؤتمرات علم الرئيسات primatology إلى حدٍّ يجعل الأب والأم يحجبان عيون الأطفال حين مشاهدة أفلام الطبيعة. فقرود البونوبو تمارس الجنس في كل وضع ممكن (أو غير ممكن) كزوجين أو غير ذلك ضمن الجنس الواحد أو بين الجنسين، أثناء توجيه التحية أو في حل نزاعات اجتماعية أو ابتغاء التنفيس بعد الفزع من مفترس ما أو احتفالاً بإيجاد الغذاء أو تملُّقاً لنيل نصيب منه أو لأي سبب آخر. ولتوضيح التباين بين النوعين يصحُّ التشبيه بأن قرود الشمبانزي من كوكب مارس وقرود البونوبو من كوكب فينوس.

يُعدُّ دو فال مؤهَّلاً بشكل فريد ليكون دليلنا للعوالم الاجتماعية المختلفة لذوي القربى هذين، وذلك باعتباره مختصاً بالرئيسات ومتضلعاً مكيناً وخبيراً بكلا هذين النوعين. وعلى سبيل المثال، يعتبر كتابه Chimpanzee Politics (الصادر عن جوناثان كيب في العام 1982) بمثابة تحليل كلاسيكي لمناورات الشمبانزي على السلطة، كما يعتبر كتاب Bonobo (الصادر عن مطبعة جامعة كاليفورنيا في العام 1997 واحداً من المذكرات القليلة حول هذين النوعين.

يتنظم كتاب Our Inner Ape في فصلين يحللان استخدام النوعين كليهما للسلطة وكذلك سلوكهما الجنسي والعدواني ومقدرتيهما على الحنان. وبالإضافة إلى ذلك، يتميز أسلوب الكتابة بالوضوح والحذق.

وهكذا يتساءل المرء بتلهف: هل ينحو دو فال إلى اعتبارنا كبشر نشبه الشمبانزي أم نشبه البونوبو؟ ويمكن لمن هو دون مستوى

رغم المظاهر، إلا أن البشر قد قطعوا طريقاً طويلاً منذ تفرعنا من القرود الأخرى.

دوفال كعالم وذو نزعة إيديولوجية واحدة أن يقول: إننا في عالم غير كامل وبذلك يستسلم إلى شمبانزيتنا التعيسة. ويمكن لإيديولوجية من نمط مختلف أن تكشف زيف فكرة طبيعتنا الشمبانزية وأن تبحث عن البونوبو الذي يقبع في داخلنا. لكن دو فال يثير نقاطاً أكثر عمقاً.

أولاً: ما كان البشر يشبهون قرود الشمبانزي ولا قرود البونوبو في ماضينا السالف. وبينما انشغلنا بالتطور في السنوات الملايين الخمسة الماضية أو نحو ذلك منذ سلفنا الأخير الذي تشاركنا فيه مع هذين النوعين، فإن قرود الشمبانزي والبونوبو لم تكن عروضاً مجمدة في متحف: إنهم أبناء عمومتنا المعاصرين وليسوا أسلافنا.

ثانياً: وفي كل مجال من سلوكنا وبيولوجيتنا، نحمل نحن البشر أوجه تشابه واختلاف قوية مع كل من الأنواع. وقيامنا بدراسة نوع ما آخر ابتغاء الحصول على فهم يخصُّ نوعنا إنما يتعلق بأوجه التشابه وأوجه الاختلاف بنفس المقدار ويتناول الحلول الفريدة التي توصل إليها كل نوع لحل التحديات الخاصة به فيما يتعلق بتطوُّره وإيكولوجيته ووضعه الاجتماعي.

وختاماً: فإن الانشعاب dichotomy الدراماتيكي إلى قرود البونوبو ذات المجتمع المرح وقرود شمبانزي قديمة وضيعة أمرٌ مُبالغ فيه إلى حدٍّ ما. فلا يزال لدى قرود البونوبو مراتبيات هرمية hierarchies ونزاعات، فمملكتهم المسالمة غير مبنية على مساواة فطرية، بل على تسامح مفروض، كما طوّرت قرود البونوبو بشكل معقول تلك الناحية الجنسية المسلية كوسيلة لتجاوز وفيات الصغار. أما قرود الشمبانزي فهي كذلك قادرة على الاندماج والإيثار ويغلِّف عنفها وتنافسها مصفوفة من الرقابات والموازين الاجتماعية ويمكنها حتى أن تظهر شيئاً يشبه الحسّ بمشاعر الآخرين.

