عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

مجلة دورية تصدر ستّ مرّات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهوريّة العربيّة السوريّة. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلميّة باللغة العربيّة في الميدانين الذرّي والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

العدد الثالث والسبعون | السنة السادسة عشرة | أيار – حزيران 2001

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسّام (رئيس هيئة التحرير)

الدكتور محمد قعقع — **الدكتور فؤاد العجل**

الدكتور أحمد الحاج سعيد — **الدكتور محمد فؤاد الربّاط**

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

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

1- ترسل 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 ورقةٍ مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة اسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف والمترجم 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 عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.
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 مجمّعة من مصادر عدّة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول «تأليف، جمع، إعداد، مراجعة...» ويرفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.
6- إذا تضمنت المادة صوراً وأشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلاّ إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة «4»)، مرقمة حسب أماكن ورودها.
7- يرسل 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 يُكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أم مختزلاً. وتستعمل في النص المؤلَّف أو المترجَم الأرقام العربية 3, 2, 1 أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلةٍ أو قانون أحرف أجنبية وأرقام فتكتب المعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.
9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالّة (★ , + , x, o...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].
10- تُرقم 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 تُرد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.
14- توجه المراسلات باسم رئيس هيئة التحرير إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية – هيئة الطاقة الذرّية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – مجلة عالم الذرّة – دمشق – ص. ب 6091

رسوم الاشتراك

الاشتراك السنوي للطلاب (200) ل.س – الاشتراك السنوي للأفراد (300) ل.س – الاشتراك السنوي للمؤسسات (1000) ل.س
الاشتراك السنوي للأفراد من خارج القطر العربي السوري (30) دولاراً أمريكياً. وللمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً – تتضمن الاشتراكات أجور البريد

بالنسبة للمشتركين من خارج القطر يُرسل رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13
مزة – جبل – ص.ب 16005
رقم الحساب 2/3012

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

يمكن للمقيمين داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:
مجلة عالم الذرّة – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية – دمشق – ص. ب 6091
مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل
أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة – دمشق – شارع 17 نيسان

سعر العدد الواحد

سورية 50 ل.س / لبنان 3000 ل.ل / الأردن 2 دينار / مصر 3 جنيه / الجزائر 100 دينار / السعودية 10 ريال و6 دولارات في البلدان الأخرى.

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 الكتابة إلينا على العنوان التالي:
هيئة الطاقة الذرّية السورية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر
دمشق ص.ب 6091 – الجمهورية العربية السورية
أو الاتصال على رقم الهاتف6111926/7 – فاكس 6112289

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقالات

☐ مجهريات ضوئية تستخدم منبعاً ضوئياً أحادي الجزيء . . . . . ج. ميكائيليس وآخرون. 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ تحسينات في فيزياء الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية. . . . . .ج. أورينشتاين، أ. ج. ميليز 11
ترجمة هيئة التحرير

☐ استكشاف حدود نووية جديدة. . . . . ب. ريفان، ب. بلاتك 21
ترجمة هيئة التحرير

☐ رصد الزمن الحقيقي لحركة ذرّة ممتزة على سطح معدن. . . . . .هـ. بتيك وآخرون 28
ترجمة هيئة التحرير

☐ التصنيع الآلي المكروي الكهركيميائي لقطع الشغل المعدنية. . . . . .ر. شستر وآخرون. 32
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

☐ سيرن يُمهل متصيدي بوزونات هيغز شهراً آخر لجمع المعلومات. 39
☐ الحركات المذهلة في الأجسام الصلبة. 40
☐ طلب رسمي لبناء مفاعل فنلندي خامس 42
☐ تقدّم في برنامج اليابان لإعادة معالجة البلوتونيوم. 42
☐ الكيميائيّ الأعظم. 43
☐ بعث الحياة في نموذج قديم لنظرية المغنطيسية الحديدية. 44
☐ تقدّم مهم في النقل الأيوني 45
☐ اكتساب الضوء من السليكون 47
☐ الترصيع على الجذاذات 49

ورقات البحوث

(أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

☐ الخواص التبادلية الأيونية لمركب سليكوتنغستات السيريوم (IV). . . . . د. غدير زيزفون، د. توفيق ياسين، أحمد سرحيل . 52

☐ التمييز بين عزلات العامل الممرض Drechslera graminea . . . . . .محمد جوهر، 58
باستخدام تقانة واسمات الدنا متعددات
الشكل المضخمة عشوائياً والصفات الشكلية المزرعية
د. محمد عماد الدين عرابي، ر. س. سانغوان

☐ تحسين مقاومة الثوم لمرض العفن الأبيض. . . . . د. بسام الصفدي، د. نزار مير علي، 62
وقدرته التخزينية باستخدام الطفرات المحدثة بأشعة غاما
د. محمد عماد الدين عرابي

☐ ملامح التوضعات الفسفاتية من خلال القياسات الجيوفيزيائية البئريّة. . د. جمال أصفهاني، 68
لأشعة غاما الطبيعية والتحاليل الطيفية في جنوب الأبتر–سورية
د. عبد الرحمن عبد الهادي

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- ☐ دراسة تلوث بيئة نهر بردى ببعض العناصر السامة الناجمة عن صناعة الجلود (الدباغات) . . . . . د. إبراهيم خميس، أحمد سرحيل، نزار الصمل، د. محمد سعيد المصري 82
- ☐ تعيين تدفق الرصاص 210 الجوي في سورية . . . . . د. محمد سعيد المصري، هيثم شيخ خليل 84
- ☐ دراسة مواصفات حمض الآزوت المنتج في الشركة العامة للأسمدة واستخدامه . . . . . عبد الرحمن وحود، وليد رفول، د. سعد الدين خرفان 85
- ☐ دراسة إمكانية الكشف عن سبق تعرض الخضار للأشعة باستخدام زراعة الأنسجة . . . . . د.بسام الصفدي، د. نجم الدين الشرابي، عماد نابلسي 87
- ☐ الكشف عن الاختلافات الوراثية داخل أهم الأصناف القديمة والحديثة من القمح السداسي aestivum triticum (L) والرباعي triticum durum (Desf) من خلال دراسات الرحلان الكهربائي . . . . . د. نزار مير علي. 88

كتب حديثة مختارة

- ☐ أفكار أساسية ومفاهيم في الفيزياء النووية: عرض تمهيدي . . . . . (تأليف: ك. هيد) (عرض وتحليل: ب. ر. باريت) 93
- ☐ فيزياء المواد الكثيفة: أشياء أكثر في السماء والأرض-احتفال الفيزياء بالألفية الجديدة . . . . . (تأليف: ب. بدرسون). (عرض وتحليل: ف. أندرسون) 93

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 104

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

المقالات

مجهريات ضوئية تستخدم منبعاً ضوئياً أحادي الجزيء*

ج. ميكائيليس، س. هتيك، ج. ملاينك، ف. ساندوغدار
جامعة كونستانز – ألمانيا

ملخص

أثار التقدم السريع في العلوم، بمقاييس تنظير نانوية، اهتماماً متزايداً في تقنيات المجهريات الضوئية ذات الميز فوق العالي. فمن الممكن تجاوز حد الانعراج بإنارة جسم في الحقل القريب عبر فتحة aperture مقاسها دون الطول الموجي تقع في نهاية مسبار معدني حاد [2,1]. وتتضمن التعديلات المقترحة لهذه التقنية [4,3] الاستعاضة عن الفتحة الفيزيائية بمنبع ضوئي فعّال بمقياس تنظير نانوي. وقد أدّت الإنجازات في مجالي الكشف المكاني [5] والطيفي [6] للجزيئات الفردية المفلورة، باستخدام طريقتي الحقل القريب والبعيد [7]، إلى اقتراح إمكانية استخدام جزيء أحادي [9,8] كمنبع إنارة. وفي هذه التقنية، نقدم صوراً ضوئية مأخوذة لجزيء أحادي كمنبع إنارة شبه نقطي من خلال الجمع ما بين مطيافية الإثارة بالفلورة fluorescence excitation [10] spectroscopy ومجهرية قوة القص shearforce microscopy [11]. ولمسبارنا أحادي الجزيء إمكانية تحقيق ميز جزيئي في مجهريات ضوئية، كما أنه يسهل إجراء دراسات مسيطر عليها لظواهر ذات سلّم نانوي (مثل ظاهرة الانتقال التجاوبي للطاقة) مع تحسين للميز المكاني الجانبي والمحوري.

الكلمات المفتاحية: مجهرية ضوئية، مجهرية قوة القص، إثارة بالفلورة، مجهرية ضوئية ماسحة ذات حقل قريب.

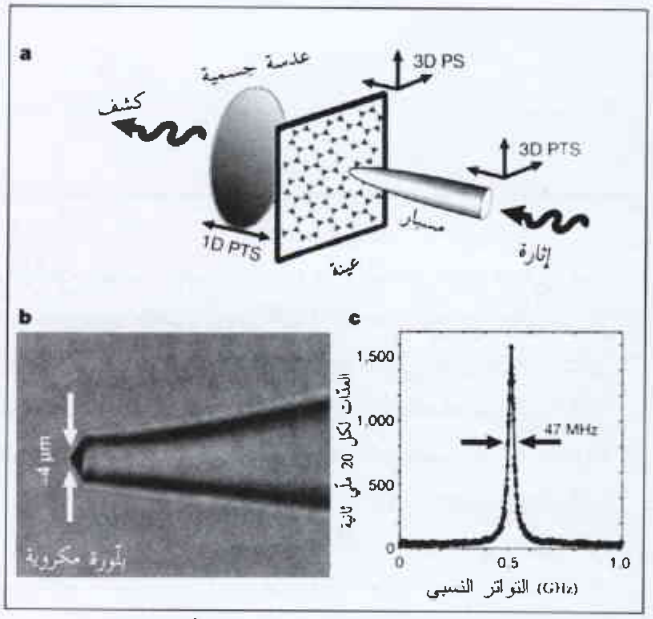
خلال ما يقارب عقدين من الزمن، استقر ميز المجهرية الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب scanning near-field optical microscopy (SNOM) باستخدام مسابر ذات فتحة عند قيمة تقارب 50 نانومتراً. وإضافة إلى صعوبات تقانية، كما هو الحال في قابلية تكرار تصنيع الرأس المستدقة، فإن الميز في هذا النمط من SNOM يكون في أساسه محدوداً، ذلك لأن العمق القشري المحدود للمعادن الحقيقية يقود إلى الحجم الفعال المحدود للفتحة الذي يستطيع المرء تحقيقه داخل المختبر [3]. وللتغلب على هذه المشكلة، سعى الباحثون إلى تقنية SNOM عديمة الفتحة تستخدم رأساً حادة من أجل بعثرة الحقل القريب للعينة [12]، لكن الميز في هذه التشكيلة يكون محدوداً بنصف قطر التقوس للمسبار المستخدم. واستخدام وسط فعّال نانوي التنظير كمسبار لتقنية SNOM له ميزة إمكانية إنقاص حجمه إلى حجم ذرّة أحادية أو جزيء أحادي. وفي هذه الحالة، يعتمد الميز فقط على الفاصل ما بين المنبع والعينة.

يُظهِر الشكل 1a رسوماً تخطيطية لدمج مجهر ماسح متحد البؤرة ومجهر ضوئي ماسح ذي حقل قريب وهو دمج يشكل قلب تركيبتنا التجريبية [13] العاملة عند $T = 1.4$ K. هذا، ويتحكم ماسح كهرضغطي تجاري بموضع العينة قبالة مسبار ليفي – ضوئي مستدق. ويمكن استخدام عدسة جسمية للمجهر مع فتحة رقمية قدرها 0.8 لإنارة العينة أو لجمع الضوء منها. ومن أجل ضبط محرق العدسة الجسمية وتموضع المسبار الليفي، استخدمت منصات انسحابية مسيَّرة بالضغط جرى تصنيعها محلياً [14]. واستخدمنا إشارة قوة القص الصادرة عن شوكة رنانة من الكوارتز لرصد أو تنظيم الفاصل ما بين سطح العينة والمسبار [15]. وفي التجارب الموصوفة هنا، احتوت نهاية المسبار الليفي على بلّورة ب– ترفينايل (p-terphenyl) بحجم مكرون (انظر الشكل 1b) سبق أن طُعِّمت بجزيئات ترّايلين (terrylene) عند تركيز اسمي يقارب 10^{-7}. ولتحضير مسبار كهذا، قمنا أولاً بإجراء تصعيد تشاركي لمادتي ب– ترفينايل وترّايلين من أجل الحصول على بلّورات من مرتبة بضعة مكرومترات في الحجم فوق غطاء شريحة. بعد ذلك جرى فحص تركيز التطعيم الموضعي للبلّورات المكروية عن طريق الإثارة الجماعية لجزيئات الترّايلين عند $\lambda = 514$ nm في ترتيب متّحد البؤرة وتحت ظروف المحيط [17,16]. وما أن يُحدّد الموضع لبلّورة مكروية ذات حجم وتطعيم مرغوبين حتى يجري لصقها بعناية إلى نهاية ليف غير مطلي منمَّش كيميائياً أحادي النمط، ومن ثم ينقل هذا المسبار إلى داخل التركيبة القرّية (الشديدة البرودة) المشار إليها في الشكل 1a.

وحُدِّدت هوية جزيئات الترّايلين الفردية داخل البلورة المكروية بواسطة مطيافية الإثارة بالفلورة [18,10] عند $T = 1.4$ K. وقد جرى أولاً تثبيت شدة ضوء الليزر الصباغي الحلقي العامل عند $\lambda \approx 578$ nm بواسطة معدِّل كهربائي – ضوئي ثم جرت مزاوجته إلى داخل الليف الضوئي المؤدي إلى البلورة المكروية ضمن المصقّعة cryostat. ونظراً لأن خطوط الفونون الصفرية zero-phonon lines الحادة لجزيئات الترّايلين تكون موزعة بشكل لا متجانس في فضاء التواتر، يغدو ممكناً للجزيئات الفردية أن تصبح مثارة عند مسح التواتر الليزري. بعد ذلك يتم كشف التفلور ذي

* نشر هذا المقال في مجلة *Nature*, Vol. 405, 18 May 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

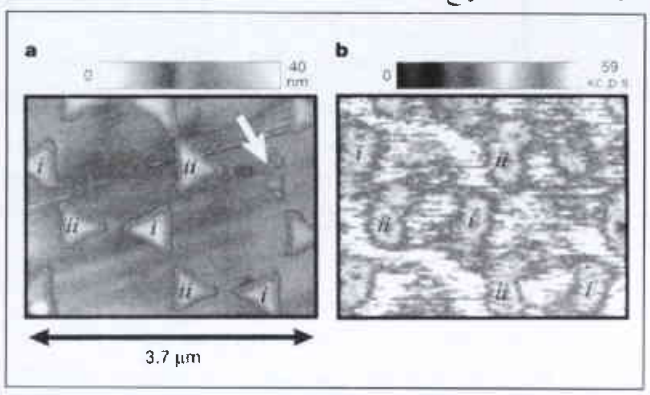
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 1– منظر عام لملامح تجريبية من أجل فهم المسبار الأحادي – الجزيء.
(a) رسم تخطيطي للتشكيلة التجريبية، وفيه تشير الرموز: PS إلى ماسح كهرضغطي، وPTS إلى منصة انسحابية مسيَّرة بالضغط. يُرجع إلى نص المقالة للحصول على معلومات تفصيلية.
(b) صورة بمجهر ضوئي لمسبار ليفي يعرض بلّورة مكروية من مادة ب– ترفينايل p-terphenyl مغرّاة إلى نهايتها. طُعّمت البلورة المكروية، بصورة خفيفة، بجزيئات الترايلين terrylene molecules.
(c) طيف الإثارة للجزيء المستخدم لتسجيل الصور في هذه التجربة. يبين الخط المتصل ملاءمة لورنتز للبيانات التي تظهر عند منتصف ارتفاع القمة قدره 47 MHz.

الانزياح الأحمر red-shifted fluorescence لجزيء مثار انتقائياً عند $\lambda = 630$ nm بواسطة ثنائي ضوئي تيهوري بعد مروره عبر العدسة الجسمية للمجهر وعبر المرشحات الطيفية. وبهذا الأسلوب، نستطيع، وبشكل نموذجي، أن نسجل خطوط تجاوب أضيق من 50 MHz، ومعدلات عدٍّ قدرها 100 kHz، ونسبة إشارة إلى ضجيج من مرتبة قدرها 100:1 (الشكل 1c). وإلى جانب خطوط الطيف الشديدة الضيق ونسبة إشارة إلى ضجيج عالية، أثبتت منظومتنا أيضاً أنها مستقرة ضوئياً إلى حد بعيد خلافاً لما هي عليه الجزيئات الصباغية التي درست بشكل نموذجي عند درجة حرارة الغرفة [5]. وتُعدّ هذه المزايا السبب الرئيسي وراء اختيار هذه المنظومة لإجراء بحوثنا الحالية.

وما أن يُولّف الليزر إلى تجاوب مع جزيء ترايلين أحادي حتى يُحرّك المسبار إلى موضع أكثر قرباً من العينة إلى حين ملاحظة إشارة قوة القص عند فاصل قدره 20 نانومتراً. عند ذلك تسحب العينة من الرأس المستدقة إلى موضع محوري معين وتمسح جانبياً في الوقت الذي يجري فيه رصد إشارة قوة القص كواحد من إجراءات الأمان. وتتألف العينة من جزر مثلثية من الألمنيوم بارتفاع 25 نانومتراً مرتّبة في شبيكة سداسية بدور قدره 1.7 مكرومتر ومثبتة فوق شريحة زجاجية كغطاء [19]. يعرض الشكل 2a صورة طبوغرافية للمنطقة المدروسة في هذه التجربة والتي جرى تسجيلها بمجهر القوة الذرّية بعد أن أُخرجت العينة من المصفّعة. ويشير السهم إلى رقعة فُقدت منها واحدة من الجزر المعدنية مما نجم عنها بنيتان نانويتان. أما الصورة في الشكل 2b فتظهر إشارة فلورة خام لجزيء أحادي جرى وضعه أمام هذه العينة، تماماً في الوقت الذي يسبق بداية إشارة قوة القص. وقد جرى دمج العدّات الفوتونية بمعدل 20 ملّي ثانية لكل عنصورة، وهي الفترة التي جرى خلالها مسح تواتر الليزر ذهاباً وإياباً مرة واحدة عبر مجال ± 250 MHz حول التجاوب، وذلك لتعويض الانزياحات الليزرية وحالات الانتشار الطيفي التي قد تحدث أحياناً. وكما هو متوقع، تهبط الإشارة بشدة في كل مرة تقوم فيها جزيرة معدنية باعتراض سبيل إنفاذ الفلورة الجزيئية. ورغم أن الشكل المثلثي للجزر لا يُظهر نفسه بقوة، لكن الصورة تبين تكرارية reproducibility ملفتةً للنظر ما بين الأدوار المختلفة للشبيكات. فعلى سبيل المثال، يمكن بوضوح التمييز بين مجموعة الجزر الموسومة بالحرف (i) وتلك الموسومة بالحرف (ii) وذلك بما يتفق مع التوجيهين المحتملين للبنى المثلثية. كذلك، تعرض المناطق الساطعة نمطاً منهجياً، باستثناء الموقع المحيط بالعيب.



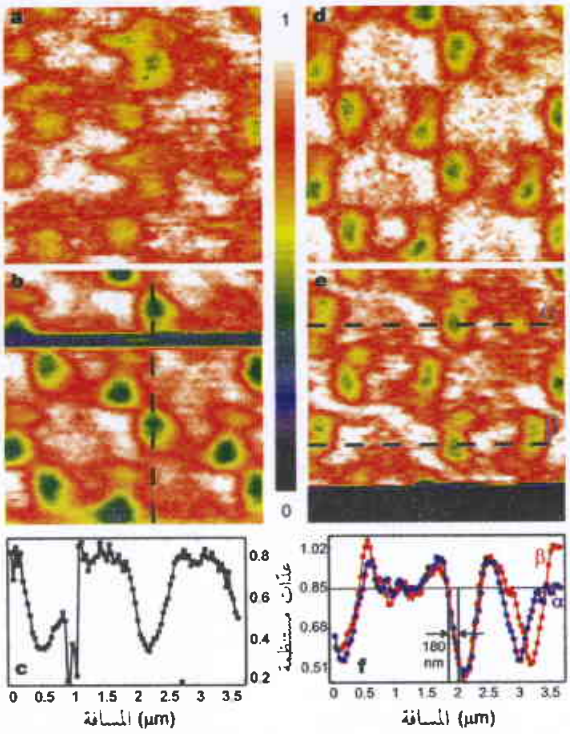
الشكل 2– صور طبوغرافية ضوئية للعينة.
(a) صورة طبوغرافية مأخوذة بمجهر القوة الذرّية (AFM) لرقعة العينة المستخدمة في هذه التجربة. نلاحظ أنه على الرغم من قيامنا أيضاً بتسجيل صور طبوغرافية قوة –قص للعينة المستخدمة، إلاّ أن ميز هذه الصور لم يكن بالجودة ذاتها لتلك المأخوذة بمجهر القوة الذرّية وذلك بسبب أبعاد، بحجم المكرومتر، للرأس المستدقة التي قمنا باستخدامها.
(b) الصورة الشبكية الضوئية التي سجلت باستخدام الفلورة لجزيء ترايلين أحادي من أجل الإثارة. يحتوي هذا المسح على 80x100 عنصورة pixels يزمن دمج قدره 20 ms بالعنصورة الواحدة. ويبين السلّم الضوئي معدلات العد التجريبية الأولية في وحدات مقدرة بألف عدة في الثانية (kc.p.s.).

وفي الشكل 3، نبين هذه الصورة (الشكل 3e) مع ثلاث صور ضوئية أخرى جرى أخذها بالجزيء الأحادي نفسه وفي الوضع الجانبي ذاته لكن المسافات كانت مختلفة بين النهاية الطرفية للبلورة والعينة (350 nm و80 nm و50 nm و20 nm في كل من الأشكال 3a و3b و3d و3e على التوالي). وقد جرى تسجيل المسوح المذكورة في الترتيب الزمني للأشكال 3e, 3a, 3b و3d وخضعت هذه الصور لترشيح قليل جداً بأخذ متوسط الإشارة لكل عنصورة مع عامل تثقيل قدره 8، أما جيرانها الثمانية فكان عامل التثقيل لكل منها يساوي 1. وكي تؤخذ بعين الاعتبار الاختلافات في شدة الإثارة بين المسوح المختلفة، تم استنظام معدلات العدّ في الصور الأربعة كافة، واستخدم لذلك سلّم لوني مألوف بحيث يستطيع المرء أن يقارنها بشكل مباشر. وفي جميع الحالات، أمكن بوضوح

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

تحديد هوية الجزر المعدنية الفردية وكذلك ترتيبها السداسي، لكن البنى الدقيقة المشوهة سببت إشارة ذات مغذى في الشكل 3e فقط عندما تحقق أصغر فاصل ما بين الجزيء والعينة. كذلك، تغدو الحقيقة، بأن التباين والميز كانا أسوأ بكثير عند المسافات الأعظم، واضحة للعيان عند مقارنة الشكل 3a مع الصور الأخرى.

وينجم عن تقريب العينة على عدة مراحل صغيرة لا تتعدى كل منها 30 nm من الشكل 3b إلى 3d ثم إلى 3e تحول كبير لكنه مستمر في نمطي التباين الساطع والمعتم، مع أن هذين النمطين يظلان قويين جداً ضمن كل شكل. ويمكن ملاحظة ما سبق ذكره بصورة كمية في الشكل 3f الذي جرى فيه رسم مقطعين عرضيين، α وβ، يبعدان تماماً عن بعضهما مسافة 1.7 μm. لاحظ أن الإشارة تبدي اهتزازات فوق الخلفية وتحتها المشار إليها بخط قاعدي. وإننا نعزو أصل هذا التأثير والصور الغنية بالجزر المعدنية الفردية (في الشكل 3e، على سبيل المثال) إلى التآثر الحساس-الاستقطاب polarization-sensitive interaction لإشعاع ثنائي القطب الجزيئي مع مثلثات الألمنيوم. وقد أشير سابقاً إلى ظواهر كهذه شبيهة بالتداخل في أعمال تجريبية [22,21] وأخرى نظرية [24,23] في مجال المجهريات الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب والمجهزة بإنارة مستقطبة. توصلت هذه الدراسات إلى نتيجة تفيد بأن تفسير الصورة يصبح مهماً في حالة مجموعات محددة لتوجه الحقل الكهربائي ومورفولوجيا العينة، وبأن نوعية الصورة تتوقف على الإنارة وعلى استقطاب وزاوية الكشف كليهما [22]. وفي حالة المصدر أحادي الجزيء لابد للمرء أن يأخذ بعين الاعتبار التعديل في خواصه الطيفية والعائد إلى تأثير سطح العينة [26,25].



الشكل 3- صور مأخوذة بالجزيء ذاته متموضعاً عند أربع مسافات مختلفة من العينة. تعرضت هذه الصور لترشيح طفيف جداً (انظر النص). كانت المسافة الفاصلة بين طرف البلورة المكروية والعينة 350 nm (a)، و 80 nm (b)، و 50 nm (d)، و 20 nm (e).

(e) يُشاهد لهذه اللقطة منظر أكثر اكتمالاً في الشكل 2b، حيث أصبح الطيف الجزيئي غير مستقر وأحدث قفزة كبيرة من مرتبة المئة GHz (المرجع 29) عندما أصبح المسبار في وضع ملامس للعينة، وبذلك أمكن كشف تغير صغير جداً في إشارة قوة القص.

(c) إشارة الفلورة بموازاة المقطع العرضي المبين في الشكل b. لاحظ الهبوط الفجائي للإشارة إلى ~ 200 عدّة لكل عنصورة (حوالي 0.2 على السلّم المستنظم) بينما تطابق التفلور المتبقي مع حوالي 30 عدة لكل عنصورة. وهنا يعاني الجزيء قفزة طيفية نحو حافة مجال مسح التواتر الذي سبق التصحيح له بمقتضى بضعة خطوط مسح أجريت بواسطة ضبط يدوي لتواتر الليزر.

(f) إشارتا الفلورة بموازاة المقطعين العرضيين α و β المبينين في الشكل e. أظهرت مقارنة للصور الأربع المأخوذة عبر فترة تزيد عن ساعتين استقرار المنظومة وعدم وجود أي انزياحات جانبية.

ودراسة تفصيلية نظرية وتجريبية لهذه الخواص ستكون الموضوع الذي سيعالج في نشرة مستقبلية.

من الواضح أن التباين المعقد الملاحظ في الصور يعقّد تعيين الميز. وعند التعامل مع بنى ذات حجم محدود، تكون إحدى الطرائق المألوفة لتقييم الميز قياس حدة حافة الإشارة المحصول عليها [27]. لكن اتباع نهج كهذا، في حالتنا، لا يعد إجراءً واضح المعالم بسبب الاهتزازات حول الخلفية. لذلك، يتبين لنا أن الإشارة في الشكل 3f تهبط إلى ما تحت الخط القاعدي من قيمتها البالغة 10% إلى 90% عبر طول يقدر بحوالي 180 nm، والذي يعد بحد ذاته أقل من ثلث الطول الموجي للإصدار.

وعند محاولة توسيع مبادىء المجهريات الضوئية ذات الحقل القريب لتشمل حالة المسبار الكهربائي الثنائي القطب شبه - النقطي يغدو متوقعاً أن يعتمد الميز على الفاصل ما بين المسبار والعينة فقط. ومن وجهة نظر عملية، سيؤدي التعامل مع جزيئات تقع قريبة جداً من نهاية المسبار إلى ميز مكاني أعلى وإلى ميز جزيئي عند الحد الأقصى. ولتحقيق ما ذكر، فإننا نخطط لاستخدام بلّورات دون - المكرومتر مع تنفيذ تقنيات مختلفة من أجل التعرف على جزيئات أحادية عند نهاية البلورة كأن يُنفّذ ذلك، مثلاً، من خلال إثارة مضمحلّة. وإضافة إلى كشف شدة الفلورة، يمكن استخدام الخواص الداخلية الكمومية للجزيء، كعمر الفلورة [28,26] وانزياحات سوية الطاقة [26]، من أجل استخلاص معلومات حول محيطه المباشر. كذلك، من الممكن استخدام مسبارنا الأحادي - الجزيء لدراسة مجموعة من الظواهر، كمطيافية رامان المعزّزة السطح والانتقال التجاوبي للطاقة، مع تحقيق ميز مكاني جانبي ومحوري لم يسبق له مثيل.

المراجع

REFERENCES

[1] Lewis, A., Isaacson, M., Muray, A. & Harootunian, A. Scanning optical microscopy with 500 Å spatial resolution. Biophys. J. 41, 405 (abstr.) (1983).

[2] Pohl, D. W., Denk, W. & Lanz, M. Optical stethoscopy: image recording with resolution λ/20. Appl. Phys. Lett. 44, 651-653 (1984).

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

[3] Liebermann, K., Harush, S., Lewis, A. & Kopelman, R. A light source smaller than the optical wavelength. Science 247, 59-61 (1990).

[4] Lewis, A. & Liebermann, K. Near-field optical imaging with a non-evanescently excited high- brightness light source of sub-wavelength dimensions. Nature 354, 214-216 (1991).

[5] Betzig, E. & Chichester, R. J. Single molecules observed by near-field scanning optical microscopy, Science 262. 1422-1425 (1993).

[6] Moerner, W. E. & Kador, L. Optical detection and spectroscopy of single molecules in a solid. Phys. Rev. Lett. 62, 2535-2538 (1989).

[7] Basche, T., Moerner, W. E., Orrit, M. & Wild, U. P. Single Molecule Optical Detection, Imaging and Spectroscopy (VCH, Weinheim, Germany, 1997).

[8] Kopelman, R. & Tan, W. Near-field optics: imaging single moelcules. Science 262, 1382-1384 (1993).

[9] Sekatskii, S. K. & Letokhov, V. S. Single fluorescence centers on the tips of crystal needles: first observation and prospects for application in scanning one-atom fluorescence microscopy. Appl. Phys. B 63, 525-530 (1996).

[10] Orrit, M. & Bernard, J. Single pentacene molecules detected by fluorescence excitation in a p- therphenyl crystal. Phys. Rev. Lett. 65, 2716-2719 (1990).

[11] Betzig, E., Finn, P. L. & Weiner, J. S. Combined shear force and near-field scanning optical microscope. Appl. Phys. Lett. 60, 2484-2486 (1992).

[12] Gross Levi, B. Progress made in near-field imaging with light from a sharp tip. Phys. Today 52, 18-20 (1999).

[13] Michaelis, J. et al. A single molecule as a probe of the optical intensity distribution. Opt. Lett. 24, 581-583 (1999).

[14] Bingelli, M. el al. Novel design for a compact fiber optic scanning force microscope. Rev. Sci. Instrum. 64, 2888-2891 (1993).

[15] Karrai, K. & Grober, R. D. Piezoelectric tip-sample distance control for near-field optical microscopes. Appl. Phys. Lett. 66, 1842-1844 (1995).

[16] Fleury. L, Sick, B., Zumhofen, G., Hecht, B. & Wild, U. P. High photo-stability of single molecules in an organic crystal at room temperature observed by scanning confocal microscopy. Mol. Phys. 95, 1333-1338 (1998).

[17] Kulzer, F., Koberling, F., Christ, T., Mews, A. & Basché, T. Terrylene in p-terphenyl: single molecule experiments at room temperature. Chem. Phys. 247, 23-34 (1999).

[18] Kummer, S., Basché, T. & Brauchle, C. Terrylene in p-terphenyl: a novel single crystalline system for single molecule spectroscopy at low temperatures. Chem. Phys. Lett. 229, 309-316 (1994).

[19] Fischer, U. & Zingsheim, H. P. Submicroscopic pattern replication with visible light. J. Vac. Sci. Technol. 19, 881-885 (1981).

[20] Ambrose, P., Basché, T. & Moerner, W. E. Detection and spectroscopy of single pentacene molecules in a p-terphenyl crystal by means of fluorescence excitation. J. Chem. Phys. 95, 7150-7163 (1991).

[21] Betzig, E., Trautman. J. K., Weiner, J. S., Harris, T. D. & Wolfe, R. Polarization contrast in near-field scanning optical microscopy. Appl. Opt. 31, 4563-4568 (1992).

[22] Huser, T., Novotny, L., Lacoste, T., Eckert, R. & Heinzelmann, H. Observation and analysis of near- field optical diffraction. J. Opt. Soc. Am. A 16, 141-148 (1999).

[23] Martin, O. J. F., Girard, C. & Dereux, A. Generalized field propagator for electromagnetic scattering and light confinement. Phys. Rev. Lett. 74, 526-529 (1995).

[24] Martin, O. J. F. 3D simulations of the experimental signal measured in near-field optical microscopy. J. Microscopy 194, 235-239 (1999).

[25] Novotny, L. Single molecule fluorescence in inhomogeneous environments. Appl. Phys. Lett. 69, 3806-3808 (1996).

[26] Henkel, C. & Sandoghdar, V. Single molecule spectroscopy near structured dielectrics. Opt. Comm. 158, 250-258 (1998).

[27] Harootunian, A., Betzig, E., Issacson, M. & Lewis, A. Super-resolution fluorescence near-field scanning optical microscopy. Appl. Phys. Lett. 49, 674-676 (1986).

[28] Barchiesi, D., Pagnot, T, Pieralli, C. & Van Labeke, D. Fluorescence scanning near-field microscopy (FSNOM) by measuring the decay-time of a fluorescent particle. Proc. SPIE 2384, 90-100 (1995).

[29] Kulzer, F., Kummer, S., Matzke, R., Bräuchle, C. & Basché, T. Single molecule optical switching in terrylene in p-terphenyl. Nature 387, 688-691 (1997).■

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

تحسينات في فيزياء الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية*

ج. أورينشتاين
قسم الفيزياء - جامعة كاليفورنيا - وشعبة علم المواد في مختبر لورنس بركلي الوطني - بركلي - الولايات المتحدة الأمريكية
أ. ج. ميلّيز
قسم الفيزياء والفلك - جامعة رُوتجرت - بيسكاتاوي - الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

تعد النواقل الفائقة من أكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة ذات أهمية أساسية ومستمرة. فهي لا تثبت فقط أن الانتقال إلى طور النقل الفائق يحدث عند درجات حرارة لم يكن أحد يتخيلها منذ 15 عاماً، بل تبدي أيضاً العديد من الخصائص الأخرى التي تتضارب ظاهرياً مع فيزياء المعادن التقليدية. فالمواد توسع انطباعاتنا عما هو ممكن وتجبرنا على تطوير تقانات تجريبية جديدة ومفاهيم نظرية. تلقي هذه المقالة نظرة على التطورات الحديثة وتأثير مضامينها على فهمنا للإلكترونات المتأثرة في المعادن.

الكلمات المفتاحية: ناقل فائق عالي الدرجة T_c، عازل موت، شرائح، شبه الجسيم، فرجة كاذبة.

في ورقة علمية نشرتها مجلة Science بُعيد اكتشاف بندورز ومولر للناقلية الفائقة عالية درجة الحرارة الحرجة (T_c) في عام 1986، حدّد أندرسون ثلاثة معالم أساسية للنواقل الفائقة الجديدة [1]. أولاً، المواد هي شبه ثنائية البعد (2D)؛ وحدة البناء الأساسية هي المستوي CuO_2 (الشكل 1)، والربط فيما بين المستويات ضعيف جداً. ثانياً، يتم إحداث الناقلية الفائقة عالية الدرجة T_c بتطعيم (إضافة حاملات شحنة إلى) عازل "موت". ثالثاً، والأكثر حسماً، اقترح أندرسون، أن ضم التقاربية إلى طور موت العازل Mott insulating phase والبعدية المنخفضة سيجعلان المادة المطعمة تبدي سلوكاً جديداً بصورة جوهرية، غير قابل للشرح بدلالة فيزياء المعادن التقليدية.

لقد أكدت السنوات التي تلت، هذا التنبؤ للفيزياء الجديدة بطرق مدهشة في أغلب الأحيان. فقد أصبح التحدي هو توصيف الظواهر الجديدة وتطوير المفاهيم اللازمة لفهمها. ولقد كانت السنوات الخمس الأخيرة على وجه الخصوص مثيرة. فالتقدم في كيمياء البلورات وفي التقنيات التجريبية خلق ثروة في المعلومات ذات مضامين متميزة بالنسبة لـ T_c العالية والمواد المتعلقة بها. وهنا نركز على أربعة مجالات كان التقدم فيها سريعاً بوجه خاص:

- لا تجانسيات الشحنة والسبين spin and charge inhomogenities ("الشرائح" stripes)؛
- خصائص حالة النقل الفائق في درجات الحرارة المنخفضة؛
- ترابط الطور وأصل الفرجة الكاذبة pseudogap؛
- سطح فرمي ولا تناحياته anisotropies في الحالةالعادية أو حالة اللاناقلية الفائقة.

عوازل موت، الناقلية الفائقة والشرائح

نجد الناقلية الفائقة عالية الدرجة T_c في المركبات القائمة على أكسيد النحاس ذات البنى البلورية المتنوعة، يبين الشكل 1A مثالاً عليها. إن العنصر الأساسي الذي تشترك به كل هذه البنى هو المستوى CuO_2، المرسوم باحتلال أو شغل إلكترون واحد لكل خلية وحدة في الشكل 1B. وعند هذا التركيز الإلكتروني يكون المستوي هو "عازل موت" Mott insulator، وهو الحالة الأم التي انبثقت منها النواقل الفائقة عالية الدرجة T_c. إن عازل موت مادة تتلاشى فيها الناقلية عندما تسعى درجة الحرارة نحو الصفر، مع أن نظرية العصائب تتوقع منها أن تكون معدنية. وهناك العديد من الأمثلة المعروفة منها NiO و $LaTiO_3$ وكذلك V_2O_3، (للإطلاع على مراجعات حديثة انظر المرجعين 2 و 3). لكن النحاسات cuprates ذات الدرجة T_c العالية هي عوازل موت الوحيدة المعروف عنها بأنها تصبح فائقة النقل عندما يتغير التركيز الإلكتروني عن الواحد لكل خلية.

إن عازل موت يختلف بصورة أساسية عن العازل التقليدي (العصابي)، إذ أن مبدأ باولي في الاستبعاد يوقف الناقلية في المنظومة الأخيرة. فعندما تحتوي أعلى عصابة مشغولة إلكترونين في خلية الوحدة، لا تستطيع الإلكترونات أن تتحرك لأن كل المدارات ممتلئة. أما في عازل موت فإن نقل الشحنة يوقفه التنافر إلكترون - إلكترون بدلاً من ذلك. عندما تحتوي أعلى عصابة مشغولة على إلكترون واحد في خلية الوحدة، فإن حركة الإلكترون تتطلب تشكيل أو خلق مقر ذي انشغال مضاعف. إذا كان التنافر إلكترون - إلكترون قوياً بما يكفي توقفت هذه الحركة. وتصبح كمية الشحنة لكل خلية ثابتة، تاركة سبين الإلكترون فقط على كل مقر يتأرجح. إن عملية التطعيم تعيد الناقلية الكهربائية بخلق مقرات

* نشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol. 288, 21 April 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

تستطيع الإلكترونات أن تقفز إليها بدون أن تتعرض إلى ضياع في طاقة تدافع كولون.

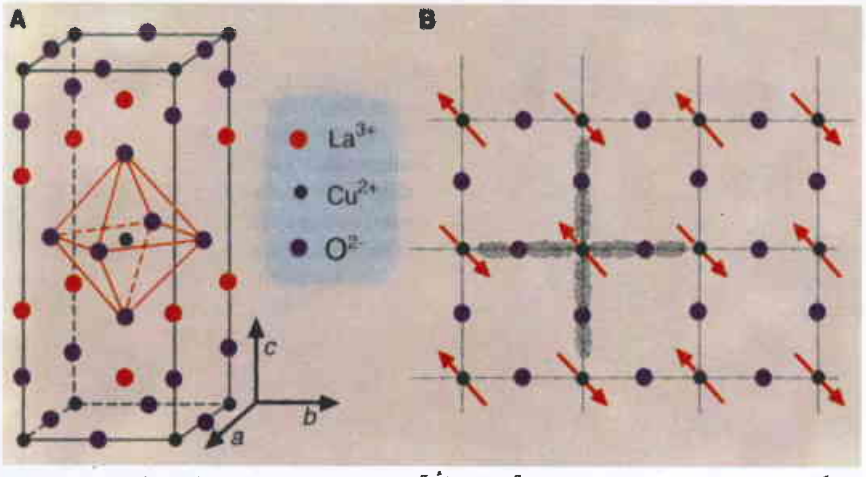
إن ترجحات الشحنة الفعلية في عازل موت تخلق تأثراً عبارة عن "تبادل فائق" super exchange [4] يساند الاصطفاف متضاد التوازي للسبينات المتجاورة. ويقود هذا في كثير من المواد إلى ترتيب مغنطيسي حديدي مضاد بعيد المدى، كما هو مبين في الشكل 1. اقترح أندرسون أن الترجحات الكمومية لمنظومة سبين 1/2 ثنائية البعد كالمركب الأم La_2CuO_4 قد تكون كافية لتدمير ترتيب السبين بعيد المدى. إن "السائل السبيني" spin liquid يحتوي أزواجاً إلكترونية سبيناتها موصدة في تركيبة متضادة التوازي أو "أحادية" singlet. إن حركة مثل هذه الأزواج من الأحاديات مماثل لتجاوب روابط π في البنزين، ومن هنا جاءت التسمية "رابطة التكافؤ التجاوبية" resonating valence bond (RVB). وقد أشار أندرسون بأن الروابط التكافؤية تشبه أزواج كوبر في الناقلية الفائقة لباردين - كوبر - شريفر (BCS). ظهرت صورة مفروضة لعازل موت كنسخة مطموسة لحالة BCS:

فالإلكترونات ظهرت على هيئة أزواج، لكن ليس هناك مكان تذهب إليه. ولما كان عازل موت متزاوجاً أصلاً، كما يجادل أندرسون، فإنه ينبغي أن يصبح ناقلاً فائقاً إذا انخفض متوسط الانشغالات عن الواحد.

بعيد اكتشاف الناقلية الفائقة عالية الدرجة T_c، أظهرت التجارب أن حالة السائل السبيني غير مفهومة بشكل واضح في النحاسات غير المطعمة. (يبدو الآن أنه من المرغوب فيه أن توجد الحالة الأساسية للسائل السبيني للجسيمات ذوات السبين 1/2 على شبيكات ثنائية البعد ناقصة من الناحيةالهندسية مثل الـ Kagome [5]). وبدلاً من ذلك فإن السبينات تنتظم في طراز مغنطيسي حديدي مضاد متعادل (قابل للقياس) عند درجة حرارة نيل مرتفعة إلى حد ما وكائنة بين 250 و400 K، تبعاً للمادة. إن نطاق الطور المغنطيسي الحديدي المضاد في المستوى المتشكل من درجة الحرارة بدلالة تركيز حاملات الشحنة لمخطط الأطوار في درجة T_c عالية مبين في الشكل 2. تهبط درجة حرارة نيل بسرعة لدى إنقاص الانشغال المتوسط من 1 إلى 1-x، حتى تصل الصفر عند تطعيم حرج x_c يبلغ 0.02 فقط في منظومة $La_{(2-x)}Sr_xCuO_4$ على سبيل المثال.

من أجل سويات تطعيم فوق x_c، هناك أشكال مختلفة للمغنطيسية الموضعية أو غير القابلة للقياس (غير المتعادلة) تبقى بعد فَقْد الترتيب المغنطيسي الحديدي المضاد المتعادل. أما عند سويات متوسطة فإن الخصائص الدينامية (التحريكية) هي خصائص الزجاج السبيني. ومع زيادة التطعيم فإن درجة الترتيب المغنطيسي الموضعي تبدو معتمدة على منظومة المادة وعلى نقاوة البلورة. عند سويات تطعيم أكبر من القيمة المثلى لـ T_c، يصبح التعالق المغنطيسي مهملاً في النهاية. إن استمرارية المغنطيسية الحديدية المضادة غير العادية في طور النقل الفائق كانت أحجية قديمة استمرت طويلاً. لكن ظهرت في السنوات الأخيرة الماضية صورة لبداية جديدة. وقد جاءت معظم الإيحاءات من نتائج تبعثر النترونات، التي جعلت من اصطناع بلورات أحادية كبيرة مع إمكانية التحكم بقيم x فيها أمراً ممكناً. الظاهرة الجديدة هي ترتيب السبينات والشحنة غير المتجانس، وهو ما يعرف في العامية باسم "شرائح" stripes.

إن تبعثر النترونات في الحالة المرتبة وفق نيل Neel ordered state عند x=0 بسيط نسبياً: فبنية الشبيكتين الفرعيتين (الشكل 1) تؤدي إلى قمم براغ في المغنطيسية الحديدية المضادة عند أشعة موجية $Q=\pm 1/2, \pm 1/2$، (بوحدات من $2\pi/a$ حيث a هي ثابت الشبيكة). يوضح الشكل 3A موقع قمم التبعثر في فضاء الاندفاع. كان نشوء التحريك السبيني مع التطعيم يعد أكثر صعوبة للفهم بشكل ملحوظ. ولقد اكتشفت القياسات التي أجريت في عام 1989 وأوائل التسعينيات،

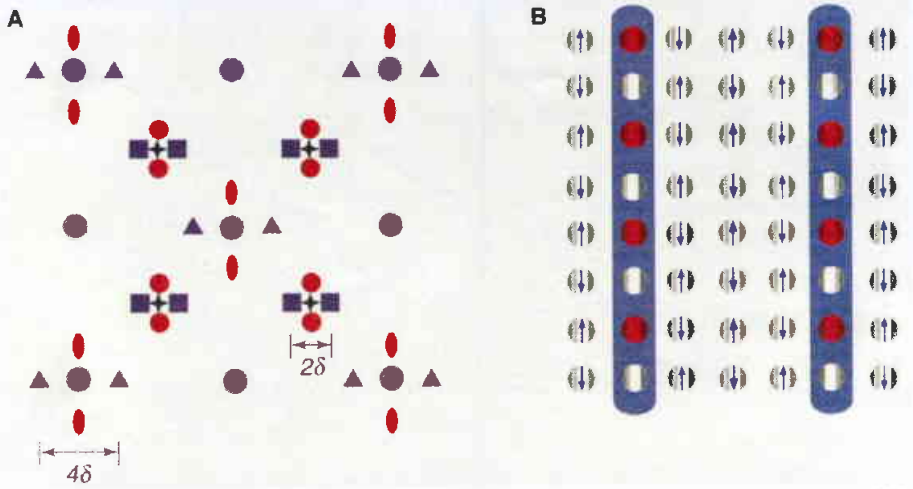


الشكل 1 – (A) بنية بلورة La_2CuO_4، وهي "المركب الأم" لعائلة $La_{(2-x)}Sr_xCuO_4$ من النواقل الفائقة عند درجات الحرارة العالية. يشكل المستوي Cu-O_2 الوحدة الفرعية البنيوية الحاسمة، التي تمتد في الاتجاه a-b؛ يبين الشكل أجزاء من ثلاثة مستويات CuO_2. الاقترانات الإلكترونية في اتجاه المستوي البيني (c) ضعيفة جداً. تتم عملية التطعيم في عائلة المواد La_2CuO_4، باستبدال أيونات Sr بأيونات La المشار إليها، أو بإضافة أكسجين بيني (حشوي). أما في عائلات أخرى من المواد ذات درجات الحرارة T_c العالية (أمثال $YBa_2Cu_3O_{6+x}$) فإن البنية البلورية وآلية التطعيم مختلفة قليلاً. لكن المواد كلها تشارك هيئة المستويات CuO_2 ضعيفة الاقتران في الاتجاه العرضي. (B) شكل تخطيطي لمستوي CuO_2، وهو الوحدة الفرعية البنيوية الحاسمة للناقلية الفائقة عند درجات حرارة T_c عالية. تشير الأسهم الحمراء إلى اصطفاف محتمل للسبينات في الحالة الأساسية ذات المغنطيسية الحديدية المضادة لـ La_2CuO_4. يشير التظليل المرقّط إلى "المدارات P_σ" للأكسجين؛ يؤدي الاقتران من خلال هذه المدارات إلى تبادل فائق في العازل وحركة الحاملات في الحالة المطعمة المعدنية.

على $La_{(2-x)}Sr_xCuO_4$، في المقام الأول أن النسخ الموسّعة لقمم براغ في المغنطيسية الحديدية المضادة باقية في عينات تتمتع بأعلى درجات حرارة T_c [6-9]. أضف إلى ذلك أن التعالقات السبينية وجدت غير متعادلة: فالقمة المفردة الموجودة في العازل تنشطر إلى أربع [7-9]، كل واحدة منها منزاحة عن Q بمقدار ضئيل δ (الشكل 3A). لقد فرض كثير من العاملين أن ترجحات السبين المسؤولة عن التبعثر يمكن وصفها بنظرية الاستجابة

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

الشكل 2- مخطط طوري تخطيطي لنواقل فائقة عند درجات حرارة عالية. تشير المساحة الحمراء المظللة إلى المنطقة التي يحدث فيها نظام مغنطيسية حديدية مضادة متكافىء (قابل للقياس بنفس الوحدات) بعيد المدى (من النوع المبين بالأسهم الحمراء في الشكل 1). تشير المساحة الزرقاء المظللة إلى المنطقة التي يحدث فيها نظام ناقلية فائقة بعيد المدى. إن تركيز الحاملات عندما تكون درجة حرارة الانتقال إلى النقل الفائق (الحدود العليا من المنطقة الزرقاء) أعظمية معرّف اصطلاحياً بأنه الأمثل. ويُشار إلى المواد ذات التركيز الأخفض و الأعلى للحاملات بأنها ذات تطعيم ضعيف underdoped أو تطعيم قوي Overdoped على الترتيب. في النظام ما بين طور المغنطيسية الحديدية المضادة القابل للقياس وطور النقل الفائق، يحدث ترتيب مغنطيسي مغاير أكثر تعقيداً؛ وهذا مدروس في النص بالتفصيل، وهو مبين هنا ممثلاً بالمنطقة الخضراء. ويلاحظ أن هذا الترتيب يتواجد مع الناقلية الفائقة في بعض المواد. أما بشأن وجود الطورين وهل هما في منطقتين منفصلتين مكانياً من عينة أم أنهما يتواجدان في منطقة واحدة فهذا لم يتضح بعد. تشير الخطوط المظلّلة بصورة وصفية إلى درجات حرارة عبور معينة والتي تبدي المواد تحتها تصرفات جديدة توقشت بالتفصيل في النص، رغم أنها لا تزال في الطور الطبيعي من وجهة النظر الترموديناميكية. (يبين هذا الشكل مخطط الأطوار الناتج عن "التطعيم بالثقوب" hole doping. لقد تم صنع مواد مطعمة بيضع إلكترونات؛ وبسبب الصعوبات الكائنة في إعداد العينات، فإن خصائصها تكون أقل تحديداً من خصائص المواد المطعمة بالثقوب).



الشكل 3- **ليمنتر النترونات: الفضاء العكسي والفضاء الحقيقي.** (A) تخطيط (مقتبس عن [11]) للفضاء العكسي (الاندفاع) من أجل شبيكة CuO_2 مربعة مثالية ذات ثابت شبيكي (المسافة Cu-Cu) يساوي a. النقاط الرمادية الكبيرة: قمم براغ الأساسية للشبيكة عند أشعة موجة $Q=2\pi/a(m,n)$. النجوم: قمم براغ للمغنطيسية الحديدية المضادة القابلة للقياس التي يسببها ترتيب المغنطيسية الحديدية المضادة في مادة مثالية غير مطعمة. ولدى التطعيم تختفي قمم براغ للمغنطيسية الحديدية المضادة القابلة للقياس ويحل محلها أربع قمم تحريكية غير قابلة للقياس متسعة، مشيرة إلى ترجّحات للسبينات مرحّلة (مزاحة) من القمة القابلة للقياس بمقدار صغير δ يُنسب إلى التطعيم $\delta = x$ أو x من أجل $x < x_{opt}$. وهذه تظهر على الشكل على هيئة مربعات زرقاء ودوائر حمراء. يُعتقد اليوم في العديد من الحالات بأن التعالقات السبينية الضمنية تبدي تعديلاً أحادي البعد ("شريحة")، بحيث أننا نشاهد في عينة أحادية النطاق monodomain sample مثالية إما القمم الزرقاء أو القمم الحمراء. في العينة التي درست فعلاً، شوهدت أربع قمم لأن الشرائح تجري في اتجاه واحد في بعض المناطق وعمودية على ذلك الاتجاه في مناطق أخرى. في المنظومة $La_{(2-x-y)}Nd_ySr_xCuO_4$، يحدث الترتيب بعيد المدى (تصبح القمم قمم براغ)، وتشاهد قمم جديدة (تظهر كمثلثات زرقاء وأشكال بيضوية حمراء) متزاحة بمقدار 2δ عن قمم الشبيكة الأساسية. وتفسر هذه على أنها نتيجة لترتيب الشحنة. (B) توضيح تخطيطي لترتيب "الشرائح"، الذي بإمكانه أن يؤدي إلى نمط الانعراج المبين في (A). الشحنة محصورة إلى حد بعيد بالأقنية المظللة باللون الأزرق. أشير إلى كثافة الشحنة الوسطية على امتداد الشريحة ذات الشحنة e+ لكل موضعين بدائرتين متعاقبتين حمراء وفضية. تشير الأسهم الزرقاء إلى قيمة طويلة العزم المغنطيسي على مواقع تحتوي سبينات. تكون الشريحة ذات حدود متعاكسة في الطور من أجل ترتيب المغنطيسية الحديدية المضادة؛ في غياب الشريحة سيكون للعمود الأول والثالث من اليسار نفس توجه السبين، وليس التوجه المعاكس. أيونات الأكسجين غير ظاهرة على الشكل.