يغطي دو فال هذا الأمر بحكمة ولوذعية كبيرتين. وتوجد لدي بعض المشاكل مع وجهات نظره في واحد من المجالات فقط. فهو حين يعتبر

أن القرود وحتى البونوبو ذات مراتبيّة هرمية، فإنه يوحي أن هذه المراتبيات أمر لا مفر منه في الأنواع الحية الاجتماعية. وحسب قوله "فنحن لا يمكننا العيش بدونها"، وذلك لعدة أسباب. فمن ناحية: إذا افتقرنا للطرق السهلة لتبيان المراتب، "فما من أحد يمكن أن يكون قادراً على قول من يكون هو في مجتمعه". والإجابة على ذلك هي أنه حينما تتحلّل المرتبة والمزيّة، فإن الافتقار إلى رموز سهلة للدلالة على الأولى يسهّل تعرُّف وتقييم الثانية. ومن ناحية ثانية: ينظر دو فال إلى المرتبة على أنها تسمح بتحقيق إنجازات بشرية أعظم. وحسب قوله "هذا هو سبب امتلاك التشكيلات البشرية الأكثر تعاونية، مثل الشركات الكبيرة والتنظيمات العسكرية، أفضل أشكال المراتبية." لكن ذلك يفترض أن الشركات والجيوش هي تشكيلات تعاونية حقاً، في مقابل المنظومات الثانوية التي تُفيد نفعيِّين (مثل أصحاب الأسهم والقادة الذين يتحكمون بالجيوش). وفي الختام، يلمس دو فال فائدة إشكالية للمراتبية الهرمية ما دامت يمكن أن تتخذ شكل مراتبية تعسُّفية لغرض تأمين دفع للتعاون من القاعدة لإسقاطها وتأسيس شيء ما أكثر عدلاً. وبالطبع، فإن المرء بدلاً من ذلك يعلِّق أملاً على شرعة التنظيم القبائلي الراسخ حيث تنبثق العدالة بشكل طبيعي عبر تأثرات محلية من الأسفل إلى الأعلى بديلاً عن "ديمقراطية يولِّدها العنف" حسب تعبير دو فال. لكن وحسبما يذكر جون لينون، قد تقول إنني حالم، وهذا ممكن إلى حدٍّ كبير.

وإذا تركنا هذا الاختلاف بالرأي جانباً، فإنه لأمر نادر، قيام عالم لامع بتأليف كتاب ممتاز لغير المختصين. والمطلوب قراءة هذا الكتاب من قبل أقربائنا المتمسكين بآرائهم (أو لعله من الأفضل أن نقول من قبل قادة العالم) الذين دفعهم نظراؤهم القدامى من أيام روبرت آردري أو كونراد لورينز إلى الظن بأنهم يفهمون أي نوع من القرود نكون نحن.

يعمل روبرت سابولسكي في قسم العلوم البيولوجية في جامعة ستانفورد في مدينة ستانفورد بكاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية .

ABSTRACT

The possible correlations between the self-attenuation correction factor in passive non-destructive assay of uranyl nitrate, gamma and x intensities ratios were investigated experimentaly and theoretically using MCNP code. The simulation results agreed with experimental and showed obvious correlations between the self-attenuation correction factor and the intensities ratios [(185.7 keV)/ (143.8 keV), (98.44 keV)/ (185.7 keV) and (185.7 keV)/ (63.23 keV)]. This correlation greatly simplifies the determination of the self-attenuation correction factor.

Key Words

self-attenuation correction factor, passive non-destructive assay, intensity ratio, MCNP.

★ A short report on a exploratory field study achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

DESIGN, CONSTRUCT AND TEST A CALIBRATION RADON CHAMBER★

R. SHWEIKANI, G. RAJA

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A new radon chamber has been designed, constructed and tested. The design was chosen to meet the needs of several different radon detection techniques, both active and passive.