الخطية linear response theory ومقابلتها بموجة الكثافة السبينية الجيبية (SDW) sinusoidal spin density wave المترجحة يبطء في المكان والزمان. لكن التبعثر عند $Q\pm\delta$ يمكن أن ينشأ أيضاً عن موجة سبينية متعادلة (قابلة للقياس) موضعياً لكن طورها يقفز بمقدار π عند صفيف دوري من جدران المناطق domain walls التي تدعى "حدود متعاكسة في الطور" antiphase boundaries. يبين الشكل 3B موجة السبين هذه.

وجد ترانكوادا Tranquada ومعاونوه دليلاً على الإمكانية الأخيرة في منظومة مواد وثيقة الصلة يحل فيها Nd محل بعض ذرات La في المركب $La_{(2-x)}Sr_xCuO_4$ [11,10]. إن إدخال Nd يغير اتجاه التشوه لبنية البلورة (الناشىء عن دوران ضئيل للمجسمات المثمنة الأوجه CuO_6 من القطر كي توازي الرابطة Cu-O. هذا التشوه يجعل ترجحات السبين تتكثف في موجة كثافة سبين جيبية (SDW). يتألف طيف تبعثر النترونات لـ SDW من قمم لبراغ يمكن تحليلها بالتفصيل؛ ويؤكد هذا التحليل أن البنية ذات السبين المرتّب هي المبينة في الشكل 3B. في هذه البنية، تقيم المقرات الشاغرة التي أحدثت بواسطة التطعيم الكائن عند الحدود المتعاكسة في الطور، مشكلة شرائح مشحونة. إذا وجد شاغر واحد لكل مقرين على امتداد الشريحة، فإن المسافة بين الشرائح تساوي $a/2x$ (حيث a هي المسافة الفاصلة بين Cu-Cu). وتعطي هذه المسافة الدورية للشحنة؛ تعني خاصية الطور المعاكس أن دور الطور يساوي ضعف هذه القيمة، أو a/x. إن دورية السبين هذه تجعل قمم براغ تنزاح عن Q بمقدار $\delta = x$؛ وتقود دورية الشحنة إلى قمم براغ منزاحة عن انعكاسات الشبيكة الأساسية بمقدار $2x$. ولقد شاهد ترانكوادا وصحبه كلا المظهرين، وبذلك كشفت الشرائح المشحونة وهي "أحدث حلقة في المسلسل الغامض الذي يحمل اسم الناقلية الفائقة عالية الدرجة T_c" [12].

إن المساواة بين اللاتعادل والتطعيم، $\delta = x$، تنتج بصورة طبيعية من نموذج الشريحة ربع الممتلئة ولم يسبق أن فسرت بأي طريقة أخرى. إن العمل الذي قام به ترانكوادا وصحبه حثّ على دراسة أعمق للقمم غير

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

المرنة في مركبات تكون فيها الـ SDW غير سكونية. في عام 1998 أعلن ياماداyamada وآخرون أن $\delta = x$ في المركب $La_{(2-x)}Sr_xCuO_4$ ضعيف التطعيم والخالي من Nd، كما وُجد من أجل قمم براغ للسبين في المنظومية المطعمة بالـ Nd [13]. (استنتجت هذه العلاقة من قمة السبين؛ قمة الشحنة تصعب رؤيتها في قياسات التبعثر اللامرن نظراً لشدة ضعفها). وهذا يشير بقوة إلى أن التبعثر اللامرن واللامتعادل يعود إلى نسخة مترجحة من الشرائح التي تكون سكونية في العينات المطعمة بـ Nd.

تعد الشرائح مثالاً على إثارة جديدة بصورة جوهرية في المنظومات الإلكترونية. وهي ظاهرة محلية ولا خطية، وتشكلها غير قابل للوصف اعتماداً على طبيعتها بدلالة نظرية سائل فرمي. بدأت نظرية الشرائح في عام 1989 بتنبؤات كانت قائمة على طرق الحقل الوسطي [14-16]. ورغم أن هذه الأعمال اقترحت بصورة صائبة أن بنى الشرائح يمكن أن تحدث، إلا أنها تنبأت بالشرائح الفارغة empty stripes، وليس الشرائح ربع الممتلئة. واليوم يعد "علم الشرائح" stripology مجالاً جديداً ومفتوحاً على مصراعيه. العوامل التي تعين كثافة الشحنة واتجاه الشرائح في بلورة، بالإضافة إلى حركية الشحنة على الامتداد الطولي أو العرضي للشرائح، هي في الوقت الراهن قيد الدارسة والتمحيص [18,17]. وبصورة عامة فإن هذا القدر مقبول: إن الفيزياء الأساسية المتضمنة مفهوم تشكل الشرائح هي المتعلقة بانتزاع الثقوب من مناطق ذات عزوم محلية شُكّلت بعناية. وهناك عدة سيناريوهات لتوضيح ذلك. ففي أحدها ترغب الثقوب في الانفصال كلياً عن السبينات [19، 20]. لكن التدافع الكولوني طويل المدى يحبط هذه الرغبة، فتظهر الشرائح كحل وسط. وهناك وجهة نظر أخرى [21، 22] مفادها أن التأثرات قصيرة المدى يمكن أن تؤدي إلى تشكل الشرائح. ويبدو أن القوة المسيِّرة هي تخفيض الطاقة الحركية للثقوب بسبب الحركة العرضانية للشريحة. من المعروف أن القفز الذي يقوم به ثقب معزول يترك خطأً من السبينات سيئة التراصف في طريق مخْرِه. على كل حال إذا كانت الشواغر مقيدة بحدود متعاكسة في الطور فإن تجوال الشريحة العرضاني لا يفسد السبينات على الإطلاق.

إذا تجاوزنا علم الشرائح، فإن المسألة الأساسية هي دور الشرائح في الناقلية الفائقة [17]. إذ يمكن أن تكون حاسمة أو نافعة أو مؤذية؛ وكلها احتمالات ممكنة عند كتابة هذا المقال. وفي هذا السياق هناك تمييز أساسي بين الشرائح السكونية والمتأرجحة. يوجد دليل بأن الشرائح السكونية، أو بعض أشكال الترتيب المغنطيسي الموضعي، يمكن أن توجد في عينات الناقلية الفائقة [10، 11، 23، 24]. لكنه يبدو، بصورة عامة، أن الشرائح الساكنة منفّرة للناقلية الفائقة.أوضح الأمثلة يحدث عندما يكون $x = 1/8$، حيث تثبّت التعادلية (قابلية القياس) الشرائح السكونية ذات المطال (السّعة) الأكبر في منظومة $La_{(1.6-x)}Nd_{0.4}Sr_xCuO_4$ [10، 11، 25]. يوافق هذا التطعيم النهاية الصغرى المحلية في منحني $T_c(x)$ [26]. وأخيراً، هناك دليل [25] بأن ترتيب الشحنة السكونية، لا يكون مؤذياً للناقلية الفائقة بالرغم من أن ترتيب السبين السكوني يؤذي الناقلية الفائقة، قد يكون كذلك.

لقد اقترح بعضهم [27] بأن الشرائح تعزز الناقلية الفائقة إذا لم تكن ساكنة إلى درجة كبيرة. وقد قدم "رسم ياماداالبياني" وهو العلاقة الخطية المتميّزة بين T_c و δ [13]، دليلاً على الصلة بين الشرائح المتأرجحة والناقلية الفائقة.

ورغم أنه وُثّق لأول مرة في المنظومة $La_{(2-x)}Sr_xCuO_4$ إلا أنه يوجد برهان لا يستهان به للمفعول ذاته في المنظومة $YBa_2Cu_3O_{(7-\delta)}$ [28، 29]. يقترح رسم ياماداالبياني بأن T_c لا تزداد إلا إذا تحركت الشرائح مقتربة من بعضها أكثر فأكثر. والصورة أو الفكرة الأكثر شكوكية هي أن T_c و δ يزدادان مع x (ويتشبّعان بالقرب من التطعيم الأمثل) من أجل أسباب مختلفة، وإن التعالق الظاهري عَرَضي. إن طبيعة الصلة بين الناقلية الفائقة والشرائح المشحونة ستستمر بكونها مجالاً نشطاً للبحث لبعض الوقت في المستقبل القريب.

الناقلية الفائقة

ننتقل الآن إلى خصائص حالة النقل الفائق عند درجات حرارة منخفضة. تتميز الناقلية الفائقة بوسيط الترتيب ψ الذي يعبّر عن الطريقة التي تختلف بها عن الحالة العادية، كما يميز التمغنط كيف يختلف مغنطيس حديدي عن حالة لا مغنطيسية فوق درجة حرارة كوري. في النواقل الفائقة التقليدية تدعى ψ "حقل الزوجين" pair field، وهي سَعة ميكانيكية كمومية لإيجاد إلكترونين في حالة متزاوجة paired state. إن وسيط الترتيب مقدار عقدي، أي إن له طويلة (مقداراً) وطوراً. تعطي قيمةُ حقل الزوجين فرجة الطاقة Δ وفق BCS. وفي النواقل الفائقة المألوفة مثل Pb أو Al تكون Δ مستقلة بصورة أساسية عن الموضع على سطح فرمي، تقابل أزواجاً في الحالة الموجية s أو المتناظرة دورانياً. في المواد ذات الفرميونات الثقيلة وفي الهليوم ^3He، قد تكون الأزواج في الحالات الموجية p أو d.

إن التجارب التي أجريت في أوائل الثمانينيات أكدت أن ψ هو حقل الزوجين في المواد ذات الدرجة T_c العالية، تماماً كما هو الحال في النواقل الفائقة التقليدية [30]. إن الاقتراحات المبكرة بإمكان خرقها تناظر انعكاس الزمن قد استبعدت تجريبياً [31]. ففي أوائل التسعينيات بينت المجموعات التابعة لـ هارلنجين Van Harlingen [32] وكيرتلي Kirtley وتسوي Tsuei [33] أن تناظر وسيط الترتيب هو موجة d، أي أنه يغير الإشارة لدى دوران 90° درجة. يعني تغير الإشارة أن الفرجة قد تختفي عند نقاط على سطح فرمي، وقد بينت مطيافية الإصدار الضوئي للإلكترونات ذات الفصل (استبانة) الزاوي angle-resolved photo - emission spectroscopy (ARPES) [36-34] أن $\Delta(k) \sim \Delta_0[\cos(k_x a) - \cos(k_y a)]$ حيث k الشعاع الموجي. وهذا هو الشكل $d_{x^2-y^2}$ للفرجة، وهو أعظمي من أجل اندفاعات موازية للرابطة Cu-O-Cu ويتلاشى من أجل اندفاعات تصنع زوايا 45° مع الرابطة. إن نقاط سطح فرمي الأربعة التي تتفانى عندها قيمة الفرجة هي العقد.

والآن وقد ترسخ أن الناقلية الفائقة هي موجة d، فالسؤال التالي هو فيما إذا كان بالإمكان وصفها بواسطة نظرية شبيهة بنظرية BCS، المعدّلة بشكل ملائم لتتضمن فرجة موجية للحالة d. تقترح بعض الأفكار

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

الجديدة المبنية على إثارات جديدة كالشرائح، أو الإلكترونات المجزّأة (انظر في الأسفل)، أو التناظرات الجديدة التي تربط الناقلية الفائقة بالمغنطيسية [37]، أو النقاط الحرجة الكمومية (انظر [38]) حالة غير حالة BCS. أرضية الاختبار هي طيف الإثارة منخفض الطاقة، كما تعكسه الخواص عند درجات الحرارة المنخفضة. في النسخة ذات الموجة d لـ BCS تكون الإثارة المهمة الوحيدة هي أشباه الجسيمات العقدية التي تكون طاقتها فوق الحالة الأساس، ϵ، صفراً، عندما ينطبق اندفاعها مع نقطة عقدية nodal point. للجسيمات العقدية طيف ديراك، بمعنى أن $\varepsilon = vp$ حيث v هي سرعة مميزة و p اندفاعها بالنسبة للنقطة العقدية. السرعة لا متناحية: $v = v_F$ من اجل اندفاع p عمودي على سطح فرمي، و $v_\Delta \approx v_F/20$ من أجل الحركة على سطح فرمي. وهكذا فإن تبدد أشباه الجسيمات له شكل مخروط لا متناح مع مقطع عرضي قطعي. إن كثافة الحالات المقابلة لهذا التبدد خطية مع الطاقة أو $g(\varepsilon) \propto \epsilon/v_\Delta v_F$.

في السنوات القليلة الماضية، كان هناك تأكيد مباشر لطيف شبه الجسيم العقدي هذا. الدليل الأولي لكثافة الحالات الخطية كان النتيجة المشهورة لهاردي وبوت وزملائهما [39] والتي مفادها أن كثافة المائع الفائق ρ_s عند درجات حرارة منخفضة تتناقص خطياً مع زيادة درجة الحرارة وفق العلاقة:

$$\rho_s(T) = \rho_s(0) - \alpha T$$

وبالتالي فإن كلتا السرعتين الرئيسيتين لمخروط التشتت في المركب $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ (BSCCO) قيستا من قبل ARPES [40]. ولقد أُقرّ حديثاً أن α يمكن إعادة استنظامها بالتآثر ولا تسبر بالضرورة التشتتَ الظاهر الذي قاسته ARPES [41، 42]. إن القياسات الحرارية، التي تسبر أشباه الجسيمات من دون سحبٍ نحو المتكثِّف (الكثافة)، لا يعاد استنظامها unrenormalized [42]. إن المثال الأكثر تميّزاً هو الناقلية الحرارية κ التي تعتمد على النسبة v_Δ/v_F فقط كما تبين ذلك نظرياً [43، 44]. ولقد تم التحقق من النظرية تجريبياً: فقد بينت مجموعة تيليفر Taillefer [45] أن قياساتها الحرارية تتضمن قيماً لـ v_F وv_Δ ضمن 10% من القيم التي أوجدتها تجارب ARPES المستقلة. إن هذه النتيجة لا تؤكد فقط فهمنا لطَيْف أشباه الجسيمات لكنها تبين أيضاً أن الصعوبات مع المواد قد حُلّت، لأن القياسات الحرارية الجرمية تتفق مع ARPES التي تسبر السطح. وفي النهاية فإن المسابر التي تقيس أثر الدوامات [46] والشوائب [47] على كثافة حالات أشباه الجسيمات، بفصل resolution من مرتبة المقياس الذرّي، قد توفر الاختبارات الأكثر صرامة للحالة الأساسية $d_{x^2-y^2}$ وإمكانية وجود حالات بمواقع أخفض ذات تناظر مختلف لوسطاء الترتيب.

مع الدليل القوي بأن أشباه الجسيمات موجودة وتهيمن على الخواص الحرارية، فإن الاختبار التالي للسلوك التقليدي هو عمرها (زمن حياتها) life time. لكن الصورة ليست واضحة هنا تماماً. ونظراً لأن سطح فرمي يتقلص إلى أربع نقاط عقدية في ناقل فائق في الحالة الموجية d. فإن الفضاء الطوري للتبعثر ينخفض بشكل حاد. تتنبأ الحسابات المبنية على نظرية BCS أن زمن حياة أشباه الجسيمات يتباعد وفق منحن بسرعة لا تقل عن T^{-3} عند درجات حرارة T منخفضة [48]. إن قياسات الامتصاص عند أمواج مكروية في عينات من YBCO فائقة النقاوة، والتي توحي بأن زمن حياة النقل يزداد وفق T^{-4} (وربما أسّياً)، تشير إلى أنها تؤكد هذا التنبؤ [49]. إن معدّل التبعثر دون الدرجة 20K هو 20GHz (بالمقارنة مع الشبيكات الفائقة لـ GaAs) ويبلغ المسار الوسطي حوالي 1μm. توضح هذه المسارات الحرة الوسطية والطويلة أكثر من المعتاد صفات العينات البارزة التي تم التوصل إليها.

تعطي القياسات عند الأمواج المكروية شبهَ الجسيم " زمنَ حياةِ نقلٍ" transport lifetime، هو مقلوب المعدّل الذي تحرّر التصادمات تياراً. قيس زمن حياة أشباه الجسيمات (أي مقلوب المعدّل الذي يتبعثر به شبه الجسيم من أي حالة معطاة) مباشرة من قبل ARPES. وفي الحقيقة فإن ARPES قد كشفت، وبتفصيل كبير، السلوك المتميّز للطاقة الذاتية لشبه الجسيم في اتجاه بطن الموجة (انظر أدناه). لكن الشكل الخطي الذي أعطته ARPES لأشباه الجسيمات العقدية كان حتى عهد قريب غير واضح يطمسه الفضل (الميْز) في أدوات القياس. وفي السنة الماضية فقط حصل تقدم في تقانة الكواشف فسمح لِـ ARPES بإلقاء أول نظرة على الشكل الخطي لأشباه الجسيمات العقدية في أسرة BSCCO من المواد ذات درجة الحرارة T_c العالية (حيث تعد نوعية السطح الممتاز مفضلة بالنسبة لتجارب ARPES).

أعلن فالا وآخرون Valla *et al.* عن قياسات الشكل الخطي لأشباه الجسيمات العقدية بدءاً من درجة حرارة الغرفة حتى $T = 48K$ [50]. وقد وجدوا أنه لدى انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون T_c فإن زمن حياة شبه الجسيم يزداد فقط وفق T^{-1} بدلاً من الزيادة الأكثر تسارعاً التي توقعوها نظرياً. وهذا امتداد لسلوك الحالة العادية المعروف جيداً لزمن حياة شبه الجسيم، ويشير إلى أن أشباه الجسيمات العقدية لا تتأثر إلا تأثيراً ضعيفاً في بداية الناقلية الفائقة. وسيكون من اللافت للنظر وغير العادي فعلاً إذا وجدنا أن زمن الحياة يزداد وفق T^{-1} في BSCCO عندما تسعى T إلى الصفر. من وجهة النظر النظرية، فإن استمرارية معدّل التبعثر الخطي مع T إلى درجات حرارة T منخفضة جداً سيتعارض مع ما يشبه حالة أساسية هادئة في نظرية BCS. إن هذا سيتطلب أن تشعر أشباه الجسيمات بوجود ترجّحات قوية عند طاقة منخفضة، من النوع المتوقع بالقرب من النقطة الكمومية الحرجة [38]. (توجد أدبيات ضخمة على طرائق الوصول إلى نقل أشباه الجسيمات مبنية على الحرجية الكمومية في المواد ذات الدرجة T_c العالية. انظر على سبيل المثال المراجع [51 - 55]).

رغم أن بعض جوانب نتائج الإصدار الضوئي photoemission هذه مثيرة للجدل [56]، فإن إمكانية أن تكون أشباه الجسيمات العقدية أكثر عرضة للتبعثر القوي في المركبات BSCCO منها في المركبات YBCO تدعمه قياسات الناقلية الحرارية [57] والناقلية الكهربائية [58-60]. وفي حين أنه من المسلم به عموماً أن عينات BSCCO لم تصل بعد إلى درجة من النقاوة والكمال البنيوي الذي نحصل عليه في منظومة YBCO، فإنه من غير المحتمل أن يفسر هذا الاختلافات عند درجة حرارة عالية حيث التبعثر المهيمن هو التبعثر اللا مرن. وإذا علمنا أن YBCO و BSCCO لهما نفس بنية الطبقة CuO_2 الثنائية CuO_2 bilayer structure كما أن

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

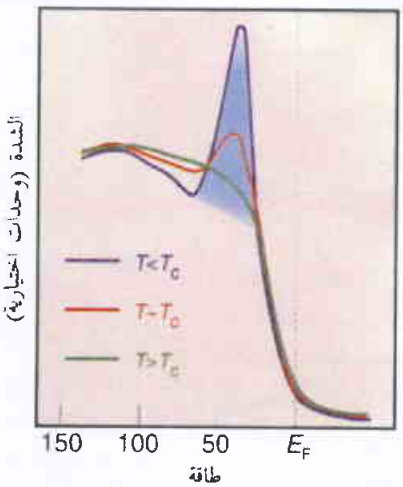
قيمتي T_c فيهما متماثلتان تقريباً، فإن التباين الظاهري في الخواص محيّر جداً. ويتم حالياً التصدي لهذه المسألة بصورة نشطة سواء نظرياً أو تجريبياً.

صلابة الطور، والترابط والفرجات الكاذبة

ننتقل الآن إلى التساؤل عن كيفية تخريب الناقلية الفائقة برفع درجة الحرارة أو بتغيير التطعيم. هناك اتفاق شامل على العامل المحدد لـ T_c في المواد ضعيفة التطعيم، يرجع بشكل كبير إلى التجارب الرائدة التي قام بها يمورا Uemora والعاملون معه [61]، وإلى بعض النظريات الكاشفة (المستبصرة) والفينومينولوجيا (علم الظواهر). وجد يمورا وآخرون أن T_c تتناسب وكثافة المائع الفائق في الدرجة صفر (أو صلابة الطور) $\rho_s(T=0)$ من أجل مجال واسع من المواد ضعيفة التطعيم underdoped. وفي وقت متزامن تقريباًتبين نظرياً أن هذه العلاقة كانت نتيجة طبيعية من التقريب إلى انتقال موت Mott transition [62، 63]. إن المعاني الضمنية لعلاقة يمورا صيغت بطريقة أكثر تعميماً من قبل إيمري Emery وكيفلسون Kivelson [64] في عام 1995. وقد أشارا إلى أن للناقل الفائق التقليدي سلّمين (معيارين) مهمين للطاقة هما فرجة BCS ونرمز لها بـ Δ، وهي تقيس شدة ربط الإلكترونات في أزواج كوبر Cooper pairs، وصلابة الطور ρ_s، وهي تقيس مقدرة حالة النقل الفائق على حمل التيار الفائق. ففي ناقل فائق تقليدي تكون Δ أصغر بكثير من ρ_s ويبدأ تخريب الناقلية الفائقة بتحطيم الأزواج الإلكترونية. على كل حال، إن سلّمي الطاقة في النحاسات متعادلان بشكل جيد؛ وفي الحقيقة تكون عملية الترتيب في المواد ضعيفة التطعيم معكوسة ظاهرياً، مع كون صلابة الطور هي الصلة الأضعف الآن. عندما تتجاوز درجة الحرارة ρ_s ~، فإن الجيشان (الخض) الحراري يخرّب مقدرة الناقل الفائق على حمل تيار فائق بينما يستمر الزوج بالوجود؛ وهكذا فإن T_c تقفز للأعلى بمقدار عدد صحيح مضروب في $\rho_s(T=0)$.

أشار لي lee و وِن Wen [65] بأن أشباه الجسيمات العقدية يمكنها أن تعدّل هذه الصورة بطريقة مهمة. إن الإثارة الحرارية لهذه الجسيمات تستنفذ ρ_s لأنها لا تشارك في التدفق الفائق. إن الاستنفاذ المتوقع في ناقل فائق في الحالة الموجية d ثنائي البعد هو استنفاذ خطي مع درجة الحرارة [66] (أو $d\rho_s/dT=-\alpha$) كما بين هاردي وآخرون ذلك تجريبياً [39]. وبالرغم من تخريب الناقلية الفائقة في نهاية المطاف بواسطة الترجحات، فإن أشباه الجسيمات تلعب دوراً حاسماً في إضعاف صلابة الطور، مما يسمح لترجحات الطور بإنهاء العمل. والآن فإن التحكم في T_c يتم ليس فقط بواسطة كثافة المائع الفائق في الدرجة $T=0$، ولكن بواسطة α أيضاً. إن علاقة يمورا من أجل النحاسات ضعيفة التطعيم والتي تكتب على الشكل: $T_c \propto \rho_s(0)$، تبقى سارية المفعول إذا كانت α مستقلة عن التطعيم بصورة أساسية، كما وجد فعلاً بصورة تجريبية [67، 68]. لقد بينت دراسات مفصلة [68، 69] أن هناك مجالاً من تراكيز الحاملات فوق التركيز المثالي اللازم للناقلية الفائقة (x_{opt}) الذي تزداد فيه ρ_s لدى تناقص T_c. إن هذا السلوك يتفق مع فرجة لإثارات أشباه جسيمات تنغلق بسرعة مع تزايد تركيز الحاملات حتى تصبح أكبر من x_{opt}.

إن تفسير علاقة يمورا الذي قدمه لي و وين يستند إلى مشاهدات تجريبية مفادها أن α مستقلة عن التطعيم. لكن هذه المشاهدة تمثل في الحقيقة أزمة لنظريات عديدة حول الناقلية الفائقة الناتجة عن عازل موت المطعّم. فالتنبؤ الطبيعي لمثل هذه النظريات هو أن شحنة شبه الجسيم تعود للاستنظام إلى الصفر لدى تناقص تركيز الحاملات [70، 71]. وهذا يقتضي تناقص ميل منحنى ρ_s بدلالة T في عينات تكون ضعيفة التطعيم أكثر، وهذا على طرفي نقيض مع النتائج التجريبية. وفي الوقت الراهن يبدو أن هنالك احتمالان: إما أن التجارب لم تجر عند قيم صغيرة بمقدار كاف لـ x للوصول إلى السلوك المقارب، أو أن هناك شيئاً ما أساسياً لم يدرك (غير مفهوم) يتعلق بطريقة الوصول إلى انتقال موت في المواد ذات الدرجة T_c العالية.



الشكل 4– تمثيل أطياف ARPES (مأخوذة من [72، 73] بعد التعديل) من أجل ناقل فائق ذي تطعيم ضعيف ودرجة حرارة T_c عالية عند اندفاع بالقرب من $(0, \pi)$ أو النقطة "البطنية" antinodal لمنطقة بريلوان. المبين على الشكل هو شدة الإصدار الفوتوني (المتناسب مع احتمال إيجاد إلكترون عند اندفاع وطاقة معطيين) عند اندفاع محدّد كتابع للطاقة المقيسة بالنسبة لـ E_F، عند ثلاث درجات حرارة. فعند درجات حرارة منخفضة يبين الطيف السلوك المتوقع لناقل فائق في الحالة الموجية d عند اندفاع تكون فيه فرجة الطاقة كبيرة. فرجة النقل الفائق مبيّنة كإزاحة للشدة عند طاقات منخفضة. تؤوّل القمة الحادة المظللة بالأزرق "كشدة جسيم" أو كإثارة إلكترونية معرّفة تماماً. ومع ارتفاع درجة الحرارة مروراً بـ T_c تختفي قمة شبه الجسيم لكن الفرجة تبقى. في المادة ذات التطعيم القوي (غير مبينة على الشكل)، ستنهار الفرجة حالما تزداد T مارة من T_c، لكن ستظهر قمة شبه جسيم عند

لدى اجتياز حدود طور النقل الفائق إلى الحالة العادية، يدخل المرء منطقة ساحرة ودقيقة في المخطط الطوري. يبين الشكل 4 بصورة تخطيطية كيف أن أطياف ARPES للمنطقة "البطنية" antinodal من فضاء الاندفاعات تنشأ لدى عبور هذه الحدود. (لمزيد من التفاصيل عن نشوء الأطياف خلال الانتقال انظر [72، 73]. وللإطلاع على مراجعة حول ARPES في النواقل الفائقة عند درجات T_c عالية انظر [74، 75]). سيحتوي الطيف، في معدن تقليدي، على قمة ضيقة تمثل بصمة signiture لشبه جسيم معرّف جيداً. دون الدرجة T_c ترى مثل هذه القمة بالضبط. كما أن الطرف المتقدم متأخر عن مستوى فرمي، مشيراً بذلك إلى وجود فرجة طاقة. وكما يبين الشكل 4، فإن قمة شبه الجسيم تختفي عند التسخين مروراً بـ T_c. كان يظن في البداية أن لهذا الأثر تفسيراً تقليدياً إلى حد ما مبنياً على غلق (سدّ) فرجة شبه الجسيم. إن التعريض، في الأساس، يعكس تبعثر الإلكترونات بدرجات أخرى من الحرية أقل. إذا اختفت فرجة الطاقة، فإن الفضاء الطوري المتوفر للتبعثر يزداد، مؤدياً بذلك إلى تعريض قمة شبه الجسيم. تشير المعطيات بدقة إلى أثر معاكس. ولدى العبور إلى

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

الحالة المعتادة، فإن الفرجة (كما ترى من الطرف المتقدم بالنسبة لطاقة فرمي E_F) تبقى موجودة، ومع ذلك تختفي القمة الضيقة. من الثابت أن شبه الجسيم يدين بوجوده إلى الترابط الطوري لحالة النقل الفائق وليس لفرجة الطاقة.

من الصعب جداً فهم هذا السلوك في انتقال طوري من ناقل فائق إلى سائل فرمي. وإن المعطيات تفهم بصورة طبيعية أكثر فيما لو جزئت الإلكترونات في الحالة العادية إلى كينونات منفصلة حاملة للسبين والشحنة [1، 70، 76، 77]. ومن هذا المفهوم، فإن أطياف الحالة العادية تكون واسعة لأن الإلكترون يتهاوى وبسرعة إلى مكوناته الأساسية. إن التضيق الحاصل بالتبريد إلى ما دون الدرجة T_c هو نتيجة لتكثف الجسيمات المشحونة بموجب نموذج RVB والنماذج المتعلقة به. أما نماذج الشرائح، فإن هذا التضيّق هو نتيجة للعبور البعدي من بعد واحد إلى بعدين. ومن المعلوم أن انفصال السبين والشحنة spin-charge separation يحدث في بعد واحد. فعندما يحصل هذا الانفصال في بعدين يكون، إن حصل، موضوعاً لخلاف جارٍ.

إن السلوك مع تسخين أكثر يعتمد اعتماداً على التطعيم (انظر الشكل 2). إن أكثر الصفات أهمية تُرى على الجانب الضعيف التطعيم من المخطط الطوري. وحسب صورة ترجحات الطور الموصوف أعلاه فإن T_c تميّز تخريب الترتيب الطوري الذي لا حد لمجاله. وفوق T_c فإن المرء يتوقع نظاماً يبقى فيه الطور مترابطاً في مجالات محدودة، ولكن لا تساوي الصفر، من الطول والزمن. إن بصمة مثل هذا الترابط الطوري الجزئي هي أن صلابة الطور تصبح متعلقة بالتواتر فوق T_c [78]. وعند تواترات منخفضة جداً ستكون ρ_s صفراً، كما هو متوقع من أجل مادة عادية. لكن إذا قيست ρ_s عند تواتر أكبر من معدل تغير الطور، فإن كثافة المائع الفائق ستسعى إلى قيمة ليست صفراً متناسبة مع صلابة الطور قصيرة المدى أو "الضئيلة" bare.

يمكن تعيين اعتماد ρ_s على التواتر من قياسات الناقلية عند تيار متناوب (ac). لكن مراقبة أثر ρ_s الضئيلة مراقبة حسنة في الحالة الطبيعية يتطلب أن يقارب تواتر القياس على الأقل المعدل الأعظمي لتغير الطور، الذي هو $k_BT_c/\hbar$ ~ (حيث k_B هو ثابت بولتزمان و $\hbar$ هو ثابت بلانك مقسوماً على 2π) أو 1THz ~ من أجل مواد ذات تطعيم ضعيف. لقد قيست حديثاً صلابة الطور الضئيلة ومعدلات تغير الطور كتابع لـ T في المركب BSCCO ضعيف التطعيم باستعمال تقانة في نطاق الزمن جعلت أمثلية من أجل مجال التراهرتز للطيف [79]. برهنت القياسات على أن حالات الانتقال إلى الحالة العادية تتم عندما تكون ρ_s قريبة من T_c. يمكن كشف ρ_s التابعة للتواتر في مجال من درجات الحرارة يتراوح ما بين 10 إلى 20 K فوق الانتقال. إن العبور إلى نظام عدم الترابط الكلي يأخذ مجراه عندما يصل تغير الطور إلى k_BT. من البراهين الداعمة لنظام ذي ترابط جزئي استمرار المظاهر الأخرى للترابط الطوري فوق T_c. فضلاً عن قمة ARPES عند $(\pi, 0)$ المذكورة أعلاه، فإن "التجاوب الثلاثي" المشاهد في التبعثر النتروني يستمر فوق T_c في عينات ذات تطعيم ضعيف [80] لكنه يتوسع بسرعة عندما تفقد كل آثار صلابة الطور.

الخاصة الأساسية الأكثر أهمية للنظام غير المترابط تماماً في المواد ذات التطعيم الضعيف هي الفرجة الكاذبة في الحالة الموجية d [74، 75]. إن الفرجة الكبيرة في المنطقة البطنية لفضاء الاندفاع واضحة بشكل خاص. وبالقرب من العقدة، حيث تصبح الفرجة أصغر من k_BT، يظهر أن نقطة فرمي تستبدل "بقوس" صغير من سطح فرمي. إن ما يثير الدهشة حول هذا النظام هو أن الفرجة تؤثر على بعض وظائف الاستجابة وهي غير مرئية بالنسبة لأخرى. وإن ترجحات السبين فيها انقطاعات gapped واضحة. ولم يتأثر كثيراً انتقال الشحنة في مستويات CuO_2 [81]، في حين منع انتقال الشحنة من مستوٍ إلى آخر منعاً شديداً [82].

وبالنسبة للكثيرين فإن هذه الحقائق التي تبدو غريبة هي برهان قوي على الانفصال بين السبين والشحنة. وبالفعل فإن كوتليار Kotliar وفوكوياما Fukuyama ولي Lee والعاملين معهم بينوا أن تنفيذ أفكار RVB لأندرسون قادت إلى تزاوج الحالة الموجية d-Wave pairing d، وإلى T_c ~ x، وإلى نظام الفرجة الكاذبة [70]. في هذه الصورة تعكس الفرجة الكاذبة تزاوج الأحاديات من الجسيمات التي تحمل سبيناً، ولما كانت معتدلة، فإن هذا لا يؤثر على انتقال الشحنة في المستوي. إن سلوك انتقال المحور c يتوافق أيضاً بصورة حسنة. إن حامل الشحنة عديم السبين هو إثارة توبولوجية مجالها ثنائي البعد بكل تأكيد، حيث انتقال الشحنات خارج المستوي يتطلب قفز الإلكترون الحقيقي، ولا يمكن نقل الكهرباء من مستوٍ لآخر ما لم يرجع الإلكترون وحدة متصلة، على حساب طاقة فرجة السبين [83].

وبقدر ما يكون هذا السيناريو مغرياً يوجد هناك بديل أكثر واقعية. ومن المصادفات غير المحببة في البنية العصابية أن ينعدم عنصر مصفوفة القفز بين المستويات عند النقطة العقدية [84، 85]. إذا هيمن قوس فرمي على الحالة العادية في النحاسات ذات التطعيم الضعيف، فإن الناقلية في اتجاه المحور c يمكن أن تُكبح بشدة [86].

الحالة الطبيعية

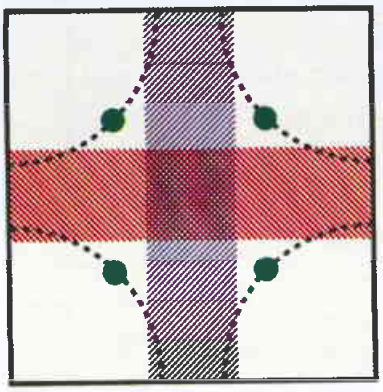
إن ما يدعى بالحالة "الطبيعية" للنحاسات يتم بلوغه عند اجتياز درجة الحرارة T^* التي تختفي عندها الفرجة الكاذبة. إن المعالم البارزة للحالة الطبيعية الغريبة هي كما يلي: أولاً، يوجد سطح فرمي مرتبط يبدو أنه منسجم مع نظرية العصائب التقليدية. ثانياً، يوجد لا تناحٍ مدهش في خواص معينة مثل عرض خط ARPES عندما يتحرك المرء حول سطح فرمي [74، 75]. ثالثاً، وكما أشير في علم الظواهر المبكر "لسائل فرمي الحافّي (الحدّي)" [87]، فإن درجة الحرارة هي تدريج الطاقة الرئيسي الذي يتحكم بتوابع (دالات) الاستجابة لدى السبين والشحنة. وإن التفسير الطبيعي لهذا السلوك هو أن الحالة الطبيعية هي نظام حرج كمومي [38]. ويستوجب النظامُ الحرج الكمومي نقطةً حرجة كمومية تفصل طورين في درجة الصفر $T=0$. ولقد اقتُرحت وجودَ مثل هذا الانتقال الطوري قياساتُ النقل الحديثة التي كُبحت فيها الناقلية الفائقة عن طريق تطبيق حقول مغنطيسية كبيرة جداً [88]. تشير النتائج إلى أن حالة النقل غير الفائق تكون عازلة من أجل $x<x_{opt}$ ومعدنية من أجل $x>x_{opt}$.

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

يبقى دعم وتشجيع الفينومينولوجيا المتماسكة على النطاق الحرج الكمومي نوعاً من التحدّي. وإحدى الصعوبات في ذلك هي أن بعض المميزات التابعة لدرجة الحرارة T تدوم وتبقى حتى درجات حرارة عالية جداً، من رتبة 1000 K في بعض الحالات [89]، والصعوبة الأخرى تتعلق بخاصتين من خصائص الحالة الطبيعية مشهورتين وبسيطتين لدرجة التضليل وهما التفرّق 1/T للناقلية والتفرق $1/T^2$ لزاوية هول [90]. والتفسير الطبيعي لذلك هو أن حاملات الشحنة تتبعثر من الترجحات الشاذة الناشئة عن اقترابها من الانتقال الطوري الكمومي. على كل حال، تقترح القياسات الحديثة لديناميكا السبين، والتي أجراها إيلي Aeppli ومساعدوه [91]، بأن الترجحات الشاذة، إن وجدت، تأخذ مجراها عند الأشعة الموجية غير المتكافئة (غير القابلة للقياس بنفس الوحدات) الموصوفة سابقاً. كما أشار هلوبينا ورايس Hlubina and Rice [92] إلى أن مناطق خاصة "ساخنة" من سطح فرمي موصولة بواسطة هذه الأشعة الموجية هي الوحيدة التي تشعر بالترجحات الشاذة. وهذا يترك قدراً كبيراً من "بقع باردة" تستطيع أن تنقل التيار بدون تبعثر شاذ. لقد حاول ستوجكوفيك Stojkovic وباينز pines [52] أن يبرهنا أن بعض المساهمات الآتية من البقع الباردة والساخنة يمكن أن تفسّر قانوني الناقلية وأثر هول اللذين يأخذان شكل قانون قوة. على كل حال إن وصف أثر هول فيه خلاف [93]. كما أن هناك بعض العوائق أمام تخصيص قوانين قوة بسيطة لموازنة مختلف المساهمات، لوحظت في مجال واسع من درجات الحرارة. اقترح أيوفي Ioffe وميليز Millis [86] أخيراً أن النقل ينشأ بأكمله من بقعة باردة، حيث يتغير معدل التبعثر وفق T^2. هذه الصورة لها أهميتها لأنها لا تستند على معيار حرج كمومي لكنها تتوافق مع قانوني القوة في كل من الناقلية وأثر هول. لكنها، تتطلب فوق ذلك أن تُستخرج من نظرية أساسية وقد لا تكون متناقضة مع نتائج ARPES الحديثة [50].

اللاتناحي واللاتجانس

من اللافت للنظر أن كل الأساليب الظاهراتية الفينومينولوجية للوصول إلى T_c عالية قد تركزت بصورة رئيسة على فكرة اللاتجانسية الشديدة. ففي النماذج المبنية على الشرائح يُنظر إلى الجامد كلامتجانس في فضاء حقيقي. وفي الطرائق التي ينظر فيها إلى المنظومة كمتجانس مكاني، يوجد لاتجانسية شديدة في فضاء الاندفاعات. إن تفاعل هذه الأفكار يكون واضحاً بصورة خاصة عندما ننظر في معطيات ARPES على نحاسة مطعمة بصورة أفضل. إن سطح فرمي الذي عينته ARPES مبيّن في الخط المنقط في الشكل 5 [94]. من الممتع أن نقارن هذا الكفاف مع سطح فرمي المتوقع لمنظومة تحتوي على شرائح [95]. فمن أجل شريحة وحيدة ممتلئة إلى ربعها، تقع الحالات المشغولة في المجال $-\pi/4a < k < \pi/4a$. ومن أجل صفيف من الشرائح الأفقية اللامتأثرة المحصورة في بعدين (2D)، تقع الحالات الممتلئة في الرقعة الشاقولية المبينة في مركز الشكل. لو رغبت APRES أن تأخذ عينات من مناطق ذات شرائح أفقية وشاقولية فإن الحالات المليئة ستتألف من رقعات متعامدة ومتداخلة، تظهر في الشكل على هيئة مساحات حمراء وزرقاء. وسيكون لسطح فرمي الناتج انسجام مدهش مع التجربة [96]. وهذا مؤكد على وجه الخصوص في مناطق البطون الموجية antinodal لمنطقة بريلوين حيث تأسر (تقنص) هذه الفكرة البسيطة موضع سطح فرمي. على كل حال، إذا ركّز المرء على الاتجاهات العقدية بدلاً من ذلك، فإن صورة الشريحة البسيطة تبدو مغفلة بعض الفيزياء الأساسية. وفي هذا المنحى يُحنى سطح فرمي بحيث يكون عمودياً على الاتجاه العقدي. تكون سرعة فرمي كبيرة جداً، كما أن "قمة شبه الجسيم" معرّفة تماماً وذات سَعة كبيرة. لا يوجد مغزى خاص للاتجاه العقدي في نموذج الشريحة البسيطة. ومن الأفضل وصف الاتجاه العقدي في الحالة العادية كسائل فرمي هامشي (طرفي) [87] وفي نظام الفرجة الكاذبة كناقل فائق في الحالة الموجية d غير المرتبة كمومياً أو حرارياً. إن قياسات أثر هول الحديثة والمتميزة التي قام بها يوشيدا Uchida ومعاونوه تؤكّد على السؤال حول فيزياء البعد الواحد مقابل البعدين في النحاسات [97]. تسبر هذه التجارب تأثير الشرائح على نقل الشحنة بدراسة المنظومة $La_{(1.6-x)}Nd_{0.4}Sr_xCuO_4$ التي يعرف فيها حدوث ترتيب لكل من السبينات والشحنات. إن فكرة التجربة هي كما يلي: حتى ولو كان ترتيب الشريحة موجوداً، فإن الناقلية المقيسة تكون على الأرجح متناحية لأنه تتقاسمها مناطق تكون شرائحها بتوجهات مختلفة. على كل حال، يختفي أثر هول إذا كان النقل في بعد واحد بكل معنى الكلمة، بغض النظر عن التوجهات. بيّن يوشيدا وآخرون أن توتر هول يتناقص بحدّة عندما تبرّد العينة إلى ما دون 70 K، وهي الدرجة التي تظهر فيها الشرائح السكونية لأول مرة. وهذا برهان مباشر على أن حركة الإلكترونات تصبح في بعد واحد حقاً بوجود الشرائح الساكنة. على كل حال، إن أثر هول غير مطموس (مكبوت) في العينات المطعمة بـ Nd فوق الدرجة 70 K أو في عينات خالية من الـ Nd عند أي درجة حرارة. إن المعاني التي تتضمنها هذه التجربة بالنسبة لتفسير الشرائح المتأرجحة للمواد ذات الدرجة T_c العالية تشكل مجالاً للبحث الدائر.



الشكل 5– تمثيل سطح فرمي الملاحظ تجريبياً (الخط المنقط) وحالات الاندفاع الممتلئة كما تنبأت بها صورة الشرائح البسيطة (مأخوذة من [96] بعد التعديل). تقابل المناطق الزرقاء الشرائح الأفقية في الفضاء؛ أما المناطق الحمراء فتقابل الشرائح الشاقولية. يمثل الصندوق الأسود أول منطقة من مناطق بريلوان لمستو CuO_2 مثالي. تقابل الأركان الأربعة الاندفاعات $(\pm\pi/a, \pm\pi/a)$. تشير النقاط الخضراء إلى نقاط على سطح فرمي (التي تصبح عقد الفرجة في حالة النقل الفائق)، حيث تظهر التجارب بصورة معقولة أشباه جسيمات محدّدة تماماً تنتشر بسرعة عالية تصنع زاوية 45° مع اتجاه الشريحة المفترض.

استنتاجات

إن التقدم السريع الذي حصل في السنوات الخمس الماضية قد سلط الأضواء على الصلة المتبادلة بين علم المواد وفيزياء المادة الكثيفة. إن الدرس الحاسم هو أن البحث عن مواد جديدة وتحسين نوعية البلورة في بلورات موجودة مسبقاً يعد شرطاً ضرورياً للتقدم. تتطلب هذه الجهود بذلاً

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

مستمراً للوقت والمال والجهد. ورغم أهمية تركيب المواد لكنه غالباً لا يخلو من مضايقات تلفت الأنظار إلى حظه الكبير من الشهرة والتمويل في وسط تنافسي.

والعامل الحاسم الثاني الذي يساهم في التقدم هو تحسّن التقنية التجريبية. إن التقدم في طرائق أمثال مطيافية الأمواج المكروية والتيراهرتزية والضوئية و ARPES والتبعثر النتروني ومجهرية "السَّبْر" المسحي (بالمسح) والنقل في حقول شديدة قد مكّن من توفير ثروة من المعلومات لم يسبق لها مثيل، مستبدلاً الحقائق بالعمل التخميني والظن. ما الذي تعلمناه؟ إن الدور المهم للاتجانسية في فضاء حقيقي وفضاء الاندفاعات، قد أضحى متميّزاً. إن طبيعة الحالات الأساسية للمغنطيسية الحديدية المضادة والنقل الفائق وإثاراتها ذات المواقع (السويات) المنخفضة قد كشف النقاب عنها بتفصيل كبير. إن الاتفاق بين ARPES وخواص النقل عند درجات T منخفضة لأشباه جسيمات عقدية في الحالة الموجيةd يعد نصراً مؤزّراً للتجربة والنظرية على وجه الخصوص. يمكن أن يقال عن المكتشفات (في YBCO على الأقل) بأنها تدعم طيف الحالة الموجية d وفق نظرية BCS التقليدية. يتجلى معدل التقدم في أن الناقلية الفائقة للحالة الموجية d يمكن أن تُميَّز الآن على أنها مظهر من مظاهر الفيزياء التقليدية، بينما كانت تعتبر منذ عقد سابق فقط تخميناً نظرياً دخيلاً يستحيل قبوله ولربما لم تكن له صلة بالموضوع.

لقد ظهر فهم وصفي واضح لنظام "الفرجة الكاذبة": ترجع الفرجة إلى التزاوج بدون ترتيب بعيد المدى. فخواص المائع الفائق لا تلاحظ في هذا النظام لأن انزياح الطور صغير بحيث تخرب الترجحات الحرارية قابلية المادة على نقل تيار فائق. إن امتداد نظام الفرجة الكاذبة يبين أن درجة حرارة التزاوج تنمو بسرعة مع تناقص التطعيم، حتى تصل إلى الدرجة 300 K. وينبغي أن يشجعنا هذا على أن لا نعتبر ~ 150 K كحد أعلى بالنسبة لـ T_c، وأن نستمر في البحث عن مواد وآليات للوصول إلى الناقلية الفائقة عند درجة حرارة الغرفة. من وجهة النظر الفيزيائية تثير الفرجة الكاذبة السؤال عما إذا كان التزاوج هو لا استقرارية عند طاقة منخفضة تكون فيها أشباه الجسيمات مقيّدة في أزواج كوبر (كما في نظرية BCS) أم هو خاصة أساسية لحالة عازل موت المطعم (كما في RVB والنماذج المنسوبة إليه).

إن القضية مع المضامين الأوسع هي الشمولية لصورة شبه الجسيم للانداو . يبدو أن الإثارات عند طاقة منخفضة في حالة الناقلية الفائقة هي الإثارات المألوفة، حيث يكون التبعثر ضعيفاً أو هامشياً. على كل حال، مع ارتفاع درجة الحرارة تشرع أشباه الجسيمات بالاختفاء مع فقد ترابط طور النقل الفائق. هل يمكن تفسير هذه الظواهر بدلالة أشباه الجسيمات التقليدية، الخاضعة لعملية تبعثر قوية تعتمد على انتقال الترتيب الطوري؟ أم هل نطلب أن ينشطر الإلكترون إلى جسيمين منفصلين هما سبين وحامل شحنة؟ هل هذا التأثير هو إظهار للشرائح المترجحة، حيث تقترح النظريات أنه ينبغي علينا أن نتخلى عن فكرة أشباه الجسيمات بصورة تامة لصالح الإثارات الجماعية؟

لقد قدمت السنوات الخمس الأخيرة من أبحاث درجة الحرارة T_c العالية برهاناً مسهباً بأن الإثارات في صنف جديد من المواد ليست أشباه جسيمات إلكترونية. ولربما تخبرنا السنوات الخمس القادمة، في درجات T_c العالية ومواد أخرى ما هي حقيقتها. نحن نشك أن الأفكار النظرية التي تنبثق سيكون لها مضامين، خارج مجال المعادن الغريبة، من أجل المساحة الواسعة للمنظومات الكمومية المتأثرة بقوة.

المراجع

REFERENCES

[1] P.W. Anderson, Science 235, 1196 (1987).

[2] M. Imada,A. Fujimori, Y. Tokura, Rev. Mod. Phys. 70, 1039 (1998).

[3] Y.Tokura and N. Nagaosa, Sciencs 288, 462 (2000).

[4] P. W. Anderson, Phys. Rev. 115, 2 (1959).

[5] See P. Schiffer and A. Ramirez, Comments Condens. Matter Phys. 18, 21 (1996), for a brief review.

[6] T. R. Thurston et al., Phys. Rev. B 40, 4585 (1989); H. Yoshizawa et al., J. Phys. Soc. Jpn. 57, 3686 (1989).

[7] S. W. Cheong et al., Phys. Rev. Lett. 67, 1791 (1991).

[8] T. E. Mason, G. Aeppli, H. A. Mook, Phys. Rev. Lett. 68, 1414 (1992).

[9] T.R. Thurston et al., Phys. Rev. B 46, 9128 (1992).

[10] J. Tranquada et al., Nature 375, 561 (1995).

[11] J. Tranquada et al., phys. Rev. Lett. 78, 338 (1997); J. Tranquada, Physica B 241-243, 745 (1997).

[12] J. Zaanen, Science 286, 251 (1999).

[13] K. Yamada et al., Phys. Rev. B57,6165 (1998).

[14] J. Zaanen and O. Gunnarson, Phys. Rev. B 40, 7391 (1989).

[15] H. J. Schulz, Phys. Rev.Lett. 64, 1445 (1990).

[16] M. Kato and K. Machida, J. Phys. Soc. Jpn. 59, 1047 (1990).

[17] V. J. Emery, S.A. Kivelson, J. M. Tranquada, http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9907228.

[18] G. Siebold, C. Castellani, D. DiCastro, M. Grilli, Phys. Rev. B 58, 13506 (1998).

[19] V. J. Emery, S. A. Kivelson, H. Q. Lin, Physica B 163, 306 (1990); Phys. Rev. Lett. 64, 475 (1990).

[20] U. Low et al., Phys. Rev. Lett. 72, 1918 (1994).

[21] For a brief review, see J.Zaanen, J. Phys. Chem. Solids 59, 1769 (1998).

[22] S. R. White and D. J. Scalapino, Phys. Rev. B 61, 6320 (2000).

[23] T. Suzuki et al., Phys. Rev. B 57, 3229 (1997); H. Kimura et al., Phys. Rev. B59, 6517 (1999).

[24] Ch. Niedermayer et al., Phys. Rev. Lett. 80, 3843 (1998).

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

[25] N. Ichikawa et al., http://xxx.lanl.gov/abs/cond - mat/ 9910037.
[26] M. K. Crawford et al., Phys. Rev. B 44, 7749 (1991).
[27] V. J. Emery, S. A. Kivelson, O. Zachar, Phys. Rev. B56, 6120 (1997).
[28] H. A. Mook et al., Nature 395, 580 (1998).
[29] A. V. Balatsky and Bourges, Phys. Rev. Lett. 82, 5337 (1999).
[30] C. E. Gough et al., Nature 326, 855 (1987).
[31] S.Spielman et al., Phys. Rev. Lett. 65, 123 (1990).
[32] D. A. Wollman et al., Phys. Rev. Lett. 71, 2134 (1993).
[33] C. C. Tsuei et a., Phys. Rev. Lett. 73, 593 (1994).
[34] Z. X. Shen et al., Phys. Rev. Lett.70, 1553 (1993).
[35] R. J. Kelley et al., Phys. Rev. B 50, 590 (1994).
[36] H. Ding et al., Phys. Rev. Lett. 74, 2784 (1995); Phys. Rev. Lett. 75, 1425 (1995).
[37] S. C. Zhang, Science 275, 1089 (1997).
[38] For a review, see S. Sachdev, Science 288, 475 (2000).
[39] W. N. Hardy et al., Phys. Rev. Lett. 70, 3999 (1993).
[40] H. Ding et al., Phys. Rev. B 54, R9648 (1996).
[41] A. J. Millis et al., Phys. chem. Solids 59, 1742 (1998).
[42] A. C. Durst and P. A. Lee, http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9908 182.
[43] P. A. Lee, Phys. Rev. Lett. 71, 1887 (1993).
[44] E. Fradkin, Phys. Rev. B 33, 3263 (1986).
[45] M. chiao, http://xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9910367.
[46] I. Maggio-Aprile at al., Phys. Rev. Lett. 75, 2754 (1995).
[47] S. H. Pan et al., Nature 403, 746 (2000).
[48] P. J. Hirschfeld, W. O. Puttika, D. J. Scalapino, Phys. Rev. Lett. 71, 3705 (1993); Phys. Rev. B 50 10250 (1994).
[49]A. Hosseini et al., Phys. Rev. B 60, 1349 (1999).
[50] T. Valla et al., science 285, 2110 (1999).
[51] P. Montoux, A. V. Balatsky, D. Pines, Phys. Rev. B 46, 14803 (1992).
[52] B.P. Stojkovic and D. Pines, Phys. Rev. Lett. 76, 811 (1996); Phys. Rev. B 56, 11931 (1997).
[53] C. M. Varma, Physica C 263, 39 (1996); Phys. Rev. Lett. 83 3538 (1999).
[54] R. B. Laughlin, http//xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9709195.
[55] C. Castellani, C. Di Castro, M. Grilli, Phys. Rev. Lett. 75, 4650 (1995).
[56] A. Kaminski et al., Phys. Rev. Lett. 84, 1788 (2000).
[57] K. Krishana, N. P. Ong, Q. Li, G. D. Gu, N. Kooshizuka, Science 277, 83 (1997).
[58] S. F. Lee et al., Phys. Rev. Lett. 77, 735 (1996).
[59] T. Jacobs et al., Phys. Rev. Lett. 75, 4516 (1995).
[60] J. Corson et al., http/xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/0003243.
[61] Y. J. Uemura et al., Phys. Rev. Lett. 62, 2317 (1989).
[62] G. Kotliar and J. Liu, Phys. Rev. B 38, 5142 (1988).
[63] Y. Suzumora et al., Phys. Soc. Jpn. 57, 2768 (1988).
[64] V. J. Emery and S. A. Kivelson, Nature 374, 434 (1995).
[65] P. A. Lee and X. G. Wen, Phys. Rev. Lett. 78, 4111 (1997).
[66] J. Annet, N. Goldenfeld, S. R. Renn, Phys. Rev. B 43, 2788 (1991).
[67] D. A. Bonn et al., Czech. J. Phys. 46 (suppl. 6) 3195 (1996).
[68] C. Panagopoulos, Phys. Rev. B 60, 14617 (1999).
[69] J. Tallon et al., Phys. Rev. Lett. 74, 1008 (1995).
[70] For a review of spin-charge separation and its role in the pseudogap, see P. A. Lee, Physica C 317-318, 194 (1999).
[71] D. H. Lee, http//xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9909111.
[72] A. G. Loeser et al., Phys. Rev. B. 56, 14185 (1997).
[73] A. V. Fedorov et al., Phys. Rev. Lett. 82, 217 (1999).
[74] Z. X. Shen and D. S. Desau, Phys. Rep. 253, 1 (1995).
[75] J. C. Campuzano, M. Randeria, M. Norman, H. Ding in the Gap Symmetry and Fluctuation in High-T_c Superconductors, J. Bok et al., Eds. (Plenum, New York, 1998), p. 229.
[76] T. Senthil and M. P. A. Fisher, http/xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/9912380.
[77] E. W. Carlson, D. Orgad, S. A. Kivelson, V. J. Emery, http/xxx.lanl.gov/abs/cond-mat/000 1058.
[78] V.Ambegaokar et al., Phys. Rev. B 20, 1806 (1980).
[79] J. Corson et al., Nature 398, 221 (1999).
[80] For a review, see A. J. Millis, Nature 398, 193 (1999).
[81] J. Orenstein et al., Phys. Rev. B 42, 6342 (1990).
[82] D. Basov, T. Timusk, B. Dabrowski, J. D. Jorgenson, Phys. Rev. B. 50, 3511 (1994); C. C. Homes, T. Timusk, D. A. Bonn, R. Liang, W. N. Hardy, Phys. C 254, 265 (1995).
[83] P. W. Anderson, The Theory of Superconductivity in the High-T_c Cuprates (Princeton Univ.Press, Princeton, NJ, 1997).
[84] S. Chalravarty et al., Science 261, 337 (1993).
[85] O. K. Anderson et al., J. Phys. Chem. Solids 56, 1573 (1995).
[86] L. B. Loffe and A. J. Millis, Phys. Rev. B 58, 11631 (1998).
[87] C. M. Varma et al., Phys. Rev Lett. 63, 1996 (1989).
[88] G. S. Boebinger et al., Phys. Rev. Lett. 77, 5417 (1996).
[89] B. Batlogg et al., Physica C 235-240, 130 (1994).
[90] T. R. Chien, Z. Z. Wang, N. P. Ong, Phys. Rev. Lett. 67, 2088 (1991).
[91] G. A. Aeppli, T. E. Mason, S. M. Hayden, H. A. Mook, J. Kulda, Science 278, 1432 (1998).
[92] R. Hlubina and T. M. Rice, Phys. Rev. B 51, 9253 (1995).
[93] N. P. Ong and P. W. Anderson, Phys. Rev. Lett. 78, 977 (1997).
[94] H. Ding et al., Phys. Rev. Lett. 76, 1533 (1996).
[95] M. Salkola et al., Phys. Rev. Lett. 77 155 (1996).
[96] For recent ARPES results in a compound with staic stripes, see X. J. Zhou et al., Science 286, 268 (1999).
[97] T. Noda, H. Eisaki, S. I. Uchida, Science 286. 265 (1999).■

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

استكشاف حدود نووية جديدة*

ب. ريغان
قسم الفيزياء - جامعة صاري - المملكة المتحدة
ب. بلانك
CEN - بوردو - فرنسا

ملخص

ألقت التجارب الحديثة التي تستخدم حزماً من الأيونات المشعّة ضوءاً جديداً على بنية النوى الغريبة ذات الوجود المحدود جداً، ويخطط الفيزيائيون للجيل القادم من المسرّعات بغية توسيع هذه الحدود أبعد من ذلك.

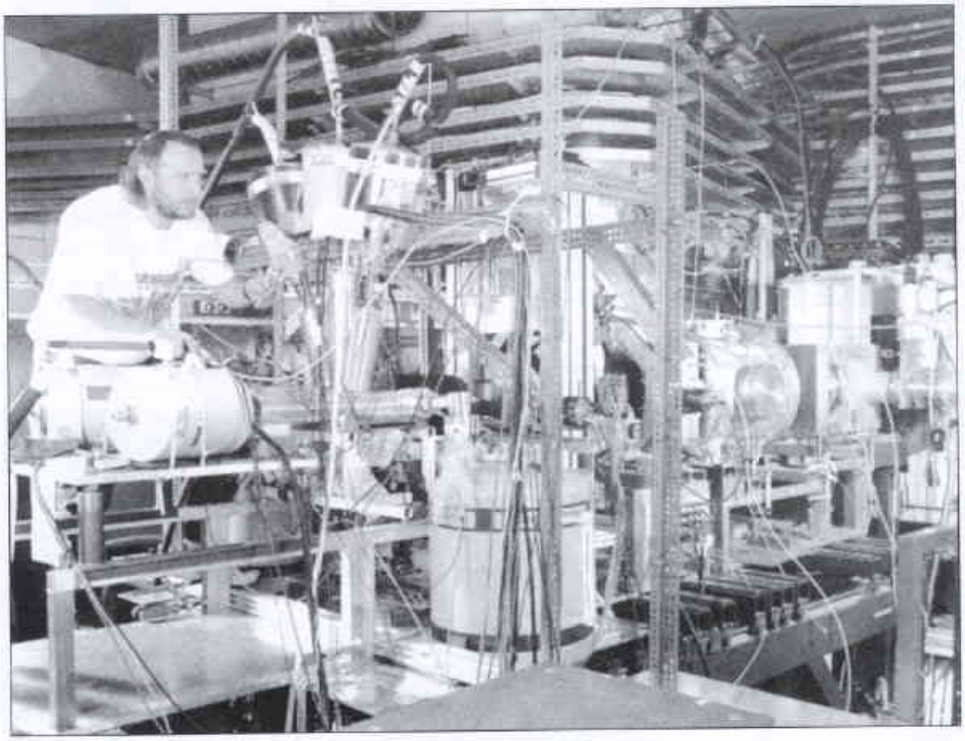
الكلمات المفتاحية: نوى غريبة، اضمحلال، التبخير الاندماجي، التشدف القذيفي.

مِمَّ يتكون العنصر؟ اعتقد اليونانيون القدماء بوجود أربعة عناصر وهي: التراب، الهواء، النار والماء. وعلى كل حال، عرّف الفيزيائيون العناصر في العشرينيات من القرن الماضي طبقاً لعدد البروتونات داخل نواة الذرّة. وفي غضون ذلك أثبت العمل الرائد الذي قام به فريدرك صودي F. Soddy وكازيمير فاجانز K. Fajans وجود نظائر مختلفة، أي ذرات لها الخواص الكيميائية نفسها ولكنها مختلفة الكتلة. وقد توّج هذا العمل عام 1932 باكتشاف جيمس شادويك J. Chadwick للنترون، الجسيم الذي لاشحنة له والذي يخفف التدافع الكولوني بين البروتونات المشحونة بصورة فعّالة.

نعلم اليوم أن هنالك أكثر من 260 نواة ثابتة لاتخضع للاضمحلال الإشعاعي، ومن ناحية ثانية، يُعتقد أن هنالك ما يقرب 7000 نواة غير مستقرة مختلفة، وأن ما يقرب 3000 من هذه النوى قد تم الحصول عليها ودراستها في المختبر. وتتضمن هذه نوى "غريبة" غير مستقرة وغنية جداً في كل من البروتونات والنترونات. ومرة بعد أخرى، ألقت هذه التجارب ضوءاً قوياً على أن كثيراً من النظريات والنماذج التي تطبق على النوى المستقرة غير ملائمة للنوى الغريبة.

للنوى غير المستقرة أيضاً أهمية أساسية لأنه يُعتقد بأنها تتشكل نتيجة تفاعلات نجمية عنيفة، ومن ثم تضمحلُّ لتشكل العناصر الأثقل المستقرة المعروفة حالياً على الأرض. وهكذا فإن إحدى الدفعات الرئيسة في الفيزياء النووية الحالية هي اصطناع ودراسة معظم الأنواع النووية الغريبة في الحدود الفعلية للمنطقة النووية عند ما يسمى خطوط انحدار driplines البروتون والنترون.

نَصِف في هذا المقال آخر بحوث الفيزياء النووية عند خطوط انحدار البروتون والنترون مستخدمين حزم أيونات مشعة، وننظر نحو التجارب المستقبلية.



يضبط بيرترام بلانك أحد المكاشيف المستخدمة لقياس النوى الغريبة في مختبر GSI.

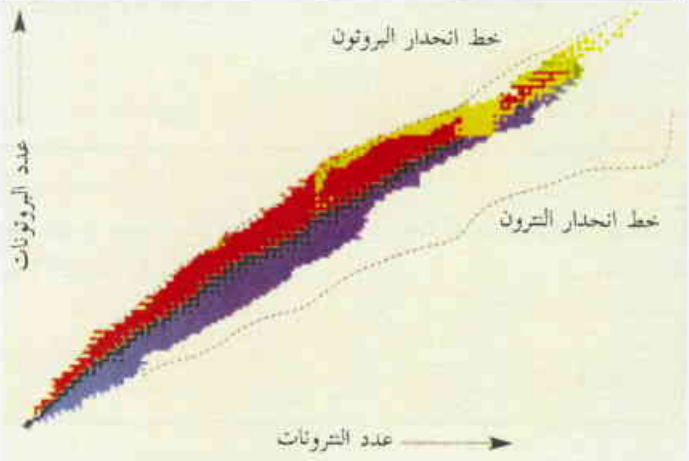
أسس نووية

المنطقة النووية أو "مخطط سيغريه Segrè" يضاهي الجدول الدوري في الكيمياء وهو ببساطة الخط البياني بين عدد البروتونات Z مقابل عدد النترونات N (الشكل 1). تميل النوى الثابتة الخفيفة إلى أن يكون عدد البروتونات فيها مساوياً تقريباً لعدد النترونات، ولهذا تشكل حول

* نشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, January 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

الشكل 1 - النظائر تطابق المخطط



يبيّن مخطط سيغريه خواص النوى كتابع لعدد البروتونات Z، وعدد النترونات N. تمثّل النوى المستقرة بمربعات سوداء بينما تظهر النوى الغنية بالبروتونات والنوى الغنية بالنترونات التي جرى اصطناعها في التجارب بواسطة المناطق الحمراء والزرقاء على التوالي. جرى إظهار مصدرات جسيمات ألفا باللون الأصفر، وإظهار النوى التي لوحظ أنها تضمحل بإصدارها بروتونات باللون البرتقالي. وكذلك يظهر في الشكل خط انحدار البروتون وخط انحدار النترون المتنبأ بهما.

N=Z "وادي الاستقرار". وفي المقابل، تميل النوى الثقيلة المستقرة إلى أن يكون عدد النترونات فيها أكبر من عدد البروتونات من أجل تخفيض قوى التدافع الكهراكدي المتزايدة بين البروتونات.

إن النوى الواقعة على جانبي وادي الاستقرار موجودة بالفعل، ولكن وجودها يستمر فقط لزمن محدد قبل أن يخضع لاضمحلال بيتا. يتطلب اضمحلال بيتا، في النوى الغنية بالنترونات، تحوّل نترون إلى بروتون يرافقه إصدار إلكترون أو مضاد نترينو. وبصورة بديلة، يضمحل البروتون، في المنظومات الغنية بالبروتونات، إلى نترون، مع إصدار بوزترون ونترينو. تستطيع النوى الأثقل غير المستقرة أن تصدر أيضاً جسيمات ألفا وتنشطر إلى نواتين أخف. تسمح جميع هذه الاضمحلالات للنواة غير المستقرة بأن تقترب أكثر إلى وادي الاستقرار.

تُعرّف الحواف الخارجية للمنطقة غير المستقرة على أنها خطوط انحدار البروتونات والنترونات. وبعبارة بسيطة، فإن النواة التي تقع على خط انحدار النترونات تكون مشبعة بالنترونات، ولن يرتبط بها المزيد من النترونات. وبصورة مشابهة، لاتستطيع البروتونات أن ترتبط بنواة على خط انحدار البروتونات.

يتعلق استقرار النواة مباشرة بما يسمى طاقة الربط، وهي الفرق بين كتلة النواة ومجمل كتلة النكليونات المؤلّفة لها (أي البروتونات والنترونات). وبصورة عامة، كلما كانت طاقة الربط أكبر، كانت النواة أكثر استقراراً.

وعلى المستوى المجهري، اقترحت ماريا جوبرت - ماير M.G-Mayer وهانز جنسن H. Jensen، اللذان اقتسما جائزة نوبل في الفيزياء عام 1963، طريقة بسيطة ولكنها حدسية لنمذجة النواة، في أواخر الأربعينات من القرن الماضي. في "نموذج الحقل الوسطي" هذا، يمارس كل نترون وبروتون في داخل النواة القوة النووية الوسطية العائدة إلى جميع النكليونات الأخرى. وكنتيجة لذلك يشغل كل نكليون حالة جسيم أحادي أو مداراً محدّداً تماماً له أعداد كمومية مرتبطة باندفاعه الزاوي ونديّته (نصف ندّية المدار حركته عند مشاهدته في المرآة).

اكتُشِف، تجريبياً، أن النوى الحاوية على عدد نوعي أو "سحري" من البروتونات أو النترونات تكون أكثر استقراراً من النوى التي تجاورها في مخطط سيغريه. ولهذا فالنوى التي تساوي فيها N أو Z الأعداد 82,50,28,20,8,2 و 126 تملك طاقة ارتباط نووية أكبر، وهذا يذكّر بالطريقة التي تشكل فيها الإلكترونات طبقة مغلقة في الغازات النبيلة غير الفعّالة.

على كل حال، يبدو أن الأعداد السحرية تنهار في النوى الغنية بالنترونات. فالأكسجين -28 الذي يحوي 20 نتروناً و 8 بروتونات - غير مستقر رغم أنه يحوي أعداداً سحرية من كل من البروتونات والنترونات.

الوصول إلى خط انحدار البروتون

يمكن تصنيع النوى القريبة لخط انحدار البروتون بفعل تصادمات أيونات - ثقيلة باستخدام تقنيتين تجريبيتين وافيتين بالغرض: "التبخير الاندماجي" و "التشدف القذيفي" (الشكلان 2a و b) وبالرغم من أن عدداً كبيراً من النوى الغنية بالبروتونات يمكن الحصول عليه في تجارب التبخير الاندماجي، فغالباً ما يصعب فصل النوى الغريبة من نواتج التفاعل الأقل غرابة. وبالعكس تؤمّن تجارب التشدف القذيفي فصلاً نظرياً جيداً ولكن تنتج نوى غريبة أقل. الحقيقة أن التنافس التجريبي الشائع في كلتا التقنيتين هو في تعيين النواة الغريبة موضوع الاهتمام في الدفق الشديد لنواتج تفاعل آخر ولجسيمات الحزمة.

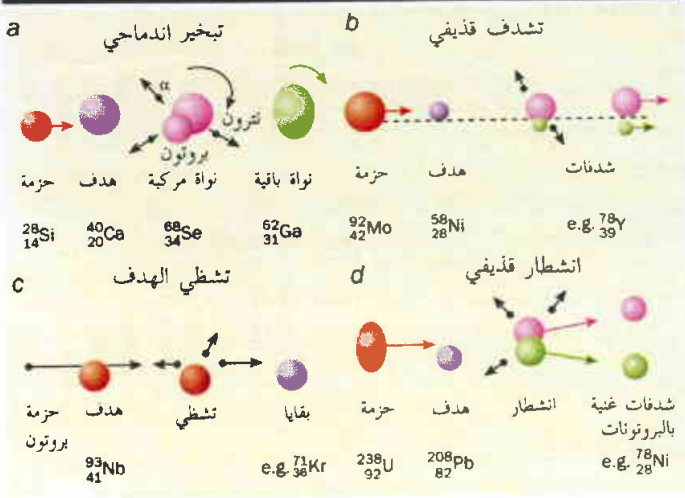
في التبخير الاندماجي تُسرَّع حزمة من الأيونات الثقيلة نحو وريقة معدنية رقيقة. يمكن للحزمة وللهدف أن يندمجا معاً لتشكيل جملة مركبة ساخنة تحوي عادةً نترونات أقل مما هو مطلوب لصنع نواة ثقيلة مستقرة. تفقد النواة المركبة طاقةً بإصدارها نترونات وبروتونات أو جسيمات ألفا. يمكن تعيين النواة المتبقية بعدئذٍ باستخدام إحدى الطريقتين. ففي الأسلوب المأخوذ به في محلّل كتلة الشدفة في مختبر أرغون الوطني في الولايات المتحدة، تمرّر النوى من خلال مطياف الكتلة الذي يفصل النواتج النووية حسب نسبة الكتلة إلى الشحنة A/Q. يتضمن الأسلوب البديل اكتشاف جميع الجسيمات الصادرة بالنواة المركبة. ولما كان محتوى النكليونات لهذه النواة المركبة معروفاً - يمكن الحصول عليه من دمج الحزمة مع نوى الهدف - فيكون استنتاج النواة المتبقية مباشراً.

التشدف القذيفي هو تفاعل أيون ثقيل مشابه. ويمكن تعيين كل شدفة نووية بدون أي غموض باستخدام توليفة من فقد الطاقة وانحراف في الحقل المغنطيسي ومعلومة تزامن في مقاييس الطيف مثل A 1200 في جامعة ولاية متشغان في الولايات المتحدة، و RIPS في مختبر RIKEN في اليابان، و LISE3 في مختبر GANIL في كاين بفرنسا، والفاصل الارتدادي للشدف في مختبر GSI في دارمستات بألمانية.

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

وتقتضي الطريقة البديلة لإنتاج النوى الغنية بالبروتونات قذف هدف سميك بحزمة من البروتونات العالية الطاقة (الشكل 2c). يمكن لمناطق من الهدف، في ما يسمى بتفاعلات تشدّف الهدف أو التشظية، أن تُقَصّ أساساً. يمكن الحصول على أنواع كثيرة من الشدف في تفاعلات القص هذه. ومرة ثانية، هنالك حاجة إلى منظومة فصل عالية الانتقاء للتمييز بين الشدفات المختلفة الناتجة.

الشكل 2 - كيف نصنع النوى الغريبة



مخططات لـ: (a) التبخير الاندماجي، (b) التشدف القذيفي، c تفاعلات التشظية المستخدمة لاصطناع نوى غنية بالبروتونات، (d) يمكن الحصول على نوى غنية جداً بالنترونات صنعياً باستخدام تفاعلات الانشطار القذيفي.

تخطيط خط انحدار البروتون

تحرك الباحثون في المنشآت النووية في العالم بسرعة على طول خط انحدار البروتون لكشف بنية وخواص النوى التي تقع بين الكالسيوم (Z=20) والزنك (Z=50)، وما بعدهما.

شُكّل العديد من النوى في تجارب التشدف القذيفي الحديثة. في عام 1996 اكتشف فريق دولي من الباحثين في مختبر GSI الحديد - 45 الذي يحوي 26 بروتوناً و 19 نترونا، والنيكل - 49 الذي يحوي 28 بروتوناً و 21 نترونا. وتملك هاتان النواتان أكبر زيادة في البروتونات تمت ملاحظتها حتى الآن (الشكل 3).

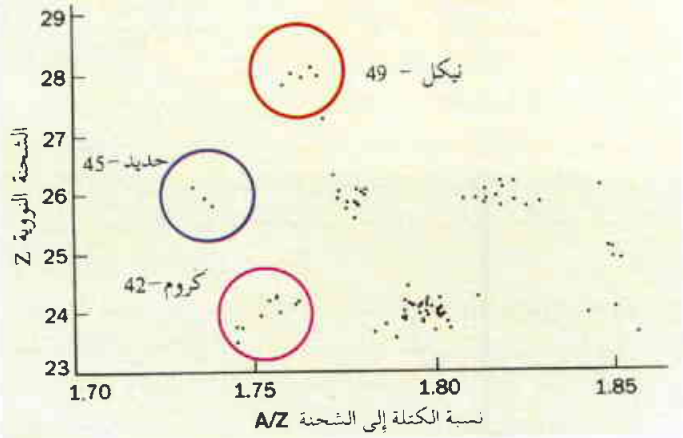
تُعدُّ العناصر الناقصة النترونات التي تملك ما بين 20 و 30 بروتوناً، عناصر مهمة جداً للفيزيائيين النوويين، وكذلك العناصر التي تحوي عدداً زوجياً من البروتونات والمرشحة لشكل جديد من الإشعاع تنبأ به منذ أربعين عاماً فيتالي غولدانسكي V. Goldanskii من أكاديمية العلوم الروسية في موسكو. اقترح غولدانسكي أن هذه النوى ستضمحل بإصدار بروتونين على شكل نواة الهليوم - 2. وإذا ما لوحظ هذا الاضمحلال فإنه سيلقي تبصراً أعمق على تزاوج بروتون - بروتون و/ أو نترون - نترون في النوى. مثلاً نحن نعلم مسبقاً بأن آثار هذا التزاوج تزيد من طاقة الارتباط في النوى وأنه مسؤول من أجل النوى الحاوية على أعداد زوجية من كل من البروتونات والنترونات والتي لها حالة أساسية مع "سبين" ذاتي مقداره صفر.

وبالرغم من أن النوى التي أعداد البروتونات والنترونات فيها متساوية وحتى الكالسيوم - 40 (Z=20) مستقرة، فإن النوى N=Z الضخمة التي تحوي 70 وما فوق من النكليونات تكون نشيطة إشعاعياً وتقع قريبة من خط انحدار البروتون. تعود هذه النوى إلى العناصر الثقيلة التي تُصَنَّع في الانفجارات النجمية العالية درجة الحرارة والعالية الكثافة بواسطة ما يسمى عملية البروتون السريع. تفترض هذه العملية الفيزيائية الفلكية أن نواة البذرة (النواة النشطة) تستمر في أسر البروتونات حتى يتم التوصل إلى خط انحدار البروتون، وهي النقطة التي يكون عندها أسر بروتون آخر ممنوعاً من الناحية الطاقية. وهكذا يسبب خط انحدار البروتون عنق الزجاجة في عملية تصنيع النواة، وبالتالي يجب على النواة أن تضمحل بإصدارها أشعة بيتا التي تبطّىء العملية برمتها. وإذا لم تعد شروط أسر البروتون ملائمة مع الزمن الذي اضمحلّت فيه النواة، فعندئذٍ يكون إنتاج العناصر الأثقل قد انتهى بشكل فعّال.

وبينما يمثل خط انحدار البروتون حدود المنطقة النووية، فإن النوى الغنية بالبروتونات في ما دون خط الانحدار تستطيع، وبشكل مدهش إلى حدٍ ما، أن تبقى أو تعيش لفترة قصيرة قبل أن تصدر بروتوناً. وفوق ذلك، فإن عمر النصف لعملية إصدار البروتون هذه تكشف البنية التحتيّة للنواة. ولكن كيف تستطيع هذه النوى أن تعيش بأية حال؟

عندما تحاول النواة أن تضمحل عن طريق إصدار البروتون، فإن البروتون الهارب يُعاق بحاجز كولون، وهو حاجز تدافعي سببه توليفة القوى النووية والكهرطيسية في داخل النواة. وإذا كان البروتون لايملك طاقة كافية لاجتياز حاجز كولون، فبإمكانه كمومياً أن يمر بالنفق من خلاله. يعتمد علو الحاجز أيضاً على الاندفاع الزاوي المداري للبروتون غير

الشكل 3 - النوى على خط الانحدار



تظهر البقع النظائر الحديدة الناقصة النترونات في المنطقة من الكروم إلى النيكل مأخوذة من مكشاف FRS في مختبر GSI. تستنتج الشحنة النووية Z المعيّنة من قياس فقد الطاقة المرسومة كتابع للنسبة A/Z - من قياسات زمن الشدفات. جرى التأشير على النظائر الجديدة. يستطيع نظير الحديد - 45 الملاحظ حديثاً أن يضمحل بعدد كبير من الطرق بما فيها الاضمحلال عن طريق بروتونين، وهذا شكل جديد من النشاط الإشعاعي.

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

المتزاوج - يعرف هذا الإسهام الإضافي بـ "حاجز النبذ". ولما كان احتمال الاضمحلال من أجل إصدار بروتون مباشرة يعتمد بشكل مثير على علو الحاجز، فإن عمر النصف يعكس البنية النووية.

إن وجود نوى خط انحدار معين يشكل مثالاً رائعاً في كيفية تمكّن بنية النواة من تحديد استقرارها. يثبت التجارب الحالية في ولاية متشغان وفي GANIL أن العناصر بعد الزرنيخ - 65 (Z=33)، تضمحل فيها النوى Z مفردة الحاوية Z=N+1 بروتوناً عن طريق إصدار مباشر للبروتون. وفوق ذلك، ولما كان الدفع الكهراكدي يتزايد مع Z^2، فيجب أن لانتوقع وجود أي نوى أثقل ببروتونات فردية Z=N+1. ولهذا استغرب الباحثون في GANIL عام 1998 اكتشاف الإيتريوم -77 الذي يملك 39 بروتوناً و38 نتروناً (الشكل 4b). وإضافة إلى ذلك، فإن نواة الإيتريوم كانت أكثر استقراراً من النواتين الأخف - المشابهتين لها في النوى المفردة البروتونات - وهما البروم -69 والرويديوم -73.

تتألف نواة الإيتريوم -77 من قلب مصنوع من منظومة السترونسيوم -76، حيث N=Z=38 مع بروتون تكافؤي وحيد. من المعروف تماماً بأن الحالة الأساسية للسترونسيوم -76 ليست كروية الشكل، ولكنها تشبه كرة الروغبي. يجبر القلب النووي المشوّه البروتون المفرد في الإيتريوم -77 على اندفاع زاوي مداري عالٍ. وهذا بدوره يزيد حاجز النبذ مما يجعل خروج البروتون من النواة أصعب ويعطي الإيتريوم -77 استقراراً إضافياً. يقوم حالياً عدة فرقاء من الباحثين في أوك ردج والمختبرات الوطنية في أرغون بوضع خارطة لخط انحدار البروتون للعناصر فوق (Z=50) مستخدمين تفاعلات التبخير الاندماجي. يملك الحاجز ونوى الحزمة طاقة كافية لاجتياز تدافعهما الكهراكدي، ومن ثم يندمجان ليشكلا نواة ثقيلة على خط انحدار البروتون. على كل حال إن القوى التدافعية الكبيرة داخل النواة تمنعها من الاضمحلال عن طريق إصدار بروتون.

إذا كان عمر النصف للذرّة أكبر من حوالي 5 مكروثانية، فمن الممكن دراستها بتفصيل أكبر لأنها تستطيع أن تبقى حية زمناً أطول يكفي لكي تمر عبر المطياف وتصدم منظومة الكشف السليكونية. إن مكشافات السليكون مقطعة بكفاية بحيث من الممكن كشف البروتونات أو جسيمات ألفا الصادرة من النواة قبل أن تُصدم قطعة المكشاف بحطام ناتج من تفاعل آخر. وهذا ما يجعل من الممكن ربط الاضمحلالات النووية بنوى مرتدّة نوعية. في الواقع من الممكن استعمال طاقات وأعمار اضمحلالات البروتون لتعريف مدار الجسيم المفرد النوعي الذي صدر منه البروتون. وبهذه الطريقة، يمكن الحصول على معلومات حول بنية النواة التي تقع فوق خط انحدار البروتون.

إن هذا مسبار ممتاز لسبر تأثير كمية زائدة من البروتونات على متوسط القوة النووية في داخل النواة. لقد توصل تعاون الباحثين من أرغون وجامعة أدنبره في المملكة المتحدة حديثاً إلى تعيين منطقة فوق خط انحدار البروتون حيث تملك النوى كمية كبيرة من التشوهات. تحدد بنية هذه النوى الغنية جداً بالبروتونات بتتبع اضمحلالات بروتون الهولميوم -141 و البروميوم -131.

ومن الممكن أيضاً الحصول على قياسات طيفية مفصلة لحالات الإثارة في النوى الواقعة فوق خط انحدار البروتون وذلك بقياس إشعاع غاما المرافق للنوى المثارة. وقد سمحت لنا هذه الأنواع من التقنيات بالتحري عن مادة النواة تحت أعظم الشروط الحدّية.

العناصر الفائقة الثقل والإيزوميرات

يمكن الحصول على المعلومات الطيفية أيضاً من النوى الغنية بالبروتونات الثقيلة جداً التي تضمحل عن طريق إصدار جسيمات ألفا. لقد طبّق الفريق الذي يعمل في أرغون والفريق الذي يعمل في جامعة يوفاسكيلا في فنلنده هذه التقنية على النوى الغريبة جداً والتي من الصعب الحصول عليها. في العام الماضي درس فريق دولي في أرغون نواة النوبيليوم 254 الثقيلة جداً والتي تحوي 102 بروتوناً، ووجدوا أن طيف أشعة غاما منسجم مع نواة مشوهة دوّارة والتي تبقى مستقرة جداً عندما يكون لها اندفاع زاوي كبير. وقد فتح هذا العمل مع التقارير الحديثة حول اكتشاف العناصر الفائقة الثقل التي تحوي 114 و 116 و 118 بروتوناً في دوبنا في روسيا وبيركلي في الولايات المتحدة، إمكانية مطيافية نووية مفصلة عند الحدود العليا لعدد البروتونات.

لقد عيّن عدد من تجارب تفاعل التشدف الحديثة اضمحلالاتٍ ناتجة من حالات أو "إيزوميرات" نووية مثارة طويلة العمر بشكل غير طبيعي (انظر الشكل 4). إن مثل هذه الدراسات مهمة لأنها تكشف بنية الجسيم المفرد الأساسية للنوى على طول خط انحدار البروتون. وبالمقابل، عند تعيين ذلك، من الممكن لهذه الإيزوميرات أن تستخدم "كمياسم" تجريبية لاختيار اضمحلالات مرتبطة بنوى معينة. وتعين النواة في هذه التجارب عندما تمر عبر المطياف، ويُكشف الإيزومير من أشعة غاما التي يصدرها. إن هذه الطريقة حساسة بشكل نموذجي للاضمحلالات الناتجة من حالات إيزوميرية لها عمر يقع بين 50 نانو ثانية و 200 مكرو ثانية. لقد استعملت في قياس اضمحلال الإيزوميرات في الزرنيخ -66 الذي له N=Z=33، وكشف ما يطلق عليه اسم "إيزومير الشكل" في الكربتون-74.

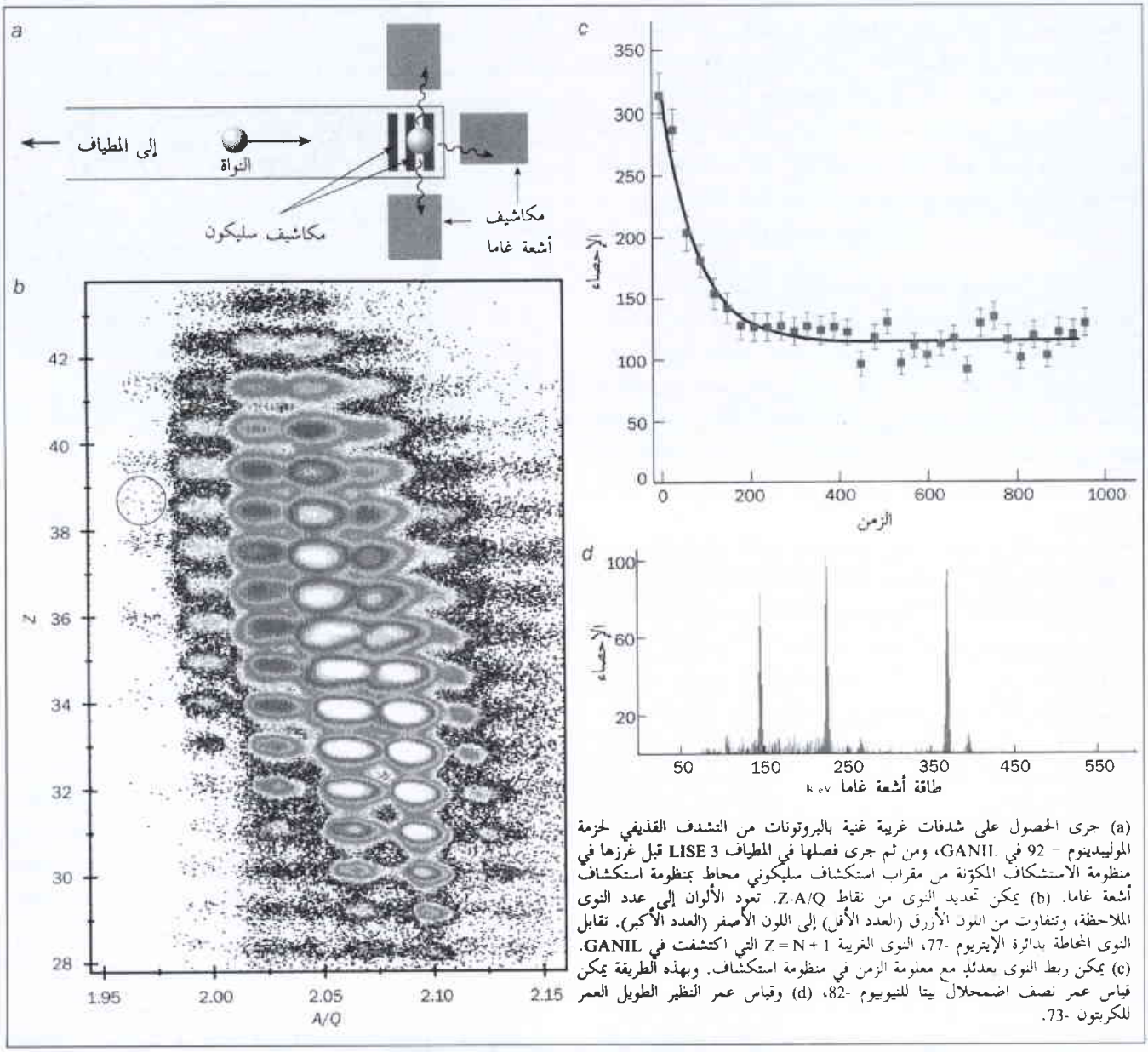
يمكن لنواة الكربتون -74 أن تأخذ شكلين اثنين متقاربين جداً من بعضهما البعض في الطاقة. ومن أجل اضمحلالها، يجب أن تغير النواة شكلها. ويُمنع مثل هذا الاضمحلال مما يؤدي إلى حالة مقلقلة. وعندما تعيَّن مثل هذه الاضمحلالات الإيزوميرية في كل من الزرنيخ -66 والكربتون -74، فإنه يمكن استخدامها في تجارب التبخير الاندماجي التالي لتعطي على هذه النوى ميسماً تجريبياً نظيفاً.

كشف اضمحلال بيتا للنوى الغريبة المصنّعة في تفاعلات التشدف القذيفي معلومات أساسية حول طبيعة كل من التأثرات النووية القوية والضعيفة. وبصورة أدق، يسمح اضمحلال النوى بأعداد متساوية، ولكنها فردية، من البروتونات والنترونات، بدراسة ما إذا كانت القوة النووية القوية مستقلة عن الشحنة الكهربائية في النوى الثقيلة. وهي تستطيع أيضاً أن تعطي معلومات عن الآلية الأصيلة خلف التآثر الضعيف كما يوضحه اضمحلال بيتا.

في عام 1998، أدى التعاون بين الباحثين في جامعة صاري ومعهد بحوث ستارسبورغ للجسيمات تحت الذرية، و CEN في بوردو في فرنسا، إلى قياس عمر اضمحلال بيتا للنوى الثقيلة مفردة - مفردة N=Z

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

الشكل 4- تثبيت الخواص النووية



(a) جرى الحصول على شدفات غريبة غنية بالبروتونات من التشدف القذيفي لحزمة المولبيدينوم - 92 في GANIL، ومن ثم جرى فصلها في المطياف LISE 3 قبل غرزها في منظومة الاستشكاف المكونة من مقراب استكشاف سليكوني محاط بمنظومة استكشاف أشعة غاما. (b) يمكن تحديد النوى من نقاط Z-A/Q. تعود الألوان إلى عدد النوى الملاحظة، وتتفاوت من اللون الأزرق (العدد الأقل) إلى اللون الأصفر (العدد الأكبر). تقابل النوى المحاطة بدائرة الإيتريوم -77، النوى الغريبة Z = N + 1 التي اكتشفت في GANIL. (c) يمكن ربط النوى بعدئذ مع معلومة الزمن في منظومة استكشاف. وبهذه الطريقة يمكن قياس عمر نصف اضمحلال بيتا للنيوبيوم -82، (d) وقياس عمر النظير الطويل العمر للكربتون -73.

للروبيديوم -74، والإيتريوم -78، والنيوبيوم -82، والتكنيسيوم -86 في مختبر GANIL. توحي الأعمار السريعة نسبياً - حوالي 50 ms - بأن هذه النوى تخضع إلى نوع من "فوق المسموح به لفرمي" لاضمحلال بيتا. وهذا يدل ضمناً على أن البروتون غير المتزاوج والنترون يشغلان مدارات "متضادة التوازي" مما يؤدي لأن يكون الاندفاع الزاوي للزوجين صفراً. إن خواص هذه النوى مفردة - مفردة، متشابهة أساساً حيث أن النوى تملك العدد نفسه من النكليونات، ولكن مع عدد زوجي من كل من البروتونات والنترونات. وإذا استطعنا في المستقبل تحديد كتل وزمن اضمحلال هذه النوى بدقة كبيرة، فإننا نستطيع أن نختبر بدقة النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

النوى الغنية بالنترونات

تم الوصول في الوقت الحاضر إلى خط انحدار النترون من أجل المنظومات النووية الأخف (Z<10). ومع ذلك، فحتى هذه الحالات القليلة قد ألقت ضوءاً على أن النوى الغنية بالنترونات تسلك سلوكاً مغايراً إذا قُورنت بالنوى المستقرة. لقد اكتشفت بنى نووية جديدة مثل "هالة النترون" حيث تمتد النترونات الزائدة بعيدة جداً عن القلب النووي، و"قشرة النترون" حيث تتوزع الإلكترونات الزائدة على سطح النواة. ومن الواضح أن النوى الأثقل على خط الانحدار يمكن أن تقدم مفاجآت أكبر بكثير.

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

يمكن الحصول على النوى الغنية جداً بالنترونات عن طريق انشطار النوى الثقيلة المحرّضة بنترونات بطيئة ضاربة هدفاً انشطارياً (الشكل2d). يُستخدم الانشطار روتينياً للحصول على نوى غزيرة غنية بالنترونات في معهد لاو لانجفان في غرونوبل في فرنسا، وفي GSI. على كل حال، هنالك حاجة إلى نبيطة قوية لفصل النوى الغزيرة المهمة لدينا عن كتلة الشدف النووية الأقل غزارة. وبالإضافة إلى ذلك يمكن أن تستخدم تفاعلات التشدف للحصول على نوى قريبة من خط انحدار النترون.

يتمركز الكثير من النتائج المذهلة على النوى الغنية بالنترونات الحاوية إما عدداً سحرياً من البروتونات أو النترونات. في الحقيقة، اكتشف حديثاً أن العدد السحري يختفي في النوى الخفيفة الغنية بالنترونات - وهي حقيقة ترتبط ببنيتها النووية. تقترح بعض التنبؤات النظرية أن قشرة النترون تُضعف ما يسمى التأثر النووي سبين - مدار. وهذا التأثر مصطلح ظاهراتي يستخدم في نموذج الحقل الوسطي ليصف ما إذا كان الاندفاع الزاوي السبيني الذاتي للنكليون يشير إلى اتجاه اندفاعه الزاوي المداري، أو إلى الاتجاه المعاكس. يفصم التأثر سبين - مدار الحالات التي يكون لها الاندفاع الزاوي المداري نفسه، مما يفضي إلى العدد السحري المرسّخ جيداً في المنظومات القريبة من الاستقرار. على كل حال تضعف قوة هذا المصطلح سبين - مدار في المنظومات الغنية بالنترونات، مما يفضي إلى إعادة ترتيب مدارات النكليون الوحيد وبالتالي اختفاء الأعداد السحرية.

لقد وُجد حديثاً الدليل التجريبي المقنع لتحطّم الأعداد السحرية في النوى الغنية بالنترونات. بيّن العمل القائم في GANIL، الذي تقوده فرق من جامعة ليفربول، والمعهد المشترك للبحوث النووية في دوبنا حول اضمحلال بيتا للنوى الغنية جداً بالنترونات الحاوية على حوالي 20 نترونا، تحطماً واضحاً للعدد السحري N = 20 ما بعد المغنزيوم -32.

بالإضافة إلى ذلك، استخدمت التجارب التي قادها فريق أورسي في GANIL سلسلة من المكاشيف لقياس أشعة غاما الصادرة من مرتدات نووية نوعية عند مرورها خلال مطياف تشدف. ومن أجل عدة منظومات غنية بالنترونات وحاوية على 20 نترونا تقريباً، وجد الباحثون أن سوية طاقة الحالة الأولى المثارة كانت أقل انسجاماً مما كان متوقعاً لنواة كروية. وبما أنه يمكن لطاقة هذه الحالة المثارة أن تنسب إلى شكل النواة، فإن الطاقة المنخفضة تتطلب أن تكون النواة مشوهة.

وفي الوقت نفسه، اكتشف فريق دولي من الباحثين حالات إيزوميرية جديدة وطويلة العمر في النوى الحاوية على 28 بروتوناً و 40 نترونا في GANIL. وأشارت النتائج بأن النوى الغنية بالنترونات يمكن أن يكون لها طبقة مغلقة من النترونات عند N = 40.

وفي النهاية، تم الحصول في GSI على عدد كبير من النظائر الغنية جداً بالنترونات، باستخدام حزم من نوى اليورانيوم -238. تتضمن هذه النظائر النيكل -78 (الحاوي على 28 بروتوناً و 50 نترونا) الذي لديه رقم سحري لكل من النكليونين. امتد هذا العمل حديثاً للحصول على النظائر المتعذر منالها عبر الاندماج باستخدام تشدف الرصاص -208. تتضمن البقع المشرقة اكتشاف المجموعة الجديدة الغنية جداً بالنترونات من نوى العناصر الترابية النادرة. وقد جرى سبر بنية هذه النوى بتتبع اضمحلال الإيزوميرات.

منشآت الحزمة المشعة

تستخدم تفاعلات التشدف في GANIL وفي ولاية متشغان طاقات حزمة تبلغ حوالي 50 MeV للنكليون الواحد. على كل حال، يتطلب الأمر طاقات أعلى إذا أردنا دراسة منظومات أثقل أو أكثر غرابة، وذلك لسببين: الأول هو أن طاقة حزمة أعلى تعني أننا نستطيع استخدام هدف أثخن، وبالتالي نزيد مجمل سرعة الإنتاج لأكثر الأنواع الغريبة، والثاني أن النوى الناتجة تكون أكثر قابلية للتعرية من إلكتروناتها الذرّية. وهذا أمر مهم إذ نحن في حاجة لمعرفة شحنة النواة التي تنتج وبالتالي يكون في مقدورنا أن نحدّد بوضوح النوى الغنية بالنترونات.

لقد جرى تحسين منشآت الحزمة المشعة في عدد من المختبرات الموجودة حالياً في العالم - وذلك بتعديل الماكنات الموجودة أو بإضافة نبائط تجريبية جديدة. يجري التنفيذ الرئيس في ولاية متشغان باستخدام سيكلوترونين فائقي النقل لإنتاج حزم تشدف قذفية أكثر شدة حتى الـ 1000 مرّة من الحزم المتاحة حالياً. وفي الوقت نفسه جرى بناء منشأة تشدف قذفي قوية في مختبر RIKEN في اليابان تسمح بقياس دقيق للكتل الذرّية القريبة من خطي انحدار البروتون والنترون.

وبالإضافة إلى ذلك، جرى تطوير منشآت جديدة لإنتاج حزم مشعة من الأيونات المشعة باستخدام يطلق عليه اسم "الفصل المباشر للنظير". تتطلب الطريقة ضرب الهدف بحزمة بروتونات طاقية لإنتاج مجال من النظائر. تُستخلص الأنواع المطلوبة بعدئذٍ وتُؤيَّن من أجل استخدامها في التجارب. ويجري حالياً تطوير أقدم المنشآت وجوداً وهي ISOLDE في مختبر سيرن في سويسرا لإنتاج حزم مشعة بطاقات أعلى، تبلغ بصورة نموذجية عدداً قليلاً من الـ MeV للنكليون. يمكن استخدام مثل هذه الحزم لإثارة تفاعلات نووية.

وهنالك منشأة أخرى وهي ISAC التي بدأ تشغيلها عام 1998 في مختبر TRIUMF في فان كوفر في كندا. تنتج هذه المنشأة حزماً مشعة كالتي تنتجها منشأة ISOLDE بالرغم من أن شدة حزمة البروتون المستخدم للحصول على شدف الهدف أكبر بكثير. يخطط الفيزيائيون النوويون لتجارب في ISAC لدراسة المسارات التي تتبعها عملية البروتون السريع على طول مخطط سيغريه. تعيّن العملية وفرة العناصر الكيميائية في الكون وتعتمد بشكلٍ كبير على السرعة التي تستطيع فيها النوى الغنية بالبروتونات أسر البروتونات. وهكذا تعتمد بالتالي على البنية النووية الداخلية وكتل هذه المنظومات الغريبة جداً. يمكن لمثل هذه الدراسات أن توضع موضع التنفيذ بتفاصيل كافية باستخدام تفاعلات مثارة بحزم مشعة.

نشر الفيزيائيون النوويون في المملكة المتحدة اقتراحاً لبناء منشأة مشابهة سميت SIRIUS في مختبر رذرفورد Rutherford أبليتون Appleton. سيستخدم SIRIUS تشظية هدف من التنتالوم بحزمة بروتون 1 GeV للحصول على شدفات غريبة، التي تُسرَّع بعدئذٍ وتُستخدم لإثارة تفاعلات نووية. وهذا ما سيسمح لنا بإنتاج ودراسة النوى الغنية بالبروتونات و النترونات التي هي خارج حدود تجاربنا الحالية.

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

تجمع في الوقت نفسه منشأة SPIRAL في GANIL ميزات كل من تقنيات التشدف القذفي والمختبر النظيري. تضرب حزمة أيون ثقيل، طاقتها 95 MeV في النكليون، هدفاً ثخيناً موضوعاً بالقرب من منبع أيونات. لقد خُطِّط لتأجيل التجارب الأولى التي تستخدم الحزم الثانوية لأيونات عنصر الأرغون المشع إلى وقت لاحق من العام نفسه. وسيقذف في التجارب المستقبلية هدف انشطاري بحزم أيونات خفيفة للحصول على شدف انشطار غنية بالنترونات.

ستفتح هذه المنشآت، التي ستبدأ العمل في ما بين السنتين والخمس سنوات القادمة، الباب على سُبُل جديدة ومثيرة للاهتمام لاستكشاف حدود الاستقرار النووي وحدود المنطقة النووية. هنالك عدة ماكِنات جديدة أخرى تم اقتراحها، أو أنها حالياً تحت الدراسة بصورة مفصلة.

سيستطيع الفيزيائيون النوويون وضع التنبؤات النظرية الأساسية تحت الاختبار على مدى أكثر اتساعاً من السابق، وستقدم الإجابات رؤى مهمة في فهمنا للبنية النووية وللاصطناع النووي في الكون.■

☆ ★ ☆

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

رصد الزمن الحقيقي لحركة ذرّة ممتزة على سطح معدن★

هـ. بتيك
مختبر البحوث المتقدم - هيتاشي - اليابان
م. وايدا، هـ. ناغونا، س. أوغاوا
قسم الفيزياء والفلك - جامعة بتسبورغ - بتسبورغ - الولايات المتحدة الأمريكية

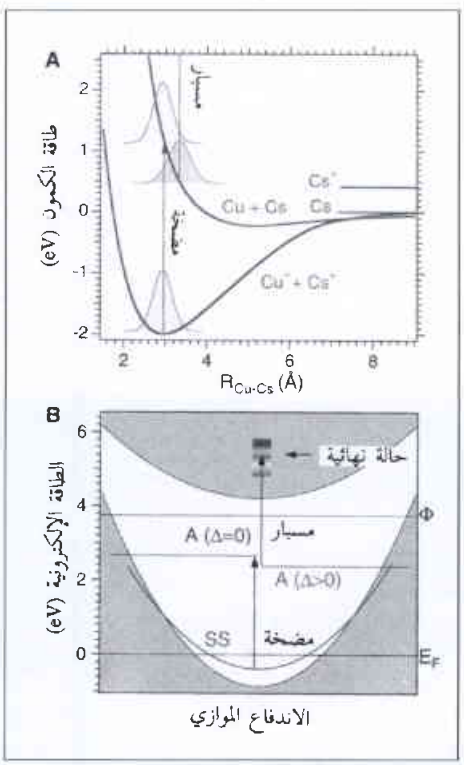
ملخص

دُرست دينامية حركة ذرّة سيزيوم على سطح النحاس (111) بعد إثارتها إلكترونياً بالضوء بزمن فصل من رتبة الفمتوثانية (10^{-15} ثانية). عُزيت التغيرات غير العادية في البنية الإلكترونية للسطح التي حصلت خلال أقل من 160 فمتوثانية بعد الإثارة، ولوحظت بمطيافية الإصدار الضوئي لفوتونين قابلين للفصل زمنياً، إلى الحركة الذرّية في عملية كسر الرابطة نحاس–سيزيوم. يُقدم وصف تغير طاقة الحالة المضادة للربط مع النموذج التقليدي البسيط معلومة عن القوى الميكانيكية المطبقة على ذرات السيزيوم التي نتجت من الإثارة الضوئية.تتمدد الرابطة نحاس–سيزيوم خلال 160 فمتوثانية بمقدار 0.35 أنغستروم عن قيمة توازنها.