The chamber is a cubic shape made of pixy glass with volume about 0.65 m^3. On top, it has a circular opening with double lock system for entering and removing samples without significant disturbance of the inside concentration. It also has the possibility to expose passive radon detectors at different levels inside the chamber. In addition, two fans, with variable speeds, were fitted in two opposite corners to maintain the uniformity of radon gas inside the volume. Many other features were also fitted to it.

This calibration chamber can be used to perform researches and studies on radon behaviors, in addition to calibrate different types of detectors (passive and active) which are used for measuring radon and its daughters. Solid radium-226 source with activity of about 122 kBq was placed at the bottom of the chamber to generate radon.

Key Words

Radon , calibration chamber, SSNTD, Lucas cell.

★ A short report on a exploratory field study achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

opposite was observed in shoots and roots. Potassium use efficiency increased with increasing K levels at the two irrigation regimes and the values were higher at the 85 %. The nitrogen use efficiency in shoots, roots, fruits and the whole plant increased with increasing K levels and was highest at the 85 % FC and 150 kg K_2O/ ha fertilizer rate.

Key Words

tomato, N fertilizer, K fertilizer, yield, nitrogen and potassium use efficiency, irrigation regimes.

★ A short report on a exploratory field experiment achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

KARYOTYPE ANALYSIS OF HUMAN PERIPHERAL BLOOD SAMPLES FOR CHILDREN, ENDOCRINOLOGY AND STERILITY DISORDERS★

W. AL-ACHKAR

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The object of this work is to detect the chromosomal abnormalities that cause many malformations and diseases in children and adults (glands,infertility,gynecological) and that we had in cytogenetics lab. in 2004.

To obtain metaphases, Peripheral blood lymphocytes were cultured and to determine any numeral or structural disorder the Karyotype were studied. We had 260 cases through clinics and hospitals, they were distributed as follows:

55 cases of Down syndrome, 65 cases of turner and klienfilter syndrome, 31 cases of hermaphroditism,38 cases of mental retardation and 71 cases of recurrent abortion.

Key Words

karyotype, malformations, infertility, chromosomal abnormality.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Molecular Biology and Biotechnology*, Atomic Energy Commission of Syria.

DETERMINATION OF SELF-ATTENUATION CORRECTION FACTOR IN PNDA OF URANYL NITRATE USING INTENSITIES RATIO OF URANIUM SPECIFIC GAMMA AND X LINES★

KH. HADDAD

Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

H. SOUMAN

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

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

This method relies on adding one or more chemical substance at certain concentration to the corroding mediums for retarding of the corrosion process of surfaces corrosion of the metals and alloys. The corrosion inhibitors are considered as a first line of defense against the corrosion process in the petroleum, chemical industrial plants and in the water treating stations. The inhibitor is a complicated subject and applied successfully only in special cases. For example some inhibitors may be effective for one metal or more. The optimum efficiency of each inhibitor can be achieved at certain conditions (such as concentration, temperature and pH).The effective inhibitor for a metal (in the special conditions) may be a corrosive media for another metal (or in other conditions). There are a lot of inhibitors used for preventing process of the corrosion but there is no classification of the inhibitors until now. Several attempts for the classification of inhibitors in accordance to their chemical nature (organic, inorganic, biological and green), to their properties (an oxidizer or inoxidizer) or to their application field (cleaning, or peeling). On the other hand, the incorrect utilization of inhibitors could lead to an increase in the corrosion rate and/or in the hydrogenous creep of the metals and alloys.

The inhibition mechanism of the inorganic inhibitors depends on the forming of protective layers on metals surface which retard the corrosion process. Organic inhibitors mechanism depends on the surfactant's group adsorption like N, S, COOH, NH_2, SH on the metal surface forming micelle which act as physical barrier for protecting the surface against the corrosive media or forming a stable surface complexes. The efficiency of the inhibitors performance can be measured by extent of the adhesion of their molecules on the metallic surface or by their remaining in the corrosive media for corrosion protection.

In general, the chemical composition of the most inhibitors is secretly and a monopoly at the industrialized firms. The published technical data about the inhibitor doesn't contain any detailed information about its composition or mechanism in retarding of corrosion process.