الكلمات المفتاحية: إثارة، فمتوثانية، الحالة الأساسية، إصدار ضوئي، رصد، مضاد للربط، ممتز، حزمة الموجة.

يُشكّل رصد الديناميات الذرّية والجزيئية على السطوح منذ زمن بعيد هدفاً في علم السطوح [1-3]. تُقدم القياسات التقليدية للطاقة والاندفاع الموضّع في نواتج الطور الغازي فقط معلومة غير مباشرة عن عمليات السطوح [4,5]. غير أن، المطيافيات القابلة للفصل زمنياً، التي تستخدم نبضات ليزرية مدتها فمتوثانية، سمحت أخيراً برصد ديناميات السطوح في الزمن الحقيقي [6]. فمثلاً رسمت التجارب الرائعة للإصدار الضوئي القابل للفصل زمنياً، التي أُجريت على حالات كمون صوري، حركة إلكترون سطحي مترابط وأسر إلكتروني وتوضع بالممتزات [7,8]. ومهما يكن، يحصل أيضاً اقتران محرّض قوي الإثارة بين الإلكترونات والنوى على سلّم الفمتوثانية الزمني، ليظهر أنه لم يكن هنالك حتى الآن رصد مكافىء للديناميات النووية على السطوح. إن الاكتشاف الحديث للحالة الإلكترونية الطويلة العمر غير العادية للسيزيوم على النحاس (111) جعل من الممكن تسجيل الحركة النووية حين الإثارة الإلكترونية [9]. استخدمت هنا مطيافية الإصدار الضوئي القابل للفصل زمنياً لأخذ شريط سينمائي (13.4 فمتوثانية لكل صورة) للتغير في البنية الإلكترونية السطحية Cs/Cu أثناء عملية كسر رابطة Cs - Cu. يكشف قلب (عكس) هذه الاستجابة الإلكترونية الحركة التفككية القابلة للفصل زمنياً لذرة على سطح.

نقطة البداية المنطقية لدراسة ديناميات الانتزاز الضوئي هي سطوح الطاقة الكامنة (PESs) لـ Cs على Cu (الشكل 1A). وبالرغم من الأهمية الأساسية للامتزاز الكيميائي لذرّة القلوي في الإصدار الحفزي والكهرحراري، فإن مظاهر مختارة لسطوح الطاقة الكامنة PESs للحالات الأساسية والمثارة هي فقط المعروفة على طول الإحداثي النووي البيني (R_{Cu-Cs}) [10,11]. يمكن فهم السلوك الإلكتروني لحالتي الوضع الأخفض من الأفكار البسيطة للمدار الذرّي. فقرب المعدن، تتحد المدارات الإلكترونية المشغولة الأعلى والمدارات الإلكترونية غير المشغولة الأخفض لذرات السيزيوم القابلة للاستقطاب بشدة لتشكل أزواجاً رابطة من



الشكل 1– (A) رُسمت مخططات PESs باتباع طريقة في [9]. أخذت طاقة امتزاز Cs^+ (1.9 إلكترون فولط) والتوزان $R_{Cu/Cs}$ (2.97 أنغستروم) للحالة الأساسية (اللون الأحمر) من الانتزاز الحراري [9] والنظرية [13]. رُسمت الحالة المثارة (اللون الأزرق) وكمون فاندرفالس من أجل ذرّات السيزيوم وحدّ التدافع الذي يعطي طاقة الإثارة الصحيحة [5]. بُيّنت الطاقات المقاربة لـ Cs^+ ولنواتج Cs بالخطوط الأفقية الحمراء والزرقاء بالترتيب [9]. تحدّد نبضة المضخة حزمة الموجة للحالة الأساسية (الممثلة بالتوزيع الغوسي الأزرق اللون) فوق الحالة الأساسية، داعية قوى التدافع للعمل. تُكشف الموجة المنطلقة (التوزيع الأخضر اللون) بواسطة الإصدار الضوئي المحرّض نبضياً المتأخر السير من حالات المدار $6s + 6p_z$ المضاد للربط. (B) تبين بنية عصابة الـ Cu(111) فرجة العصابة (منطقة غير مظللة) ومخطط الإثارة 2PP. ينقل تدرج لون الحالة النهائية الطاقات المختلفة لرصد ديناميات A. تتناقص طاقة A تقريباً بشكل تربيعي مع التأخر Δ.

★ نشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol. 288, 26 May 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

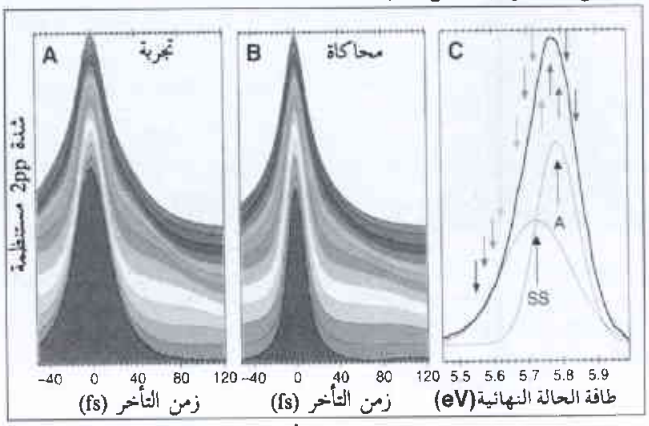
6s-6p$_z$ ومضادةً للربط 6s + 6p$_z$ تكون فيها الكثافة الإلكترونية متمركزة على السطح أو على جانب الخلاء، بالترتيب، لذرّة السيزيوم [12,13]. يُحرّض الاقتران الضوئي لسطوح الطاقة الكامنة للحالات الأساسية المثارة إعادة توزيع مهمة للشحنة حول ذرة القلوي مما يضعف بشكل كبير الرابطة Cu-Cs [14]. ولما كانت الإثارة الضوئية أسرع بكثير من الحركة النووية فإنها تبرز (تسقط) توزيع الاحتمال لذرّة السيزيوم في الحالة الأساسية (حزمة أمواج) على حائط التنافر للحالة المثارة. تتوافق حركة حزمة الأمواج الناشئة مع سيناريو مينزل - غومر - ريدهيد Menzel - Gomer - Redhead من أجل الانتزاز الضوئي [1,2].

يمكن رصد تطور حزمة الأمواج لأن المدار المضاد للربط 6s + 6p$_z$ يشكل تجاوباً حاداً وهذا التجاوب يتناقص في الطاقة، وفق حساب النموذج، بازدياد $R_{Cu\ .\ Cs}$ [13]. سُجّل هذا التغير الإلكتروني في الاستجابة مع الحركة النووية بواسطة الإصدار الضوئي لفوتونين 2PP قابلين للفصل زمنياً [6,9]. تقيس طريقة مسبار الضخ هذا الإصدار الضوئي لفوتونين 2PP (two- photon photoemission) المثار بواسطة زوج من النبضات الليزرية المتماثلة مع تأخر متبادل محدد تماماً Δ. سُجل تيار الإلكترون الضوئي القابل للفصل طاقياً، والذي يحمل المعلومة حول الحالتين الإلكترونيتين غير المشغولتين، من أجل الإصدار العادي [15].

إن للبنية العصابية للنحاس خواص حاسمة من أجل رصد دينامية ذرّة السيزيوم. تمنع فرجة العصابة بين 0.85 - و 4.1 eV (بالنسبة إلى طاقة فرمي E_F) انتشار الإلكترون خلال المعدن عمودياً على السطح [الاتجاه (111)]، وتدعم حالة السطح المشغول ذاتياً (SS) عند 0.39 eV -[6] وحالة Cs المضادة للربط غير المشغولة (A) عند حوالي 3.1 eV (في حدود تغطية Cs الصفرية). تقيّد كلتا الحالتين السطحيتين قنوات الاسترخاء الإلكترونية لأن فرجة العصابة تحصر توابعها الموجية على السطح البيني معدن - خلاء [9,13]. تتولف طاقة الإثارة A ← SS على التجاوب مع الضوء 3.08 eV بتغيير التغطية Cs التي تؤثر بصورة رئيسة على طاقة A(E_A) [16].

تقدم سلسلة مسوحات ترابط نبضتين (two-pulse 2PC correlation) (الشكل 2A) معلومة عن دينامية الحالة المضادة للربط. أُنجزت قياسات مسبار الضخ هذه بمسح Δ من أجل 240 ± فمتوثانية أثناء مراقبة الإشارة 2PP من أجل طاقات مختارة للإلكترون الضوئي. تتألف 2PCs، من أجل الإثارة A ← SS القريبة من التجاوب من اضمحلال للاستقطاب المترابط السريع ≥15 فمتوثانية [9,17]، وبصورة أبطأ من اضمحلال غير أُسّي، تابع بقوة للطاقة، متوافق مع ديناميات إسكان الحالة المضادة للربط. يجب أن يتبع الإخماد الإلكتروني البسيط لـ Cs قانون اضمحلال أُسّي. ولهذا يجب أن تحوي الديناميات غير الأُسيّة المراقبة أصلاً ذاتياً مختلفاً، كتغير في البنية الإلكترونية للسطح نتيجة حركة تفكك ذرّات السيزيوم.

ولاختبار هذه النظرية، أُجريت محاكاة للمسوحات 2PC بشكلية معادلة بلوش الضوئية (OBE)، التي تصف الاقتران الضوئي للحالات الإلكترونية المضاعفة [6,17]. يتألف نموذج إثارة 2PP (في الشكل 1B) من SS و A وحالة نهائية جرى اختيارها من قبل المحلّل. أُدخلت أزمان اضمحلال الاستقطاب والإسكان لـ A في المحاكاة إلى 15 و50 فمتوثانية بالترتيب [9]. وفوق ذلك، خفضت الطاقة $E_A(\Delta)$ بـ 0.12 إلكترون فولط لمدة تزيد عن 100 فمتوثانية لتفسير حركة التفكك. لهذا التغيير تبعية تربيعية إذا أمكن تقريب كل من $E_A(R_{Cu\text{-}Cs})$ والتفكك PES بتوابع خطّية. أعطت المحاكاة OBE نسخة جديدة من التجربة بشكل مدهش (الشكل 2B).



الشكل 2– (A) سلسلة من مسوحات 2PC أُخذت من أجل طاقات رصد مختلفة لإثارات قريبة من التجاوب A ← SS. يدل سهم اللون الموافق في طيف 2PP (اللوحة C) على الطاقة من أجل كل قياس 2PC. (B) محاكاة لـ 2PCs بواسطة OBE مع المخطط البياني للإثارة في الشكل 1B. الفرق الرئيسي بين التجربة (A) والنظرية (B) هي عروض حركية الاضمحلال السريع الناتجة من إغفال حالات اتصال الكتلة من النموذج الذي يجعل إشارة 2PP مهيمنة دون التجاوب A ← SS. وبالإضافة إلى ذلك، فإن النقص الممكن في المقطع الفعّال للتأين والتغير في عمر الحياة لـ A بالنسبة للزيادة في $R_{Cu\text{-}Cs}$ يمكن أن يؤثر على مسوحات 2PC. (C) طيوف 2PP من أجل إثارة قريبة من التجاوب A ← SS.

تم الحصول على إثبات بياني آخر لديناميات حزمة الموجة بواسطة أطياف الفرق 2PP (الشكل 3) التي تُنتج فيها المضخة حزمة أمواج ويختبر المسبار تطورها. أُنشئت أطياف الفرق بتسجيل أطياف 2PP مع التأخرات المحددة تماماً بين نبضات المسبار والمضخة ثُم طُرحت خلفية المرجع من أجل التأخير الطويل (240 فمتوثانية) لحذف مركبة 2PP المثارة بكل نبضة منفصلة. وبالتوافق مع الحركة المفرّقة لذرّات Cs، فإن الكثافة الإلكترونية المتطابقة مع A تتغير في عرضها وتتناقص في طاقتها مع الزمن.

يقدم الخط البياني بين $E_A(\Delta)$ والتحول في $R_{Cu\text{-}Cs}(\Delta)$ في الشكل 4 معلومة مباشرة عن القوى الميكانيكية الممارسة على ذرة السيزيوم، وبالتالي على سطح الطاقة الكامنة المثارة في جوار توازن الحالة الأساسية لـ $R_{Cu\text{-}Cs}$. يمكن استنتاج حركة حزمة الموجة من الشكل 3 بقلب (عكس) الطاقة المدارية التابعة للزمن إلى الموضع التابع للزمن $R_{Cu\text{-}Cs}(\Delta)$ عبر تبعية الطاقة المدارية المحسوبة لـ 6s + 6p$_z$ على $R_{Cu\text{-}Cs}$ [13]. تعطي ملاءمة $R_{Cu\text{-}Cs}(\Delta)$ مع متعدد الحدود من المرتبة الرابعة تابعاً مستمراً R(Δ) الذي يُفاضَل للحصول على تسارع ذرات السيزيوم $a = \partial^2 R(\Delta)/\partial \Delta^2$.

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

نكامل بعدئذ القوى الفاعلة F=ma على ذرّات السيزيوم U=-∫FdR لاشتقاق PES التجريبية (الشكل 4C). يوضح هذا النموذج التقليدي الاضمحلال غير الأُسّي الشاذ للحالة المضادة للربط بدلالة امتطاط الرابطة Cu-Cs بحوالي 0.35 أنغستروم خلال 160 فمتوثانية من الإثارة [18].

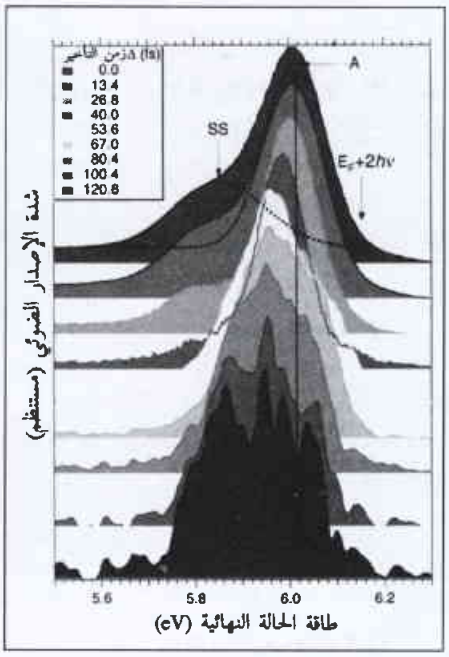
ورغم أن استطالة الرابطة Cu-Cs جديرة بالاعتبار، فإن الحصيلة الأكثر احتمالاً للإثارة الضوئية هي عودة الاسترخاء الإلكتروني إلى الحالة الأساسية. يمكن تقدير مردود الانتزاز من الازدياد في تابع العمل Φ نتيجة انخفاض التحريض الضوئي لتغطية Cs [19]، الذي يعطي حداً أعلى من المقطع الفعّال للانتزاز الضوئي $\sigma_{Cs/Cu}$ يبلغ 2.4×10^{-23} cm^2. وبالمقابل، يكون المقطع الفعّال من أجل انتزاز K من الغرافيت $\sigma_{K/C}$ مساوياً إلى 2×10^{-20} cm^2 [5].

من المحتمل أن يكون لمنظومتي الامتزاز الكيميائي هاتين احتمالات إثارة وعمر حياة إثارة متشابهان [5]. ولذلك يجب أن ينشأ مثل هذا الاختلاف الكبير في المقاطع الفعّالة من الاختلاف في كل من طبولوجيات PES والكتل النووية. تتوافق هذه النتيجة مع PES المستخرجة تجريبياً والتي هي أقل تنافرية بكثير عند نقطة الإثارة Cs/Cu (111) من الـ K/C. والأكثر من ذلك، لايأخذ النموذج الأحادي البعد الحالي بعين الاعتبار الحركة المرتدة لذرّات الركازة Cu، التي ستؤدي إلى انتقال مهم للطاقة إلى فونونات الكتلة. تقتضي هذه الاختلافات أن الإثارة الضوئية تمنح سرعة أقل لـ Cs من K مما يجعل حظها في الهروب أقل بكثير من أجل عمر حياة مشابه.

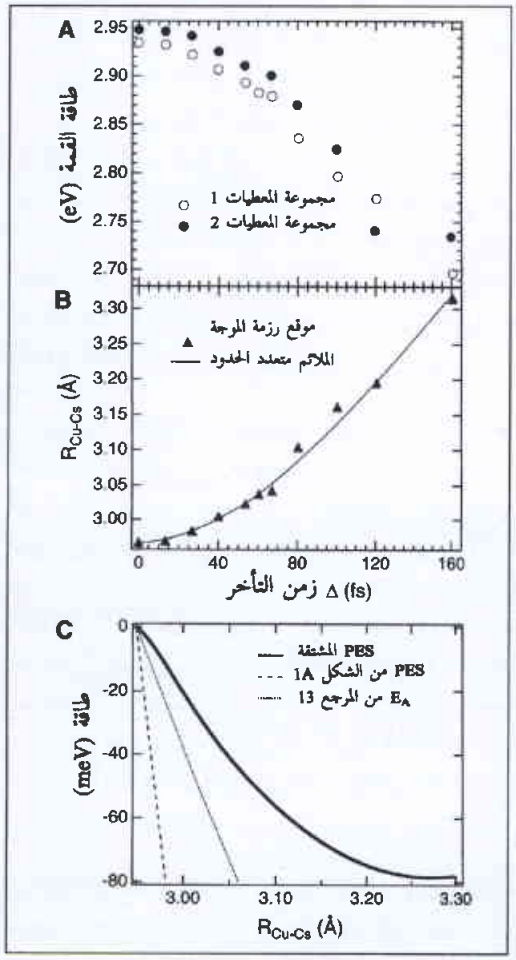
هنالك إمكانية توسيع هذه النتائج وذلك بتطبيق الانزياح المحرَّض ضوئياً لذرّات القلوي في المحوّلة الذرّية الفائقة السرعة. عرض إيغلر Eigler محوّلة تقوم على أساس الانتقال العكوس لذرّات الكزينون بين سطح النيكل (111) ورأس المجهر النفقي الماسح (STM) [20]. الآلية المعقولة للانتقال هي التسخين الاهتزازي خلال دورات من الإثارة والاسترخاء تتضمن تبعثراً إلكترونياً خلال مدار الكزينون 6s غير المشغول [21]. على أية حال، وبسبب سرعة الإثارة المحدودة واحتمال التبعثر اللامرن، فإن محوّلة إيغلر بطيئة ذاتياً (من رتبة النانوثانية). يمكن لإثارة ليزرية طولها فمتوثانية أن تعمل على تشغيل انتقال ذرة قلوي في وصلة سطح STM. إن قوة الامتزاز الكيميائي للسيزيوم وتضخيم الحالة المثارة ملائمان لتحريض انتقال في مرحلة إثارة ضوئية أحادية. ويمكن لمثل هذه النبيطة، في زمن انتقال أصغر من 200 فمتوثانية أن تكون أسرع بعدة مراتب من القدر وأن تكون أكثر كفاءة من تحويلة إيغلر.

لقد جرى إثبات إمكانية حلّ الحركة النووية للذرّات والجزيئات على السطوح بمقاييس من رتبة الفمتوثانية والأنغستروم من خلال مطيافية الإصدار الضوئي القابل للفصل زمنياً. تقترح الدراسات الحديثة لممتزات الذرّات غير القلوية وركازات المعادن النبيلة أنَّ Cs/Cu (111) ليست فريدة [16].

ستقود الدراسات المنهجية للمنظومات الأخرى إلى فهم كامل أكثر للمبادىء الداخلة في الاسترخاء الإلكتروني والانتزاز والمناولة الذرّية لسطوح المعادن.



الشكل 3– تعطي أطياف فرق 2PP معلومة عن البنية الإلكترونية للسطح الديناميّ توافق الإثارة امتصاص فوتون واحد من كل من نبضة المضخة والمسبار، مع تأخر Δ التي تبدأ بعدد صحيح من دورات ضوئية. تدل الخطوط المتقطعة والخط المتصل العمودي على نقص اختلاج القمة الغوصية لـ SS و A وطاقة A عندما Δ=0 fs بالترتيب. يمكن أن تعود تأثيرات التداخل في خلق وانتشار الحزمة الموجية إلى التغيرات المعقدة في أشكال الخطوط. بدأت $E_A(\Delta)$، من أجل Δ أكبر من 50 فمتوثانية، إلى قمة شكل الخط الغوصي الملائم لأخفض حافة طاقة من حالة الطيف المضاد للربط.



الشكل 4– $E_A(\Delta)$ (A) من تجربتين مستقلتين من أجل $R_{Cu-Cs}(\Delta)$. (B) موقع حزمة الموجة $\Theta_{Cs} \sim 0.09$ ML والملائم متعدد الحدود العائد إليها. (C) تمثل الخطوط المتقطعة والمتصلة بالترتيب حالة PES المتنبأ بها (الشكل 1A) والحالة المثارة المشتقة PES قرب هندسة توازن الحالة الأساسية ويمثل الخط المنقط اعتماد طاقة الحالة المضادة للربط المحسوبة على $R_{Cu/Cs}$ [15].

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

REFERENCES المراجع

[1] H.-L. Dai and W. Ho, Eds., Laser Spectroscopy and Photochemistry on Metal Surfaces, vol.5 (World Scientific, Singapore, 1995).

[2] D. Menzel and R. Gomer, J. Chem. Phys. 41, 3311 (1964).

[3] L. Bartels et al., Phys. Rev. Lett. 80, 2004 (1998).

[4] F. M. Zimmermann and W. Ho, Surf. Sci. Rep. 22, 127 (1995).

[5] B. Hellsing, D. V. Chakarov, L. Österlund, V. P. Zhadanov, B. Kasemo, J. Chem. Phys. 106, 982 (1996).

[6] H. Petek and S. Ogawa, Prog. Surf. Sci. 56, 239 (1997).

[7] U. Höfer et al., Science 277, 1480 (1997).

[8] N.-H. Ge et al., Science 279, 202 (1998).

[9] S. Ogawa, H. Nagano, H. Petek, Phys. Rev. Lett. 82, 1931 (1999).

[10] R. D. Diehl and R. McGath, J. Phys. Condens. Matter 9, 951 (1997).

[11] A. M. Bradshaw, H. P. Bonzel, G. Ertl, Physics and Chemistry of Alkali Metal Adsorption (Elsevier, Amsterdam, 1989).

[12] J. P. Muscat and D. M. Newns, Surf. Sci. 84, 262 (1979).

[13] A. G. Borisov, A. K. Kazansky, J. P. Gauyacq, Surf. Sci. 430, 165 (1999).

[14] H. Ishida and A. Liebsch, Phys. Rev. B 45, 6171 (1992).

[15] The excitation source is a frequency-double (3.08 eV) Ti:sapphire laser producing an 80-MHz trian of 16-fs pulses with <0.5 nJ energy. Delay between the pulse- pair is set within 5×10^{-17} s (1/25 of a cycle) of 400-nm light) by a Mach-Zehnder interferometer. A single-crystal Cu(111) surface is covered under ultrahigh vacuum by 0.08 to 0.10 monolayer (ML) of Cs atoms (coverage ΘCs of 1.8×10^{15} atoms/cm^2 corresponds to 1 ML), and cooled to 33 K.

[16] H. Petek, M. J. Weida, H. Nagano, S. Ogawa, Surf. Sci 451, 22 (2000).

[17] S. Ogawa, H. Nagano, H. Petek, Surf. Sci. 427/428, 34 (1999).

[18] Alternative explanations involiving inhomogeneous effect leading to site- or energy-dependent antibonding state lifetimes are excluded for the following reasons: (i) A is homogeneously broadened, as reported in (11); (ii) although an inhomogeneous sample can result in multiexponential decay, it is difficult to construct a mechanism that could explain the observed nonexponential decay; (iii) the lifetime of A is independent of energy between 2.4 and 3.2 eV at 300 K (M. Bower, S. Pawlik, M. Aeschlimann, Phys. Rev. B 60, 5016 (1999); and (iv) a quadratic dependence of $E_A(\Delta)$ would be highly coincidental.

[19] S. Ogawa, M. J. Weida, H. Nagano, H. Petek, unpublished data.

[20] D. M. Eigler, C. P. Lutz, W. E. Rudge, Nature 352, 600 (1991).

[21] S. Gao, M. Persson, B. I. Lundqvist, Solid State Commun. 84, 271 (1992).

[22] We acknowledge N. Moriya, S. Matsunami, and S. Saito for technical support and NEDO for partial funding for this project through the International Joint Research Grant. M.J.W. thanks NSF and the Center for Global Partnership for support (NSF grant INT-9819100).■

☆ ★ ☆

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

التصنيع الآلي المكروي الكهركيميائي لقطع الشغل المعدنية★

ر. شستر، ف. كيرتشنر، ح. ايرتل
معهد فرتس - هوبر - جمعية ماكس بلانك - برلين - ألمانيا
ف. ألونغي
فيزياء السوائل والكيمياء الكهربائية - CNRS - باريس - فرنسا

ملخص

يسمح تطبيق نبضات فولطية فائقة القصر بين إلكترود الأداة وقطعة شغل في وسط كهركيميائي بتصنيع آلي ثلاثي الأبعاد لقطع من مواد ناقلة، بدقة قياس دون المكرومتر. يرتكز مبدأ هذا العمل على ثابت الزمن المحدود للشحن المضاعف الطبقة الذي يتغير خطياً مع الفصل الموضعي بين الإلكترودات. فأثناء النبضات النانوثانية تكون التفاعلات الكهركيميائية حبيسة مناطق الإلكترود المتجاورة جداً. استخدمت هذه التقنية من أجل تنميش النحاس والسليكون، إضافة إلى الترسيب الموضعي للنحاس.

الكلمات المفتاحية: تصنيع مكروي كهركيميائي، أداة، تنميش، نبضة.

يُعدّ التشغيل الآلي للمواد على مقاييس مكرومترية ودون مكرومترية تقانة مستقبلية رئيسة. وإضافة إلى عمليات الطباعة الحجرية المعروفة تماماً والمستخدمة في تصنيع النبائط الإلكترونية فإن تقانات التصنيع (التشغيل الآلي) المكروي تلعب دوراً متزايداً في نمنمة "الآلات" الكاملة [2,1]، بدءاً من التطبيقات الحيوية والطبية [4,3]، مروراً بالمحسّات والمحفّزات الكهرميكانيكية [5] حتى المفاعلات المكروية الكيميائية [7,6]. لقد جُمِعت عمليات الطباعة الحجرية مع الطرائق الكهركيميائية بنجاح في عملية LIGA** [8] التي توضّع فيها كهرليتياً أجزاء ميكانيكية صغيرة داخل قناع من البوليمير مبني بالطباعة الحجرية. ورغم أن طرائق الطباعة الحجرية تسمح بالزرع الناجح لمعظم البنى الثنائية البعد (2D) حتى سلّم النانومتر الأخفض، فإن تصنيع بنىً ذات نسب باعية عالية أو حتى طبوغرافيا ثلاثية الأبعاد ما زال حتى الآن يشكل تحدياً جرى حلّه جزئياً: لقد برهن تثليم حزمة أيونية أو توضّعها أنه قادر على معالجة آلية لكثير من المواد حتى مدى النانومتر، ولكنه يقاسي من السرعة المنخفضة نسبياً بسبب المعالجة التسلسلية. وبتنميش ثلاثي الأبعاد 3D لا متناح لسطوح السليسيوم، أمكن تعيين الشكل الهندسي بواسطة البنية البلوريّة للركازة. ومازال توسيع تقنيات الاستئصال الليزري أو الطرائق الميكانيكية، كالحفر أو التثليم حتى مدى النانومتر، على حافة تقانة العصر الحاضر [1].

سنقدم هنا طريقة بحيث يمكن لتفاعلات كهركيميائية على المواد الناقلة أن تتوضع بدقة قياس دون المكرومترية. يُقولب إلكترود الأداة بشكل مناسب على قطعة الشغل إما بواسطة تنميش موضعي أو ترسيب كهرليتي موضعي للمادة. يمكّن ضبطٌ ثلاثي الأبعاد لموقع إلكترود الأداة من إحداث تشغيل مكروي ثلاثي الأبعاد بصورة مباشرة بفصل دقيق جداً، ويمكن إنجاز ذلك بتطبيق نبضات فولطية فائقة القصر لمدة نانو ثانية فقط. في هذه الحالة، يكون ثابت الزمن من أجل شحن الطبقات المضاعفة double layers (DLs) على الإلكترودات (أي حاصل جداء مقاومة الكهرليت بسعة الـ DL) صغيراً؛ بحيث يكفي فقط من أجل شحن ذي قيمة على المسافات الفاصلة بين الإلكترودات في المجال من النانوي حتى المكرومتري. ولما كانت سرعات التفاعلات الكهركيميائية تتبع أسّياً هبوط الكمون في DL، فإن التفاعلات تكون محصورة بشدة بمناطق الإلكترود المستقطب هذه القريبة جداً. تختلف هذه الطريقة مع طرائق التشكل الكهربائي التقليدية التي يسبب تطبيق فولطية DC عليها شحناً منتظماً للطبقة المضاعفة DL وتحدّد سرعة التفاعل بشكل رئيسي بكثافة التيار في الإلكتروليت، مما يمكّن فقط من تحقيق فصل مكاني محدود من رتبة حوالي 0.1 mm. يختلف أسلوبنا أيضاً عن الطرائق الحديثة الجامعة لتقنيات السبر الماسح والطرائق الكهركيميائية من أجل بناء السطح [9]. في تلك الطرائق ينشأ الفصل المكاني من الانتشار المحدود لأيونات الإلكتروليت [15,10] أو من التعديلات الميكانيكية بالرأس المستدق المعدّل كهركيميائياً [16] أو بالحصر الهندسي لحجم الإلكتروليت [18,17].

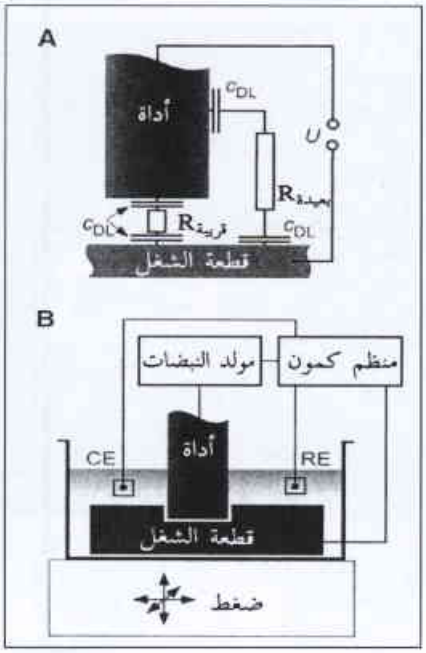
يمكن توضيح مفهوم طريقتنا بدارة مكافئة مبسّطة مؤلفة من إلكترودين مغموسين في إلكتروليت (الشكل 1A). تكوّن الطبقة المضاعفة DL الكهركيميائية، على كل من الإلكترودين، سعة تُشحن عند تطبيق درجة الفولطية بين الإلكترودين. يجب على تيار الشحن أن ينساب خلال الإلكتروليت الذي تتناسب مقاومته مع طول مسار التيار، أي المسافة بين الإلكترودين، وهذا يقود إلى ثوابت زمن متغيرة موضعياً $\tau = RC = \rho d c_{DL}$ من أجل شحن الـ DL، وذلك حسب الفاصل الموضعي d بين الإلكترودين والمقاومة النوعية للإلكتروليت ρ وسعة DL النوعية c_{DL}. وعند تطبيق نبضة فولطية، ستشحن الإلكترودات بصورة محسوسة فقط حيث τ الموضعي لا يزيد بشكل جوهري عن مدة النبضة.

★ نشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol.289, 7 July 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ LIGA: كلمة مركبة ألمانية تعبر عن ثلاث مراحل لعملية رئيسة وهي: الطباعة الحجرية (LI) والتشكيل الكهربائي (G) والقولبة (A).

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

ومن هنا، فعند تطبيق نبضات قصيرة بكفاية، سيصل استقطاب DL قيماً محسوسةً فقط عند رأس إلكترود الأداة تحديداً، حيث يكون الإلكترودان متجاورين تماماً ومقاومة الإلكتروليت (R) على طول مسار التيار منخفضة ($R_{قرينة}$). بالمقابل، فإن الاستقطاب في المناطق الأبعد ($R_{بعيدة}$) يصبح ضعيفاً. ولذلك فإن العمليات الكهركيميائية التي سرعتها تعتمد أسياً على هبوط الكمون في DL، ستكون محصورة بشكل واضح في مناطق الإلكترود المجاورة تماماً للأداة. ففي قيم نموذجية، حيث (0.1 M $HClO_4$) $\rho = 30$ ohm.cm و$c_{DL} \approx 10\mu F/cm^2$ من أجل الإلكترودين المعدنيين [20,19] وأزمنة نبضة $T = 30$ ns، فإن المسافة العظمى d، حيث يصل شحن DL إلى قيمة محسوسة، تبلغ حوالي مكرومتر واحد. ولذلك فإن النبضات التي تدوم 30 ns تحقق فصل تصنيع آلي يبلغ حوالي مكرومتر واحد.

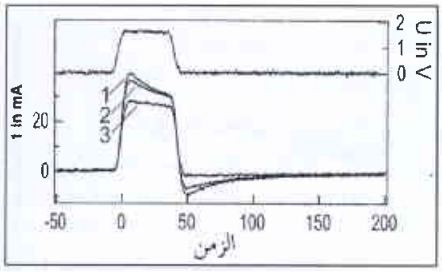


الشكل 1– (A) مخطط خلية كهركيميائية. عند تطبيق نبضة فولطية تشحن سعة DL وهي c_{DL} عن طريق مقاومة الإلكتروليت. ولما كانت مقاومة الإلكتروليت عبر مسار التيار تعتمد على فاصل الإلكترود ($R_{قرينة}$ و$R_{بعيدة}$)، فإن ثوابت الزمن من أجل شحن DL تصبح مختلفة مكانياً. (B) التركيب التجريبي من أجل التشغيل الآلي المكروي الكهركيميائي مع نبضات فولطية فائقة القصر.

أُنجز التحقيق التجريبي لهذا المفهوم عندما غُمست ركازة من النحاس Cu في خلية كهركيميائية محمولة على قاعدة تسير وفق ثلاثة أبعاد x-y-z تحت تأثير الضغط (الشكل 1B). وللتحكم في الموقع الصحيح لقطعة الشغل بالنسبة إلى إلكترود الأداة، زُوِّدت قاعدة الضغط بمقاييس انفعال (strain). كانت الأداة عبارة عن سلك من البلاتين (قطره من 10 µm إلى 50 µm) سُطحت مقدمته بصقلها ميكانيكياً بعد طمر السلك في راتنج قابل للانحلال ثانية. يجري التحكم بكموني الإلكترودين من خلال منظم كموني ثنائي منخفض التواتر (ثابت الزمن ≈1ms) مصنوع من سلك من البلاتين. كان الإلكتروليت عبارة عن مزيج مائي من $HClO_4$ و $CuSO_4$. أُبقي كمون العينة ثابتاً على كمون توازن Cu/ Cu^{2+} المحدد تماماً. وهذا ما ضمن أن قطعة الشغل لم تتآكل إلّا قليلاً أثناء التجربة. عُدّل وسطي كمون إلكترود الأداة إلى 200 mV مقابل Cu/Cu^{2+}. ومن أجل التنميش الموضعي، طُبق على إلكترود الأداة تتابع نبضات 50-ns, 1.6-V مع نسبة نبضة إلى فترة توقف تبلغ 1/10. لم يتأثر منظم الكمون الثنائي بالنبضات القصيرة ولهذا فإنه يضبط فقط وسطي قطعة الشغل وكمونات الأداة. وعلاوة على ذلك، فإن التيار الشاحن، خلال النبضة القصيرة، انساب بصورة رئيسة بين الأداة وقطعة الشغل بسبب المسافة القصيرة جداً بينهما (لا تتجاوز المكرومتر) مقارنة مع المسافة الكبيرة بين إلكترود العدّاد والأداة أو قطعة الشغل التي تبلغ عدة ملّيمترات.

جرى التحكم بالمسافة بين الأداة وقطعة الشغل بتسجيل انسياب التيار العابر من خلال الخلية. فعند المسافات الكبيرة (أي ≥20 مكرومتر)، تبع التيار نبضة الفولطية (الشكل 2)، مشيراً بذلك إلى عدم وجود شحن ذي قيمة لـ DL الإلكترودين. وعند المسافات فقط التي هي ≥ مكرومتر واحد بين الوجه المسطح للسلك وسطح النحاس، أشارت قمة التيار إلى شحن موضعي لسعة DL. لهذا فإن علوّ قمة التيار يتحكم مباشرة بفاصل الأداة – قطعة الشّغل، التي يمكن أن تستخدم في عروة التغذية الراجعة من أجل تعديل آلي لعرض الفرجة بين الإلكترودين. وكانت الفترة ما بين النبضتين كافية لتأمين انفراغ كامل لـ DL. علاوة على ذلك، فإن تعديل كمون قطعة الشّغل لكمون التوازن Cu/Cu^{2+} يجنّب إعادة توضع النحاس المنحل. إن سرعة الانحلال، أثناء النبضة، تزيد بكثير عن سرعة إعادة التوضع أثناء الفترة بين النبضتين، التي تعين بصورة رئيسة بكثافة التيار المتبادل لمنظومة أكسدة–إرجاع Cu/Cu^{2+}[20]. يقود هذا التناظر الكبير بالنتيجة إلى انحلال النحاس.

يبين الشكل 3A صورة مجهرية الإلكترون الماسح لبنية جرى شغلها بصقل آلي وترسب كهركيميائي لطبقة النحاس من لوح دارة إلكترونية في محلول 0.01 مول من $HClO_4$ و0.1 مول من $CuSO_4$ استخدمت فيها اسطوانة من البلاتين (سلك بلاتين مصقول قطره 10 مكرومتر) كأداة. وللحصول على موشور دقيق من Cu في وسط الحفرة (المقطع 5µm 10µm والارتفاع 12µm) مثبت على قاعدة أبعادها 15µm، 15µm، 10µm، نُمشت الأداة أولاً عمودياً بعمق 12µm داخل قطعة الشّغل. واستغرق هذا العمل 200 ثانية. بعد ثقب هذه الحفرة العمودية حُرِّكت الآلة جانبياً على طول ممر مستطيل في صفيحة النحاس مثل قاطع تثليم منمنم، ثمّ نُمّش الغور المستطيل الخارجي بعمق 22µm. بلغ عرض الغور 14µm، واستغرق إتمام التشغيل الآلي ثلاثين ثانية. وأثناء تغذية الأداة عُدّلت المسافة بينها وبين قطعة الشّغل إلى حوالي 0.5µm، وذلك من خلال التحكم موضعياً بقمة الشحن للتيار العابر. إن الشكل المحدد تماماً من البنية الداخلية والجدران العمودية يبيّن بوضوح نسبة المظهر المرتفعة ودقة البنى الممكن إنجازها باستخدام هذه التقانة الجديدة. يبلغ نصف قطر التقوس عند



الشكل 2– نبضة فولطية وحيدة (U) مطبقة على الإلكترودات وعوابر التيار الناتج (I) من أجل فواصل مختلفة بين الإلكترودات 1: <1µm; 2: 1µm; 3: 20µm. تشير قمم التيار عند المسافات الصغيرة الأقل من 1 µm إلى شحن موضعي لـ DL بجوار إلكترود الأداة.

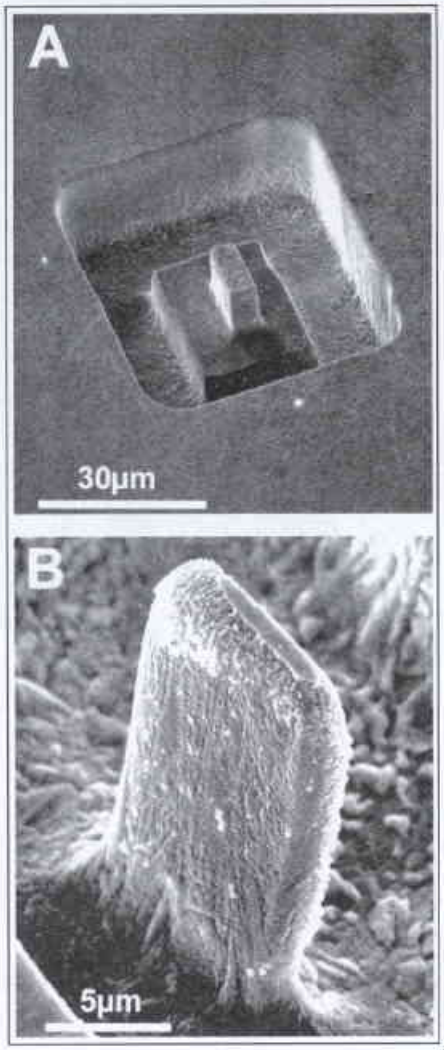
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

حواف الثقب أقل من 0.5µm. يظهر الشكل 3B صورة عالية التكبير للسان دقيق جداً من النحاس (أبعاده 2.5، 10، 15 مكرومتر يمكن صنعه بالأسلوب نفسه. ويكون توازي الجدران الجانبية بمقاييس دون المكرومتر. تبين هشاشة البنية الإزاحة السهلة والرقيقة للمادة دون إجهاد ميكانيكي أو تشوه.

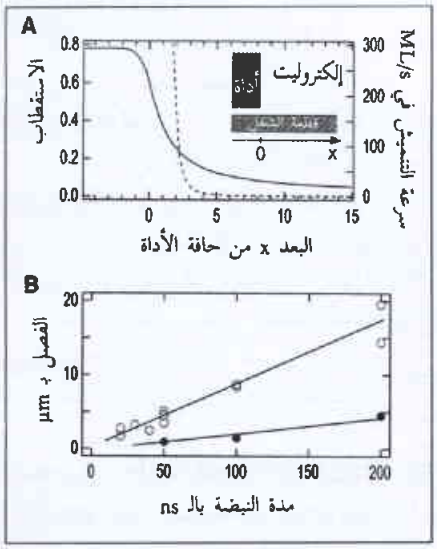
للحصول على فهم كمي أكبر لأداء التشغيل، جرت محاكاة للمتغيرات المكانية للهبوط الفولطي عبر قطعة الشّغل DL من أجل الإلكترود الأداة الأسطواني أمام السطح المستوي لقطعة الشّغل. (الشكل الداخلي من الشكل 4A). وللتبسيط، أُجريت الحسابات على المنظومة 2D مع تجاهل تقوس إلكترود الأداة. أجرى الباحثون حسابات زوال الاستقطاب لقطعة الشّغل DL معتمدين في ذلك على المسافة من حافة الأداة. يبيّن الشكل 4A (حيث سعة DL تساوي $10\mu F/cm^2$، ومقاومة الإلكتروليت النوعية = 70 أوم.سم [19]) الاستقطاب الحاصل لـ DL من قطعة الشّغل عند نهاية النبضة 50 ns, -1.6-V إلى إلكترود الأداة. ثبتت الفرجة بين وجه الأداة وسطح قطعة الشّغل على 0.4 مكرومتر. ورغم أن الـ DL المقابلة مباشرة للأداة استُقطبت غالباً إلى نصف الفولطية المطبقة فإن انخفاض الاستقطاب يتم بسرعة خلال الـ 2 µm الأولى خارج حافة الأداة. ولمّا كان كمون السكون للسطح يُعدّل إحصائياً بالنسبة إلى كمون التوازن لـ Cu/Cu^{2+}، فإن الاستقطاب يعود بصورة مباشرة إلى فرط الكمون η من أجل انحلال Cu.

حُسبت سرعة التنميش المقابلة (التابعة للزمن وللمسافة) من عوابر الاستقطاب، بفرض سلوك تافيل Tafel السهل من أجل تيار الانحلال $i_{diss} = i_o \exp(\alpha\eta/kT)]$ مع معامل النقل $\alpha = 0.5$ وكثافة تيار تبادل $i_o = 1mA/cm^2$ (20)]. أعطى التكامل على طول نبضة تبلغ 50 ns واستنظام للنسبة نبضة/توقف يساوي 1/10 سرعة التنميش الكلية (خط مقطّع في الشكل 4A). وبسبب تبعيتها الأسية على فرط الكمون، فإن التنميش يظهر انخفاضاً أعمق بكثير من الاستقطاب مع مسافة متزايدة من حافة الأداة. ولحفر ثقب عمقه حوالي 10 µm خلال 200 ثانية يجب أن تكون سرعة انحلال Cu حوالي 200 طبقة أحادية (MLs) بالثانية. وهذا يقابل السرعة المحددة تجريبياً في تجربة الشكل 3A مع بارامترات تجريبية يمكن مقارنتها مع تلك التي استُعملت في المحاكاة. تقع السرعة المحسوبة في الشكل 4A بعيدة جداً عن القيمة التي حُسبت على مسافات دون 2µm من حافة الأداة. تنخفض سرعة التنميش على مسافة 4µm إلى 2 MLs/s تقريباً معطية 90 nm فقط من النحاس خلال 200 ثانية. ولهذا فإن تنميش السطح يبقى مهملاً عدة مكرومترات بغض النظر عن إلكترود الأداة. بينما يكون السطح المقابل لوجهه منتشاً كثيراً. وهذا ما يتوافق مع عرض الغور الذي وجِدَ تجريبياً والبالغ 14µm (الشكل 3A)، والذي شُغِّل بأداة 10-µm مؤدياً إلى مسافة فعّالة بين الأداة وجدار الغور مقدارها 2µm.

إن دقة التشغيل الآلي الممكن إنجازها أفضل بكثير من عرض تلك الفرجة، ويمكن تعيينها بواسطة الانخفاض الشديد لسرعة التنميش (الشكل 4A). لقد أُهمل في الحساب السابق نقل كتلة الانتشار المحدود لأيونات النحاس. وخارج الفرجة الصغيرة بين الأداة وقطعة الشغل، يكون هذا الافتراض صحيحاً قطعاً بسبب انخفاض إجمالي سرعة انحلال Cu والزيادة غير المفيدة لكتلة الإلكتروليت. على أية حال، إن الانتشار المحدود، في الفرجة الصغيرة في مقدمة وجه الأداة، يخفض سرعة التنميش الفعّال إلى قيمة أخفض بكثير من تلك المتوقعة من فرط الكمون الموضعي العالي بسلوك تافيل السهل.



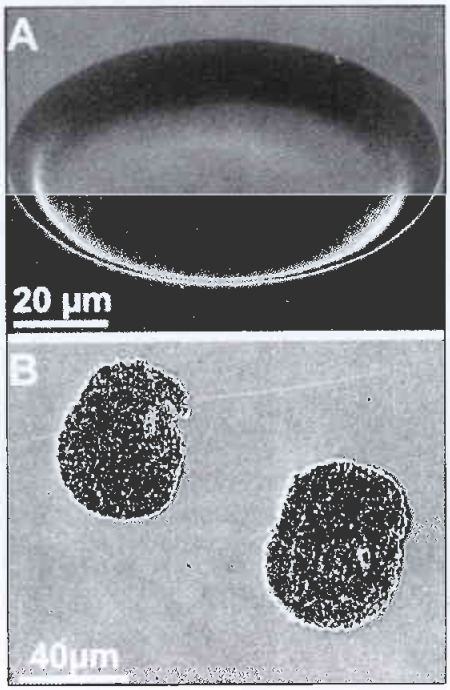
الشكل 3– (A) بنية Cu (موشور صغير 5µm × 10µm × 12µm) مشغّلة في صفيحة Cu من لوح دارة إلكترونية عند تطبيق تتابع نبضات 2MHz -1.6-V، 50 ns على إلكترود الأداة (سلك بلاتين أسطواني قطره 10µm) في 0.01 مول $HClO_4$ و 0.1 مول $CuSO_4$. تمّشت الأداة أولاً عمودياً على السطح، ثم حرّكت بعدئذٍ عبر ممر مستطيل مثل قاطع تثليم منمنم. (B) لسان Cu نُحته 2.5µm منتش كما في (A).



الشكل 4– (A) الخط المتصل: الاستقطاب المحسوب لـ DL على قطعة الشغل عند نهاية النبضة -1.6-V، 50-ns، المطبّقة على إلكترود أداة أسطوانية مقابل المسافة من حافة الأداة. الخط المتقطع: السرعة المقابلة لانحلال Cu (صفر المحور x موضّع على حافة الأداة كما هو ظاهر في الرسم الداخلي. (B) الفصل المكاني المعين تجريبياً من أجل مدد مختلفة للنبضة ومن أجل تركيزي إلكتروليتين مختلفين دارات مفتوحة، 0.09 مول $HClO_4$ و0.01 مول $CuSO_4$؛ دارات مغلقة، 0.01 مول $HClO_4$ و0.01 مول من $CuSO_4$). يعتمد الفصل خطياً على كل من مدة النبضة وتركيز الإلكتروليت.

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

إن الفصل الذي نتج في كل من المحاكاة والتجربة يتّفق تماماً مع التقريب الأولي الذي يستخدم ثابت الزمن τ لشحن DL. (تقترب قيمة الفصل d عند استخدام البارامترات التجريبية من القيمة $d \approx \tau/c_{DL}\rho \approx 1.4\ \mu m$). من خلال الترابط الخطي بين ثابت الزمن τ ومقاومة الإلكتروليت النوعية ρ والفصل المكاني d، يمكن التخمين بأن تخفيض تركيز الإلكتروليت أو تقصير مدة دوام النبضة يجب أن يزيد دقة التشغيل الآلي بصورة خطية. وللتحكم الكمي باعتماد الفصل المكاني على البارامترات التجريبية، قام الباحثون بتجارب تنميش على فلم من النحاس ثخنه 0.5 μm. رُسِّب الفلم على ركازة من الذهب في الخلية الكهركيميائية قبل التشغيل الآلي بواسطة نبضات فولطية قصيرة، واستُخدم من أجل هذه التجربة سلك من البلاتين قطره 50μm، أسطواني ومسطح كأداة. علّق هذا السلك على مسافة دون المكرومترية أمام فلم من Cu. وبعد ذلك زيد باستمرار قطر الثقب حتى توقف التنميش الجانبي فعلياً بعد حوالي 100 ثانية. وهذا يعود إلى انخفاض سرعة التنميش بشكل سريع مع ازدياد المسافة عن حافة الأداة كما يشير إلى ذلك الشكل 4A. أُعيدت هذه التجربة بتغيير فترات استمرار النبضة وتراكيز الإلكتروليت. يبيّن الخط البياني في الشكل 4A العلاقة بين الفصل المكاني التجريبي (نصف قطر الثقب إلى نصف قطر الأداة) الناتج بعد مدة تنميش مقدارها 10 دقائق مع فترات نبضة مختلفة وتركيزي إلكتروليت مختلفين بمقاومات إلكتروليت نوعية مقدارها 30 أوم.سم (0.09 مول $HClO_4$ و 0.01 مول $CuSO_4$) و 150 أوم.سم (0.01 مول $HClO_4$ و 0.01 مول $CuSO_4$) [19]. وبتوافق مع التنبؤ كما أُشير بالأدلة إلى العين، فإن الفصل المكاني من أجل كلا التركيزين يتماشى خطياً مع مدة النبضة. تختلف ميول الخطوط بعامل يبلغ مقداره خمسة تقريباً، مما يتوافق مع نسبة ناقليتي الإلكتروليتين. وهكذا يمكن تعزيز دقة التشغيل الآلي كثيراً وبسهولة زيادة عن ما هو مبين في الشكل 3، وذلك بتخفيض مدة دوام النبضة أو بتغيير تركيز الإلكتروليت. القيد الوحيد هو وجود كمية كافية من أيونات الإلكتروليت في الفرجة الصغيرة بين الإلكترودين من أجل القدرة على تعاظم استقطاب DL. يُستهلك حوالي 0.1 MLs من الأيونات عند استقطاب DL من سطح معدن نموذجي بمقدار فولط واحد (سعة DL = 10 μF/cm²). يجب أن يؤدي، وفق التقريب السابق، تطبيق نبضات 100-ps في إلكتروليت تركيزه 0.3 M إلى فصل مكاني في الحدود 10-nm.



الشكل 5 – (A) تنميش ثقب في p-Si مع أداة pt أسطوانية قطرها 50μm في 1% HF (مع نبضات 0.5-V- مدتها 200-ns إلى الأداة). (B) نقاط Cu موضّعة على ركازة من الذهب مع أداة إهليلجية من البلاتين قطرها 50μm في محلول 0.01 مول $HClO_4$ و 0.1 مول $CuSO_4$ (مع نبضات 2-V مدتها 400 ns).

يمكن من حيث المبدأ تطبيق التشغيل الآلي الكهركيميائي بنبضات فولطية فائقة القصر على جميع المواد الفعّالة كهركيميائياً، بما فيها أنصاف النواقل. وقد أُثبت ذلك بـ p-Si في 1% من حمض فلور الهدروجين HF (الشكل 5A). لقد نُمّش عمودياً على السطح سلك من البلاتين طوله 50 مكرومتراً ومسطح بتطبيق نبضات 0.5-V- فولط ولمدة 200 نانو ثانية. على أية حال، وبسبب تعقّد التفاعلات الكهركيميائية الممكنة، علينا اختيار البارامترات المناسبة لعلو النبضة والكمون الكهركيميائي للسطح. يمكن للنبضات العالية جداً أن تؤدي إلى تهميد السطح بسبب تشكل أكاسيد السليسيوم. إضافة إلى ذلك، فإن لكلٍ من نوع وتركيز العنصر المطعّم تأثيراً حاسماً على كهركيمياء وناقلية Si وسعة DL [21]. في التشغيل الآلي الحقيقي يجب الأخذ بعين الاعتبار جميع هذه البارامترات.

يقدم عكس التفاعلات الكهركيميائية إمكانات إضافية للبناء المكروي، ليس فقط للانحلال الموضعي وإنما أيضاً لإمكانية إنجاز الترسيب الموضعي للمادة (الشكل 5B). رُسِّبت سلسلة نقاط من النحاس موضعياً من 0.01 مول $HClO_4$ و 0.1 مول $CuSO_4$ من إلكتروليت على فلم من الذهب بتطبيق نبضات موجبة (2V , 400 ns) على الأداة. أُبقي الكمون الكلي لسطح الذهب عند كمون التوازن لمنظومة إرجاع-أكسدة Cu/Cu^{2+}، مما منع ترسيب النحاس بشكل كبير، وكذلك انحلال نقاط توضع النحاس. استُعمل سلك بلاتين إهليلجي طوله حوالي 50 مكرومتراً كأداة، حيث انعكس في الشكل الإهليلجي للنقاط. لتشكيل بلّورات النحاس على سطح الذهب، يجب التغلب على حاجز التنوية [22]، مما يتطلب تركيز ذرات ممتزة من النحاس على سطح الذهب أثناء النبضة. تساعد هذه الإعاقة الحركية بقوة على الترسيب الموضعي للنحاس.

إن التفاعلات الكهركيميائية المتعددة الجوانب يمكن أن تقدم إضافة إلى الفصل المكاني ونزولاً إلى حدود النانومتر، قابليات جديدة لتقانات التشغيل الآلي المكروي الحديثة. والبناء المكروي الكهركيميائي غير مقيد بالتصنيع التسلسلي. يمكن نمذجة بنى معقدة على سطح باستخدام أداة مهيأة بشكل مناسب. يقارن الفصل المكاني الممكن إنجازه نظرياً بشكل جيد مع آخر ما توصلت إليه تقانات الطباعة الحجرية مع الميزة الإضافية التامة لقدرات 3D.

المراجع

REFERENCES

[1] P.Rai-Coudhury, Ed., Handbook of Microlithography, Micromachining, ε Microfabrication (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 1997).

[2] I.Amato, Science 282, 402 (1998).

[3] M. A. Burns et al., Science 282, 484 (1998).

[4] J.T.Santini, M. J. Cima, R. Langer, Nature 397, 335 (1999).

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

[5] H. Jerman and S. Terry, in (1), vol. 2,pp. 379-434.

[6] M. U. Kopp, A. J. d. Mello, A. Manz, Science 280, 1046 (1998).

[7] K. Jensen. Nature 393, 735 (1998).

[8] C. R. Friedrich et al., in (1), vol. 2, pp. 299-378.

[9] R. M. Nyffenegger and R. M. Penner, Chem. Rev. 97, 1195 (1997).

[10] A. J. Bard, G. Denuault, C. Lee, D. Mandler, D. O. Wipf, Acc. Chem. Res. 23, 357 (1990).

[11] W. Li, J. A. Virtanen, R. M. Penner, Appl. Phys. Lett. 60, 1181 (1992).

[12] W. Li et al., J. Phys. Chem. 100, 20103 (1996).

[13] R. T. Pötzschke, C. A. Gervasi, S. Vinzelberg, G. Staikov, W. J. Lorenz, Electrochim. Acta 40, 1469 (1995).

[14] R. Schuster, V. Kirchner, X. H. Xia, A. M. Bittner, G. Ertl, Phys. Rev. Lett. 80, 5599 (1998).

[15] D.Hoffmann, W. Schindler, J. Kirschner, Phys. Rev. Lett. 73, 3279 (1998).

[16] D. M. Kolb, R. Ullmann, T. Will, Science 275, 1097 (1997).

[17] C. Lebreton and Z. Z. Wang, J. Vac. Sci. Technol. B 14, 1356 (1997).

[18] P. Avouris, T. Hertel, R. Martel, Appl. Phys. Lett. 71, 285 (1997).

[19] G. Milazzo, Electrochemistry (Elsevier, Amsterdam, 1963).

[20] J. O. M. Bockris and A. K. N. Reddy, Modern Electrochemistry (Plenum, New York, 1970), Vol. II.

[21] H. Gerischer, Electrochim. Acta 35, 1677 (1990).

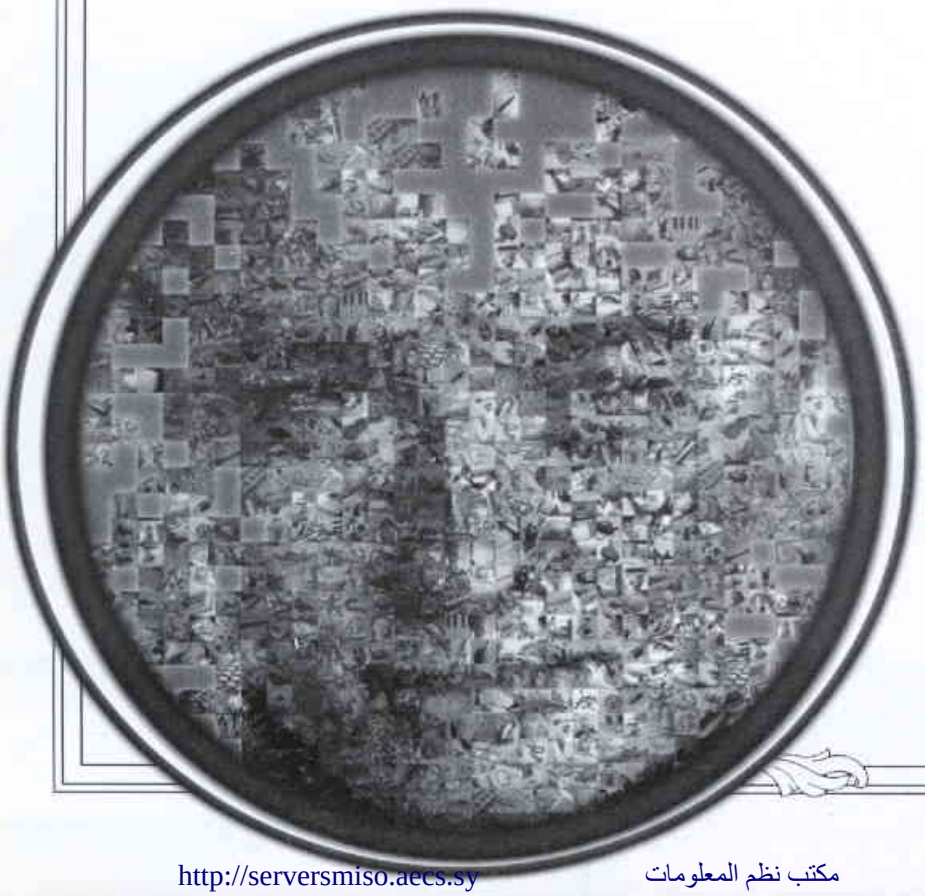
[22] M. A. Schneeweiss and D. M. Kolb, Phys. Stat. Sol. (a) 153, 51 (1999).

[23] We thank K. Grabitz, G. Heyne, J. Lehnert, and V. Platschkowski for technical support and D. Kolb for discussions.■

☆ ★ ☆

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

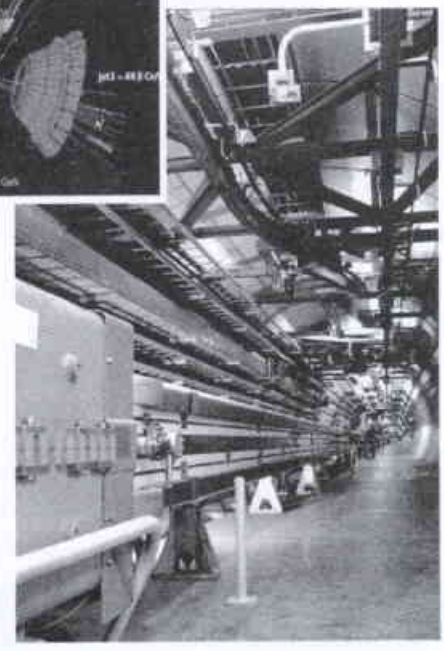
أخبار علمية



1- سيرن يُمهل متصيدي بوزونات هيغز شهراً آخر لجمع المعلومات*

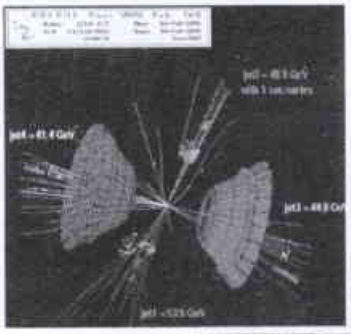
لا بد أن يكون للأشياء الجميلة من نهاية، وبالنسبة لأضخم مسرّع جسيمات في العالم فإن تلك النهاية جاءت متأخرة مع نهاية هذا الشهر. فبعد 11 عاماً من التصادم العنيف بين الإلكترونات والبوزترونات بطاقةٍ أعلى من طاقة أية آلة أخرى في العالم، قرر المسؤولون في المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات، سيرن CERN، إغلاق المصادم الإلكتروني البوزتروني الضخم LEP وبناء آلة جديدة، وهي المصادم الهدروني الضخم LHC، في نفقه البالغ طوله 27 كم. وفي عام 2005 سيبدأ المصادم الهدروني الضخم صدم البروتونات مع بعضها بعضاً بعنف عند طاقات أعلى أيضاً. إلا أن مؤشرات التطلّع إلى جسيم أساسي، طالما طال البحث عنه، أجبرت مديري سيرن على إرجاء إغلاق المصادم الإلكتروني البوزتروني الضخم شهراً آخر.

في شهر آب رأى العلماء، الذين يعملون على مكشاف الجسيمات ALEPH التابع للمصادم الإلكتروني البوزتروني الضخم، إشارات خادعة حول احتمال قيام المسرّع بإنتاج بوزونات هيغز. وقد ذهل المجرّبون حتى إنهم طلبوا إيقاف تنفيذ القرار المذكور. وفي 14 أيلول، بعد تلقّي النصيحة من هيئة البحث في سيرن بشأن مزايا المختبر على المدى الطويل، أعطى مدير عام سيرن، لوسيانو مايانى L. Maiani المسرّع فرصة جديدة للنشاط لكن مدتها كانت قصيرة نسبياً. وفي الثاني من تشرين الثاني تقرّر إيقاف الحزم نهائياً حتى لو لم تُحسَم مسألة وجود الدليل على بوزونات هيغز في أفضل الأحوال. ربما يكون المصادم الإلكتروني البوزتروني قد تم إلقاء نظرة خاطفة عليه، لكن في الواقع لم يدخل مطلقاً نطاق الفيزياء الجديدة التي قام صانعوها بجولات بهذا الخصوص على مدى عقود من الزمن. يقول بيتر دورنان P. Dornan من ALEPH: " إن إغلاقه مسألة مثيرة. ومن الواضح إذا اعتقد المرء بعد شهر أنه سيشهد ذلك بالفعل سيكون عندئذ [الإغلاق] أمراً يدعو إلى الإحباط."



خلق المسارات: تشير الأحداث في مكشاف DELPHI إلى أن المصادم الإلكتروني البوزتروني، الموجود أعلاه، يقتفي أثر بوزون هيغز.

وبعد الأخذ بعين الاعتبار الضجّة التي أثارها الفيزيائيون بشأن بوزونات هيغز، يبدو من غير المرغوب به أن يقلّص سيرن إحدى التجارب التي ربما تقوم فعلاً باكتشاف بعض منها. والشيء التالي البارز والثابت في فيزياء الطاقة العالية منذ مطلع الثمانينيات هو أن بوزونات هيغز تشكّل العنصر المفقود والحاسم في "النموذج المعياري" لدى الفيزيائيين، الذي يمثل تجميعاً للنظرية التي تفسّر كل شيء تمت ملاحظته حتى الآن في المجال دون الذرّي. فالتأثرات المتبادلة مع بوزونات هيغز تفسّر تجمّعات الجسيمات الأخرى، كما تَعِد القياسات الدقيقة لسلوكها بتحرّي العمليات وراء النموذج المعياري، كتلك التي ستنتج جسيمات جديدة فائقة التناظر. في الواقع، إن اكتشاف بوزونات هيغز ودراستها هما أحد الأسباب الأساسية لاشتراك الدول الأعضاء في سيرن، بمساهمةٍ من الولايات المتحدة والدول الأخرى، في مشروع المصادم الهدروني الضخم. ومن المفترض أن يحافظ هذا المشروع على المسار الذي انتهجه سيرن نحو إغلاق المصادم الإلكتروني البوزتروني.



لقد شهد مكشافا سيرن أحداثاً يبدو فيها أن أحد بوزونات هيغز نشأ مترافقاً مع أحد بوزونات Z، وهو جسيم حامل للقوة الذي صُمِّم المصادم الإلكتروني البوزتروني لإنتاجه بالبوشل. وكلاهما يتفككان إلى نفثات مزدوجة من الجسيمات الثانوية. ويمكن للحوادث التي لا علاقة لها ببوزونات هيغز أن تنتج مجموعات مماثلة من النفثات، لكن حوادث سيرن وقعت بمعدل أعلى من معدل الخلفية المتوقّع. وتتوافق الزيادة الحالية مع إشارة انحراف معياري ثلاثي، مما يعني أن عناصرها التي تظهر على سبيل الصدفة تكون أقل من واحد بالمئة.

إن زيادة الإحصائيات حتى خمسة انحرافات معيارية وجعل نسبة الخطأ واحداً بالمليون فقط - مما قد يُفسَّر على أنه اكتشاف مؤكد - ربما تستغرقان عدة أشهر، لكن إطالة مدة تشغيل المصادم الإلكتروني البوزتروني لفترة شهرين، بناءً على اقتراح العلماء فيه خلال اجتماعهم الذي انعقد في الخامس من أيلول، يمكن أن ترجىء العمل الفعلي في المصادم الهدروني الضخم حتى العام القادم. وهذه الخطوة قد تؤدي إلى فرض شروط جزائية على مختلف المتعاقدين. والأسوأ من ذلك أنه إذا كان التأجيل يتماشى مع البرنامج المكثف لبناء المصادم الهدروني الضخم، فمن الممكن أن يؤدي إلى تراجع أولى عمليات تشغيل الآلة بدءاً من صيف عام 2005. فالآلات في سيرن تتوقف في الشتاء عندما تصل تكاليف الكهرباء إلى أعلى حدٍّ لها، بحيث لم تعد هنالك إمكانية لتشغيل المصادم حتى ربيع عام 2006 - وهذا تأخير غير مقبول.

* نشر هذا الخبر في مجلة Science, Vol. 289, 22 September 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

إذا كان المصادم الإلكتروني - البوزتروني الضخم قادراً على إنتاج بوزونات هيغز فمن الغرابة أنه انتظر حتى نهاية حياته للقيام بذلك. وهذا يعود تحديداً إلى أن السدادة كانت على وشك أن تُسحب بدليل وقوع الحوادث الأخيرة. إن دفع آلة ضخمة ودقيقة كالمصادم الإلكتروني البوزتروني الضخم بشدة ربما يقصّر من مدة حياتها المفيدة. لكن البقاء ضمن قيود التصميم ينطوي على مجازفة عدم استكشاف كافة إمكانيات الآلة، وهذا يعني أن المصادم فَقَدَ مجده. فعندما اكتُشف الجسيم J/Ψ في بروكهافن وستانفورد عام 1974، ثمة مسرّع إيطالي يدعى ADONE بقي يعمل مدة أكثر من سنة بطاقة أعلى من الحدّ المسموح لتصميمه وهي 3 جيغا إلكترون فولط (GeV). وقد كان قادراً تماماً أن يعمل بالطاقة 3.1 GeV اللازمة لإنتاج جسيمات J/Ψ - إذ أنه أنتج بعضاً منها بعد بضعة أيام من الاكتشاف - لكن ما من أحد دفع الآلة بالقدر اللازم لانطلاقها إلا بعد أن فات الأوان.

لتفادي عواقب مماثلة مخيبة للآمال، قرّر مشغّلو المصادم الإلكتروني البوزتروني بالنهاية إلقاء الحيطة والحذر أدراج الرياح. ففي هذا الصيف قاموا، على غرار نيجل توفنل N. Tufnel في الفلم السينمائي This Is Spinal Tap، برفع سعته لتصل إلى 11 - ولنقُلْ من الناحية الفنية وصلت طاقة كل حزمة من حزمه إلى 103 GeV - من أجل عملية الدفع الإضافية تلك على الجرف. وهذا هو كل الفرق. ببساطة، لم تكن الطاقة 100 GeV الموجودة في كل حزمة - وهو المستوى الذي صُمّمت لأجله الآلة - طاقة كافية لتصادم زوج من الجسيمات من أجل إنتاج بوزون Z طاقته 91 GeV وبوزون هيغز طاقته 114 GeV. وهذا ما توحي به التوقعات الأخيرة، إذ أن 206 GeV فيها ما يكفي تماماً من الطاقة.

أما الشهر الإضافي الآخر الذي تجري فيه الأبحاث، فالغاية منه مضاعفة كمية البيانات المأخوذة عند هذه الطاقة القصوى. وهذا بالتأكيد لن يكون كافياً لتسوية الأمور تماماً لكن ربما يضيف المزيد من الملاحظات عن بوزون هيغز ذي الطاقة 114 GeV - أو، إذا لم تظهر حوادث أخرى قد يتم التخلي عن هذا الاحتمال. وبناء على توضيح جون إيليز J. Ellis في القسم النظري في سيرن، فإن "ما تتطلع إليه ليس كلام جرائد حول اكتشاف [بوزون هيغز]، ولكن إذا تكررت النتيجة يمكنك أن تقول أنه كلام جرائد عن "دليل ..." في حين أن كل ما توصّلت إليه الآن قد يكون كلام جرائد حول "المؤشرات.." "" رغم أن دورمان يشير إلى إمكانية حصول "فرصة ذهبية" يتفكك فيها بوزون Z إلى زوج من الإلكترونات أو الميونات. وثمة إشارة بارزة، بخلاف أي شيء متوقع في الخلفية، بأن ذلك الحادث ربما يتطلب تفسيراً يتعلق ببوزونات هيغز. ومثل هذه الحوادث متوقعة بنسبة الثمن / 1/8 / من كل أربعة حوادث نفثية. بحيث أن احتمال رؤية واحد منها في الشهر القادم قد لا يكون مفيداً. فإذا تقرر كشف أحدها قبل الثاني من تشرين الثاني، ربما تثور مسألة تشغيل المصادم الإلكتروني البوزتروني مدة أطول. يقول دورمان: "لم تكن واضحة كيفية معالجة مثل هذه المسألة. وقد علمنا أنه ما من وسيلة يمكن الثبات عندها [بعد 2 تشرين الثاني]، لكن سننظر في ذلك".

وباستثناء وقوع حادثة ذهبية، فمن المحتمل الآن أن لا يظهر أي بحث "اكتشافي" من سيرن بل من مختبر مسرّع فيرمي الوطني (فيرميلاب) قرب شيكاغو. في العام القادم سيبدأ العلماء هناك باستخدام التيفاترون المطوّر، وهذا المسرّع يعمل بطاقات أعلى بكثير من طاقات المصادم الإلكتروني البوزتروني، لكن طالما أنه يستخدم البروتونات والبروتونات المضادة التي تتركب من كواركات وليس من الإلكترونات والبوزترونات التي ليس لها مكونات ثانوية، فإن تصادماته تكون عشوائية ويمضي جزء فقط من طاقة الحزمة لإنتاج جسيمات جديدة. والغاية من استخدام حزم التيفاترون المطوّر هو أن يكون سطوعها أشد بمئة مرة من ذي قبل. وهذا يعني أنه ربما يُنتج عدداً كبيراً من بوزونات هيغز التي طاقتها 114 GeV.

واستناداً إلى ميل شوكيت M. Shochet من جامعة شيكاغو، وهو عضو في فريق مكشاف CDF في التيفاترون، فإن التأكد من معرفة ما إذا كان المصادم الإلكتروني البوزتروني قد لمح بالفعل شيئاً ما في أشهره القليلة الأخيرة سيستغرق مدة عام أو أكثر. وإذا صادف وحدث ذلك، واكتشف فيرميلاب بوزونات هيغز، فمن المتوقع الدخول في تفاصيل سياسية دقيقة بشأن الاعتماد المخصص لمجربي المصادم الإلكتروني البوزتروني - وهذه التفاصيل الدقيقة، التي يلاحظ فيها اليوم التمييز بين المؤشرات والتي يمكن فيها أيضاً ملاحظة الدليل في نهاية شهر تشرين الأول، يمكن أن تقوم بدورٍ حاسم. ومن المتوقع حصول حوادث مثيرة حول المصادم الهدروني الضخم الذي يعمل بطاقات تفوق طاقات التيفاترون بعشرات المرات. من أجل تسريعه بصورة إضافية، وكما تشير إليز Ellis سيكون بوزون هيغز 114 GeV ضامناً فعّالاً بحيث يتحطم النموذج المعياري عند طاقات يمكن الوصول إليها بسهولة في المصادم الهدروني الضخم. وهكذا فإن الآلة الجديدة ستكشف مجالات اكتشاف غنية من اليوم الأول - بدون قيود زمنية مزعجة.■

2- الحركات المذهلة في الأجسام الصلبة*

ثمة عملية بسيطة كالانتشار لا بد أن يكون فهمها سهلاً. لكن معرفتنا لحركات الذرّات في أنصاف النواقل ما تزال قاصرة لم تكتمل.

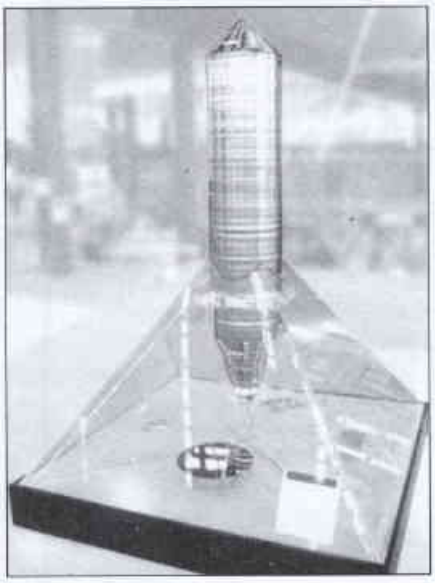
لقد صارت الحركات الطبيعية (الانتشار) للذرّات في جسم صلب أمراً ممكناً من خلال العيوب في الشبيكة البلّورية. ولهذا فإن دراسة الانتشار في المواد ذات الأهمية التقانية، كأنصاف النواقل، تساعد المهندسين على صنع نبائط إلكترونية مكروية وإلكترونية ضوئية أصغر وأفضل. وقد ذكر

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 2 November 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

براخت Bracht وآخرون [1] أن ذرّات الأنتيموان تتحرك أبطأ بألف مرة من ذرّات الغاليوم في مركب أنتيمونيد الغاليوم نصف الناقل. وهذه النتيجة تتعارض مع القياسات الأولى ولم تكن متوقعة من سلوك انتشار مركبات أنصاف النواقل الأخرى.

يستعمل أنتيمونيد الغاليوم في صنع ليزرات تحت حمراء ومكاشيف ضوئية، ونبائط رؤية ليلية، وخلايا شمسية وبعض الترانزستورات الخاصة. وهذه هي التطبيقات الملائمة إذا ما قورنت بالسليكون الموجود في كل مكان، أو زرنيخيد الغاليوم وفسفيد الإنديوم، اللذين يستعملان على الأغلب في الليزرات وفي أجهزة الاتصالات العالية السرعة. إن أهمية النتيجة التي توصّل إليها براخت وزملاؤه لا تأتي من الأهمية التقانية لأنتيمونيد الغاليوم. وبالأحرى يعود ذلك إلى أن الاكتشاف هو أمر آخر في سلسلة طويلة من الاختلافات غير المتوقعة والتشابهات التي تصادف في تاريخ فهم الانتشار في أنصاف النواقل.



الشكل 1– هذه واحدة من أكبر البلورات السليكونية الأحادية والمتيسرة، التي عُرضت في معرض الجمعية الفيزيائية الألمانية. فهي ترمز إلى نسخة حديثة من "حجر الحكمة" التي تمثل موضوع وجوهر المعرض.

في عام 1924 كان العالم الروسي فرنكل Frenkel [2] أول من اقترح أن حركة الذرّات في مادة بلّورية قد لا تحدث تماماً عبر ذرتين متجاورتين تتبادلان مواقعهما، بل يتطلب الأمر وجود عيوب في الشبيكة البلّورية. ففي المعادن، كان واضحاً أن هذه العيوب هي ذرّات شبيكية مفقودة وهذا ما يعرف بالفجوات (أو الفراغات). ويعتمد مدى سرعة حركة ذرّة شبيكية على تركيز هذه الفجوات – التي تكون، لأسباب ترموديناميةٍ، موجودة في تراكيز متزايدة مع تزايد درجة الحرارة – وعلى قابلية حركة هذه الفجوات.

عندما ظهرت أنصاف النواقل في الأربعينيات، استُخدم الجرمانيوم في صنع أولى الترانزستورات. وما كان لذرّات الجرمانيوم أيضاً إلا أن تنتشر بمساعدة فجوات الجرمانيوم، كما يحدث في المعادن. وتحوّل الاهتمام التقاني مباشرةً إلى السليكون البلوري الذي يتميز عن الجرمانيوم بعدة مزايا تتعلق بصنع النبائط الإلكترونية، فعلى سبيل المثال، يستطيع تشكيل أكسيد عازل كهربائياً ذي مواصفات عالية، ويمكن تنميته كبلّورات أحادية كبيرة (الشكل 1).

وعلى نحو غير متوقع، ثبت أن آلية انتشار الذرات السليكونية في بلورات السليكون – وهذا ما يُعرف أيضاً بالانتشار الذاتي – تختلف عنها في المعادن والجرمانيوم. وبالإضافة إلى الآلية المألوفة للفجوات، فإن الذرّات السليكونية الإضافية التي تدعى بالذرّات البينية الذاتية تلعب دوراً بارزاً [3]. ومع أن فرانكل كان قد ناقش مسألة الذرّات البينية الذاتية في أبحاثه الأولى، فإن فكرة الفجوات التي تسيطر على عمليات الانتشار ترسخت بحيث استغرقت أكثر من 20 سنة بسبب دور الذرات البينية الذاتية كي يتم قبولها ومن ثم دمجها في النماذج الحاسوبية المستخدمة لتصميم النبائط الإلكترونية المكروية.

فيما بعد بيّنت التجارب التي تستخدم السليكون أن معاملات الانتشار الذاتي (معدلات الانتشار الذاتي) لكلا آليتي العيب هاتين متماثلة إلى حد كبير في المقدار على مجال متسع من درجة الحرارة قدره بضع مئات من درجة سيلزيوس. وقد يكون هذا مثيراً إلى حدٍّ كافٍ، لكننا تعلّمنا أيضاً أن العوامل الفردية التي تحدد الانتشار الذاتي في السليكون – تراكيز العيوب عند درجة حرارة معينة وحركية هذه العيوب – تكون متشابهة إلى حدٍّ لا يمكن تصديقه على الأغلب. فعلى سبيل المثال، عند نقطة انصهار السليكون لا تختلف تراكيز الفجوات والذرّات البينية الذاتية إلا بنسبة 30 % تقريباً فقط. وهذه الحقيقة المذهلة تبدو في جوهر ملاحظة أنه في أثناء نمو البلورات السليكونية تستطيع الفجوات أو الذرّات البينية الذاتية أن تتجمع، وهكذا تكون كلتاهما مسؤولتين عن تشكّل عيوبٍ غير مرغوب بها.

ويقدم هذا إمكانية نمو البلورات بطريقة ما لدرجة أن جميع الفجوات والذرّات البينية الذاتية تقريباً تفني بعضها البعض، بحيث لا يبقى عملياً أية عيوب. ويعد هذا العمل الهندسي البارع المفتاح لإنتاج الرقائق السليكونية الكاملة تقريباً واللازمة للجيل الثاني من الجذاذات الحاسوبية. ومن وجهة نظر علمية ما نزال نحن لا نعرف ما إذا كانت هذه التشابهات غير المتوقعة في السليكون عرضية تماماً أو أن ثمة حقيقة علمية أعمق من ذلك تكمن وراءها.

وتعد هذه الحالة أكثر تعقيداً فيما يتعلق بمركبات أنصاف النواقل، نظراً لوجود شبيكتين فرعيتين – في زرنيخيد الغاليوم، واحدة في ذرّات الغاليوم وأخرى في الزرنيخ. والآن كيف تتحرك ذرات الغاليوم والزرنيخ في هاتين الشبيكتين الفرعيتين؟ لحسن الحظ، إن ما تعلمناه في حالة السليكون يمكن تطبيقه على مركبات أنصاف النواقل في شكلٍ معدَّلٍ بصورة مناسبة. فهنالك الفجوات والذرّات البينية الذاتية في كلا الشبيكتين الفرعيتين، وكلا النوعين من العيوب يقوم بدورٍ في عمليات الانتشار. وكان من بين الملاحظات الأولى غير المتوقّعة أن حركة الذرّات على كلا الشبيكتين الفرعيتين متماثلة بصورة عامة من حيث المقدار. وهنالك سبب ممكن لهذه العملية وهو أن ذرّة واحدة على شبيكة فرعية واحدة (ولنقل الغاليوم) تكون محاطة نموذجياً بأربع ذرات من الشبيكة الفرعية الأخرى (الزرنيخ) والعكس بالعكس. ومع أن الرابطة بين الذرّات غير متناظرة، يبدو أن عملية الانتشار تتضمن نوعاً من الاعتدال فيما يتعلق بالتشكيلات المختلفة والأوساط الذرّية المحلية، مفضّلةً بصورة أساسية عمليات الانتشار المتماثلة على الشبيكتين الفرعيتين.

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

وكما هو متوقع، فقد تبيّن أن أولى قياسات الانتشار الذاتي للغاليوم والأنتيموان في أنتيمونيد الغاليوم متماثلة. لكن براخت وآخرين [1] أشاروا مؤخراً في تقرير لهم إلى أن التجارب تبين أن الأنتيموان ينتشر أبطأ من الغاليوم بألف مرة. وهذا يدعو مباشرة إلى طرح السؤالين التاليين: أولاً، هل النتائج الحديثة ذات وثوقية أكبر من وثوقية النتائج الأولى؟ وثانياً، بفرض أن النتائج الحديثة صحيحة، ما الذي يجعل هذه المادة تختلف عن أنصاف النواقل الأخرى؟.

بالنسبة إلى السؤال الأول يمكن الإجابة عليه بسهولة. لقد كانت القياسات السابقة تعتمد على انتشار العناصر المشعة من السطح نحو الداخل، بينما تنطوي تقانة براخت وزملائه على تنمية بنى أنصاف نواقل تحوي نظائر غير مشعة مميزة. ووجود هذه النظائر خلال البنية يتجنب تأثيرات السطح غير المرغوب بها المترافقة مع المسابر المشعة، ويؤدي إلى قياسات أكثر دقة. وطالما أن معظم المعطيات عن الانتشار الذاتي المأخوذة من المركبات الأخرى لأنصاف النواقل تعتمد أيضاً على قفّاءات مشعة، فلا بد أن نكون قلقين بشأن وثوقية هذه المعطيات الموجودة.

وفيما يتعلق بالسؤال الثاني، يتوقع براخت وزملاؤه أن بعض ذرات الغاليوم تتحرك لتدخل مواقع الأنتيموان الخالية، وبذلك تعيق حركة ذرات الأنتيموان التي تساعد على إحداث الفجوات وفي الوقت ذاته تزيد من تركيز فجوات الغاليوم. وقد تتطلب هذه العملية تأثرات غير مألوفة في العيوب الأساسية، وستتم دراسة النموذج الذي افترضه براخت وزملاؤه عن طريق الحسابات الكمومية لعمليات الانتشار هذه، وربما يوحي ذلك بفكرة جديدة عن آلية الانتشار في أنصاف النواقل. ومن الممكن أن يؤدي ذلك إلى تكهّنات عن سلوك المواد باستثناء أنتيمونيد الغاليوم.

المراجع REFERENCES

[1] Bracht, H. et al.Nature 408, 69-72 (2000).

[2] Frenkel, Y. Z. Physik 26, 117-138 (1924).

[3] Seeger, A. & Chik, C. P. Phys. Stat. Sol. 29, 455-542 (1968).

[4] Voronkov, V. V. J. Cryst. Growth 59, 625-643 (1982).

[5] Weiler, D. & Mehrer, H. Phil. Mag. A 49, 309-325 (1984).■

3- طلب رسمي لبناء مفاعل فنلندي خامس★

قدّمت إحدى محطتي الطاقة النووية الفنلندية العاملة، تيوليسويدن فويما Teollisuuden Voima (TVO)، في الخامس عشر من تشرين الثاني طلباً رسمياً لبناء مفاعل فنلندي خامس. وترغب TVO بناء محطة طاقة نووية استطاعتها من 1000 إلى 1600 ميغاواط كهرباء في موقع أولكيلوتو Olkiluoto حيث تشغّل المنشأة حالياً مفاعلي ماء مغلي استطاعتهما 840 ميغاواط كهرباء. تقول TVO أن المحطة التي من الممكن أن تدخل الخدمة بين عامي 2008 و 2010 ضرورية لتلبية الطلب المتزايد على الكهرباء في فنلندة. وربما يشتمل المشروع على استثمار يصل إلى 2.25 بليون دولار.

جرى في العام الماضي استكمال دراسة أولية لمعرفة تأثير هذا المشروع على البيئة وهو شرط أساسي يتطلّبه التقدّم بالطلب. وقد أشار عدد من الدراسات الاقتصادية إلى أن المحطة ستكون منافسة حتى في سوق الطاقة الاسكندنافي المتحرّر والمغرق حالياً. وستساعد المحطة أيضاً فنلندة على الوفاء باتفاق كيوتو Kyoto لإيقاف إصدارات غازات الدفيئة الأرضية من خلال زيادة الحصة النووية في مجمل توليد الطاقة الكهربائية من نسبتها الحالية وهي % 28 إلى حوالي % 35.

من المتوقع أن يعيد هذا الطلب فتح نقاش وطني حول استخدام الطاقة النووية في فنلندة وصولاً إلى قرار برلماني في العام القادم. وقد أحبطت بشق النفس محاولة سابقة أجرتها منشآت فنلندية لبناء محطة طاقة نووية جديدة وذلك من خلال تصويت برلماني في عام 1993. ومن المؤكد أن المشروع سيُحدث مجدداً انقسامات حادة داخل الحكومة الائتلافية - التي تضم جماعة الخضر - وداخل البرلمان، لكن هنالك بعض المؤشرات على أن ميزان الآراء قد انحرف باتجاه زيادة دعم الطاقة النووية. ويُعتقد أيضاً ازدياد الدعم الشعبي حتى أن الإعلان عن طلب TVO قد لاقى ترحيباً لدى مختلف الصحف الفنلندية الرئيسية. في الوقت ذاته، ومن جهة أخرى، عبّرت الفنلندية مارغو والستروم M. Wallstrom، وهي مفوضة الاتحاد الأوربي للشؤون البيئية، عن وجهة نظرها في أن الاستخدام المتزايد للطاقة النووية ليس خياراً يعوّل عليه للتصدي لمشكلة الاحترار الشامل بسبب "المشكلة الكبيرة للنفايات".■

4- تقدّم في برنامج اليابان لإعادة معالجة البلوتونيوم★

بعد ثلاثة إعلانات منفصلة في شهر تشرين الثاني المنصرم، يبدو أن برنامج اليابان لإعادة معالجة البلوتونيوم في تقدّم من جديد.

أعلنت شركة طوكيو للطاقة الكهربائية وشركة الطاقة الذرّية اليابانية بالاجتماع مع سبع منشآت أخرى، عن مخططات لإقامة محطة محلية لصنع وقود أكسيد اليورانيوم /البلوتونيوم (وقود موكس MOX). ستقوم ببناء وتشغيل المحطة المقترحة الشركة اليابانية المحدودة للوقود النووي JNFL وذلك في موقع روكاشو في مقاطعة هونشو Honshu التابعة لأموري Amori، وهو المكان الذي ينبغي أن تعمل فيه محطة إعادة المعالجة اليابانية ذات الطابع التجاري في عام 2005. ستكون استطاعة محطة موكس 130 طن متري /سنة وستبدأ العمل قرابة عام 2005.

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Nuclear News*, December 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وفي 20 تشرين الثاني، تم السماح باستئناف العمل في محطة توكاي مور الإيضاحية لإعادة المعالجة وهي الأصغر من حيث القدّ، بعد أن كانت قد أغلقت في آذار 1997 عقب نشوب حريق وحدوث انفجار في محطة تجميد النفايات. وقد تم إغلاقها رغم عدم تأثر المحطة بهذا الحادث، في حين أعيد على نطاق واسع تنظيم شركة دورة الوقود النووي ومفاعل الطاقة (PNC) سابقاً كمعهد ياباني لتطوير دورة الوقود النووي (JNC). في تشرين الأول، توصلت الشركة اليابانية المحدودة للوقود النووي JNFL إلى اتفاق مع المجالس المحلية المحيطة بروكاشو Rokkasho للسماح بنقل الوقود المستهلك إلى الموقع الذي سيتم تخزينه فيه إلى حين البدء بإعادة المعالجة في المحطة التجارية.

وكان من المقرر أن يقوم تادامواري أوشيما T. Oshima رئيس الوكالة اليابانية للعلوم والتقانة، بزيارة مقاطعة فوكوي Fukui في أواخر تشرين الثاني الماضي ليناقش مع السلطات المحلية إعادة فتح المفاعل السريع النموذجي مونجو Monju في تسوروغا Tsuruga. وكانت المحطة قد أغلقت منذ كانون الثاني لعام 1995 عقب حدوث تسرّب واسع النطاق واحتراق للصوديوم من دارة التبريد الواقعة في الوسط.■

5- الكيميائيّ الأعظم*

لينوس باولينغ L. Pauling يضع جدول أعمال قرنٍ من البحث الكيميائي.

تعدّ الكيمياء برمّتها تكراراً متغيراً بين حالات سكون البنية وديناميّة التفاعل، وتكمن الرابطة التساهمية في جوهر لبّها. سارت الفيزياء والكيمياء جنباً إلى جنب حتى العقود الأولى من القرن العشرين إلى أن جاءت الرابطة الأيونية من نموذج نيلز بور N. Bohr للذرّة. ولم تستقل الرابطة الكيميائية بنفسها إلاّ عندما أقرّت فكرة مشاركة الإلكترونات وقيست كمياً. عندها لم تعد الكيمياء بحاجة إلى الفيزياء وبقيت على هذا الحال حتى نهاية القرن. هذا الاستكمال بالاستقراء من الفيزياء إلى الكيمياء وكذلك مَفْصَلة الكيمياء كموضوع مستقل كانا حصيلة عمل فردي لشخص واحد هو لينوس باولينغ الذي يرقى إلى منزلة غاليليو ودافنشي وشكسبير ونيوتن وباخ وفارادي وفرويد وآينشتاين كونه واحداً من أعظم مفكري الألفية ومتبصريها فهو لم يكن في الواقع رجل هذا العصر وحسب وإنما رجل جميع العصور.

سبرت عبقرية باولينغ وحدسه الرهيب علم ميكانيك الكم وعلم البلورات والبيولوجيا والطب، وفوق كل ذلك الكيمياء البنيوية.

ومما يثير الفضول أنه التزم الصمت حيال الكيمياء العضوية حتى بعد إعلان أكثر معالمها أساسية، وهو تحديداً تفسير التكافؤات الرباعية الوجوه لذرّة الكربون المشبعة من خلال مشاركة إلكترونات بالتساوي بين حالات طاقية متكافئة - تهجين المدارات الرابطية. لقد كان تأثيره على الكيمياء اللاعضوية عميقاً إذ نجحت فكرة المدارات الهجينة نجاحاً مثيراً في شرح الخواص المغنطيسية للمركبات التناسقية للمعدن الانتقالي والتقلبات البنيوية للمعقدات العضوية المعدنية.

شهدت أواخر القرن التاسع عشر ومطلع القرن العشرين تطور النموذج الجزيئي على أيدي الأساتذة الأوائل، فقد طوّر أوغست كيكوليه A. Kekule و أدولف فون بايـر A. Baeyer و ريتشارد ويلستاتر R. Willstatter، من بين آخرين، فكرة الجزيء البسيط. ومضى الكيميائي اللاعضوي ألفرد ورنر A. Werner قدماً بهذه الفكرة ليصل إلى مفهوم الجزيء المتسع وذلك في وصفه للمركّبات التناسقية. لقد جمع باولينغ في مطلع أعماله كل هذه الأمور ووضعها في نموذج موحّد وبهذا حقق توحيداً عظيماً للبنية الجزيئية.

وباستعادة الماضي واستعراضه، يبدو أن الكيمياء كانت تنتظر قدوم باولينغ. ففي فصول كتابه "طبيعة الرابطة الكيميائية وبنية الجزيئات والبلّورات"، وهو أحد أكثر الكتب تأثيراً في القرن العشرين، تناول

الفاتح الأعظم: يجب على الجيل القادم من الكيميائيين أن يتحرر من ظل باولينغ.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 23 November 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

المسافات بين الذرّية، والكهرسلبية، وأنصاف أقطار فاندرفالس V. Waals والتساهمية والأيونية، والعطرية وبنية البنزين، والروابط المتعددة، والمواد ناقصة الإلكترون، والرابطة المعدنية ورابطة الهدروجين. لقد كان كتابه بمثابة خارطة طرق لبحوث الكيمياء حتى نهاية القرن.

لم يعمل باولينغ بصورة مباشرة على دينامية التفاعلات الكيميائية، لكن ما انطوى عليه عمله في هذا الموضوع كان واضحاً لأنه إذا لم يفهم المرء الجزيء في حالة السكون، لا يمكنه أن يبدأ بفهمه عندما يتحرّك. نمت الكيمياء وازدهرت بمجرد مرور الوقت وكذلك من جراء كون باولينغ مصيباً في جميع تكهناته تقريباً، لأنه تنبأ بدقة بالغة بحوالي 0.01 % من المعلومات الحالية عن البنية. إذاً تختلف الكيمياء تماماً عن الفيزياء والبيولوجيا في طريقة استقلالها إذ تدين بالفضل بصورة أساسية إلى عالم واحد. وقد أثار هذا الأمر بعض الأسئلة المحرجة مثل: هل أثّر باولينغ في تغيير أو تحويل أو حتى إعاقة نمو فروع أخرى من الموضوع ربما ما تزال غير مطروقة أو غير معروفة؟. وهل الكيميائيون منكفئون أو حذرون لأن الكثير من بحوثهم ينحدر من تيار وعي واحد يجعل من غير الضروري إجراء انتقالات مفاجئة خيالية كبيرة؟ هل تفتقد الكيمياء إلى الأحداث الكبيرة التي شهدتها الفيزياء أو إلى سحر البيولوجيا لأنهما كانتا تخصان شيئاً أوسع من حياة الفرد؟

هذه الأسئلة ليست عن عبث تماماً. لقد رفع باولينغ الجزيء عالياً فغدا يعيّن جميع الخواص المهمة للمادة لدرجة أنه لم يعد هنالك عالم خارجها وقد يفسّر هذه الانطلاقة المتأخرة نسبياً للكيمياء فوق الجزيئية بعد قرابة سبعين عاماً من إعلان إميل فيشر E. Fischer عن مبدئه المغلق ووصف بول بفيفر P.Pfeiffer لأول معقدات جزيئية. ومرة أخرى يعلّل الموضع المركزي الذي أُعطي للرابطة التساهمية صراع كيمياء الحالة الصلبة كي تلتحق بالتيار العام. حتى اليوم، تعنى الكيمياء الحسابية على نطاق واسع بالمنظومات الجزيئية الخفية. فيما يتعلق بالكيمياء البنيوية بقيت ظاهرة ارتباط الهدروجين لعقود من الزمن غير محققة من أجل مانحين أو مستقبلين ضعفاء وذلك لأن باولينغ قد قال بأن المانحين أو المستقبلين الأقوياء هم وحدهم القادرون على تشكيل هذه الروابط.

وبإعادة صياغة عبارات جان ماري لين J- M. Lehn يمكن القول بأن الكيمياء تمثل كل ما هو تنوع في حين تجد البيولوجيا متعتها البالغة في التعقيد. إن أعمال باولينغ لا تخبو مع التنوّع المتزايد للكيمياء، لأنها أساسية جداً فيما يتعلق بالبنية. ويمكن تشبيه الأمر كما لو أن الكيمياء تنتقل من الجزيء إلى دراسة المنظومات المعقدة التي يجدر بالكيميائيين أن يفكروا بها بعد باولينغ. بعد فترة زمنية قصيرة ومسافات وأبعاد واسعة سوف يجذب انتباه الكيميائيين تداخل الكيمياء مع علم المواد والبيولوجيا. وسوف تصبح الكيمياء موضوعاً مختلفاً كونها تتحول من علم وحدوي إلى علم منوّع. وأخيراً هل ستخرج من موضعها وتنصهر في علوم أخرى؟ الوقت وحده سيخبرنا بالجواب، وإن فعل فسيكون له ذلك فقط لأن هويتها الحقيقية اعتمدت لفترة طويلة على مساهمات شخص واحد.■

6- بعث الحياة في نموذج قديم لنظرية المغنطيسية الحديدية*

جرى تحديث النظرية التقليدية للمغنطيسية باستخدام جديد للتحريك الحراري (الترموديناميك)، وأصبح بإمكانها الآن وصف سلوك المواد المغنطيسية الحديدية عند درجات حرارة أعلى.

كانت نظرية الحقل الوسطي للمغنطيسية الحديدية، التي وضعها في عام 1907 بيير ويس P. Weiss [1]، بمثابة مَعْلَم مهم في مسيرة تطوّر الفيزياء الحديثة. وشكّلت لسنوات كثيرة، "النموذج المعياري" للمغنطيسية. وعدا عن وصف الخواص المغنطيسية لمواد مثل الحديد، أظهرت اهتماماً كبيراً في دراسة المنظومات المتأثرة، الأمر الذي كان له أثر يتجاوز بكثير نطاق البحث في المغنطيسية.

ما زالت النظرية مستخدمة على نطاق واسع في الوقت الحاضر، برغم عدم دقة توقعاتها عند درجات حرارة معينة. ونظراً لشعبيتها، ما زالت محاولات تحسين توقعاتها جديرة بالاهتمام. من هذه التحسينات تلك التي أجراها رالف شامبرلان R. Chamberlin [2] ووسّع فيها نطاق مقاربة الحقل الوسطي لتشمل سلوك المغانط الحديدية عند درجات حرارة أعلى وذلك من خلال تضمين آثار التحريك الحراري لمنظومات صغيرة (الترموديناميك النانوي) في وصف التأرجحات المغنطيسية الموضعية.

للمشكلة التي عالجها شامبرلان تاريخ طويل، فالأعمال المتعلقة بنماذج كميّة للمغنطيسية بدأت في أواخر القرن التاسع عشر بعد فترة قصيرة من قيام جيمس كلارك ماكسويل J. C. Maxwell بصياغة النظرية الكهرطيسية التقليدية. تمثّلت النجاحات الأولى في دراسة المغانط المسايرة والمغانط المعاكسة – وهي مواد تكون مغنطيسيتها ضعيفة تحت تأثير حقل مغنطيسي مطبق (ويكون التمغنط متراصفاً مع الحقل المطبق أو معاكساً له، على التوالي). في عام 1895، اشتق بيير كوري P. Curie من التجارب قانوناً للتمغنط من أجل المغانط المسايرة. وفيما بعد، بيّن تلميذه بول لانجفان P. Langevin، أنه يمكن اشتقاق القانون نظرياً إذا اعتُبر المغنطيس المساير كمنظومة ثنائيات قطب مغنطيسية تقليدية غير متأثرة. لقد نجح أيضاً في تفسير المغنطيسية المعاكسة باستخدام النظرية الكهرطيسية التقليدية. لكن هذه النظرية فشلت كلياً في معركتها مع المغانط الحديدية – وهي المواد التي تكون فيها المغنطيسية في أقوى حالاتها. ففي المغانط الحديدية يمكن أن يبقى في المادة قدر كبير من التمغنط حتى عندما لا يكون هنالك حقل خارجي.

تختفي المغنطيسية الحديدية فجأة من المادة عند درجة حرارة حرجة معينة تسمى نقطة كوري T_C. فوق هذه النقطة، تسلك المنظومة سلوك مغنطيس مساير حتى تبرد من جديد إلى أخفض من نقطة كوري وتسترد المغنطيسية الحديدية. لا تستطيع الفيزياء التقليدية تفسير مثل هذه التأثيرات

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 16 November 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

إلا إذا كانت قيم نقطة كوري أدنى بألف مرة على الأقل من تلك القيم المراقبة. حلّ بيير ويس هذه الأحجية بافتراض وجود تأثرات قوية شاذة بين ثنائيات القطب الذرّية. لقد أدرج التأثرات في حساباته باعتبارها "حقلاً جزيئياً" متجانساً يتناسب طرداً مع التمغنط. حقق النموذج الجديد نجاحاً باهراً واصفاً كيفياً المراقبات عند جميع درجات الحرارة.

يقدّم نموذج ويس، على وجه الخصوص، من أجل درجات حرارة أعلى من نقطة كوري، معادلةً للطواعية المغنطيسية χ، وبذلك تكون $\chi(T) \propto C/(T-\Theta)$ حيث C هو ثابت كوري، و Θ هي درجة حرارة ويس (يتوقع النموذج $\Theta = T_C$). وهذا هو قانون ويس - كوري الشهير الذي تخضع له بصورة وثيقة جميع المغانط الحديدية باستثناء الحالة التي تكون درجات الحرارة عندها قريبة من نقطة كوري T_C. لقد كانت النظرية في الأصل حصيلة حدس ويس اللامعقول. في عام 1907، لم يستطع أن يعرف منشأ "الحقل الجزيئي" الذي افترضه والذي لم يصبح واضحاً إلاّ بعد 25 عاماً عندما اكتشف هايزنبرغ Heisenberg " تأثرات تبادلية" بين سبينات ذرّية - وهي، أي التأثرات، قوى ذات طبيعة كمومية صرفة.

كانت بساطة مفهوم ويس مزية وضعفاً بآن واحد. فقد كانت كل ذرّة مغنطيسية من العينة في نموذجه "تشهد" بيئة متجانسة متماثلة. وقد تجاهل نموذجه التأرجحات الموضعية والإثارات الشبيهة بالموجة التي تقوم بدور حاسم في السلوك المغنطيسي. بالنتيجة، إن أداء النموذج ليس مرضياً دائماً وخصوصاً من أجل $T \to 0$ (بسبب الإثارات الشبيهة بالموجة) وحول نقطة كوري T_C (بسبب التأرجحات الموضعية). على سبيل المثال، يخبرنا قانون ويس كوري أنه من أجل درجات حرارة أعلى من نقطة كوري، حيث يظهر سلوك مغنطيسي مساير، لا بد أن يكون الخط البياني لمقلوب الطواعية، $1/\chi$، بدلالة T مستقيماً. وهذه ليست الحالة من أجل درجات حرارة تبدأ من 20-50 % فوق نقطة كوري T_C، وفي التجارب التي تكون فيها نقطة كوري أخفض من Θ. ويتوقع النموذج أيضاً أن يختفي ترتيب المغنطيسية الحديدية كلياً. في الواقع تبقى هنالك تأثيرات محسوسة لترتيب قصير المدى فوق نقطة كوري عبر تشكل مناطق ممغنطة نانوية (تجمعات) ذات قدّ متأرجح.