Key Words

corrosion inhibitors, inhibitors classification, inhibitor efficiency, micelle.

★ A short report on an laboratory study achieved in the *Department of Physics*, Atomic Energy Commission of Syria.

EFFECT OF DIFFERENT RATES OF POTASSIUM FERTILIZER AND SOIL MOISTURE ON NITROGEN AND POTASSIUM USE EFFICIENCIES AND TOMATO YIELD USING AN ^{15}N ISOTOPIC DILUTION TECHNIQUE★

KH. KHALIFA, M. AL-CHAMMA'A AND F. AL-AIN

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A pot experiment was conducted to evaluate the response of tomato to 4 potassium fertilizer rates (0, 90, 120, 150 kg K_2O/ha), one rate of N (150 kg/ha) and two irrigation regimes 65 % and 85 % of field capacity (FC) on yield and the efficient use of N and K fertilizers. Results showed that dry matter yield correlates positively with the rate of K fertilizer applied under the two irrigation regimes. %65, %85 However, the increase in production of fruits and dry matter was higher at the 85% FC. The K-uptake in fruit and whole plant increased with increasing K application levels and was higher at the 85 % but the

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

CHARACTERIZATION OF FLASH LAMP PULSES IN Nd: YAG LASERS★

M. B. AlSOUS

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

In this work, a numerical solution of the differential equations of the flash lamp discharge current has been found. A computer program using C++Builder is written to show the time dependent variation of the pulse discharge current as a chart curve. The program can calculate the different pulse parameters as the pulse energy, the pulse width, and the peak current. The user can also optimize the values of the capacitor and the inductance.

Key Words

flash lamp, Nd:YAG laser, numerical solution.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Physics*, Atomic Energy Commission of Syria.

STRIPPING OF VANADIUM FROM THE LOADED ORGANIC SOLVENT DEHPA★

M.K.A BDULBAKE , G. SHADDOUD , A. WAHOUD

Hydrometallurgy Office, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The effects of parameters on the striping of vanadium from loaded organic solvent DEHPA by sulfuric acid was studied and the results show that the increasing of molarity of sulfuric acid has a negative effect on the stripping of solvent ,and the temperature has anegative effect also.

We studied also the Isotherm curve of the stripping process and found that three stages of stripping at ratio A/O=1/6 are enough.

Key Words

vanadium, stripping, organic solvent, DEHPA.

★ A short report on a laboratory scientific study achieved in the *Hydrometallurgy Office*, Atomic Energy Commission of Syria.

PHYSICAL-CHEMICAL PRINCIPLES OF CORROSION INHIBITORS FOR METALS AND METALLIC ALLOYS AND THE INHIBITION MECHANISMS★

M. SOUKIEH, F.NASSR-ALLAH, M.KAKHIA AND H. JABBOLI

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The usage of corrosion inhibitors is one of the most important cheapest, easy and efficient methods for controlling the process of the metallic corrosion.

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

PREPARATION OF POLY (VINYL ALCOHOL) MEMBRANES GRAFTED WITH N-VINYL IMIDAZOLE/ ACRYLIC ACID BINARY MONOMERS★

Z. AJJI, A. ALI*

Department of Radiation Technology, Polymer Technology Division, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

** Tishreen University, Faculty of Science, Chemistry Department*

ABSTRACT

Poly (vinyl alcohol) films were grafted with two monomers using gamma radiation, acrylic acid and N-vinyl imidazole. The influence of different parameters on the grafting yield was investigated as: type of solvent and solvent composition, comonomer concentration and composition, addition of mineral acids, and irradiation dose. Water uptake in respect to the grafting yield was also evaluated.

The ability of the grafted films to adsorb copper ions was elaborated and discussed for different grafting yields, pH values of the solution, and the time of adsorption.

Key Words

polyvinyl alcohol, acrylic acid, imidazole, radiation.

★ A short report on an scientific laboratory study achjeved in the *Department of Radiation Technology*, Atomic Energy Commission of Syria.

EXTRACTION OF URANIUM FROM NITRIC ACID SOLUTIONS BY TRI BUTYL PHOSPHATE / KEROSENE★

J. STAS , A. DAHDOUH, H. SHLEWIT

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The extraction of nitric acid and hexavalent uranium from nitric acid and nitric acid containing uranium (VI) media by tributyl phosphate (TBP) / kerosene has been studied, and all factors affecting the extraction process (time of mixing, uranium concentration, nitric acid concentration, TBP concentration, temperature) have been investigated. The equilibrium constant of the extraction reaction of uranium by TBP:

$$UO_2^{2+} + 2NO_3^- + 2TBP \leftrightarrows UO_2(NO_3)_2.2TBP$$

Was found to be $10^{2.464}$, $10^{2.668}$ L^4/mol^4 at 25 °C, and the enthalpy was –16.47, –23.07 k.J/mol for 0.5 *M* and 1 *M* nitric acid concentration respectively. The optimal conditions obtained from this study were applied on the purification of the Yellow cake resulted as a byproduct from the Pilot Plant of H_3PO_4 purification in the TSP fertilizer company in Homs.

Key Words

extraction, uranium (VI), nitric acid, tributyl phosphate/kerosene.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Chemistry*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

pollution questions in a karst environment-i.e., where is the ground water?-numerous tools including geophysics are used. However, the contribution of geophysics differs from one method to the other. The magnetic resonance sounding (MRS) method has the advantage of direct detection of ground water over other geophysical methods. Eight MRSs were implemented over a known karst conduit explored and mapped by speleologists to estimate the MRS ability to localize ground water. Two direct current resistivity imageries (DC-2D imagery) were also implemented to check their capability to map a known cave.

We found that the MRS is a useful tool to locate ground water in karst as soon as the quantity of water is enough to be detected. The threshold quantity is a function of depth and it was estimated by forward modeling to propose a support graph to hydrogeologists. The measured MRS's signals could be used to calculate transmissivity and permeability estimators. These estimators were used to map and to draw a cross section of the case study site, which underline accurately the known karst conduit location and depth.

We also found that the DC-2D imagery could underline the karst structures: It was able to detect the known cave through its associated faults. We prepared a computer simulation to check the depth of such a cave to induce resistivity anomaly which could be measured in similar conditions.

Key Words

magnetic resonance sounding, resistivity imagery, karst, lamalou site-france.

★ This paper appeared in *Ground Water*, August-September 2003.

REPORTS

CHARACTERISTICS OF THE SIGNAL AND NOISE AT THE PREAMPLIFIER OUTPUT ACCORDING TO THE CONNECTION METHODS WITH THE DETECTOR★

J. ASSAF

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Experimental results and mathematical models for the characterization of the parameters of three connection methods between the charge preamplifier and the detector have been described. Those connections are classified into tow groups, the first one is a DC connection and the second is an AC coupling, which has tow sub-coupling methods. The studied parameters are: the preamplifier response, the input impedance, and the electronic noise.

Key Words

DC Connection, AC coupling, preamplifier, input impedance, response, electronic noise.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Scientific Services*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

A PASTRY A DAY...★

J. KINGSLAND

A freelance health journalist

ABSTRACT

Is being overweight as bad for your health as it's cracked up to be?.

Key Words

Pastry, fat, overweight, health.

★ This article appeared in *Physics World*, September 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

ANALYSIS OF AN RO PLANT TO REMEDY THE WATER SHORTAGE IN THE RURAL AREA OF DAMASCUS★

S. SULEIMAN, F. KROMA, J. MOMJIAN

Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Water situation of the rural area of Damascus has been investigated in details including water resources, consumption, shortage and quality. Due to the shortage of potable water, a suitable RO plant was suggested. Full details of its design including its needed pretreatment are presented. Water production cost methodology has been surveyed and applied for the suggested plant.

Key Words

RO, pretreatment, levelized water production cost.

★ This paper appeared in *Desalination*, (2005).