مع ابتكار أدوات تجريبية حديثة كمطيافية التجاوب المغنطيسي النووي، NMR، والتبعثر النتروني، أخذت هذه العيوب بالظهور بصورة أوضح في الستينيات والسبعينيات، فظهرت نظريات جديدة فعّالة وكانت أفضل في وصف السلوك الحرج للمغانط الحديدية قرب نقطة كوري (والنظرية الأبرز هي نظرية زمر إعادة الاستنظام [3]). في تلك الأيام اعتقد الكثير من الخبراء نفاد فائدة نموذج الحقل الوسطي ووجوب إيداعه في كتب التاريخ على غرار نموذج بور Bohr لذرّة الهدروجين، لكن هذا لم يحدث. لم يقدّم أي من النماذج الجديدة الطلاقة ذاتها التي قدمتها نظرية الحقل الوسطي، فكل نموذج يركّز على آثار تحدث عند درجات حرارة مختلفة. علاوة على ذلك، لا تتوافق شكلياتها الكامنة وبالتالي لا يمكن توحيدها في صورة شاملة واحدة. ويبقى نموذج الحقل الوسطي النموذج الوحيد الذي يصف السلوك الكيفي للمغانط الحديدية على كامل مدى درجة الحرارة من $T \to 0$ وحتى $T \to \infty$.

ولهذا السبب، تقدم نظرية الحقل الوسطي قاعدة مشتركة للباحثين الذين يعملون على أنماط مختلفة من المنظومات المتأثرة - يستطيع المرء أن يقول بأنها أصبحت اللغة المشتركة للباحثين في هذا المجال.

يستخدم شامبرلان [2] في ورقة بحثه شكلية الحقل الوسطي لتوجيه النظام المغنطيسي المساير بأكمله، بما في ذلك درجات الحرارة القريبة من نقطة كوري التي تحدث فيها آثار تجمّع ذات أهمية. في الماضي، جرى اقتراح سبل متعددة لدمج مثل هذه الآثار في شكلية الحقل الوسطي، لكن العمل السابق لم يأخذ بحسبانه سوى التجمعات ذات المقاس الثابت. إن فرض المقاسات الثابتة على التأرجحات الداخلية يعدّ خطوة قاسية مستخدمة لجعل النماذج طيّعة على حساب الحقيقة الفيزيائية. يبيّن شامبرلان إمكانية تجاوز المصاعب الرياضياتية باستخدام شكلية التحريك الحراري التي تعرف "بالمجموعة المعمّمة". أول من أدخل هذه الشكلية هو غاجنهايم Guggenheim [4] ومن ثم استخدمها هيل Hill [5] في تطوير علم الترموديناميك النانوي. تسمح المجموعة بتأرجحات غير مقيّدة في جميع البارامترات الترموديناميكية الواسعة بما في ذلك القدّ.

يقدّم نموذج شامبرلان نتائج لـ χ(T) تتوافق جيداً مع معطيات من مغانط حديدية مختلفة ومتعددة. وتعطي أيضاً نتائج واقعية حول تعلّق درجة الحرارة بالترتيب المغنطيسي الموضعي فوق نقطة كوري T_C وبالتالي إيجاد شكلية متينة يبدو أنها ستحل مشكلة قديمة جداً. يدل نجاح النموذج على أن الترموديناميك النانوي - ذا الأهمية الواضحة للتعامل مع المنظومات الصغيرة في جميع مجالات العلوم النانوية - هو أيضاً حاسم لوصف التأرجحات الداخلية في المواد الجرمية. وأخيراً أصبح لدينا صورة موحّدة للسلوك المغنطيسي المساير الذي تسلكه المواد المغنطيسية الحديدية.

المراجع

REFERENCES

[1] Weiss, P. J. Phys. 6, 661-690 (1907).

[2] Chamberlin, R. V. Nature 408, 337-339 (2000).

[3] Stanley, H. E. Rev. Mod. Phys. 71, S358-S366 (1999).

[4] Guggenheim, E. A. J. Chem. Phys. 7, 103 (1939).

[5] Hill, T. L. Thermodynamics of Small Systems (Parts I and II) (Dover, New York, 1994).■

7- تقدّم مهم في النقل الأيوني★

المواد التي تنقل الأيونات مفيدة في البطائح التي تتضمّن تفاعلات إلكتروكيميائية مثل خلايا الوقود والمدخرات. كانت الناقلية الأيونية المنخفضة تمثّل مشكلة لتلك المواد الناقلة إلى أن صنّع الباحثون نسخاً منها بمقياس نانوي.

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 21/28 December 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يشكل تطوير هذه المواد الناقلة بأبعاد نانوية مجال بحثٍ واسع جداً لأنّ لها في الغالب خواص مختلفة جداً عن خواص المواد الجرمية. وهذه الخواص يمكن أن تقدّم تطبيقات تقانية جديدة أو محسّنة. ويركّز حالياً علماء المواد المهتمون في التقانة النانوية بصورة أساسية على أنصاف النواقل والمواد الخزفية. فمثلاً يكون لأنصاف النواقل المصنوعة من بلّورات نانوية خواص ضوئية وكهربائية ومغنطيسية غير اعتيادية وللخزفيات المصنوعة من جسيمات نانوية قساوة ومرونة أكبر من العادة. ومع ذلك بيّن مائير Mair وزملاؤه [1] أنّ إعادة بناء بلّورات أيونية بسيطة بمقياس نانوي يمكن أن تغيّر أيضاً خواصها الكهربائية فاتحة الطريق أمام تحسينات مثيرة محتملة في تخزين الطاقة وتوليدها.

ففي المواد الصلبة الأيونية الصافية مثل بلّورة كلوريد الصوديوم لا يوجد في الواقع إلكترونات حرة ولذلك فإنّ هجرة الشحنة تكون مقيّدة بحركة الأيونات. إنّ مثل هذه الحركات تكون ممكنة بسبب عيوب في الشبيكة البلورية: إمّا بوجود فراغات في الشبيكة (مواقع فارغة في الشبيكة لا تحتلّها الأيونات) أو بوجود أيونات بينية (أيونات إضافية بين مواقع الشبيكة العادية). فالأيونات المجاورة إلى فراغ ما يمكن أن تقفز إليه أو أنّ أيون بيني يمكن أن يقفز إلى موقع بيني مجاور. إنّ سلسلة من أمثال هذه القفزات تسمح للشحنة أن تتحرّك خلال المادة الصلبة منتجة تياراً أيونياً.

تحدث عيوب الشبيكة في بلّورة أيونية بسيطة فقط في أزواج لأنّه يجب المحافظة على الحياد الكهربائي الكلي للبلورة. فمثلاً في ملح الطعام NaCl يجب أن تُعوّض الفراغات على شبيكة الصوديوم Na^+ الفرعية بفراغات على شبيكة الكلور Cl^- الفرعية والعكس بالعكس. ويكون تركيز العيوب في بلّورة كلور الصوديوم منخفضاً لأنّ عدد العيوب يمكن ضبطه من الناحية الترموديناميكية وأنّ الطاقة الضرورية لتشكيل أزواجها تكون مرتفعة. وعليه يكون تركيز العيوب نحو 0.1 % عند نقطة الانصهار وينخفض أسّياً مع نقصان درجة الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك فإنّ طاقة التنشيط للأيون أو للعيب حتى يقفز إلى الموقع المجاور تكون مرتفعة وتقود إلى حركية بطيئة. وهكذا فإنّ الناقلية الكلية التي هي نتاج تركيز العيب وحركيته تكون منخفضة - في مادة بسيطة مثل كلور الصوديوم يكون قدر الناقلية الكهربائية عند نقطة الانصهار أقلّ بثماني مراتب ممّا هو عليه في المعدن، ويكون تقريباً غير قابل للقياس في درجة حرارة الغرفة.

اعترف علماء الكهركيمياء في القرن التاسع عشر أنه يمكن استعمال المواد الصلبة الأيونية كإلكتروليتات في المدخرات والمحسّنات الكيميائية. غير أنّ ناقلية معظم المواد الأيونية المنخفضة إلى حد كبير تجعل مثل هذه النبائط غير عملية. ولقد لاحظ فارادي منذ عام 1835 أنّ كبريتيد الفضة وفلوريد الرصاص يتميّزان بناقلية مرتفعة بصورة استثنائية، حتى أنّ هناك بضع مواد تقترب ناقليتها من المحاليل المائية الإلكتروليتية.

بدأ هذا النمط من المواد في الستينيات بجذب الانتباه الكبير مع اكتشاف مركبات جديدة ذات ناقلية أيونية عالية ومع عرض "محاسن" نبائط ممكنة الصنع وبصورة خاصة المدخرات الصلبة وخلايا الوقود والمحسّنات (الشكل 1). تقدّم خلايا الوقود التي تعتمد على هذه المواد - المعروفة كناقلات الأيونات السريعة أو الإلكتروليتات الصلبة - طريقة فعّالة ونظيفة إلى حدّ كبير لإنتاج الطاقة على مقياس كبير. إذ تستعمل خلايا الوقود على سبيل المثال إلكتروليت مثل الزركونيا zirconia الذي ينقل أيونات الأكسجين مع الهدروجين كوقود، والهواء كمؤكسد، والماء كنفاية مُنتَجة. لقد قادت أزمة النفط في السبعينيات والحاجة إلى تدبير أفضل للطاقة إلى نشاط متزايد في هذا المجال، واستمرّ الاهتمام حتى الوقت الحاضر.

ما تزال الناقلية الأيونية المنخفضة وبصورة خاصة ناقلية المواد الصلبة التي تنقل بأيونات الليثيوم (من أجل إلكتروليتات المدخرات) وأيونات الأكسجين (من أجل خلايا الوقود)، تُعيق التطوّر التجاري لهذه النبائط. وإحدى الإستراتيجيات لزيادة ناقلية الإلكتروليت تكمن في إضافة مركبات (معروفة كمطعمات) تزيد بصورة تفضيلية التركيز على نمط واحد من العيب الزوجي. ومع الأسف يوجد في الغالب سوية مثلى واحدة من التطعيم بعدها تبدأ الناقلية بالنقصان. ففي السوية المثلى يكون السبيل الوحيد لزيادة الناقلية أكثر هو رفع درجة حرارة التشغيل لتحسين حركية العيوب. فمثلاً تصبح معظم خلايا الوقود فعّالة فقط عند درجات حرارة التشغيل حول 1000 °C. والبديل هو إيجاد بنى بلّورية تُسهّل تشكيل وهجرة العيوب. وهذا التشكيل له بعض النجاحات المحدّدة غير أنّ الثبات الميكانيكي الطويل الأمد لهذه المواد يشكّل عائقاً مهماً.

تُحدث الخواص السطحية لبلّورة أيونية منطقة شحنة الفضاء حيث تتحكّم طاقات العيوب الفردية بتركيز العيوب على السطح ويمكن أن يسيطر نمط واحد من العيب الزوجي. وكنتيجة لذلك يكون للسطح فائض من أحد

الشكل 1- هدف محتمل من أجل البحث في نواقل أيونية. إلى جانب خلايا وقود الحالة الصلبة والمحسّنات الأيونية يتم تطوير التقانة الأيونية من الليثيوم لاستخدامها في المدخرات القابلة للشحن. يكون للمدخرات الأيونية من الليثيوم خرج ذو سعة مرتفعة وطاقة عالية وهو مثالي من أجل استخدامه في المركبات الكهربائية وتخزين الطاقة (تخزين الكهرباء الفائضة المنتجة في محطات القدرة أثناء الفترات الخارجة عن الاستجرار الأقصى). وهذه النواقل تُصنّع أيضاً مدخرات مهمة للنبائط الإلكترونية المحمولة، مثل الهواتف المحمولة والحواسيب الصغيرة "الحضنية laptop"، التي تتطلّب مدة حياة طويلة. إنّ المواد التي صنّعها مائير وزملاؤه المؤلّفة من تعاقب طبقات من بلّورات أيونية ثخانتها من رتبة النانومتر هي التي حسّنت ناقليتها بعدة مراتب من القدر.

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

أنماط العيب كما يحدث عند التطعيم الكيميائي وتبعاً لذلك يتحسّن النقل الأيوني. وهذا يتبدّى تجريبياً [2] عندما تختلط بلّورات أيونية بسيطة مع عوازل لإنتاج عينات ذات مناطق بين سطحية متعدّدة. تشير التنبؤات النظرية (التي تتضمّن أعمال مائير السابقة [3]) إلى وجوب وجود زيادة في الناقلية الأيونية عندما يكون تباعد السطوح البينية مساوياً لطبقة شحنة الفضاء أو أصغر منها.

أحدث مائير وزملاؤه في التجربة الجديدة طبقات رقيقة متعاقبة من بلّورتين أيونيتين بسيطتين من فلوريد الباريوم وفلوريد الكالسيوم. ووجدوا أنّ الناقلية تُبدي على طول الطبقات (أي الموازية للسطوح البينية) زيادة واضحة عندما تتناقص ثخانة الطبقات. وعندما تكون ثخانة طبقات فلوريد الكالسيوم - فلوريد الباريوم 16 نانومتراً تماماً (عندما تبدأ طبقات شحنة الفضاء بالتراكب في مركز الطبقات) تصبح الناقلية بين 100 و1000 مرة أعلى من ناقلية بلّورات فلوريد الباريوم الجرمية.

يُعدّ هذا العمل البرهان الأول الحاسم للناقلية الأيونية المتزايدة في المواد ذات المقياس النانوي. ويجب أن يُطبّق الأسلوب العام أيضاً على المواد الأيونية الصلبة الأخرى وهكذا فهو يقدّم طريقة قابلة لأن يُتنبّأ بها لتصميم مدى واسع من المواد الأيونية الجديدة ذات تطبيقات عملية. ويكمن الهدف التقاني الواضح في تحضير نواقل أيونية من الليثيوم على مقياس نانوي لتصنيع مدّخرات أكثر فعّالية قابلة للشحن من أجل الإلكترونيات المحمولة (الشكل 1). وما يزال هناك مشكلات تقنية لابدّ من حلّها مثل تطوير التقنيات المخبرية من أجل الإنتاج على نطاق واسع. ومع ذلك توحي هذه النتيجة بأنّ المجال الصاعد للتقنيات الأيونية النانوية له مستقبل واعد.

المراجع REFERENCES

[1] Sata, N., Eeberman, K., Eberl, K. & Maier, J. Nature 408, 946-949 (2000).

[2] Liang, C. C. J. Electrochem. Soc. 120, 1289-1292 (1973).

[3] Maier, J. Prog. Solid State Chem. 23, 171-263 (1995).■

8- اكتساب الضوء من السليكون*

ستساعد ليزرات السليكون على جعل الحواسيب تشتغل بصورة أسرع وذلك عن طريق إحلال وصلات ضوئية محل وصلات كهربائية. ولكن المشكلة تكمن في أنّ السليكون العادي لا يتوهج. ويمكن حل هذه المشكلة ببلّورات نانوية شديدة التراص من السليكون.

تعدّ تقانة السليكون ملفتة للنظر إلى حدّ كبير ومنتشرة في حياتنا اليومية. فالجذاذات السليكونية موجودة في بيوتنا وسياراتنا وحتى في بعض أجسام الناس. وهذه الدارات المكروية تساعدنا على الاستيقاظ في الوقت المناسب وعلى ريادة الأنترنت وعلى المحافظة على انتظام حركة القلوب المسنّة. تحتوي الأعمال العلمية المتعلّقة بموضوع السليكون على أكثر من 250000 بحث. ولكن من المعروف منذ الستينيات (بعد ابتكار الدارة المتكاملة بمدة قصيرة) أنّ السليكون الكتلي غير فعّال إلى أقصى الحدود عند إصدار الضوء وهكذا لا يمكنه أن يلعب دوراً رئيساً في الإلكترونيات الضوئية - مستقبل عالي السرعة للدارات الإلكترونية. وهكذا التفت العلماء إلى صنع الليزرات ونبائط الاتصالات العالية السرعة إلى أنصاف نواقل أكثر تعقيداً مثل أرسنيد الغاليوم وفسفيد الإنديوم. فهي أنصاف نواقل جيدة لإصدار الضوء ولكنّها أغلى من السليكون ويصعب دمجها في جذاذات السليكون المكروية. فإذا أمكن ابتكار ليزر كله من السليكون فإنه يمكن أن يحدث ثورة في تصميم الحواسيب الفائقة ويقود إلى أنماط جديدة من النبائط الإلكترونية الضوئية.

تشير الاستنتاجات التي أوردها بافسي Pavesi وزملاؤه في تقريره [1] إلى أنّ ليزرات السليكون قد تبرز مع ذلك إلى حيّز الوجود. فلو أنّ هذا البحث قد ظهر منذ أكثر من عشر سنوات فربما كان سيصطدم بشيء لا يصدّق لدى جماعة أنصاف النواقل، ولكن في الوقت الحاضر، لا بد أن يسبب إثارة أكثر من أن يسبب الشكوك. ويعود سبب ذلك إلى تغيّر فكرتنا عن السليكون خلال السنوات القليلة الماضية. من المعروف الآن أنّ خواص السليكون تبدي حسّاسيةً لبنيته، على المقياس النانومتري.

يمكن أن تُصدر بلّورات السليكون النانوية والسليكون عالي المسامية بصورة خاصة ضوءاً أحمر أو أخضر، وحتى ضوءاً أزرق ضعيفاً، عندما يُحرّضان بضوء طول موجته أقصر (الشكل 1). ويمكن أن يتجاوز مردود بلّورات السليكون النانوية (المقيسة بالفوتونات المنبعثة لكل فوتون وارد) والتي تكون أفضل بـ 10000 مرة من السليكون الكتلي، % 1. فقد نوقش منشأ الضوء المرئي من السليكون المسامي مناقشة حامية، ولكن بالنسبة إلى الديودات المصدرة للضوء (LED) المصنوعة من السليكون المسامي فإنّ الكفاءة (نسبة الفوتونات المنبعثة لكل إلكترون محقون) ارتفعت أيضاً بانتظام في العقد الماضي [2] ووصلت الآن إلى نحو % 1. غير أنّ هذه السوية لا تزال منخفضة جداً بالنسبة للنبائط العملية، لكنها أقرب إلى الكفاءة بيضعة أجزاء في المئة الضرورية للعارضات المدمجة المصدرة للضوء.

ما زال أمامنا سبيل نسلكه قبل أن تصبح الديودات المصدرة للضوء المصنوعة من السليكون المسامي مغرية تجارياً. وإحدى المشكلات هي طبيعة الفرجة العصابية bandgap الضوئية - الفرجة في سويات الطاقة الإلكترونية التي تضبط إصدار الضوء. ورغم أنّ بلورات السليكون النانوية لها فرجة عصابية طاقوية عريضة بصورة كافية لإنتاج الضوء المرئي (2-3 إلكترون فولط وليس 1 إلكترون فولط في السليكون الكتلي) فإنها تحتفظ ببعض طبيعة "الفرجة العصابية غير المباشرة "indirect bandgap

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 23 November 2000. ترجمة هيئة التحرير -هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الشكل 1- الضوء الأول للسليكون. نجح الباحثون منذ عشر سنوات في جعل السليكون ذي التبلور النانوي يصدر الضوء الأحمر وذلك بتحريضه بحزمة ليزرية من أيون الأرغون (ضوء أخضر). ويأمل العلماء أن يكونوا قادرين بحلول العام 2010 على استخدام ليزر السليكون ذي التبلور النانوي عوضاً عن ليزر الأرغون. وربّما ستحدث مثل هذه الليزرات السليكونية المتنمنة ثورة في مجال الإلكترونيات الضوئية المستمر في النمو.

للسليكون العادي. وهذا يعني أنّ إصدار الضوء يمكن أن يحدث فقط عندما يترافق بعملية إضافية لنقل الطاقة. ونتيجة لذلك يكون إنتاج الطاقة في هذه البلورات النانوية أبطأ (في المكروثانية) من إنتاج مادة فرجة عصابية مباشرة مثل أرسنيد الغاليوم (في النانوثانية). وهذا يعني أنّ العمليات التي تولّد حرارة وليس ضوءاً يمكن أن تنافس إصدار فوتونات وتحدّ بشدة من خرج الضوء. ويعني أيضاً أنّ ديودات السليكون المصدرة للضوء يمكن أن تشتغل أو تتوقّف عن التشغيل فقط بسرعة 1 ميغا هرتز، وليس بسرعات 100 ميغا هرتز أو 1 جيغا هرتز الضرورية من أجل وصلات ضوئية عالية السرعة [3].

تبيّن الحسابات النظرية أنه من الضروري تقليص حجم بلورات السليكون النانوية إلى نانومتر واحد لإصدار ضوء أزرق بكفاءة أنصاف النواقل المركبة مثل نتريد الغاليوم. وهكذا يقوم العديد من الباحثين في الوقت الحاضر بالتحرّي عن طرائق لصنع بلورات سليكون نانوية أقل حجماً وأكثر تجانساً [4]. وقد حاول آخرون إدخال طبقات من البلورات النانوية المتألقة بين مرايا منمنمة لصنع تجويف ضوئي يستطيع تضخيم إصدار الضوء. بخصوص السليكون المسامي، أدى هذا إلى تضييق مهم في طيف الإصدار الذي يعدّ أحد معالم الضوء المترابط الشبيه بالليزر (عندما تكون كل الفوتونات متدرّجة بالنسبة إلى بعضها البعض). لكن حتى الآن لا يوجد أي تحسين في سرعة الإصدار الذي يحافظ على انخفاض شدة الضوء المنبعث. قد يتمثل الحل الأفضل بتحويل عملية التألّق التلقائية العادية ضمن بلورات السليكون النانوية إلى نوع من "الإصدار المحرّض stimulated emission" المترافق مع الليزرات. ففي الليزر يحرّض كل فوتون منبعث إصدار فوتون آخر بالتواتر نفسه ويفضي إلى خرج ضوئي مضخّم ومترابط.

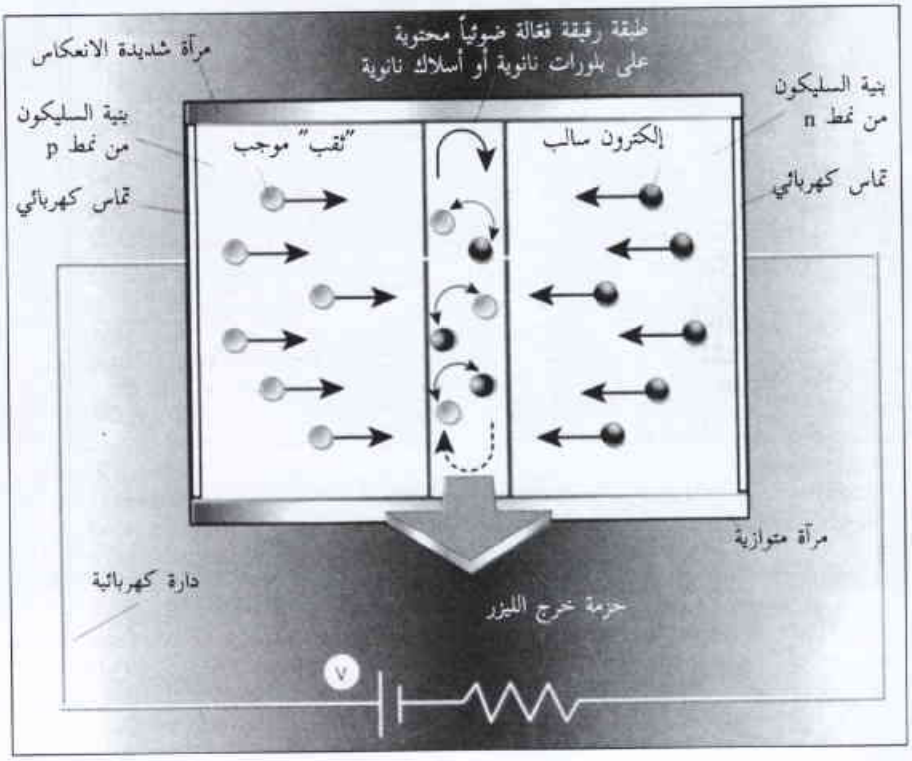
ما الذي يقودنا إلى استنتاجات بافسي ومساعديه الملفتة للنظر [1]. فقد أوجدوا تجمّعاً متراصاً بكثافة من بلورات نانوية من السليكون عرضها 3 نانومتر ومدفونة في ركازة من الأكسيد. وهذا النمط من بنية السليكون النانوية، مثل السليكون المسامي، كان أول ما أنتج منذ بعض الوقت [5]، غير أنّ خواصه التألقية بقيت هاجعة حتى مدة قريبة. ففي تجربة بافسي وزملائه تشكل البلورات النانوية طبقة رقيقة تماماً تحت سطح رقاقة سليكون مؤكسدة. استخدم المؤلفون طريقتين معياريتين لقياس الكسب الضوئي (عندما يتجاوز الخرج الضوئي الدخل الضوئي) وحصلوا على كسب عالٍ بصورة ملفتة للنظر في كلتا الحالتين - بالمقارنة مع الكسب من تجمّعات بلورات أنصاف النواقل النانوية المركبة مثل أرسنيد الغاليوم.

عزا المؤلفون هذا الكسب المرتفع إلى الكثافة المرتفعة إلى حد كبير لبلورات السليكون النانوية في البنى لأنّ تقديراتهم للكسب في كل بلورة نانوية أقل بكثير من تقديرات كسب أنصاف النواقل ذات الفرجة العصابية المباشرة. ويعدّ إثبات الكسب الضوئي خطوة حاسمة نحو صنع ليزر سليكوني ولكنه لا يعدّ آخر المطاف. فالليزر الحقيقي لابدّ وأن ينتج ضوءاً مترابطاً ومضخماً لبلوغ ما تتطلبه الحزمة الليزرية من تضييق وشدة.

لماذا لم يُر الكسب الضوئي في السليكون المسامي الذي جرت دراسته بمزيدٍ من التعمق؟ إنّ إحدى الصفات المميّزة واضحة من طيف الامتصاص الضوئي للبلورات النانوية حيث توجد سمة لم ترد في التقرير بخصوص السليكون المسامي. فقد أشار بافسي وزملاؤه إلى أنّ الكسب الذي حصلوا عليه هو نتيجة الجودة العالية لبلورتهم النانوية - السطح البيني في الأكسيد الذي له الكثير من "الحالات السطحية التي تُصدر الضوء لكل بلورة نانوية. وبالمقارنة، لا تتضمّن عملية التألّق في السليكون المسامي غير المؤكسد مثل هذه الحالات السطحية، وتكون أكثر اعتماداً على حجم البلورة النانوية وشكلها. وكما هي الحال مع الليزرات المصنوعة من البلورات النانوية من أنصاف النواقل المركبة، فإن الكسب الضوئي المرتفع سيحتاج إلى توزع حجمي منتظم للبلورات النانوية أكثر بكثير ممّا توصلت إليه تقانة التنميش etching أو تقانة بافس مع زملائه.

وماذا بعد ذلك؟ لصنع ليزر سليكوني يجب أن تُصنع بنى السليكون النانوية هذه لتعمل داخل تجويف ضوئي حيث يمكن لمرايا أن تردّ الضوء ذهاباً وإياباً حتى يصبح مترابطاً (الشكل 2). والسمة الأخرى الرئيسة التي لم ترد في نظام بارفسي وزملائه هي التحريض الكهربائي لإصدار الضوء. فإحلال عملية كهربائية محل التحريض الضوئي الموجود يشكل مسألة أساسية لاندماج ليزرات السليكون بسهولة في الدارات الإلكترونية. وهنا يمكن توجيه الانتباه إلى بنية الأسلاك النانوية ذات الربط البيني النموذجية للسليكون المسامي وليس إلى بلّورات السليكون النانوية، لأنّ الخواص الكهربائية للأسلاك النانوية السليكونية كانت حاسمة للوصول إلى كفاءة عالية للديودات المصدرة للضوء. وفي المستقبل لابد من إجراء المزيد من

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



الشكل 2– كيف يمكن في المستقبل أن يشتغل ليزر من السليكون يدار كهربائياً. يعدّ إصدار الضوء المدار كهربائياً من أنصاف النواقل أساس الديودات المنمنمة المصدرة للضوء والليزرات. تتشكل ديودات أنصاف النواقل التقليدية من أنصاف النواقل من النمطين p و n التي تشير إلى "ثقوب holes" مشحونة بشحنات موجبة وإلكترونات مشحونة بشحنات سالبة على التالي عندما تُطبّق فولطية عبر البنية. ينتج من إعادة اتحاد الإلكترون مع الثقب ضمن النصف الناقل فوتون ويؤدّي إلى إصدار الضوء. فإذا كان مردود إصدار الضوء مرتفعاً بصورة كافية وإذا كانت كل البنية موضوعة بين مرآتين عاكستين قويتين فيمكن للديود المُصدر للضوء أن ينقلب إلى ليزر منمنم. جرت العادة على اعتبار السليكون، الذي هو نصف الناقل المفضل في الصناعة الإلكترونية، مصدراً ضعيفاً للضوء غير أنّ بافسي وزملاءه برهنوا على انبعاث ضوئي جيد من طبقة مؤلفة من بلورات نانوية من السليكون محرّضة ببضات من الضوء فوق البنفسجي (وليس بالإلكترونات). والتحدّي المطروح الآن هو تحريض هذه البلورات النانوية كهربائياً لإنتاج حزمة من ضوء الليزر.

على أنها حجر الزاوية في محاولات تطوير الإلكترونيات الضوئية المعتمدة على السليكون. ويظهر أنّه لا يزال بمقدورنا تعليم المتخصصين الكبار بعض الأعمال الذكية لأنصاف النواقل. فالعملية لا تحتاج إلا إلى إعادة تنظيم (بناء) على المقياس النانوي.

المراجع REFERENCES

[1] Pavesi, L., Dal Negro, L., Mazzoleni, C., Franzo, G. & Priolo, F. Nature 408, 440-444 (2000).

[2] Gelloz, B. & Koshida, N. J. Appl. Phys. 88, 4319-4324 (2000).

[3] Goodman, J. W. et al. Proc. IEEE 72, 850-866 (1984).

[4] Holmes, J. D. et al. Science 287, 1471-1473 (2000).

[5] Nesbit, L. A. Appl. Phys. Lett. 46, 38-40 (1985).

[6] Ledoux,G. et al. Astron. Astrophys. 333, L39-L42 (1998).

[7] Zubko, V. G. et al. Astrophys. J. 511, L57-L60 (1999).■

9– الترصيع على الجذاذات*

حتى الحواسيب الكمومية لا تعمل بدون السليكون بشكله القديم.

قد تبدو أنابيب اختبار الكلوروفورم كحواسيب غير مرتقبة ولكنّها تشكّل القلب الصعب المنال للحواسيب الكمومية الوحيدة التي تعمل في الوقت الحاضر. ولكن هناك فكرة جديدة، كما يرى بعض العلماء في الولايات المتحدة وأستراليا، تسمح للمهندسين بوضع صفيفات من الذرّات على سطح من السليكون بحيث يمكن استعمالها لتصنيع أول حاسوب كمومي يعتمد على الجذاذة.

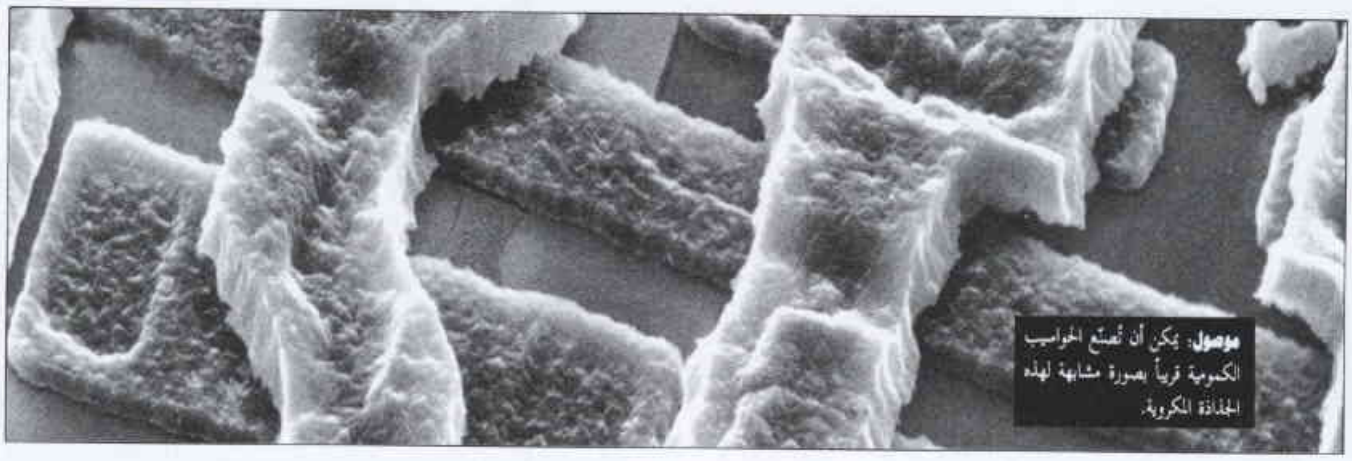
يشكّل إحداث صفيفات مرتبة من الذرات الأساس من أجل تجميع حواسيب صغيرة في المستقبل. ولكنّ تحريك الذرات في التقنيات الحالية لا يتم بالنسبة إلى بعض معظم العناصر الكيميائية المهمة. وكل ما يمكن أن

الدراسات على الكسب الضوئي بدرجة الحرارة العادية لأن تبعية الاعتماد على درجة الحرارة لهذه العمليات يمكن أن يعطي أفكاراً مهمة حول آلية الكسب الضوئي، ولأن الليزرة تُنجز بصورة عادية أولاً في درجات حرارة منخفضة حيث تكون العمليات المنافسة اللامتألقة أقل فعالية.

لم تغيّر أعمال بافسي وزملائه وأعمال العلماء الآخرين على مدى العقد الأخير نظرتنا للسليكون كمُصدر ضعيف للضوء إلاّ مؤخراً. ولكن إذا كان بعض علماء الفيزياء الفلكية على صواب، فإنّ السليكون ذا التبلور النانوي إذن يصدر ضوءاً في المجرة منذ بلايين السنين. ويحاول هؤلاء العلماء أن يبرهنوا على أنّ خواص السليكون وغزارته الكونية قد تفسّر انبعاث الضوء الأحمر الذي يراه علماء الفلك في سحب الغبار البينجمي. وهكذا يمكن أن تكون بلورات السليكون النانوية بالأحرى أكثر غزارة ممّا كان يُظن من قبل، مع أنّه سيمضي بعض الوقت قبل أن تُفحص بدقة مثل هذه البنى الطبيعية. وفي غضون ذلك، حالما تتم إعادة نسخ نتائج بافسي وزملائه، فإنه سيُنظر إليها، وأنا متأكّد من ذلك،

* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 13 January 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



موصول: يمكن أن تُصنّع الحواسب الكمومية قريباً بصورة مشابهة لهذه الجذاذة المكروية.

يتغيّر الآن هو ما قام به العلماء من تطوير طريقة لإحداث صفيفات من أي نوع من الذرّات وعلى أي نوع من الركازات.

ابتكر عام 1990 دون إيغلر D. Eigler من مركز بحوث ألمادن أي بي إم IBM's Almaden في كاليفورنية تقانة لالتقاط الذرات المنفردة باستعمال رأس المجهر النفقي الماسح scanning tunnelling microscope وتوضيعها في طرز على أحد السطوح. فقد استخدم التقنية ببراعة لكتابة الأحرف "IBM" بذرات الكزينون xenon على ركازة من النيكل. ولقد استخدمت هذه التقنية منذئذ لإحداث بنى متعددة بدءاً من ذرّات كثيرة مختلفة.

غير أنّ تقنية إيغلر لم تطبّق بصورة جيدة على الذرّات التي ترتبط فيما بينها ارتباطاً متيناً مثل ذرات الفسفور والسليكون وهذا ما يبرهن على كونها ذات أهمية كبيرة من أجل الحوسبة computing. وبحسب قول بروس كين B. Kane، الفيزيائي في جامعة ماريلاند الذي قدّم تقنية بديلة إلى جانب زملاء في جامعة نيو ثاوث ويلز، فإنّ ذرات الفسفور تلتصق ببساطة على سطح السليكون ولا يمكن التقاطها ثانية. ويستطرد قائلاً: "إنّ الهدف هو ابتكار طريقة توضيع للذرّات دون أن تكون مسبقاً بتماس مع ركازة السليكون".

وتكمن الفكرة في تغطية سطح السليكون بطبقة رقيقة جداً (فلم) من الهليوم الفائق الميوعة وتعويم أيونات الفسفور عليها. وعادة ما تغرق الأيونات إلى قعر الطبقة الرقيقة وترتبط مع الركازة، ولكن بتطبيق حقل كهربائي على العينة تستطيع الأيونات أن تعوم (انظر المخطط).

ونظراً لتدافع الأيونات المتبادل فإنّها تشكل صفيفاً منتظماً ثنائي الأبعاد يُعرف ببلورة فيغنر Wigner. وعندما نقطع الحقل الكهربائي تسقط الأيونات على السليكون حيث ترتبط مع السطح في هذا الطراز. أمّا الهليوم فيتبخّر بعد ذلك قبل أن تتوضّع طبقة أخرى من السليكون فوق الصفيف لتثبيتها في محلها.

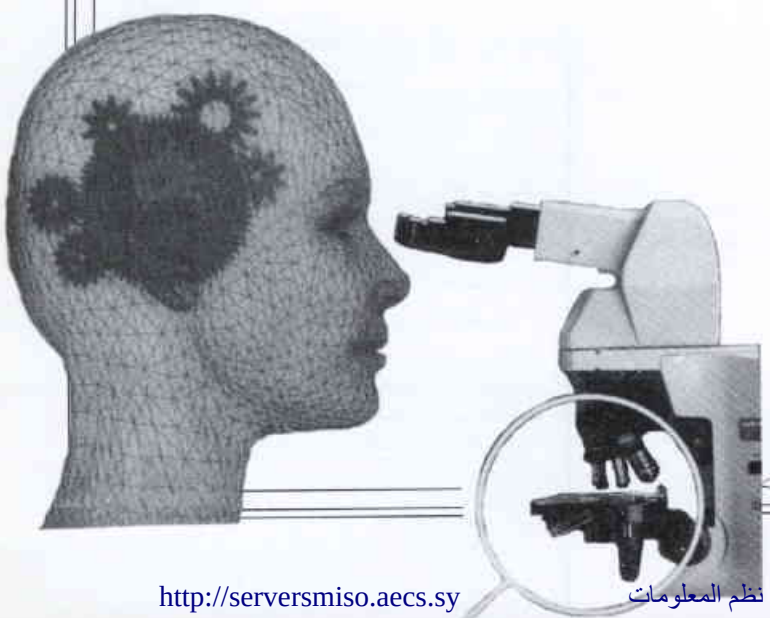
يريد كين الآن أن يُصنّع حاسوباً كمومياً بحيث تستطيع كل ذرة فسفور في الصفيف أن تخزّن وتعالج بتات أحادية single bits للمعلومة الكمومية التي تسمى كوبيت (كوبيتات qubits).

ويمكن لصفيف مؤلف من 30 ذرة فسفور أن يُستخدم كأساس لحاسوب كمومي أكثر استطاعة من الحواسيب الفائقة الحالية.■

☆ ★ ☆

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

ورقات البحوث



الخواص التبادلية الأيونية لمركب سليكوتنغستات السيريوم (IV) ★

د. غدير زيزفون، د. توفيق ياسين، أحمد سرحيل
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص. ب 6091 دمشق - سورية

ملخص

حضّرت مركّبات سليكوتنغستات السيريوم في ظروف مثلى، ودُرست خواصها باستخدام تقنيات مختلفة. أظهرت المركّبات الناتجة خواص تبادلية جيدة وشغفاً كبيراً لبعض الكاتيونات مثل Pb^{2+}, Fe^{3+}, Ag^{+}, Ba^{2+}, Ra^{2+}, UO_2^{2+}. يُنصح باستعمال هذا المبادل لفصل وتحليل نظائر الراديوم في العينات البيئية.

الكلمات المفتاحية: المبادلات الأيونية اللاعضوية، سليكوتنغستات السيريوم، أملاح الحموض المتعددة اللامتجانسة.

مقدمة

تُفضَّل المبادلات الأيونية اللاعضوية على المبادلات العضوية في مجال الفصل الكيميائي الإشعاعي والتقانات النووية نظراً لخواصها الفريدة مثل الانتقائية العالية لأيونات معينة ومقاومتها للإشعاع والحرارة [1-6].

لاقت أملاح الحموض المتعددة اللامتجانسة تطبيقات متباينة في مجال علوم الفصل، لأن بنيتها تسمح بأكثر من موقع تبادلي [3,7-9]، قدَّم كثيرون من الباحثين عدداً من المبادلات اللاعضوية المرتكزة على الحموض المتعددة اللامتجانسة، التي أبدت بدورها اختلافات كبيرة في الخواص الناتجة وفي تطبيقاتها [3, 9-11]. أظهرت أملاح سليكوتنغستات الكاتيونات الرباعية التكافؤ خواص تبادلية فريدة لعدة كاتيونات، كما أبدت استقراراً عالياً في ظروف الدراسة [12]. تشير هذه الورقة إلى إجراءات تحضير ودراسة بعض الخواص التبادلية الأيونية لمركب سليكوتنغستات السيريوم IV.

القسم العملي

الكواشف

استُعملت نترات أمونيوم سيريوم (IV) وسليكات الصوديوم وتنغستات الصوديوم (MERK) دون أية تنقية إضافية. وكانت المواد الأخرى كافة ذات درجة تحليلية.

الأجهزة

حدِّدت تراكيز العناصر إما باستخدام تقنية الامتصاص الذرّي (Perkin- Elmer 2380) أو المطيافية الضوئية (HACH DR/ 3000). استُعمِل كل من العدّاد التناسبي (Canberra - 2404) ومطيافية غاما (كاشف جرمانيوم عالي النقاوة ذو كفاية 30%) لقياس النشاط الإشعاعي. سُجِّلت طيوف FTIR باستعمال مطياف Jasco FT/ IR - 300E، وأُنجز التحليل الحراري باستعمال المحلل DTA, 404 EP, NETZSCH.

التحضير

حُضِّر مركب سليكوتنغستات السيريوم IV بإضافة 100 مل من محلول 0.1 M من نترات الأمونيوم السيريوم - IV قطرة قطرة إلى بيشر حاوٍ على مزيج من 200 مل من تنغستات الصوديوم ذي التركيز 0.1 M و 100 مل من سليكات الصوديوم ذي التركيز 0.1 M مع التحريك المستمر. مُدِّد المزيج الناتج إلى 1000 مل، وضُبطت قيمة pH الوسط على القيمة 6.0 بواسطة محلول من HNO_3 ذي التركيز 0.1 M وتُرك المزيج مدة 24 ساعة.

رُشِّح الراسب الأصفر وغُسِل بالماء حتى ثبات الـ pH على القيمة 5 ~، وجُفِّف في الدرجة 45°C، أعيد غسل المسحوق الناتج بـ 50 مل من محلول 5 M, HNO_3 لإزالة الكاتيونات الممتزة، ثم غُسل ثانية بالماء حتى ثبات الـ pH على قيمة 5 وجُفِّف في الدرجة 45°C. نُخل المركّب الحبيبي الناتج ذو اللون الأبيض المصفر وجُمعت الحبيبات ما بين 100-200 mesh، والتي شكلت نسبة 75% من مجمل المركّب من أجل الدراسات اللاحقة.

المكونات والتحليل

حُلَّت كمية 0.5 g من المركّب في 25 ml من حمض كلور الماء المركز. عولج 5 مل من المحلول الناتج بـ 12 مل من محلول NaOH تركيزه 4 M لترسيب هدروكسيد السيريوم. مُدِّد حجم 5 مل من الرشاحة الناتجة بالماء الثنائي التقطير إلى 25 مل، وحُدِّد التنغستين بقياس امتصاصية معقد تيوسيانات عند طول موجة 400 nm. وحُدِّد السليكون بقياس امتصاصية معقد موليبدوسليكات عند طول موجة 427 nm. أُعيد حل راسب السيريوم في 5 مل من محلول HCl تركيزه 5 M، وحُدِّد السيريوم على شكل أوكسينات السيريوم عند طول موجة 505 nm.

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 245, No. 3 (2000).

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

الاستقرار الكيميائي

خُضّت كمية 50 mg من المركّب لمدة 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة مع 30 مل من محاليل حمضية وقلوية مختلفة. حُدّد كل من السيريوم والسليكون والتنغستين كما ذكر سابقاً.

الخواص التبادلية الأيونية

حُدّد زمن التوازن التبادلي بواسطة قياس الـ pH، حيث حُرّكت كمية 100 mg من المبادل بشكله الحامضي مع 20 مل من محلول NaCl تركيزه 0.01 M لفترات زمنية متباينة امتدت حتى 50 ساعة، وحُدّدت قيم pH الوسط عند كل فترة. حُدّدت السعة التبادلية بخض 0.1 g من المبادل بشكله الهدروجيني مع 20 مل من محاليل أملاح كلورية ذات تراكيز تصل إلى 3 M ولمدة 20 ساعة. حُدّدت السعة بكل من القياسات الكمونية وقياس تراكيز الكاتيونات في المحلول قبل وبعد عملية الخض.

أُجريت عمليات المعايرة الكمونية بخض 100 mg من المبادل مدة 20 ساعة مع 20 مل من محاليل تحوي كميات مختلفة من كلور المعدن وهدروكسيده، مع الحفاظ على تركيز ثابت للمعدن. قيست بعدها قيم pH المحلول وتركيز المعادن فيه.

حُدّدت معاملات التوزع لكاتيونات مختلفة بالطريقة المتقطعة، حيث خُضّ 100 mg من المبادل بشكله الهدروجيني مدة 24 ساعة مع 10 مل من محلول الكاتيون ذي التركيز 5.10^{-4} M. يُحدّد تركيز الكاتيون في المحلول قبل وبعد حدوث عملية التبادل. تحسب معاملات التوزع K_d من العلاقة:

$$K_d = \frac{V}{m}\frac{C_0 - C}{C}$$

حيث: V حجم المحلول

m كتلة المبادل

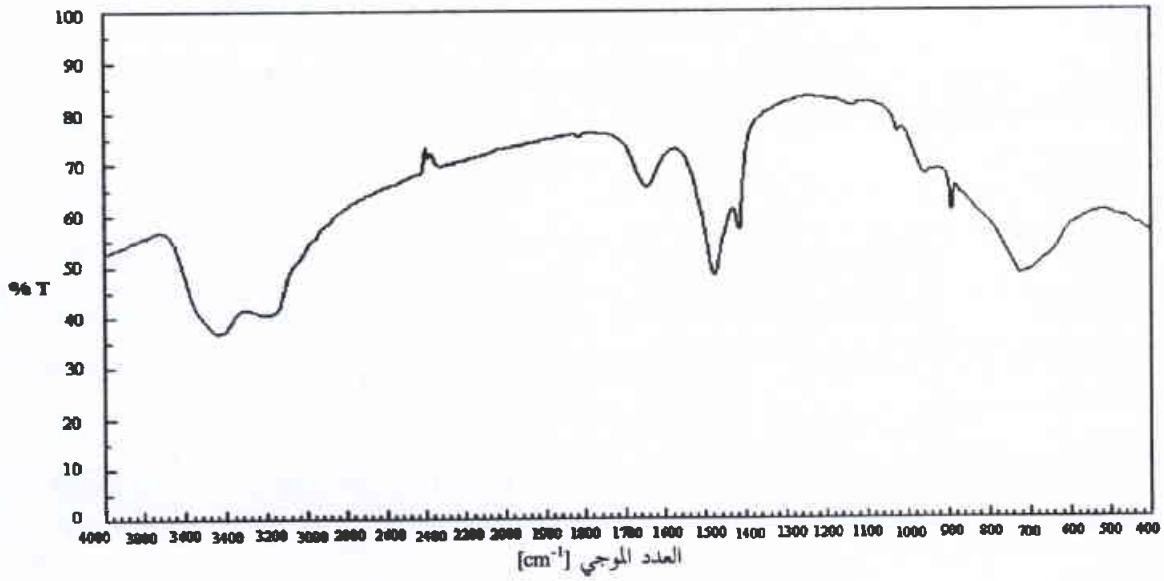
C_0 و C تركيز الكاتيون قبل وبعد عملية التبادل.

النتائج والمناقشة

كان المركّب الناتج مسحوقاً أبيض مصفر حبيبي الشكل. بينت قياسات انعراج الأشعة السينية بنية عديمة الشكل، حيث لم تظهر أية خطوط انعراج. أظهر التحليل الكيميائي تركيباً من الشكل:

5.0% سليكون و 50% تنغستين و 18% سيريوم و 9% ماء، وبالتالي يمكن وضع الصيغة الإجمالية التالية: $CeO_2W_2O_5SiO_2.4H_2O$.

أظهر طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR، الشكل 1، عصابة عريضة بين $3000\text{-}3600\ cm^{-1}$ يمكن إرجاعها إلى مجموعات الهدروكسيل البينية بينما تكون العصابة عند $1630\ cm^{-1}$ موافقة لمركبة انحناء HOH. توافق العصابات الواقعة ما بين $1400\text{-}1600\ cm^{-1}$ مركبات الانحناء معدن –OH بينما توافق العصابات الواقعة ما بين $680\text{-}710\ cm^{-1}$ إلى مركبة الشد Ce-O-H، وتعود العصابة ما بين $890\text{-}940\ cm^{-1}$ لأيون المولبيدات.



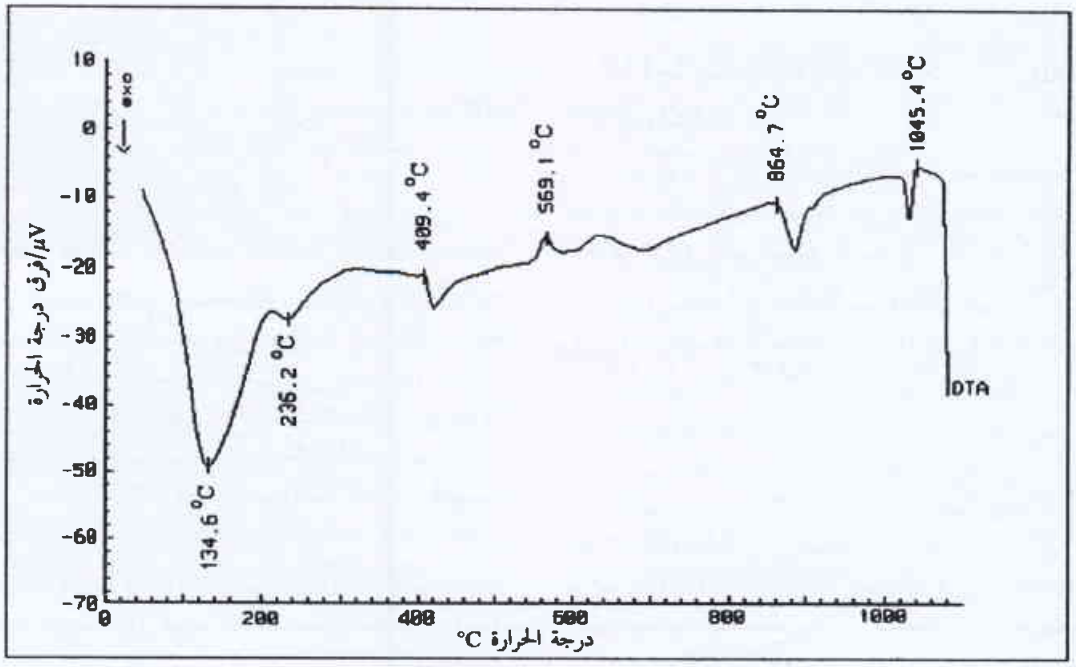
الشكل 1– طيف FTIR لسليكوتنغستات السيريوم – IV.

أظهر التحليل الحراري التفاضلي أربعة انتقالات ماصة للحرارة وانتقالين ناشرين للحرارة (الشكل 2). يمكن إرجاع القمة الناشرة للحرارة الكبيرة عند الدرجة 135°C إلى إزالة الماء السطحي الحر، في حين قد تكون القمة عند الدرجة 409°C ناتجة عن تبخر جزيئات الماء، أما القمم الأخرى المبينة في الشكل 2؛ فقد تكون ناتجة عن عمليات تفكك وانتقالات مختلفة.

أبدى المركب الناتج خواص تبادلية أيونية جيدة. يبين الجدول 1 السعة التبادلية لأيونات مختلفة، حيث وجد أن السعة التبادلية تزداد وفق الترتيب التالي:

$Li^+ < K^+ < Na^+ < Cs^+ < Sr^{2+}$، وهذا الترتيب يوافق بشكل تقريبي زيادة أنصاف الأقطار الأيونية للكاتيونات المتبادلة المميهة.