LOCALIZATION OF SATURATED KARST AQUIFER WITH MAGNETIC RESONANCE SOUNDING AND RESISTIVITY IMAGERY★

J. M. VOUILLAMOZ[1-3], A. LEGCHENKO[2], Y. ALBOUY[3], M. BAKALOWICZ[4], J. M. BALTASSAT[2], W. AL-FARES[5]

[1] Action contre la faim, Paris, France

[2] BRGM, Orleans, France

[3] IRD, Bondy, France

[4] Universite Montpellier II, Montpellier, France

[5] Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

To answer one of the main questions of hydrogeologists implementing boreholes or working on

STRONG QUANTUM-CONFINED STARK EFFECT IN GERMANIUM QUANTUM-WELL STRUCTURES ON SILICON★

Y. KUO[1], Y. K. LEE[1], Y. GE1, S. REN[1], J. E. ROTH[1], T. I. KAMINS[1,2], D. A. MILLER[1], J. S. HARRIS[1]

[1] *Solid State and Photonics Laboratory, Department of Electrical Engineering, Stanford University, California, USA.*

[2] *Quantum Science Research, Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, California, USA.*

ABSTRACT

Silicon is the dominant semiconductor for electronics, but there is now a growing need to integrate such component with optoelectronics for telecommunications and computer interconnections. Silicon-based optical modulators have recently been successfully demonstrated but because the light modulation mechanisms in silicon are relatively weak, long (for example, several millimeters) devices or sophisticated high-quality-factor resonators have been necessary. Thin quantum-well structures made from III-V semiconductors such as GaAs, InP and their alloys exhibit the much stronger quantum-confined Stark effect (QCSE) mechanism, which allows modulator structures with only micrometers of optical path length. Such III-V materials are unfortunately difficult to integrate with silicon electronic devices. Germanium is routinely integrated with silicon in electronics, but previous silicon-germanium structures have also not shown strong modulation effects. Here we report the discovery of the QCSE, at room temperature, in thin germanium quantum-well structures grown on silicon. The QCSE here has strengths comparable to that in III-V materials. Its clarity and strength are particularly surprising because germanium is an indirect gap semiconductor, such semiconductors often display much weak optical effects than direct gap materials (such as the III-V materials typically used for optoelectronics). This discovery is very promising for small, high-speed, low-power optical output devices fully compatible with silicon electronics manufacture.

Key Words

quantum-confined Stark effect (QCSE), electro-absorption modulator, quantum well multiple (MQW), quantum barrier, CMOS.

★ This article appeared in *Nature*, October 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

SEEING WITH ELECTRONS★

P. NELLIST

Department of Physics, Trinity College Dublin, Ireland

ABSTRACT

Commercially available lens correctors are extending the reach of microscopes to unprecedented atomic scales.

Key Words

electron microscope, term spherical, resolution.

★ This article appeared in *Physics World*, November 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

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

ARTICLES

MY ENEMY'S ENEMY★

J. WHELAN
A freelance science writer based in France.

ABSTRACT

Injecting people with live viruses sounds crazy. But they are the latest weapon in the war against cancer.

Key Words

live viruses, war against cancer, herpes simplex virus, glioma.

★ This article appeared in *NewScientist*, November 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

ENHANCING SEMICONDUCTOR DEVICE PERFORMANCE USING ORDERED DOPANT ARRAYS★

T. SHINADA[1], S. OKAMOTO[2], T. KOBAYASHI[2], L. OHDOMARI[1,2]
[1] Consolidated Research Institute for Advanced Science and Medical Care (ASMeW).
[2] School of Science and Engineering, Waseda University, 513 Wasedatsurumaki-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0041 Japan.

ABSTRACT

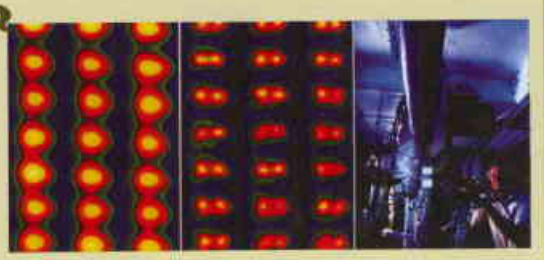
As the size of semiconductor devices continues to shrink, the normally random distribution of the individual dopant atoms within the semiconductor becomes a critical factor in determining device performance-homogeneity can no longer be assumed. Here we report the fabrication of semiconductor devices in which both the number and position of the dopant atoms are precisely controlled. To achieve this, we make use of a recently developed single-ion implantation technique, which enables us to implant dopant ions one-by-one into a fine semiconductor region until the desired number is reached. Electrical measurements of the resulting transistors reveal that device-to-device fluctuations in the threshold voltage (V_{th}; the turn-on voltage of the device) are less for those structures with ordered dopant arrays than for those with conventional random doping. We also find that the devices with ordered dopant arrays exhibit a shift in V_{th}, relative to the undoped semiconductor, that is twice that for a random dopant distribution (-0.4 V versus -0.2 V); we attribute this to the uniformity of electrostatic potential in the conducting channel region due to the ordered distribution of dopant atoms. Our results therefore serve to highlight the improvements in device performance that can be achieved through atomic-scale control of the doping process. Furthermore, ordered dopant arrays of this type may enhance the prospects for realizing silicon-based solid-state quantum computers.

Key Words

single ion implantation (SII), fabrication of semiconductor devices, ordered dopant array, device performance, field effect transistor.

★ This article appeared in *Nature*, October 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

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



45 SILICON'S NEW SHINE

47 BIRD FLU: KICK-START VACCINATION OR FACE THE CONSEQUENCES

The world needs a global action plan, and fast, if we are to stand any hope of stopping a flu pandemic.

50 A QUANTUM RECIPE FOR LIFE

52 SEA LEVEL AND VOLCANOES

54 DEPLETED URANIUM

PAPERS

57 ANALYSIS OF AN RO PLANT TO REMEDY THE WATER SHORTAGE IN THE RURAL AREA OF DAMASCUS

64 LOCALIZATION OF SATURATED KARST AQUIFER WITH MAGNETIC RESONANCE SOUNDING AND RESISTIVITY IMAGERY

REPORTS

75 CHARACTERISTICS OF THE SIGNAL AND NOISE AT THE PREAMPLIFIER OUTPUT ACCORDING TO THE CONNECTION METHODS WITH THE DETECTOR

75 PREPARATION OF POLY (VINYL ALCOHOL) MEMBRANES GRAFTED WITH N-VINYL IMIDAZOLE/ACRYLIC ACID BINARY MONOMERS

76 EXTRACTION OF URANIUM FROM NITRIC ACID SOLUTIONS BY TRI BUTYL PHOSPHATE/KEROSENE

76 CHARACTERIZATION OF FLASH LAMP PULSES IN Nd: YAG LASERS

77 STRIPPING OF VANADIUM FROM THE LOADED ORGANIC SOLVENT DEHPA

77 PHYSICAL-CHEMICAL PRINCIPLES OF CORROSION INHIBITORS FOR METALS AND METALLIC ALLOYS AND THE INHIBITION MECHANISMS

78 EFFECT OF DIFFERENT RATES OF POTASSIUM FERTILIZER AND SOIL MOISTURE ON NETROGEN AND POTASSIUM USE EFFICIENCIES AND TOMATO YIELD USING AN ^{15}N ISOTOPIC DILUTION TECHNIQUE

78 KARYOTYPE ANALYSIS OF HUMAN PERIPHERAL BLOOD SAMPLES FOR CHILDREN, ENDOCRINOLOGY AND STERILITY DISORDERS

79 DETERMINATION OF SELF-ATTENUATION CORREECTION FACTOR IN PNDA OF URANYL NITRATE USING INTENSITIES RATIO OF URANIUM SPECIFIC GAMMA AND X LINES