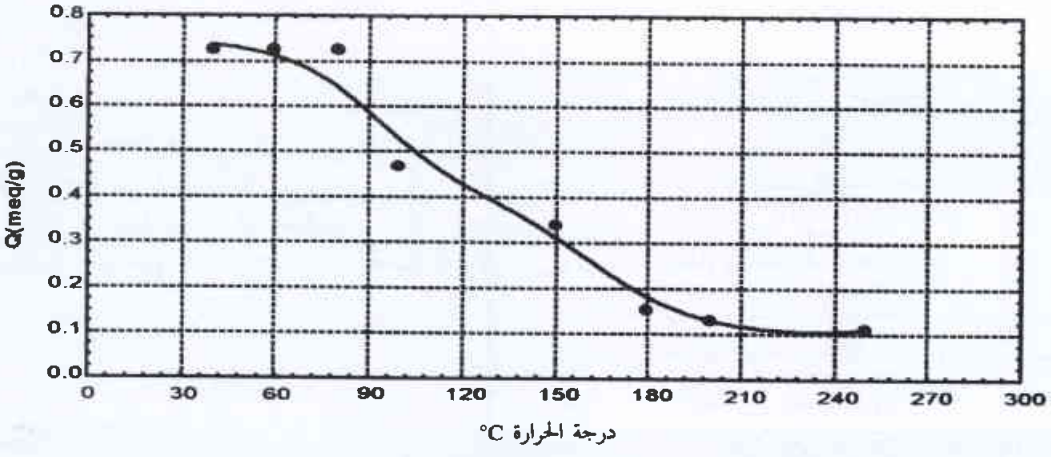
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 2– طيف DTA لسليكوتنغستات السيريوم - IV.

الجدول 1– تغير السعة التبادلية لسليكوتنغستات السيريوم -IV مع تراكيز الكاتيونات.

الكاتيون	0.1M	0.5M	1.0M	2.0M	3.0M
Sr^{+2}	0.28±0.014	0.45±0.022	0.61±0.03	1.41±0.07	1.7±0.085
Li^{+}	0.12±0.006	0.20±0.01	0.32±0.016	0.38±0.018	0.41±0.007
Na^{+}	0.13±0.007	0.19±0.009	0.26±0.013	0.41±0.02	0.68±0.035
K^{+}	0.13±0.007	0.15±0.007	0.20±0.01	0.38±0.017	0.62±0.027
Cs^{+}	0.17±0.009	0.24±0.012	0.34±0.016	0.51±0.025	0.69±0.031



الشكل 3– تغير السعة مع درجة الحرارة.

لوحظ أن السعة التبادلية تتناقص مع زيادة درجة حرارة التجفيف، كما هو مبين في الشكل 3، حيث أن درجة حرارة تجفيف أقل من 80°C لم تُظهِر أي تأثير على السعة. تؤكد هذه الظاهرة على انخراط ماء الإماهة في عملية التبادل.

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

معاملات التوزع

دُرس توزع 19 كاتيوناً ذات تكافؤات مختلفة بين المبادل ومحاليل مائية عند تراكيز مقدارها 5×10^{-4} M. تُلخّص النتائج التي حصل عليها في الجدول 2، حيث يبدو جلياً أن لهذه المركّبات ألفة لعدد كبير من الأيونات. وجِدَ أن تتابع الانتقائية للكاتيونات أحادية التكافؤ على الشكل التالي:

$$Na^+ < K^+ < Cs^+ < Ag^+$$

في حين كان من أجل الكاتيونات الثنائية التكافؤ على الشكل:

$$Ca^{2+} < Ni^{2+} < Co^{2+} \approx Mg^{2+} \approx Zn^{2+} \approx Cd^{2+}$$

$$< Sr^{2+} < Cu^{2+} < < Sn^{2+} < Ba^{2+} < pb^{2+}$$

لقد وجِدَ أيضاً حدوث انتقائية عالية لـ Fe^{3+} و U(VI). إن تعاقب انتقائيات الأيونات الأحادية التكافؤ مشابه للتعاقب المحصول عليه في أملاح متعددة لا متجانسة أخرى [13].

دُرس تأثير المذيب على توزع بعض الكاتيونات باستعمال محاليل إيتانول ونترات. تُظهر النتائج المبينة في الجدول 3 أن إضافة الإيتانول تؤدي إلى زيادة في قيم K_d، في حين كان هناك امتصاص كامل لكل من pb^{2+} وFe^{3+} وBa^{2+} في محلول إيتانول نقي.

أدت أنيونات النترات المضافة على شكل نترات الأمونيوم أو حمض الآزوت إلى تناقص قيم K_d، رغم أن هذا التناقص كان أكبر عند إضافة حمض الآزوت ويعزى ذلك إلى تأثير الحموضة.

الجدول 2- معاملات توزع بعض الكاتيونات المعدنية (5.10^{-4} M) على سليكوتنغستات السيريوم - IV.

الكاتيون	الشكل الكيميائي	K_d(ml/g)	الطريقة
Ag^+	نترات	6630	امتصاص ذرّي
K^+	كلوريد	54.63	امتصاص ذرّي
Cs^+	كلوريد	203.82	امتصاص ذرّي
Na^+	كلوريد	2.16	امتصاص ذرّي
Co^{+2}	نترات	110.71	امتصاص ذرّي
Cu^{+2}	سلفات	193.62	امتصاص ذرّي
Zn^{+2}	كلوريد	111.45	امتصاص ذرّي
Mg^{+2}	كلوريد	110.93	امتصاص ذرّي
Cd^{+2}	سلفات	112.07	امتصاص ذرّي
Pb^{+2}	نترات	24423.8	امتصاص ذرّي
Ca^{+2}	كلوريد	58.73	امتصاص ذرّي
Ni^{+2}	كلوريد	80.03	امتصاص ذرّي
Ba^{+2}	كلوريد	3714.44	امتصاص ذرّي
Sn^{+2}	كلوريد	1878.5	امتصاص ذرّي
Sr^{+2}	كلوريد	179.87	امتصاص ذرّي
Fe^{+3}	كلوريد	12818.18	امتصاص ذرّي
Al^{+3}	نترات	208.9	امتصاص ذرّي
V(V)	فاندات الأمونيوم	186.19	امتصاص ذرّي
U(IV)	نترات اليورانيل	912.76	فلورة

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

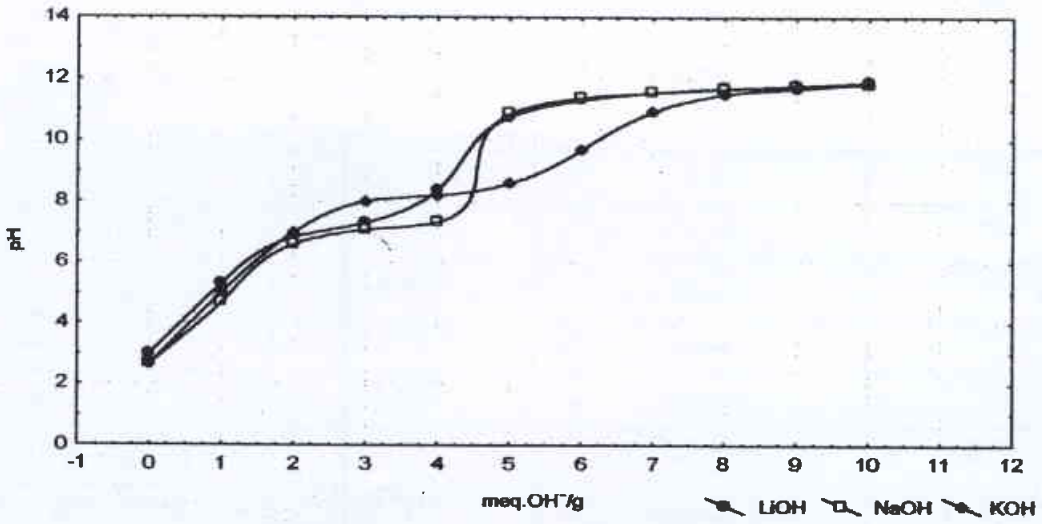
الجدول 3- تأثير الوسط على معاملات التوزع.

المحلول	$K_d$ml/g						
	Pb^{2+}	Ag^{+}	Fe^{3+}	U(VI)	Sr^{2+}	Cd^{2+}	Ba^{2+}
H2O	29328	7614	14110	912	169	115	3714
H2O: C2H5OH 2:1	CA	3610	CA	982	382	357	5870
H2O: C2H5OH 1:1	CA	9379	CA	1388	920	456	20706
H2O: C2H5OH 1:2	CA	10700	CA	1988	2069	591	171550
H2O: C2H5OH 0:1	CA	53900	CA	6230	2310	2139	CA
NH4NO3 0.5 M	1045	216	3452	183	16	8	519
NH4NO3 0.1 M	4925	386	5262	219	20	12	1063
NH4NO3 0.01 M	22789	852	9700	417	31	27	1755
HNO3 0.5	16	42	13	21	11	7	375
HNO3 0.1	769	96	492	50	19	12	427
HNO3 0.01	1415	221	880	105	35	16	762

يمكن القول أن تأثير المذيب عائد إلى التغير في حجم الكاتيونات المحلمهة، حيث يمكن أن تؤدي أيونات النترات إلى زيادة حجم الكاتيون المميه وبالتالي إعاقة امتصاصه، في حين يؤدي الإيتانول إلى إنقاص حجم الكاتيونات المميهة وبالتالي يسهل عملية الامتصاص. جرت عمليات معايرة الـ pH كما ذكر في عمل سابق [5]. يبين الشكل 4 أن لهذا المبادل وظيفة حمضية ضعيفة. وتزداد السعة التبادلية أيضاً مع إضافة أيونات OH^-، حيث تصل إلى حوالي 4meq/ g عند قيمة pH~9 ثم تبدأ بعدها بالانخفاض نتيجة لبدء المركب بالانحلال، إذ كانت الانحلالية عند pH=9 أقل من 0.25 mmol/ l.

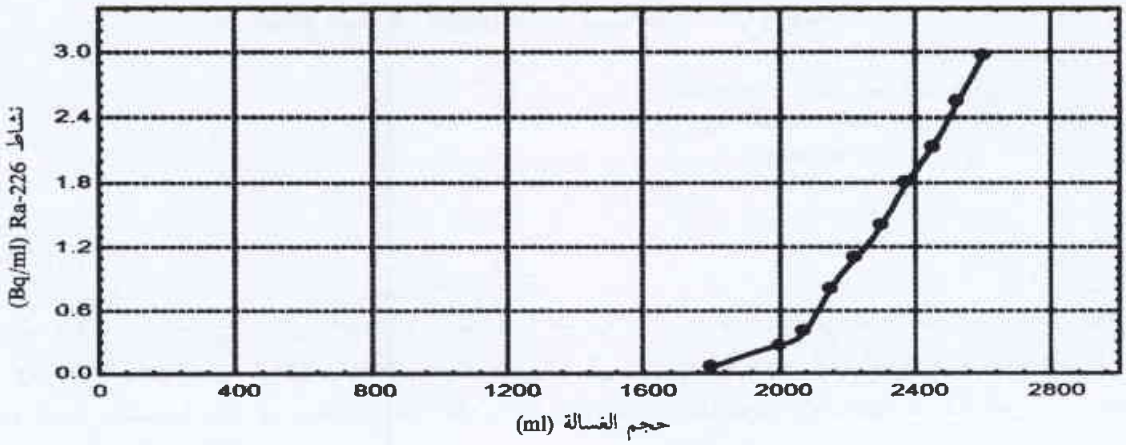
إفلات الراديوم

كان لهذا المبادل ميزة تختلف عما حُصِل عليه في المركّبات المتعددة اللامتجانسة الأخرى [14]، إذ أنه يملك ألفة كبيرة لكاتيونات الباريوم. ولما كانت كاتيونات الراديوم تسلك سلوكاً مشابهاً لكاتيونات الباريوم؛ جرت



الشكل 4- تغير قيمة الـ pH مع إضافة OH^-.

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



الشكل 5- منحني إفلات الراديوم - 226 من سليكوتنغستات السيريوم - IV.

دراسة سلوك الراديوم -226 على هذا المبادل. مُلىء عمود (نصف قطره 0.5 cm وطوله 6 cm) بـ 0.5 g من المبادل. مرّر عبر العمود حوالي 35 ml من محلول الراديوم -226 ذي التركيز 100 kBq/ l بتدفق 1 ml/ min، حيث لوحظ أن كامل نشاط الراديوم -226 امتص في العمود. غُسل العمود الحاوي على الراديوم -226 بـ 3 لتر من الماء الثنائي التقطير. بدأ إفلات الراديوم بعد مرور حوالي لترين من الماء، كما هو مبين في الشكل 5. من خلال هذه النتيجة يُتصح بإمكانية استعمال هذا المبادل من أجل فصل الراديوم من العينات البيئية.

REFERENCES المراجع

[1] J. KORKISCH, Hand book of Ion Exchange Resins: Their Application to Inorganic Analytical Chemistry, Vol. 1, CRC Press Florida 1989.

[2] J. S. GILL, S. N. TANDON, J. Radioanal. Chem., 36 (1977) 345.

[3] K. DORFINER, Ion Exchangers, Walter de Gruyter Berlin - New York, 1991.

[4] M. QURESHI, K. G. VARSHNEY, Inorganic Ion Exchange in Chemical Analysis, CRC Press, Boston, 1982.

[5] T. YASSINE, J.Radioanal. Nucl. Chem., 137 (1993) 387.

[6] Y. MURAKAMI, A. IIJIMA, J. W. WARD, New Development in Ziolite Science and Technology, Kodonsha, 7th IZC, 1986.

[7] M. QURESHI, R. C. KAUSHIK, Sep. Sci. Techn., 17 (1982) 739.

[8] S. WAQIF HUSAIN, S. H. RASHEEDZAD, J. L. MANZOORI,Sep. Sci. Techn., 17 (1982) 935.

[9] A. CLEARFILED, Inorganic ion Materials, CRC Press, Florida, 1981.

[10] A. DYER, M. J. HUDSON, P. A. WILLAMS, Ion Exchange Processes: Advance and Applications, Royal Society of Chemistry, 1993.

[11] C. B. AMPHLETT, Inorganic Ion Exchangers, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964.

[12] E. W. HOOPEV, B. A. PHILLIPS, S. P. DAGNALL, Ion Exchangers to the treatment of Intermediate Level Wastes, UK-Chem. Tech. Div. Doe/ Rw/ 83.171, AERE-R 11088, 1984.

[13] A. K. JAIN, S. AGRAWAL, R. SINGH, J. Radioanal. Nucl. Chem., 54 (1979) 171.

[14] A. K. DE, P. A. CHAKRABORTY, Sep. Sci. Techn., 17 (1982) 1129.■

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

التمييز بين عزلات العامل الممرض Drechslera graminea باستخدام تقانة واسمات الدنا متعددات الشكل المضخمة عشوائياً والصفات الشكلية المزرعية*

محمد جوهر، د. محمد عماد الدين عرابي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب. 6091 دمشق - سورية
ر. س. سانفوان
جامعة بيكاردي - مخبر التقانة الحيوية - كلية العلوم أميانس - فرنسا

ملخص

جمعت عزلات من العامل الممرض Drechslera graminea المسبب لمرض التخطط الطولي على الشعير من مناطق مختلفة في سورية، ودرست الاختلافات الشكلية ونمو المستعمرات المزرعية في الزجاج in-vitro. كما استخدمت تقانة واسمات الدنا متعددات الشكل المضخمة عشوائياً randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers لدراسة الفروق بين العزلات على المستوى الجزيئي.

تبين وجود اختلافات بين العزلات المستخدمة ولجميع الصفات الشكلية، كما لوحظت تعددات شكلية جزيئية بينها. أظهرت اثنتان من المرئسات Primer المستخدمة OPK3 (5'-CCAGCTTAGG-3') و OPK5 (5'-TCTGTCGAGG-3')، اختلافات بين العزلات، وذلك في عدد وحجم حزم الدنا DNA المضخمة. واعتبرت المرئستان آنفتا الذكر كافيتين لتمييز معظم عزلات العامل الممرض المدروسة.

نستنتج من الدراسة أنه يمكن استخدام تقانة الـ RAPD كطريقة دقيقة وسريعة لتمييز عزلات العامل الممرض D. graminea.

الكلمات المفتاحية: العامل الممرض Drechslera graminea، الشعير، واسمات الدنا RAPD.

مقدمة

يعتبر مرض التخطط الطولي Helminthosporium gramineum واحداً من أكثر الأمراض الورقية الفطرية شدةً على الشعير في العالم. وهو مرض بذري (ينتقل عبر البذور) ويسببه العامل الممرض Drechslera graminea. تتركز مشيجة هذا الفطر ضمن غلاف البذرة، إلا أنها لا تصل إلى جنين البذرة [1]. ونظراً لكون المرض بذرياً، لا يصل النبات الحساس والمصاب إلى مرحلة التسنبل مؤدياً ذلك إلى خسائر كبيرة في الإنتاج.

تعتمد الطريقة التقليدية في تمييز عزلات العامل الممرض D. graminea على صفات العزلات الشكلية وخصائص نموها على بيئة محددة في الزجاج. تتطلب الطريقة بشكل عام بعض الخبرة في علم السموم وتزداد معيقات الطريقة عندما نعلم بأن هناك تنوعاً وراثياً كبيراً بين عزلات العامل الممرض مما يقلل من أهمية التمييز بين العزلات اعتماداً على الصفات آنفة الذكر فقط. بالإضافة إلى أنها طريقة طويلة غير دقيقة نتيجة الخلط بين إصابات حقلية ذات أعراض مرضية متشابهة، وبالتالي لا يمكن الاعتماد عليها إن لم يتبعها طرائق أكثر دقةً، كتلك المتعلقة بتقويم فوعتها المرضية.

أشار كلٌ من [3,2] إلى تعدد الخلايا المشكلة لبوغ العامل الممرض Drechslera graminea، وبالتالي زيادة إمكانية التصالب الذاتي بينها مما يؤدي بالنتيجة إلى اختلاف محتواها الوراثي.

ساعدت تقانة واسمات الدنا متعددات الشكل المضخمة عشوائياً في إسداء خدمة واسعة في الدراسات الوراثية خاصةً لدى الكائنات الحية التي تمتاز بصفات شكلية محددة [6, 5, 4]. كما ساهمت تقانة الـ RAPD في التأكد من قرابة عترات races العوامل الممرضة [7]. إن لتمييز وكشف عزلات العامل الممرض Drechslera graminea أهمية في مجالات مختلفة كالحجر الزراعي، وتأتي الأهمية من خلال حصر وتقييد انتشار العامل الممرض مع المواد النباتية المدخلة.

هدفت الدراسة إلى تمييز عزلات مرضية جمعت من مناطق مختلفة في سورية وذلك باستخدام طرائق توصيف العزلات بالاعتماد على تباين شكلها ونموها على بيئات صنعية في الزجاج، بالإضافة إلى توظيف تقانة الـ RAPD لإظهار الاختلافات بينها على المستوى الجزيئي. وبالتالي

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Cereal Research communications, Vol.28, Nos. 1-2, 2000.

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

تأسيس بنك وراثي محلّي يساعد في دراسة هذا العامل الممرض وفي برامج التربية اللاحقة للعائل النباتي (الشعير).

المواد والطرائق

عزل وتصنيف عزلات العامل الممرض

جمعت خلال عامي 1996 و 1997 من مناطق مختلفة من سورية أكثر من 105 عزلة من العامل الممرض D. graminea وذلك من أوراق شعير تظهر مظاهر مرض التخطط الطولي. اختيرت استناداً إلى دراسة أولية تسع عزلات اعتماداً على خصائصها المزرعية في الزجاج (الشكلية، تلون المشيجة وقوة النمو .....) وصنفت العزلات إلى أحادية ومتعددة البوغ باستخدام الأحرف الأبجدية للإشارة إلى مصدرها (S = سورية، I = إيكاردا) حيث يدل اقتران العزلة برقم واحد على عزلة متعددة البوغ ويشير اقترانها برقمين إلى عزلة أحادية البوغ (سلالة مرضية) (الجدول 1).

الجدول 1- العزلات المختارة العامل الممرض Drechslera graminea والمجموعة من مناطق مختلفة في سورية

العزلة	سنة الجمع	المنطقة
S1-19, S2-8	1996	جنوب سورية
S3-S25	1997	جنوب سورية
S4-15	1996	شمال شرق سورية
S5-20	1997	شمال شرق سورية
S6-1	1996	شمال شرق سورية
I 1-13, I 3-3	1997	ايكاردا
12-6	1996	ايكاردا

ايكاردا: المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة.

تنمية الفطر وظروف النمو

جزئت مسطحات ورقية تضم أعراض المرض (نيكروز + كلوروز) إلى قطع بأبعاد 5-10 مم (طول) و 4-5 مم (عرض)، ثم عقمت بغمسها ضمن محلول هيبوكلوريد الصوديوم (NaOCL) تركيز 5 % لمدة خمس دقائق ثم غمست ثلاث مرات (خمس دقائق كل منها) في ماء مقطر ومعقم. نقلت الأجزاء الورقية المحضرة بهذه الطريقة إلى أطباق بتري احتوت على بيئة بطاطا (Potato Dextrose Agar = PDA)، وحضنت في الظلام لمدة 12 يوم وبدرجة حرارة 18-20 م° وذلك للسماح للمشيجة الفطرية بالنمو. جرى تحضير معلق بوغي من النموات المزرعية المتحصل عليها بعد فترة الحضن ونقلت الأبواغ إفرادياً إلى بيئة بطاطا PDA وتركت لتنتش وتنمو ضمن شروط الحضن المذكورة آنفاً. استحصل على العزلات أحادية البوغ بدءاً من عزلات متعددة الأبواغ باتباع طريقة المعلق البوغي والتي تقضي بالحصول على نقطة من المعلق تضم بوغاً واحداً فقط يجري استزراعه مجدداً على بيئة بطاطا دكستروز آغار ومتابعة نموه ودراسة صفاته الشكلية.

استُزرعت العزلات التسع على بيئة دكستروز بطاطا (PDA) وحُضّنت بنفس الشروط المذكورة سابقاً، وجرى متابعتها وقياس نموها خلال ثلاث مراحل من تطور نمو المشائح الفطرية وذلك بعد أربع وعشرين ساعة وأربعة أيام وستة أيام من الاستزراع.

أجري تحليل التباين [8] باستخدام البرنامج الإحصائي STAT-ITCF (1988) لدراسة الاختلافات بين العزلات (الجدول 2).

الجدول 2- تحليل التباين لنمو تسع عزلات مختارة من العامل الممرض Drechslera graminea جمعت من مناطق مختلفة في سورية.

مصدر التباين	درجة الحرية	مربع المتوسطات	قيمة F
العزلة (I)	8	5.56	530.76***
مراحل النمو (T)	2	26.04	1912.00***
I X T	16	0.38	36.28***
المكرر	2	0.01	0.72 NS
المتبقي	52	1.01	

NS: فرق غير معنوي.

*** فرق معنوي على مستوى $P<0.001$.

استخلاص واختبار كمية ونوعية الدنا

جمعت بعد مضي 18 يوماً من الاستزراع، مشائح العزلات التسع وبشكل إفرادي. استخلص الدنا منها باتباع طريقة [9]، واستخدم لتحقيق ذلك (Cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB حيث حُل الدنا في محلول واقي (TE buffer) تكوّن من 10 mM من Tris-HCl و0.1 mM من EDTA و pH = 8.0.

قُدّرت كمية ونوعية الدنا باستخدام المطياف الضوئي spectrophotometer، حيث خفف حجم 5 µl من كل مستخلص دنا ولكل عزلة مرضية في 495 µl في محلول واقي Tris-EDTA، وحللت باستخدام برنامج مسح مطياف ضوئي (Hitachi U-2000)، وذلك ضمن المجال الموجي 220-320 نانومتر.

تضخيم الدنا

استخدمت اثنتا عشرة مرئسة صنع شركة (Kit opk, Bioprobe) في التفاعل التسلسلي للبوليمريز (Polymerease Chain Reaction = PCR). بحيث يحتوي 25 µl من مزيج التفاعل التسلسلي النهائي على التالي:

Tris pH 9.0	75 mM
$(NH4)_2SO_4$	20 mM

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

Tween 20	0.01 % (وزن/حجم)
$MgCl_2$	1.5 mM
dNTPs	0.2 mM صنع شركة (Eurogenetic)
مرئسة	0.5 mM
أنزيم Taq بوليميريز	وحدة واحدة
دنا (DNA)	100 ng (لكل عزلة منفردة)

وأضيف على سطح المزيج السابق 10 µl زيت معدني إنتاج شركة Sigma.

جرى تضخيم الدنا باستخدام جهاز الـ Thermojet, PCR صنع (Eurogenetic) وفق البرنامج التالي:

- خمس دقائق بدرجة حرارة 94 م° لفصل جديلتي الدنا عن بعضهما.
- خمس وأربعون دورة لمدة دقيقة واحدة ودرجة حرارة 94 م°.
- دقيقة واحدة بدرجة حرارة 35 م° بغية إعادة التحام الدنا.
- دقيقة واحدة وثلاثون ثانية بدرجة حرارة 72 م° بهدف استطالة (extension) الدنا.
- أخيراً خمس دقائق بدرجة حرارة 72 م° لدورة الاستطالة النهائية للدنا (DNA).

أخضعت نواتج التفاعل التسلسلي للبوليميريز (PCR) ولكل عزلة منفردة إلى رحلان كهربائي electrophoresis، حيث جهزت هلامة الأغاروز بنسبة 2% أغاروز (إنتاج Sigma ونوع IIIa in TBE)، وضبط التيار الكهربائي إلى 2.5 فولط/سم.

وضعت كمية 18 µl (ناتج التفاعل التسلسلي) في بئر الهلامة وضبط الزمن الكلي للرحلان إلى 6 ساعات. بنهاية مدة الرحلان، جرى إظهار الحزم تحت أشعة UV وذلك بعد إضافة مادة الأثيديوم بروميد تركيز 0.5 ml/µg. أعيدت تفاعلات تضخيم الدنا مرتين على الأقل.

النتائج والمناقشة

يظهر تحليل التباين لنمو عزلات العامل الممرض وجود فروق عالية المعنوية ($p<0.001$) بين العزلات، وكذلك بين مراحل نمو المشائح الفطرية بالإضافة إلى تأثير متبادل عالي المعنوية بين العزلات ومرحلة النمو (الجدولان 2 و 3).

يبين الجدول 3 تفوق العزلة S1-19 في سرعة نموها وذلك بمختلف مراحل النمو، بينما كانت العزلة I3-3 الأبطأ.

ضخمت المرئستان OPK3 و OPK5 (الشكل 1) الدنا مؤديةً إلى إظهار الاختلافات بوضوح بين عزلات العامل الممرض، بينما لم تضخم المرئسات الأخرى الدنا وبالتالي غياب الحزم على الهلامة أو أنها شكلت حزماً صعبة التمييز ضمن شروط التجربة.

أدى كل من OPK3 و OPK5 إلى تضخيم أجزاء من الدنا في عدة مواقع من جينوم الفطر مما يشير إلى إمكانية توظيف تقانة الـ RAPD لإيجاد تعدد شكلي polymorphism بين عزلات العامل الممرض. حيث ظهرت التعددية الشكلية على صورة وجود أو غياب حزم الـ DNA المضخمة، وتراوح حجم قطع الـ DNA بين 117 و 3675 زوجاً قاعدياً (base paires = bps)، وتراوح عدد الحزم المضخمة من كل مرئسة بين 1 و 4 حزم.

يظهر الشكل 1 امتلاك كل من العزلتين S3-25 (2), S4-15 (3) لحزمتين مضخمتين من الدنا في الموقع والحجم ذاته وهذا يطابق نتائج سرعة نمو المشيجة الفطرية المبينة بالجدول 3.

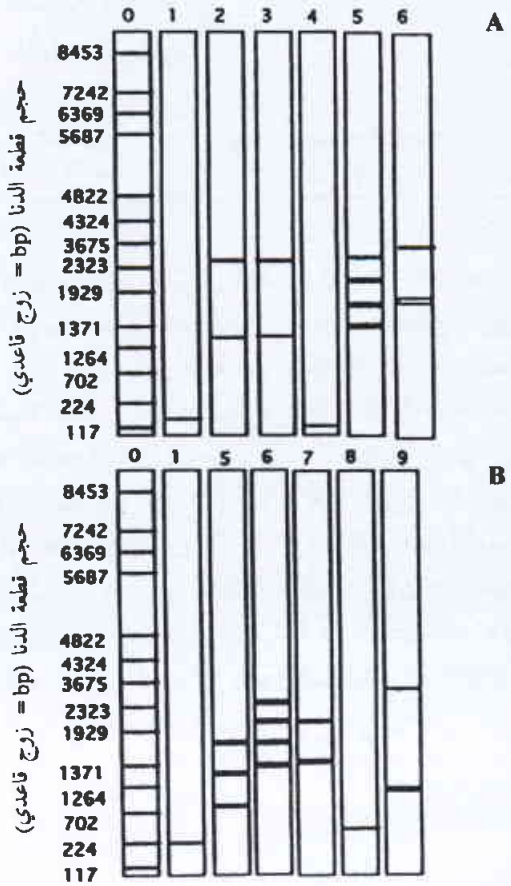
الجدول 3– نمو المشيجة الفطرية (سم)، وتجانس الصفات الشكلية (لون المشيجة الهوائية واللاهوائية، شكلها) لتسع عزلات مختارة من العامل الممرض Drechslera graminea.

العزلة	مرحلة النمو (يوم)				تجانس المشيجة الفطرية
	2	4	6	8	
S1-19	1.8 A	3.0A	4.4A	3.1A*	***
S 2-8	1.2B	2.6B	3.7B	2.6B	**
S 3-25	1.7B	2.8B	3.6B	2.5B	***
S 4-15	1.2B	2.3B	2.5B	2.7B	***
S5-20	0.7C	1.5C	2.2D	1.5D	***
S 6-1	0.6C	1.1E	2.0D	1.2E	***
I 1-13	0.6C	1.0E	2.0D	1.2E	**
I 2-6	0.6C	0.9E	1.4E	1.0F	**
I 3-3	0.4D	0.9E	1.3E	0.9G	***

*: تختلف المتوسطات المتبوعة بأحرف مختلفة معنوياً على مستوى 5 %، وذلك عند إخضاعها لاختبار Newman-Keuls.

,*: تجانس الصفات الشكلية لمشائح عزلات العامل الممرض، متوسط وعالي التجانس على التوالي.

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



الشكل 1– حزم دنا DNA عزلات العامل الممرض Drechslera graminea المضخمة باستخدام تقانة RAPD (A: المرئسة OPK3 ; B: المرئسة OPK5).
0: الواسم الجزيئي BSTE II
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9: عزلات العامل الممرض S 1-19، S 3-25، S 4-15، S 2-8، S 6-1، S 5-20، I 1-13، I 3-3، I 2-6 على التوالي.

تعتبر المرئستان OPK3 و OPK5 كافيتين لتمييز وكشف العزلات المستخدمة في هذه الدراسة، إلا أننا نحتاج إلى عدد كبير من المرئسات لكشف القرابة أو العلاقة بين عزلات العامل الممرض، كما نحتاج إلى مرئسات متخصصة لإظهار فروقات أكثر بين العزلات.

نستخلص من هذه الدراسة أنه يمكن الاستفادة من تقانة RAPD في دعم الدراسات الشكلية المستخدمة للتمييز بين عزلات العامل الممرض. وهذا يتوافق مع نتائج [10] حيث وجد بأن التفاعل التسلسلي للبوليمريز PCR حساس ودقيق في دراسة العوامل الممرضة النباتية. كذلك بينت دراسات كل من [12,11] إلى إمكانية توظيف تقانات التعدد الشكلي على المستوى الجزيئي في تحديد الروابط الوراثية لمجتمعات وراثية داخل الأنواع النباتية. إن تحديد مناطق مختلفة من الجينوم genome وعزل تسلسلات دنا محددة، يزودنا بوسيلة فعّالة في تطوير مسابر دنا متخصصة بعزلات خاصة من العامل الممرض D. graminea.

يعتبر كشف وتمييز عزلات العامل الممرض D. graminea أمراً جوهرياً لتحديد مصدر العدوى، إضافةً إلى الكشف المبكر عند مادة نباتية تحمل العامل الممرض، ودراسة توسع وانتشار المرض محلياً.

كما يمكن الإفادة من نتائج الدراسة في تحسين أداء مراكز الحجر الزراعي عن طريق إدخال طريقة سريعة للكشف عن البذار ونظافتها من العوامل الممرضة ومنع دخول الملوثة منها إلى أرض الوطن.

آملين أن يزود هذا العمل وسيلة سهلة لعلماء الأمراض والباحثين المهتمين في كشف وتمييز عزلات أنواع رئيسة للعوامل الممرضة.

المراجع REFERENCES

[1] Mathre, D. E. Compendium of barley diseases (second edition). Montana State University. Bozeman. The American Phytopathological Society. (1990), pp 90.

[2] Christensen, J. J., Graham, T. W. Physiologic specialisation and variation in Helminthosporium graminum Rabh. Minnesota Agri. Exp. St. Techn..Bull. (1934), pp 95.

[3] Shands, H. L., Dickson, D. C. Variation in hyphal tip cultures from conidia of Helminthosporium gramineum. Phytopathology. 24, (1934), 559-560.

[4] Hu, J., Quiros, C. F. Identification of broccoli and cauliflower cultivars with RAPDs markers. Plant Cell Rep.10, (1991), 505-511.

[5] Lynch, Y. M., Milligan, B. G. Analysis of population genetic structure with RAPD markers. Molecular Ecology. 3, (1994), 91-99.

[6] Williams, J. O. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafaski, J. A. Tingey, S. V. DNA polymerase amplified arbitary primers are useful as genetic markers. Nucleic Acids Research. 22, (1990), 6531-6535.

[7] Chen, R. S., Mcdonald, B. A. Sexual reproduction plays and major role in the genetic structure of population of the fungus Mycosphaerella graminicola. Genetics. 142, (1996), 1119-1127.

[8] Newman-Keuls, STAT-ITCF programme, MICROSTA second version, Realized by ECOSOFT. (1988).

[9] Saghai-Maroof, M. A., Soliman, K. M., Jorgensen, R. A. Allard, R. W. Ribosomal DNA spacer length polymorphism in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location and population dynamics. Proc. Natl. Acad. Sci: USA. 81, (1984), 8014-8018.

[10] Henson, J. M. French, R. The polymerase chain reaction and plant disease diagnosis. Annu. Rev. Phytopathology.31, (1993), 81-109.

[11] Crawford d., Brauner, S., Cosner, M. B., Stuessy, T. F. Use of RAPD markers to document the origin of the intergenetic hybrid X Margyracaena skottsbergii (Rosaceae) on the Jaun Fernade Jslands. American Journal of Botany. 80, (1993), 89-92.

[12] Soltis, P. S., Soltis, D. E., Doyle, J. J. Molecular systematics of plants. Chapman and Hall, Inc., New York. (1992).■

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

تحسين مقاومة الثوم لمرض العفن الأبيض وقدرته التخزينية باستخدام الطفرات المحدثة بأشعة غاما*

د. بسام الصفدي، د. نزار مير علي، د. محمد عماد الدين عرابي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

أجري برنامج تربية طفرات لتحسين مقاومة الثوم *Allium sativum L.* لمرض العفن الأبيض white rot (*Sclerotium cepivorum*) ولإطالة الفترة التخزينية له تحت ظروف التخزين الطبيعية. فقد شُعت فصوص الثوم من الصنفين المحلّيين كسواني وبيرودي بجرعات 4 و5 و6 و7 غراي ثم زرعت الفصوص لأربعة أجيال بهدف عزل الطفرات بشكل ثابت. طبق ضغط الانتخاب ضد مرض العفن الأبيض اعتباراً من الجيل الطافر الثاني MV_2 بإضافة أوراق ثوم مصابة بالمرض بمعدل 50 غرام/م^2. أما في الجيلين الثالث MV_3 والرابع MV_4 فقد طُبق ضغط الانتخاب على أشده بتلقيح كافة الفصوص بالعامل الممرض وزراعتها في تربة مزروعة سابقاً بمحصول ثوم مصاب بالمرض نفسه. انتخبت رؤوس الثوم السليمة بعد الحصاد وخُزنت تحت الظروف الطبيعية ثم زُرعت الرؤوس الجيدة للحصول على الجيل التالي. وفي نهاية الجيل الرابع تمكّنا من تحسين مقاومة الثوم لمرض العفن الأبيض وزيادة قدرته التخزينية، كما وانتخبت 24 سلالة من كل صنف متميزة عن الشاهد. ومن بين السلالات المنتخبة كان هنالك 12 سلالة من الصنف الكسواني مصابة بمرض العفن الأبيض بنسبة تقل عن 3% (29% في الشاهد) و12 سلالة من الصنف البيرودي بنسبة إصابة تقل عن 5% (20% في الشاهد). استطعنا أيضاً تحسين قابلية الثوم للتخزين تحت الظروف الطبيعية فلوحظ انخفاض الفقد في الوزن أثناء التخزين من 8% إلى حوالي 4% في بعض سلالات الكسواني المنتخبة ومن 10% إلى حوالي 3% في بعض سلالات البيرودي المنتخبة.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، الثوم، طفرة، عفن أبيض.

المقدمة

يزرع الثوم على نطاق واسع عالمياً حيث أنه يستخدم فاتحاً للشهية ويدخل في أغلب المأكولات. يتكاثر الثوم فقط خضرياً بالفصوص. لهذا فإنه من غير الممكن تحسينه باستخدام برامج تربية تقليدية. وقد اقتصرت معظم الأبحاث السابقة على إنتاج نباتات خالية من الأمراض الفيروسية وذلك باستخدام الزراعة النسيجية للقمم المريستيمية [5,4,3,2,1]. كما أجريت بعض الأبحاث للسيطرة على الأمراض الفطرية باستخدام المواد الكيميائية [7,6]، أو باستخدام الطاقة الشمسية للإقلال من حيوية الأجسام الحجرية في التربة [8]. وجربت أيضاً تربية الطفرات من أجل تحسين الثوم حيث استخدمت المطفرات الكيميائية والفيزيائية إضافة لتقانات الزراعة النسيجية بهدف إحداث تغيرات في الثوم [13,12,11,10,9].

يعد الثوم من المحاصيل الخضرية الهامة في القطر العربي السوري ويبلغ الإنتاج السنوي حوالي 23 ألف طن من الثوم الجاف [14]. إلا أن المساحة المزروعة تراجعت في السنوات الأخيرة بسبب الإصابة بمرض العفن الأبيض الذي يسببه الفطر Sclerotium cepivorum (Berk) وخاصة في المنطقة الجنوبية الغربية من القطر. كما أن الثوم يخزن في القطر تحت الظروف الطبيعية مسبباً خسائر كبيرة في المحصول. ولهذا فقد هدف هذا البحث إلى تحسين مقاومة الثوم لمرض العفن الأبيض وكذلك إطالة الفترة التخزينية.

المواد والطرائق

المادة النباتية

استخدم في هذا البحث صنفان من أصناف الثوم المحلية وهما:

1- *الكسواني:* رؤوس متوسطة الحجم، نكهة جيدة للفصوص، وتحمّل للتخزين تحت الظروف الطبيعية.

2- *البيرودي:* رؤوس كبيرة الحجم، نكهة جيدة وقدرة متوسطة على تحمّل التخزين تحت الظروف الطبيعية.

التشعيع

عُرّضت الفصوص جيدة الحجم إلى 4 جرعات إشعاعية 6,5,4 و7 غراي باستخدام جهاز Gammator ^{137}CS بمعدل جرعة 8.7 غراي/دقيقة. زرعت الفصوص المشعة بالإضافة للشاهد في الحقل للحصول على طفرات ثابتة مقاومة لمرض العفن الأبيض. أجريت التجارب الحقلية في الجزء الجنوبي الغربي من سورية من 1993 إلى 1997.

تحضير الملقّح: جمعت رؤوس ثوم مصابة بالعفن الأبيض من مناطق زراعة ثوم مختلفة في القطر العربي السوري. وأخذت الأجسام الحجرية من الرؤوس المصابة وتم تعقيمها بمحلول هيبو كلوريد الصوديوم (تركيز 5%) لمدة خمس دقائق ثم غسلت بالماء المقطر ثلاث مرات (خمس دقائق لكل مرة) وزرعت على بيئة البطاطا (Potato Dextrose Agar) بمعدل

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *J. Genet. & Breed.* 54: 175-181 (2000).

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

4-5 أجسام حجرية في الطبق الواحد. حضنت الأطباق بدرجة حرارة 18-20°C في ظلمة تامة. بعد ذلك بدأت مشيجة الفطر بالنمو على الأجسام المزروعة بعد 4-5 أيام وملئت الأطباق بعد مرور 12-15 يوماً. ترك الفطر لينمو على هذه الحرارة لمدة 20 يوماً لتشكيل أجسام حجرية جديدة. بعدها تم اختبار قدرة الأجسام الحجرية على إحداث المرض مخبرياً (اختبار فوعتها المرضية pathogenicity). ومن أجل تحضير الملقح الفطري، جمعت الأجسام الحجرية بكشطها من على سطح البيئة ثم خلطت مع تورب ناعم ومعقم وضُبط التركيز بحدود 5-7 جسم حجري للفص الواحد من الثوم.

الانتخاب ضد مرض العفن الأبيض في الجيل الطافر الثاني

أجري انتخاب أولي ضد مرض العفن الأبيض في الجيل الثاني MV_2 تحت ظروف البيت البلاستيكي ولقحت الفصوص بالعامل الممرض عن طريق تغطية التربة ببقايا نباتات مصابة وبمعدل 50 غ/م^2. وتم رش النباتات يومياً لمدة 20 يوماً للمحافظة على رطوبة عالية من أجل تشجيع الإصابة. انتخبت الرؤوس النظيفة تماماً والمصابة جزئياً وخزنت إلى الجيل التالي.

الانتخاب ضد مرض العفن الأبيض في الجيلين الطافرين الثالث والرابع

زرعت الفصوص السليمة في الجيلين الطافرين الثالث والرابع في تربة مزروعة سابقاً بالثوم وموبوءة بمرض العفن الأبيض. زرعت هذه الفصوص بعد غمسها في الملقح مباشرة. تم التخلص في نهاية كل موسم من النباتات المصابة كلياً بالمرض. كما تم انتخاب الرؤوس السليمة والمصابة جزئياً وذات الحجم الجيد. بعدها جففت الرؤوس طبيعياً وخزنت في مكان ظليل حتى موسم الزراعة المقبل.

التحليل الإحصائي

أجريت تحاليل التباين ANOVA وأقل فرق معنوي Fisher's PLSD على درجة معنوية 0.05 باستخدام البرنامج الإحصائي Super ANOVA (إنتاج شركة ABACUS, USA).

النتائج

تأثير التشعيع على نباتات الجيلين الأول والثاني

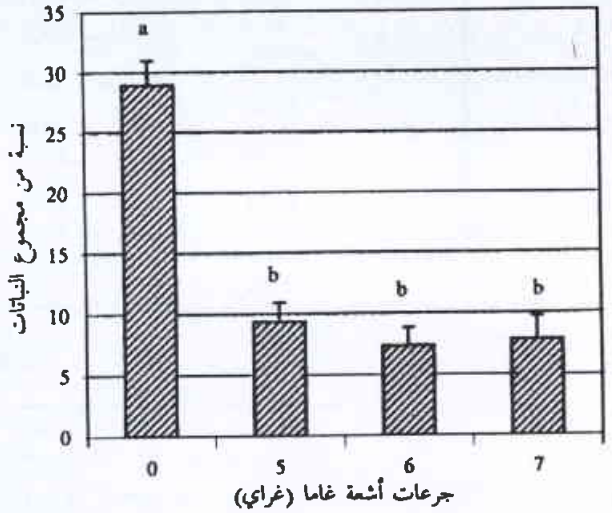
أخذت قراءات على بقاء النباتات وطولها ووزن الأبصال كما أخذت قراءات على عدد الطفرات المورفولوجية التي ظهرت ضمن نباتات الجيل الثاني MV_2 وقد نشرت هذه النتائج في مكان آخر [15].

الانتخاب تحت الظروف الحقلية

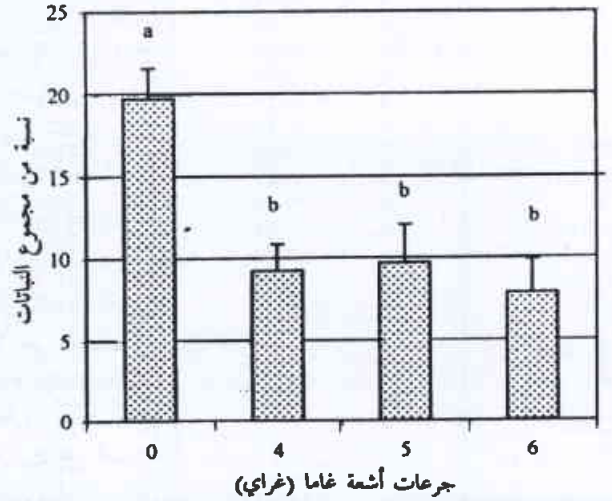
اعتباراً من الجيل الثاني كان الانتخاب موجهاً إلى زيادة حجم الأبصال إضافة لمقاومة مرض العفن الأبيض. لقد كان هذا الانتخاب ضرورياً نظراً لأن حجم الأبصال في الجيل الأول كان أقل من الشاهد بحوالي 50% وهذا غير مقبول تجارياً. بعد الجيل الثاني تم التخلص من المعاملة 7 غراي في الصنف اليرودي نظراً لقلة عدد الأبصال الباقية وصغر حجمها. كذلك تم التخلص من المعاملة 4 غراي في الصنف الكسواني بسبب الإصابة العالية بالمرض.

الانتخاب ضد مرض العفن الأبيض

أحدثت أشعة غاما طفرات مفيدة في صنفين محلّيين من الثوم. فقد أنتجت المعاملات الطفرية، مع تطبيق ضغط انتخاب فعال، بعض الطفرات المقاومة للمرض أكثر بكثير من الشاهد. فعلى سبيل المثال انخفضت النسبة المئوية للنباتات المصابة من 29% في نباتات الشاهد الكسواني إلى أقل من 8% في المادة الطافرة بشكل عام (الشكل 1)، وإلى 0% في بعض السلالات المنتخبة (الجدول 1). وبصورة مشابهة في الصنف اليرودي انخفضت النسبة المئوية للنباتات المصابة من 19% في نباتات الشاهد الكسواني إلى أقل من 7% في المادة الطافرة بشكل عام (الشكل 2)، وإلى 0% في بعض السلالات المنتخبة (الجدول 2). لم يلاحظ أي فرق معنوي بين النباتات الطافرة في الجيل الرابع ولكن لوحظ فرق معنوي بين النباتات الطافرة والشاهد في كلا الصنفين (الشكلان 1 و 2).



الشكل 1- النسبة المئوية لنباتات الصنف الكسواني المصابة بمرض العفن الأبيض في الجيل الرابع. الأعمدة ذات الأحرف المتشابهة غير مختلفة على مستوى معنوية 0.05.



الشكل 2- النسبة المئوية لنباتات الصنف اليرودي المصابة بمرض العفن الأبيض في الجيل الرابع. الأعمدة ذات الأحرف المتشابهة غير مختلفة على مستوى معنوية 0.05.

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

الجدول 1- بعض صفات السلالات الطافرة المنتخبة من الصنف الكسواني في الجيل الرابع.

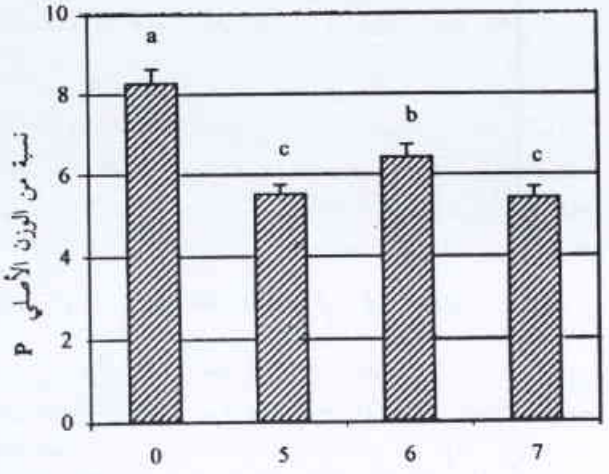
الطافرة	الجرعة (غراي)	النسبة المئوية للنباتات المصابة	النسبة المئوية لفقد الوزن	متوسط وزن الرأس الواحد (بصلة)
C2-2	6	0.00	5.08	19.9
A1-2	5	0.00	5.59	20.7
E10-2	5	0.00	6.70	24.8
E2-2	5	1.41	8.49	24.7
D2-1	6	1.43	7.75	21.7
D3-1	7	1.45	5.70	23.2
B2-2	6	1.52	5.19	25.4
E1-2	6	2.08	6.60	18.2
B3-2	7	2.78	4.85	22.9
D3-2	7	2.78	6.93	23.3
C6-1	5	2.86	4.74	24.1
B3-1	7	2.86	5.89	24.4
E2-1	5	5.56	4.81	26.1
E7-2	5	5.88	3.97	27.8
D1-1	7	6.94	4.71	21
D7-2	5	8.33	4.96	24
A2-1	6	8.33	5.39	20.6
D9-1	7	8.45	4.60	31.1
D4-1	5	10.77	5.47	26.8
E5-1	6	11.11	5.54	26.7
E11-1	6	11.11	6.24	30.8
C5-1	7	12.28	7.27	24.8
D8-1	7	13.42	5.51	29.7
D11-1	6	14.31	5.61	28.6
ontrol متوسط الشاهد	0	29.04	8.25	29.52
LSD		4.02	0.84	5.10

الجدول 2- بعض صفات السلالات الطافرة المنتخبة من الصنف البيرودي في الجيل الرابع.

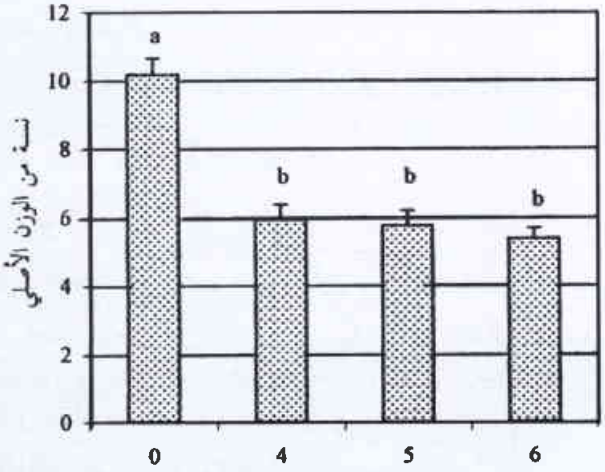
الطافرة	الجرعة (غراي)	النسبة المئوية للنباتات المصابة	النسبة المئوية لفقد الوزن	متوسط وزن الرأس الواحد (بصلة)
K1-2	4	0.00	5.00	38.7
L7-1	4	0.00	5.34	44.9
K2-2	6	0.00	8.44	36.8
K2-1	6	0.00	15.23	43.9
F1-2	4	1.41	4.94	33.4
F3-2	6	1.56	4.06	45.1
J1-1	4	2.22	3.54	43.8
I3-1	5	2.78	9.31	47.6
K7-1	4	4.17	10.77	44.2
J2-2	5	4.23	5.29	37.3
H1-2	4	4.29	3.64	49.3
I12-1	5	4.29	5.98	47.9
J7-1	4	5.56	6.52	50.5
J12-1	5	5.63	3.19	50.2
K12-1	4	6.38	3.90	51.5
L3-1	6	6.94	4.39	43
I1-1	5	8.33	2.92	42.2
I5-1	5	8.33	5.57	45.2
L11-1	6	8.57	3.94	45.2
G5-1	6	8.57	5.37	50.5
G1-1	6	9.52	3.75	44.5
F5-1	6	9.72	6.18	50.6
F9-1	5	11.11	6.64	40.9
I6-1	5	16.42	3.40	51.2
ontrol متوسط الشاهد	0	19.812	10.17	48.123
LSD		2.76	1.32	4.74

الانتخاب لإطالة فترة التخزين تحت الظروف الطبيعية

تم تقدير قابلية الثوم على التخزين تحت الظروف الطبيعية عن طريق الفقد في وزن رؤوس الثوم بعد 3 أشهر من الحصاد. فقد انخفض الفقد في الوزن، بشكل عام، في النباتات الطافرة بنسبة 45% تقريباً مقارنة مع الشاهد من الصنف الكسواني (الشكل 3) وحوالي 50% بالمقارنة مع الشاهد من الصنف البيرودي (الشكل 4). لم يلاحظ أي فرق معنوي بين النباتات الطافرة في الصنف البيرودي (الشكل 4). من جهة أخرى لوحظ فرق معنوي بين النباتات الطافرة في المعاملة 6 غراي والمعاملتين 5 و 7 غراي في الصنف الكسواني (الشكل 3).