79 DESIGN, CONSTRUCT AND TEST A CALIBRATION RADON CHAMBER

NEW BOOKS

81 IT'S ABOUT TIME: UNDERSTANDING EINSTEIN'S RELATIVITY

BY: N. D. MERMIN

OVERVIEW & ANALYSIS: D. RAINE

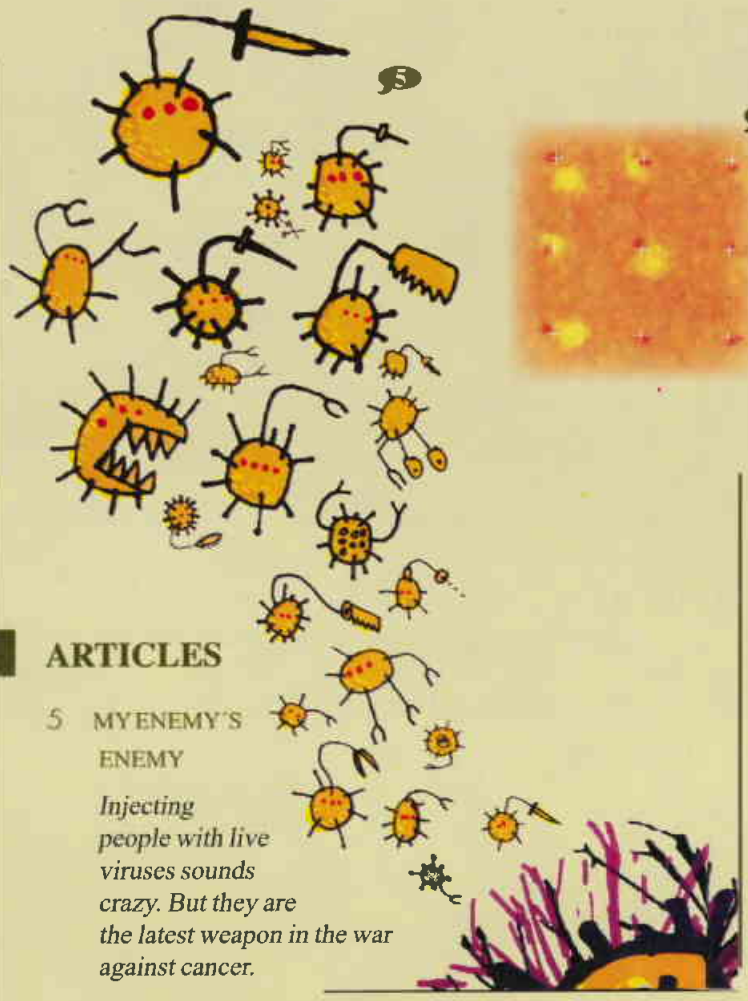
82 OUR INNER APE

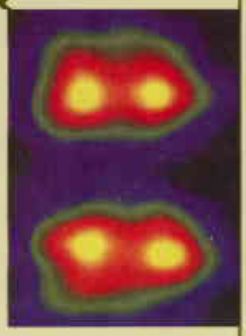
BY: F. DE WAAL

OVERVIEW & ANALYSIS: R. SAPOLSKY

93 ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH

CONTENTS





ARTICLES

5 MY ENEMY'S ENEMY

Injecting people with live viruses sounds crazy. But they are the latest weapon in the war against cancer.

J. WHELAN

10 ENHANCING SEMICONDUCTOR DEVICE PERFORMANCE USING ORDERED DOPANT ARRAYS

As the size of semiconductor devices continues to shrink, the normally random distribution of the individual dopant atoms within the semiconductor becomes a critical factor in determining device performance.

T. SHINADA, ET ALL

16 STRONG QUANTUM-CONFINED STARK EFFECT IN GERMANIUM QUANTUM-WELL STRUCTURES ON SILICON

Silicon is the dominant semiconductor for electronics, but there is now a growing need to integrate such components with optoelectronics for telecommunications and computer interconnections.

Y. HSUAN KUO, ET ALL

21 SEEING WITH ELECTRONS

Commercially available lens correctors are extending the reach of electron microscopes to unprecedented atomic scales.

P. NELLIST

28 A PASTRY A DAY

Is being overweight as bad for your health as it´s cracked up to be.?

J. KINGSLAND

NEWS

33 MIGRATION THREATENS TO SEND FLU SOUTH

Researchers fear that the bird flu virus´s next stop will be Africa, where dependence on poultry means that the consequences could be even worse than in southeast Asia.

36 CAN PHYSICS ACCELERATE BIOLOGY?

Techniques developed by physicists could make things much easier in the biology lab, but life scientists have yet to be convinced.

38 MELTED BY MISTAKES

41 GOLD LOSES ITS LUSTRE

43 FREE-ELECTRON LASERS SHINE ON

A global race is on to build a laser that can produce coherent, high-power X-rays.

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

AALAM AL-THARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

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.

Managing Editor

Dr.Ibrahim Othman

Dirctor General of A.E.C.S

Editorial Board

Dr. Adel Harfoush

Dr. Ziad Qutob

NO.102

numeral 102 (March/April) 2006