الشكل 3- الفقد في وزن الأبصال خلال التخزين لسلالات الكسواني الطافرة في الجيل الرابع. الأعمدة ذات الأحرف المتشابهة غير مختلفة على مستوى معنوية 0.05.



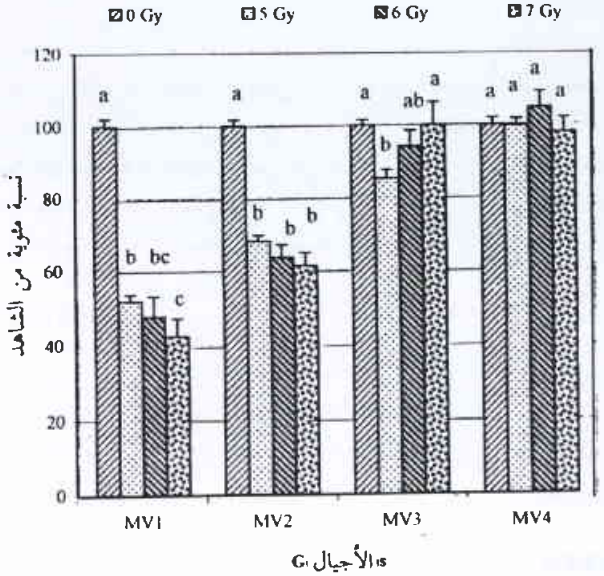
الشكل 4- الفقد في وزن الأبصال خلال التخزين لسلالات البيرودي الطافرة في الجيل الرابع. الأعمدة ذات الأحرف المتشابهة غير مختلفة على مستوى معنوية 0.05.

الانتخاب لزيادة وزن الأبصال

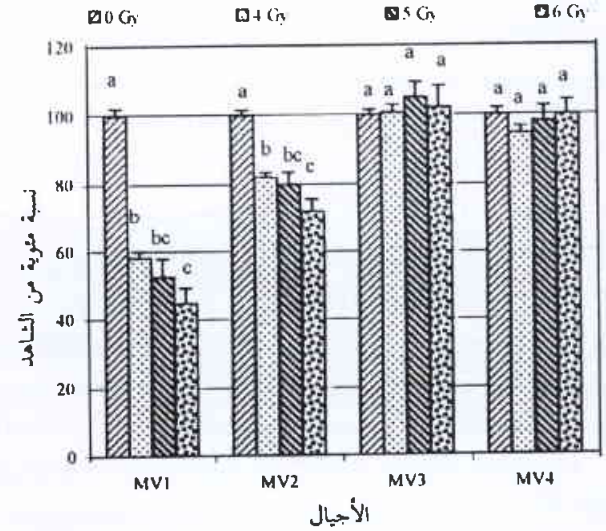
تأثر وزن الأبصال معنوياً بالتشعيع بأشعة غاما في الجيل الأول، حيث انخفض وزن الأبصال في كلا الصنفين حوالي 50% بالمقارنة مع الشاهد.

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

إلا أن الانتخاب المستمر للرؤوس الجيدة ذات الحجم الكبير قبل الزراعة كان فعالاً في زيادة وزن الأبصال. فقد ازداد وزن أبصال الصنف الكسواني من 50% من الشاهد في الجيل الأول إلى 65% في الجيل الثاني إلى 90% في الجيل الثالث وإلى 100% في الجيل الرابع. وبشكل مشابه ازداد وزن أبصال الصنف اليبرودي من 50% من الشاهد في الجيل الأول إلى 80% في الجيل الثاني وإلى 100% في الجيلين الثالث والرابع. ولم يلاحظ أي فرق معنوي بين النباتات الطافرة في كلا الصنفين والشاهد في الجيل الرابع (الشكلان 5 و 6). وفي الواقع تجاوز وزن أبصال بعض السلالات الطافرة أبصال الشاهد في الجيل الرابع (الجدولان 1 و 2).



الشكل 5– تطور وزن أبصال الصنف الكسواني عبر 4 أجيال من الإنتخاب في المعاملات الإشعاعية الأربعة المستخدمة في الدراسة. الأعمدة ذات الأحرف المتشابهة في الجيل نفسه غير مختلفة على مستوى معنوية 0.05.



الشكل 6– تطور وزن أبصال الصنف اليبرودي عبر 4 أجيال من الإنتخاب في المعاملات الإشعاعية الأربعة المستخدمة في الدراسة. الأعمدة ذات الأحرف المتشابهة في الجيل نفسه غير مختلفة على مستوى معنوية 0.05.

في نهاية الجيل الرابع، تم ترتيب كافة السلالات الطافرة من كلا الصنفين وفقاً لثلاثة معطيات. حيث أعطيت مقاومة النباتات لمرض العفن الأبيض في الحقل أفضلية أولى في الترتيب، تلتها النسبة المئوية لفقد الوزن ثم متوسط وزن الرؤوس (كمؤشر على الإنتاجية). وتم بنتيجة ذلك انتخاب 24 سلالة من الصنف الكسواني (الجدول 1) و 24 سلالة من الصنف اليبرودي (الجدول 2). من بين السلالات المنتخبة كان هناك 12 سلالة من الصنف الكسواني بنسبة إصابة في مرض العفن الأبيض تقل عن 3% (29% في الشاهد) و 12 سلالة من الصنف اليبرودي بنسبة إصابة تقل عن 5% (20% في الشاهد). لقد كان حجم بعض السلالات المقاومة للمرض أقل من الشاهد، إلا أن الفرق بالحجم لم يكن بشكل عام معنوياً. كما أن الانتخاب المستمر في المستقبل سيؤدي إلى زيادة حجم الأبصال.

المناقشة

لقي الثوم قديماً القليل من الاهتمام من قبل المهتمين بإنماء النبات لسببين رئيسين: الأول هو أن الثوم نبات خضري التكاثر ولا يمكن تحسينه بالطرق التقليدية. والسبب الثاني طول الفترة الزمنية بين الأجيال وهذا ما جعل الثوم محصولاً غير مرغوب للبحث. وقد اقتصرت معظم الأبحاث على إنتاج نباتات خالية من الأمراض الفيروسية باستخدام الزراعة النسيجية للقمم المريستيمية [5,4,1]. كما أجريت بعض الأبحاث للسيطرة على الأمراض الفطرية وخاصة مرض العفن الأبيض باستخدام المواد الكيميائية [7,6]. كما أجري العديد من البحوث لإطالة الفترة التخزينية للثوم عن طريق منع الإنبات باستخدام التشعيع [17,16,7]. أما أبحاث تربية الطفرات باستخدام التشعيع أو المطفرات الكيميائية فقد كانت قليلة جداً بالمقارنة مع المحاصيل الأخرى. حيث تمكن روزاريو وميراند [13] من الحصول على رؤوس ثوم ذات حجم كبير باستخدام أشعة غاما والانتخاب في الجيل الطافر الأول MV_1، كما تمكن بيريز مورينو وآخرون [12] من زيادة مقاومة الثوم لمرض العفن الأبيض باستخدام طفرات محدثة بالإشعاع. إلا أنهم أجروا الانتخاب في الجيل الثاني MV_2 فقط وبدون تطبيق ضغط انتخاب حقيقي.

لقد توصلنا في بحثنا هذا إلى تحسين مقاومة الثوم لمرض العفن الأبيض وتقليل الفقد في الوزن أثناء التخزين مع المحافظة على حجم رؤوس جيد وبالتالي زيادة الإنتاجية. فقد تمكنا من تخفيض نسبة الإصابة بهذا المرض من حوالي 30% في الصنف الكسواني و 20% في الصنف اليبرودي إلى أقل من 5%. وبالمقارنة مع أعمال بيريز مورينو وآخرين [12]، استمر الانتخاب في بحثنا حتى الجيل الطافر الرابع MV_4 وبتطبيق ضغط انتخاب حقيقي.

إن نسبة 3% من نباتات الصنف الكسواني و 5% من نباتات الصنف اليبرودي في السلالات المنتخبة والتي أبدت مظاهر مرض العفن الأبيض لا تعزى إلى الأثر الوراثي (بسبب غياب الانعزال في الجيل الطافر الرابع من جهة وكون نبات الثوم يتكاثر خضرياً من جهة ثانية) وإنما إلى ضغط الملقّح المستخدم. فبالإضافة إلى كون موقع التجربة موبوءاً بالعامل الممرض المسبب لهذا المرض، فقد تم إجراء ضغط قسري إضافي بتلقيح كل فص فردياً بحدود 7–9 جسم حجري، وهذا العدد الكبير جداً من الأجسام

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

الحجرية كفيل بإحداث إصابات موضعية من نوع فرط الحساسية تؤدي إلى تموّت بادرات الثوم بوقت مبكر وعدم السماح للبادرة بالتطور. ويؤكد هذه الفرضية كون كافة الإصابات المرضية ملاحظة في طور البادرة ولم تُسجّل إصابات مرضية على نباتات بالغة تشكلت فيها الرؤوس. إن ضغط الانتخاب الذي طبق في البحث الحالي يعد قاسياً جداً وكفيلاً بإصابة كافة النباتات الحساسة. فقد وجد كرو وآخرون [18] أن تركيز 0.1 جسم حجري في غرام واحد من التربة كفيل بإحداث 100% إصابة في بادرات الثوم. وقد قمنا في بحثنا هذا ليس فقط بتطبيق ضغط انتخابي أكبر عشرات المرات من التركيز المشار إليه بل جعلنا الأجسام الحجرية على تماس مباشر مع المنطقة المريستيمية للفصوص (الساق القرصية).

واستطعنا أيضاً في هذا البحث تحسين قابلية الثوم للتخزين تحت الظروف الطبيعية. فقد انخفض الفقد في الوزن أثناء التخزين من 8% إلى حوالي 4% في بعض سلالات الكسواني المنتخبة ومن 10% إلى حوالي 3% في بعض سلالات البيرودي المنتخبة.

تتحكم عدة عوامل في قابلية الثوم للتخزين وأهم تلك العوامل هي الحرارة والرطوبة النسبية والتهوية إضافة للصنف (العامل الوراثي). إن الحرارة المثلى لتخزين الثوم لفترة طويلة تتراوح بين -1 و -3 درجة مئوية كما يمكن تخزين الثوم لفترة مقبولة ضمن درجة حرارة من 20 إلى 30°C، بينما تكون درجة الحرارة من 5 إلى 10°C هي الأسوأ حيث تُنبَش الفصوص بسرعة.

ويفضل أن تكون الرطوبة النسبية أقل من 70% لتجنب نمو الفطور السطحية وإنتاش الجذور. كما يلعب العامل الوراثي دوراً كبيراً حيث تختلف أصناف الثوم في مقدرتها على التخزين ويعتقد بوجود عدد من المورثات تتحكم في هذه الصفة [19].

كان وزن الأبصال الطافرة في تجربتنا هذه أخفض من الشاهد بشكل معنوي في الجيل الأول MV1. ويعود ذلك إلى التأثير السلبي للتشعيع وخاصة في الجيل الأول [20]. إلا أن وزن الأبصال الطافرة ازداد بشكل معنوي في الأجيال اللاحقة متجاوزاً الشاهد في بعض السلالات. إن الزيادة في أوزان الأبصال يمكن أن تُعزى إلى الانتخاب المستمر للرؤوس الجيدة ذات الحجم الكبير قبل الزراعة إضافة للتغيرات الوراثية التي ربما حدثت نتيجة معاملة الفصوص بجرعات مختلفة من أشعة غاما.

لقد كان التركيز في هذا البحث على مقاومة مرض العفن الأبيض إضافة إلى الإنتاجية وقابلية التخزين. ولم يتطرق البحث بشكل مفصل إلى دراسة مقاومة الأمراض الأخرى والتي لم تلاحظ آثارها عند السلالات المنتخبة (وخاصة أمراض الأصداء)، ويعود ذلك جزئياً إلى عدم إجراء ضغط انتخابي صنعي لهذه الأمراض. وتجرى حالياً تجارب إضافية لمقارنة هذه السلالات الطافرة مع أصناف ثوم أخرى محلية ومدخلة.

الاستنتاجات

إن تربية الطفرات كانت وما زالت إحدى الطرائق المفيدة في تحسين النباتات الخضرية التكاثر. وحتى الآن في عصر الهندسة الوراثية يمكن لتربية الطفرات أن تقدم وسيلة رخيصة وسهلة الاستعمال لتحسين العديد من الصفات.

المراجع REFRENCES

[1] Zhen, H. R., 1991. Production of a garlic mosaic virus tolerant mutant plantlet through meristem culture of Allium sativum L. growing points. Plant mutation breeding for crop improvement. IAEA. 498: 257-263.

[2] Bertaccini, A., Marani, F., Borgia, M., 1986. Shoot-tip culture of different garlic lines for virus elimination. Rivista-della-Ortoflorofrutticoltura-Italiana 70: 97-105.

[3] Zhao, S., Li P., and Fan, H., 1987. Preliminary experiment on virus-free garlic tissue culture. Journal of South-China-Agricultural-University. 8: 1-8.

[4] Mori, N., Ogawa, T., Matsubara, N., 1989. Production of virus-free garlic (Allium sativum L.) by tissue culture. Bulletin of the Nagasaki-Agricultural and Forestry-Experiment-Station. Section of Agriculture (Japan). 17: 1-21.

[5] Conci, V. C. and Nome, S. F., 1991. Virus free garlic (Allium sativum L.) plants obtained by thermotherapy and meristem tip culture. J. Phytopathology. 132: 186-192.

[6] Lasa, C. I., 1984. Chemical control of garlic white rot caused by Sclerotium cepivorum Berk. Investigaciones Agronomicas (Uruguay) 5: 68-72.

[7] Cruz-Filho, J. da; Jaccoud Filho, D. de S.; Silva, P.M. da. 1985. Effect of fungicides on the control of white rot (Sclerotium cepivorum Berk) of garlic (Allium sativum L.). Seiva (Brazil). 45: 22-34.

[8] Maria J., Basallote-Ureba, M. J. and Melero-Vara, J. M., 1993. Control of Garlic White Rot by Soil solarization. Crop Protection 12: 219-223.

[9] Choudhary, A. D. and Dnyansagar, V. R., 1982. Morphological Mutants of Garlic. J. Indian Bot. 61: 85-90.

[10] Novak, F. J., Havel, L., and Dolezel, J., 1982. In vitro breeding system of Allium. In Proc. 5th Intl. Cong. plant tissue and cell culture. Pp 767-768.

[11] Novak, F. J., 1983. Production of garlic (Allium sativum L.) tetraploids in shoot-tip in vitro culture. Z. Pflanzenzüchtg. 91: 329-333.

[12] Perez-Moreno, L. Lopez-Munoz, J., Pureco, A. and Hinojosa, J. C. 1991. Production of radiation induced

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

mutants of garlic (Allium sativum L.) resistant to white rot caused by the fungus Sclerotium cepivorum Berk. Plant mutation for crop improvement. IAEA 498: 211-219.

[13] Rosario, T. L., and M. B., 1991. Induced mutation in garlic (Allium sativum). IN Plant mutation breeding for crop improvement. IAEA. 498: 485-489.

[14] Ann. Agr. Stat. Abst. 1997. Area, production and yield of dry garlic. Ministry of Agriculture and Agrarian Reforms. Damascus, Syria.

[15] Al-Safadi, B., MirAli, N. and Arabi, M.I.E., 1994. Gamma Irradiation Induced Mutations in Garlic (Allium sativum). XXIV meeting of ESNA, Varna, Bulgaria.

[16] Farag, S. E. A., El-Abbassi, F.,Mahmoud, A. A., El-Oksh, I. I., 1988. Effect of curing methods, packages and gamma irradiation on the quality of volatile garlic oil during storage. Conference of Nuclear Sciences and Applications. Cairo (Egypt).

[17] Curzio, O. A., 1981. Sprout inhibition in garlic (Allium sativum) and onion (Allium cepa L.) by gamma irradiation. Universidad National del Sur, Dept. Ciencias, Exactas, Bahia Blanca (Argentina).

[18] Crowe, F. J., Hall, D. H., Greathead, A. S. and Baghott, K. G., 1980. Inoculum density of Sclerotium cepivorum and the incidence of White Rot of Onion and garlic. Phytopathology. 70: 65-69.

[19] Urbina-P, M. C. Casas, G. L., 1984. Garlic (Allium sativum) preservation by application of gamma radiation. Nucleotecnica-Chile 4: 55-60.

[20] Brewster, J. L., 1994. Garlic dormancy and storage. In Onions and other vegetable Alliums. Cab International. Pp.: 164-165.

[21] Anon., 1977. Mutagen effects in the first generation after seed treatment. In Manual on mutation breeding. IAEA 119. Pp.: 87-123.■

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

ملامح التوضعات الفسفاتية من خلال القياسات الجيوفيزيائية البئريّة لأشعة غاما الطبيعية والتحاليل الطيفية في جنوب الأبتر–سورية*

د. جمال أصفهاني، د. عبد الرحمن عبد الهادي
قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تم تطبيق مجموعة من التقنيات الاستكشافية في جنوب الأبتر بهدف تحديد خصائص الطبقات الفسفاتية في هذا النطاق. والتقنيات المستخدمة في هذا البحث هي القياسات الجيوفيزيائية البئريّة باستخدام تقنية غاما الطبيعية وتقنية غاما وألفا الطيفية.

لقد أظهرت نتائج الدراسة أن تراكيز اليورانيوم المأخوذة من الآبار المدروسة تتراوح بين 42.8-112.5 ppm بانحراف معياري قدره 15.2 ppm، أما محتوى هذه العينات من P_2O_5 فيتراوح بين 20.5 و 28.31% بانحراف معياري قدره 3.11%، في حين تتراوح الشدّات الإشعاعية بين 150 و 275 نبضة / ثانية بانحراف معياري قدره 31 نبضة/ثانية. تشير النسبة U^{234}/U^{238} في العينات المحلّلة إلى أن النطاق المدروس هو في حالة توازن إشعاعي، كما بيّنت الدراسة ألفة اليورانيوم و P_2O_5 إلى بعض عناصر الأثر مثل الفاناديوم، السترونسيوم، النحاس والنيكل من خلال دراسة مصفوفة الارتباط لهذه العناصر.

الكلمات المفتاحية: قياسات بئرية، إشعاعات غاما الطبيعية، فسفات، قياسات طيفية.

مقدمة

يعتبر الفسفات واحداً من أهم المصادر الطبيعية في سورية، الأمر الذي استوجب دراسة استكشافية معمّقة قرب المناطق المنجمية المفتوحة وفي المناطق الأخرى. وضمن هذا الإطار كان التركيز على جنوب الأبتر بهدف تحري احتياطي جديد من خام الفسفات ذي نوعية عالية من حيث تركيز خامس أكسيد الفسفور. قادت هذه الدراسة إلى تقدير احتياطي هام من خامات الفسفور بحدود 4.6 مليون طن من الدرجة C1. تمت الإشارة إلى توضع فسفات جنوب الأبتر من خلال أعمال المسح الجيولوجي الإقليمي لرقعتي القريتين وتدمر (مقياس 1/200 000)، ومن خلال أعمال المسح الجيولوجي التفصيلي (مقياس 1/50000) الذي نفذه الخبراء السوفييت في منطقة غدير الحمل [2,1]، حيث تم آنذاك تقدير احتياطي للفسفات الخام بحدود 15–16 مليون طن. توبعت هذه الأبحاث بالدراسة الرومانية والتي خلصت إلى تقدير احتياطي خام الفسفات لمنطقة محدودة في جنوب الأبتر تقدر بمساحة $2.2\ km^2$ حيث قدر الاحتياطي من الدرجة C2 بحدود 15 مليون طن ومحتوى وسطي من خام أكسيد الفسفور 25.06% [4,3].

تبلغ مساحة المنطقة المدروسة في هذا البحث $0.5\ km^2$، وقد اختيرت لتمتعها بشروط منجمية اقتصادية مناسبة من حيث السماكة الكافية للطبقات الفسفاتية بنوعية جيدة وضحالة سطح الغطاء. تمت دراسة تسعة آبار في منطقة البحث (W1, W2, ...) تتراوح أعماقها بين 8 و 34 متراً. تم قياس هذه الآبار باستخدام تقنية غاما الطبيعية البئريّة، إضافة إلى سحب 29 عيّنة من الطبقات الفسفاتية المخترقة بهذه الآبار وذلك من أجل تحديد محتواها من U, Th, K. دُرست عشرون عينة من هذه العينات باستخدام تقنية ألفا الطيفية لتحديد النسبة النظرية U^{234}/U^{238}.

يمثل هذا العمل البحثي مسحاً جيوفيزيائياً للتوضعات الفسفاتية واليورانية في جنوب الأبتر في سورية، وهو يهدف إلى:

1- إجراء قياسات جيوفيزيائية بئرية باستخدام تقنية غاما الطبيعية لتحري الخصائص الإشعاعية للطبقات الفسفاتية في جنوب الأبتر.

2- إجراء قياسات طيفية باستخدام تقنيتي غاما وألفا لتحديد محتوى العناصر المشعة (U, Th, K) لهذه التوضعات.

3- دراسة التوزع النظيري لليورانيوم الموجود في هذه التوضعات باستخدام النسبة U^{234}/U^{238} لمعرفة خصائص التوازن الإشعاعي في منطقة البحث.

4- تقدير خصائص بعض عناصر الأثر مثل B, Se, Sr, V وعلاقتها مع اليورانيوم و P_2O_5 باستخدام مصفوفة الارتباط.

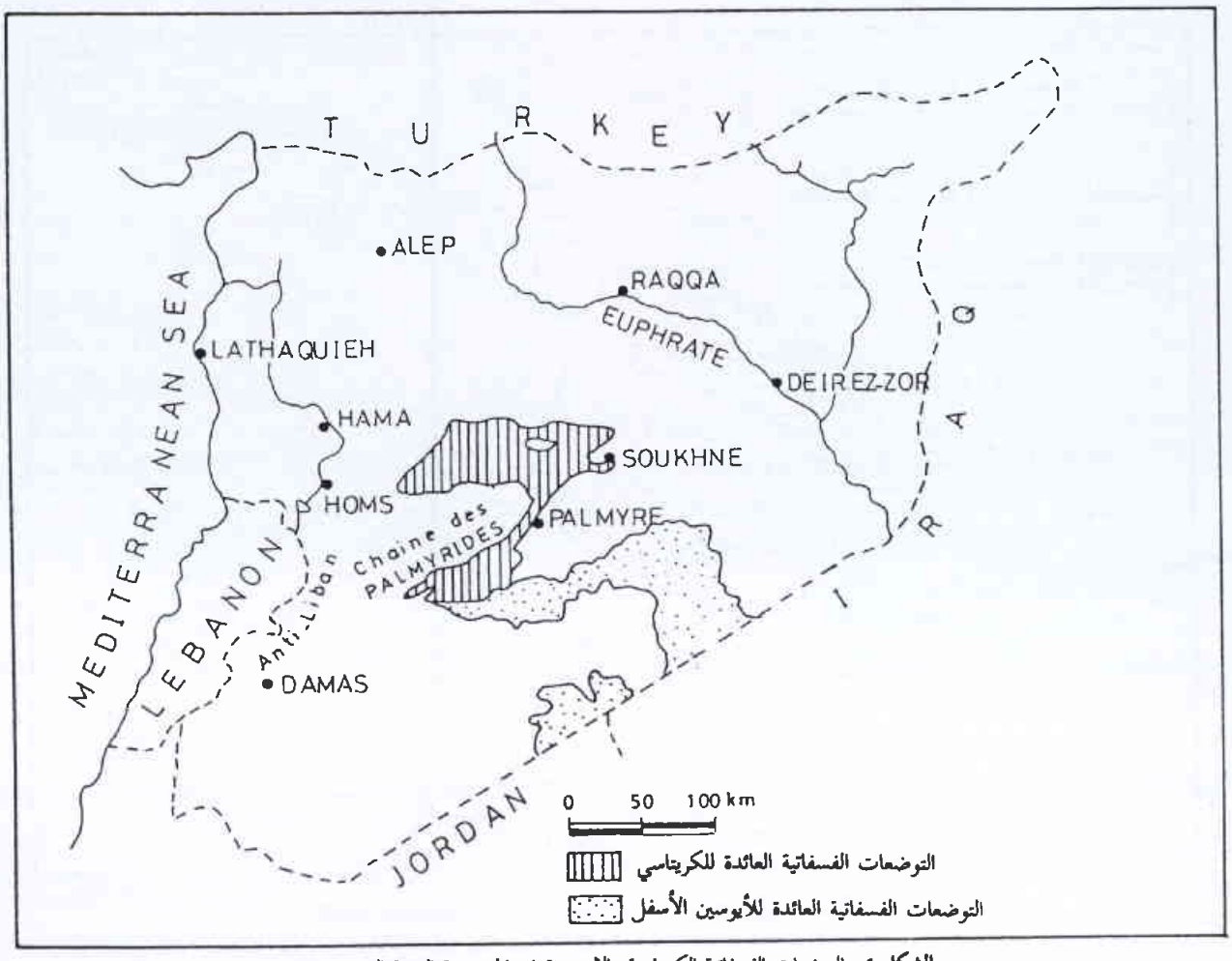
أخيراً أُجريت دراسة مقارنة بين التوضعات الفسفاتية في جنوب الأبتر مع توضعات الشرقية و خنيفيس وتوضعات فسفاتية أخرى خارج سورية. تهدف هذه المقارنة إلى تحري الخصائص الرئيسة للطبقات الفسفاتية في جنوب الأبتر.

الوضع الجيولوجي

يحتوي السلم الستراتغرافي للأراضي السورية على رسوبات فسفاتية تقع ضمن التشكيلات الكلسيّة للكريتاسي الأعلى و الأيوسين، الشكل 1 [5]، وتأخذ هذه الرسوبات أهمية من الناحية الاقتصادية في سلسلة الجبال

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Radiation and Isotopes*, 1-15, 2000.

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



الشكل 1– التوضعات الفسفاتية الكريتاسية والإيوسينية في الجمهورية العربية السورية [5].

التدمرية بشكل رئيسي (الجزء الجنوبي المركزي). تعود توضعات الفسفوريت في هذه السلسلة للكامبانيان / تشكيلة الصوانة/ وتتراوح سماكتها بشكل عام بين 17 و 317 متراً. وقد لعب نهوض الحماد، الذي يعتبر الحد الجنوبي للحوض التدمري، دوراً هاماً في توضعات الفسفوريت من خلال إغناء الرسوبات بالفسفور والبلانكتون والتي تدل على تطور باليوجغرافي ظهر على شكل طغيان سينوني وانزياح للسطيحة العربية.

تتألف تشكيلة الصوانة بمعظمها من حجر كلسي مارني ومارني كلسي متداخل مع توضعات من الفسفوريت مختلفة السماكة تتراوح بين 10 و 12 متراً. يتألف الجزء الأعلى من التشكيلة بشكل أساسي من مارل غضاري أصفر محمر متداخل مع توضعات الحجر الكلسي المارني مع ملاط لاحق، ويُعرف هذا الجزء من الوحدة الترسيبية بتشكيلة الأرك. تكون هذه التشكيلة مغطاة بالغلوكوني والفسفوريت المارلي والذي يُعرف بتشكيلة طنطور، التي تتوضع بشكل محلي مع أشرطة سيليسية. تتركز السويات الفسفاتية بشكل سميك في الجزء المركزي من السلسلة التدمرية وتترقق باتجاه الغرب، وتنتهي بشكل كلي تحت تشكيلة الأرك (مارل الأرك) وتشكيلة طنطور (مارل طنطور). إضافة إلى ما سبق تبين أن توضعات الفسفات ترافق مع تراكيز ثانوية لليورانيوم ضمن المسامات أو الشقوق الصخرية، ويفسر تشكل هذه التراكيز بترسيب أولي حصل أثناء تشكل الفسفات، أو بفعل تراكيز ثانوية نتيجة لحركة المياه السطحية والجوفية [6]. وقد دلّت الدراسات أن معظم التشكيلات الفسفاتية في الجبال التدمرية يعود للكامبانيان [7]. تستثمر هذه التوضعات في موقعين رئيسيين هما خنيفيس والشرقية.

تقع توضعات جنوب الأبتر، موضوع البحث الحالي، بين هذين المنجمين، فهي تبعد 10 km عن توضعات خنيفيس، و 20 km عن توضعات الشرقية، (الشكل 2).

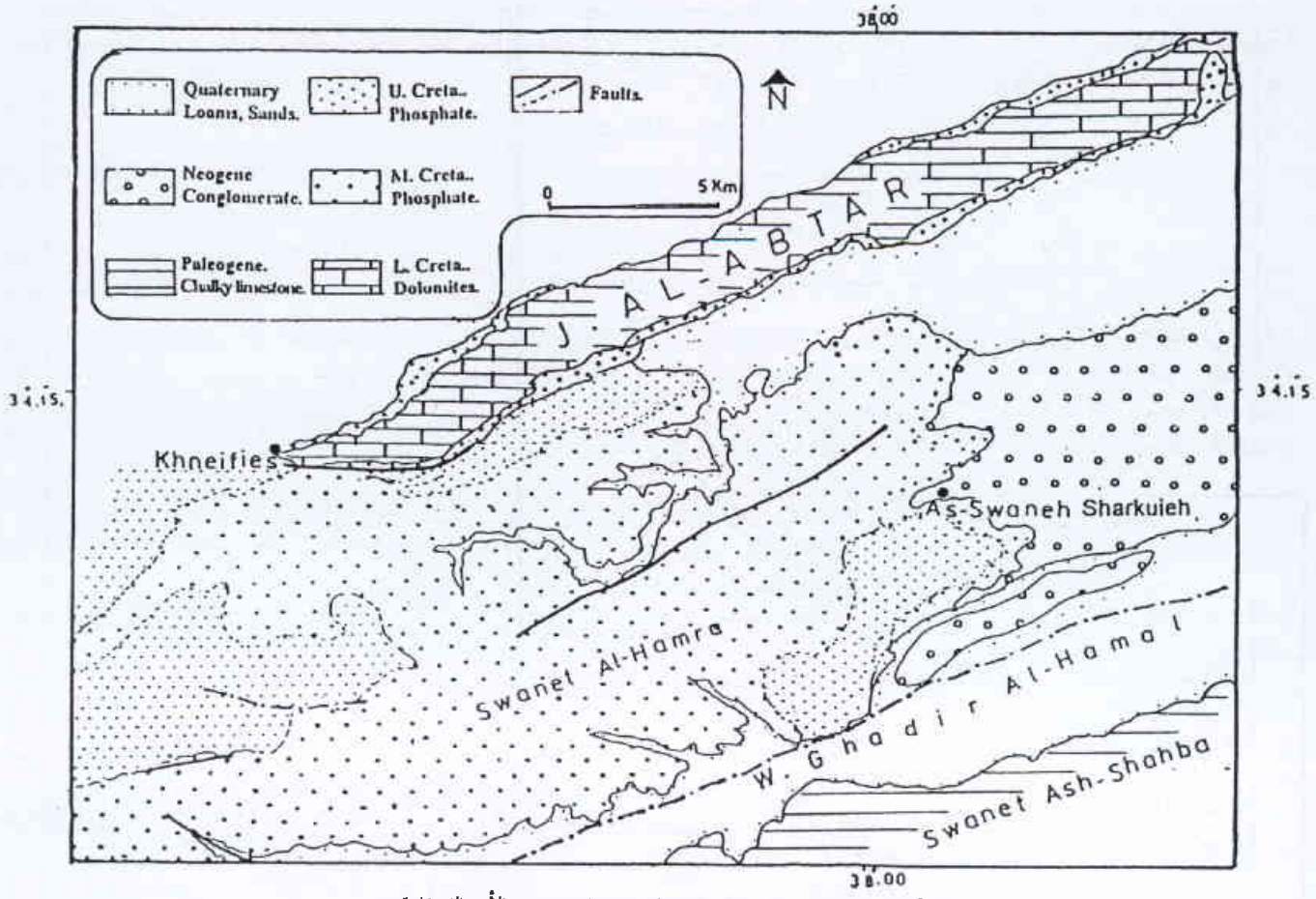
الخصائص الإشعاعية للمقطع الليثولوجي في قطاع التنقيب

تظهر قياسات غاما الطبيعية البئرية المنفذة في رقعة البحث تغيرات الشدة الإشعاعية بتابعية العمق. يشير الشكل 3 إلى مواقع هذه الآبار. تتراوح هذه الشدات بين 20 و 275 عدة/ثانية.

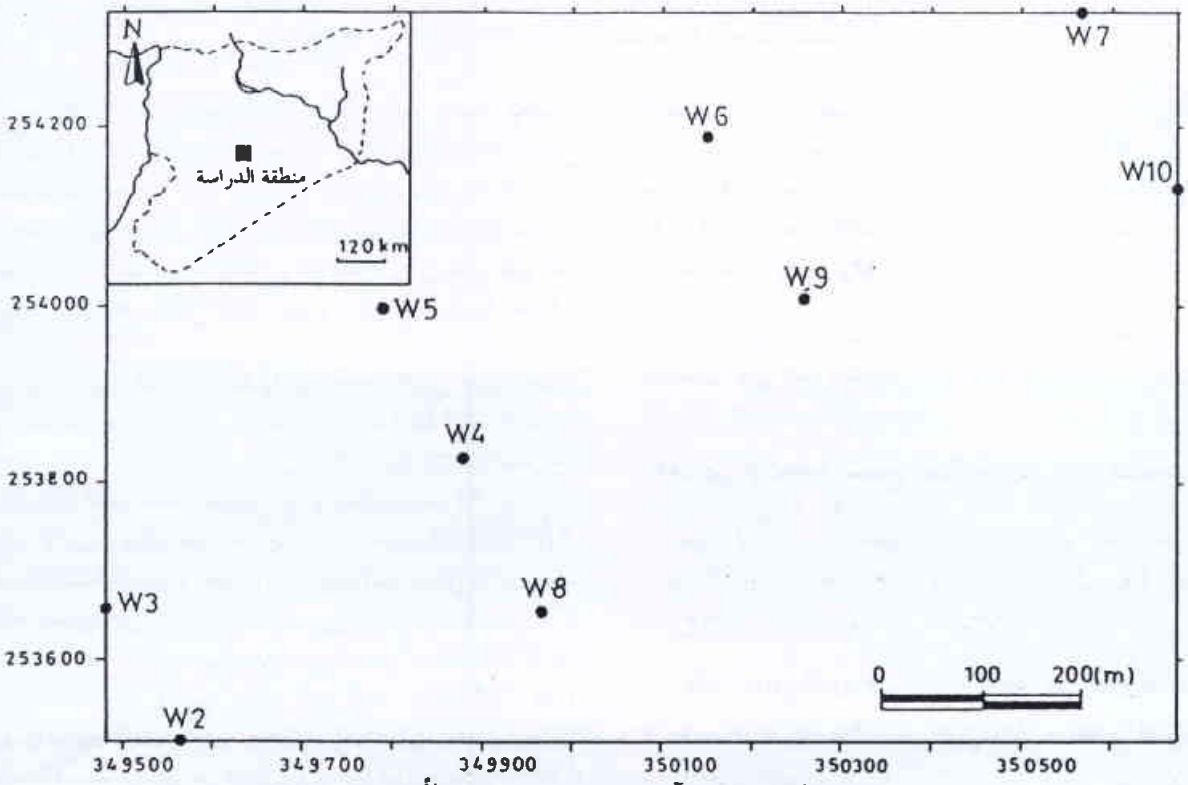
يتألف المقطع الليثولوجي في هذه المنطقة من مجموعتين:

1– المجموعة الأولى: تتألف من كلس مارلي – غضار – مواد عضوية وطمي رباعي.

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



الشكل 2- خريطة جيولوجية مبسطة تظهر توضعات جنوب الأبتر الفسفاتية.



الشكل 3- مواقع الآبار المدروسة في منطقة جنوب الأبتر.

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

2- المجموعة الثانية: وهي تشكل الطبقات الفسفاتية مع الصخور البينية، ويمكن لهذه الصخور أن توجد إما كوحدة واحدة أو كمزيج من وحدتين علوية وسفلية.

تتراوح سماكة الوحدة العليا بين 0 و 0.9 متراً وهي مؤلفة من صخور فسفاتية قاسية لونها رمادي تتغير تدريجياً لتتحول إلى تناوب صخور فسفاتية ويتداخل بهذه الوحدة أحياناً حجر رملي غضاري تتراوح سماكته من 0.2 إلى 0.6 متراً، وتظهر هذه الوحدة في كل الآبار المدروسة.

يشير الشكل 4 إلى مثال يظهر المقطع الليثولوجي للبئر W3 مع قياس لأشعة غاما الطبيعية. يتضح من هذا المخطط كيف يتم تمييز المجموعة الفسفاتية بسهولة اعتماداً على شدتها الإشعاعية العالية بالمقارنة مع باقي الصخور التي نصادفها في البئر.

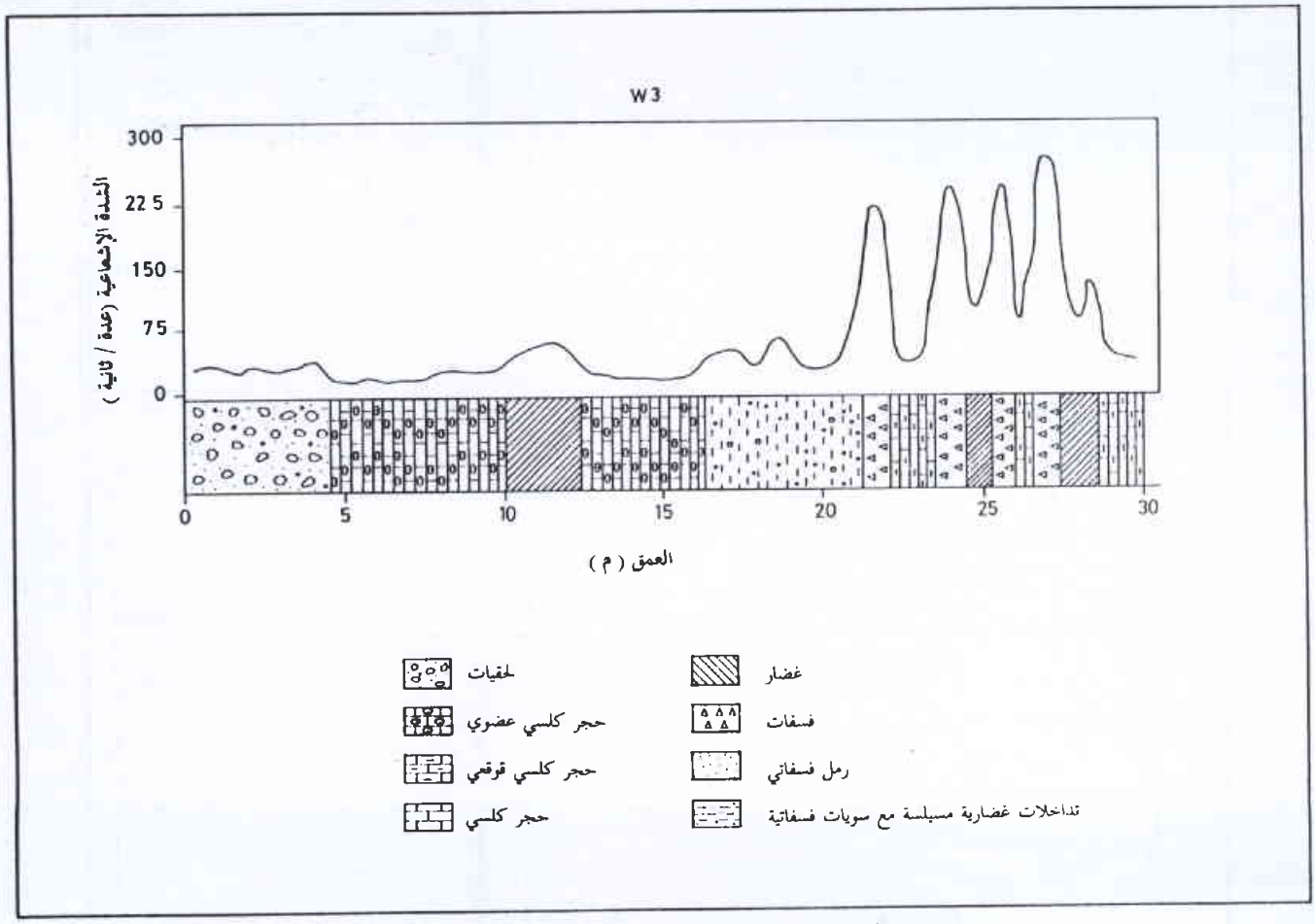
استخدمنا لهذا الغرض جهازاً أمريكياً محمولاً Logging 1000 System Borehole [8] وزنه 27.3 kg ومعه سابرة نظامية G 375/A وبموجب هذا الجهاز، يمكن إجراء ثلاثة قياسات بئرية:

1- إشعاعات غاما الطبيعية المصححة من الزمن الميت.

2- الكمون الذاتي.

3- المقاومة النقطية.

وكان أصفهاني [9] قد ابتكر طريقة تفسيرية مؤتمتة لتفسير قياسات غاما الطبيعية باستخدام التحليل العددي. لقد طور تحليلاً كمياً لهذه المعطيات في مناطق التنقيب عن الفسفات يستند إلى أربعة نماذج نظرية لهذه المنتجات يمكن مصادفتها بشكل شائع في أماكن التوضعات



الشكل 4- قياسات غاما الطبيعية والوصف الليثولوجي للبئر W3.

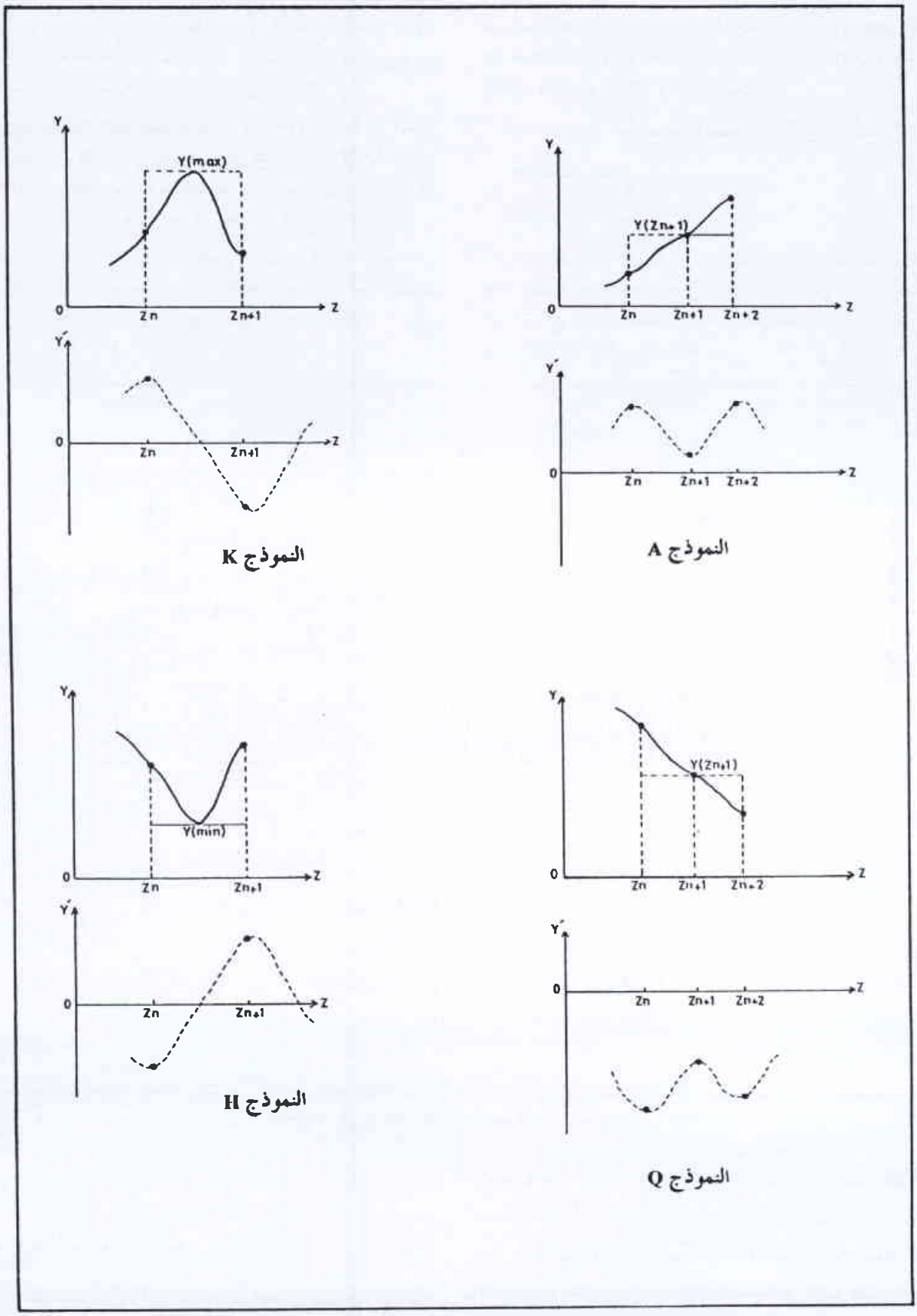
الأعمال التجريبية

قياسات بئرية لأشعة غاما الطبيعية

تلعب القياسات البئرية دوراً هاماً في برامج التنقيب عن اليورانيوم والفسفات، لهذا طبقنا تقنية غاما الطبيعية في تسعة آبار في جنوب الأبتر.

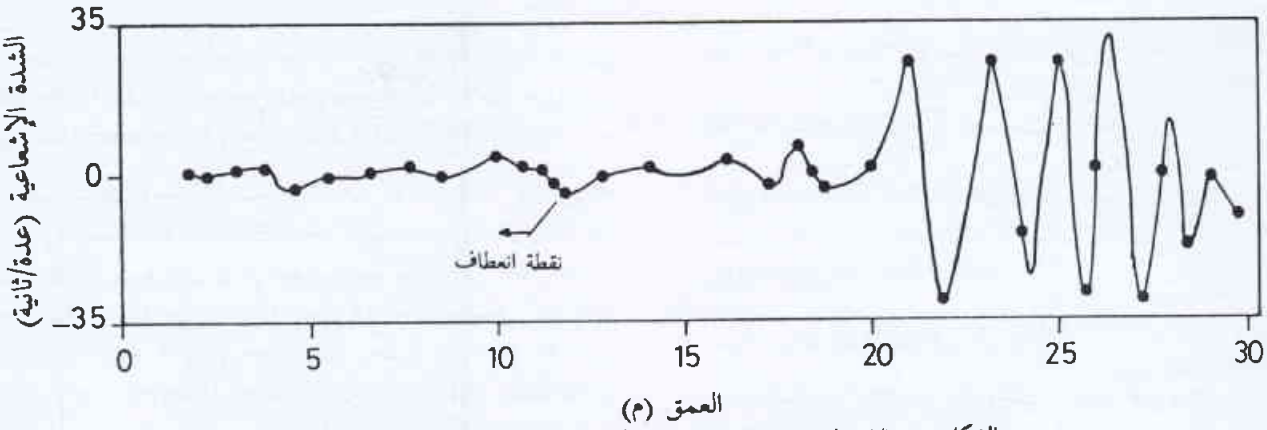
الفسفاتية وهي Q, A, H, K (الشكل 5-a). تمت برمجة هذه النماذج ودراستها نظرياً باستخدام برنامج حاسوبي أُعدّ لهذا الغرض (Rad). يعمل هذا البرنامج على التمييز بين هذه النماذج أثناء عملية التفسير. تعتمد فكرة الطريقة المؤتمتة على دراسة وتحليل التابع المشتق $Y'_i(Z_i)$، حيث Y_i هي الشدة الإشعاعية المقيسة عند العمق Z_i، والذي يسمح

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

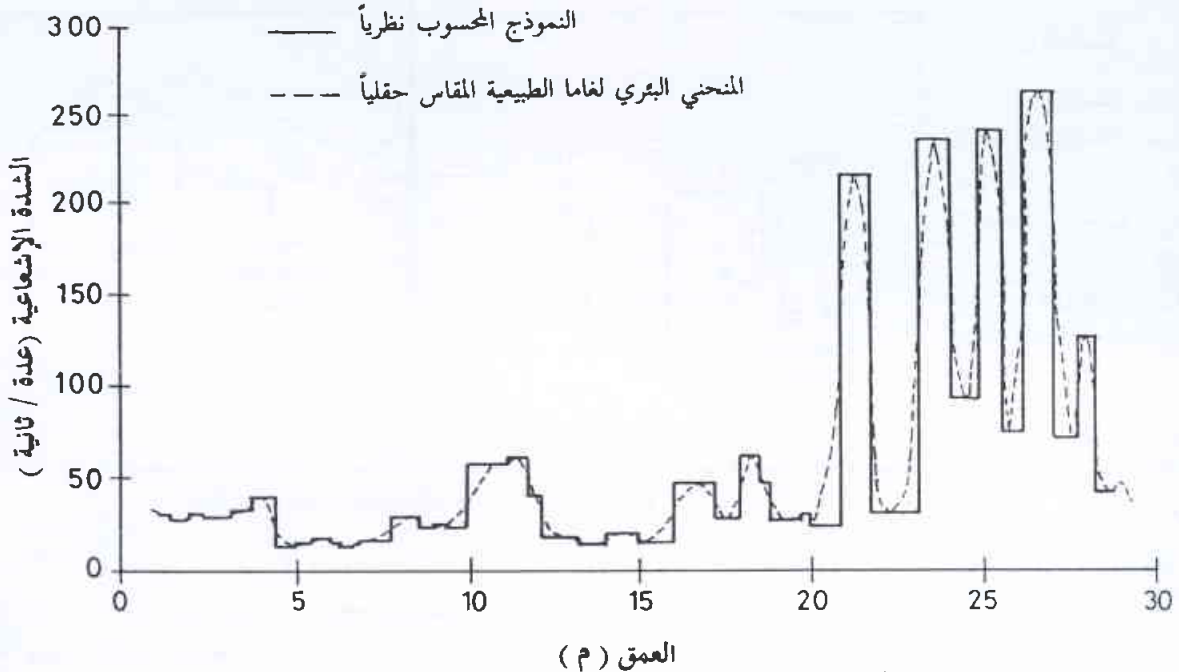


الشكل 5- الشدة الإشعاعية $Y_i(Z_i)$ ومشتق هذه الشدة $Y'_i(Z_i)$ بتابعية العمق من أجل أربعة نماذج من الاستجابات الإشعاعية Q, H, A, K.

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



الشكل 5-b– التابع المشتق $Y'_i(Z_i)$ ومواقع نقاط الانعطاف التي تم الحصول عليها في البئر W3.



الشكل 5-c– النموذج التفسيري الناتج عن تطبيق المنهجية المقترحة في البئر W3 [10].

بتحديد نقاط الانعطاف. يمكن اعتبار كل واحدة من هذه النقاط المحددة على أنها تمثل حداً ليثولوجياً.

يسمح الإجراء الرياضي لإيجاد نقاط الانعطاف بتحديد سماكة كل طبقة يخترقها البئر (الشكل 5-b). ويبدو أن هذه التقنية المطوّرة مناسبة لتفسير منحنيات غاما الطبيعية في المناطق الفسفاتية. في الحقيقة يتم تحديد نقاط الانعطاف بفاعلية كبيرة وهذا عائد إلى الطبيعة الملساء لمنحنيات غاما الطبيعية في أقاليم الفسفات. وبتطبيق هذه الطريقة، فإن المعطيات الحقلية يتم التعامل معها على شكل ملف يتضمن الشدّات الإشعاعية المقيسة بتابعية العمق $Y_i(Z_i)$، كما هو موضح في الشكل 4. وهذا الملف يعتبر الأساس لعمليات التفسير التي تتضمن حساب المشتق الأول $Y'_i(Z_i)$ وذلك لتحديد نقاط الانعطاف. وباستخدام النماذج النظرية الأربعة التي أتينا على ذكرها والحدود الليثولوجية المحددة عن طريق المشتق الأول، يقوم البرنامج بتصنيف الطبقات المدروسة محدداً سماكتها وشداتها الإشعاعية كما هو مبين في الشكل 5-c، الذي يبين مثالاً تطبيقياً لهذه الطريقة في البئر W3. لقد طبقت هذه الطريقة بنجاح في دراسة آبار جنوب الأبتر [10]. وتم الحصول على توافق جيد بين الطريقة العددية المقترحة والمقطع الليثولوجي للآبار المدروسة.

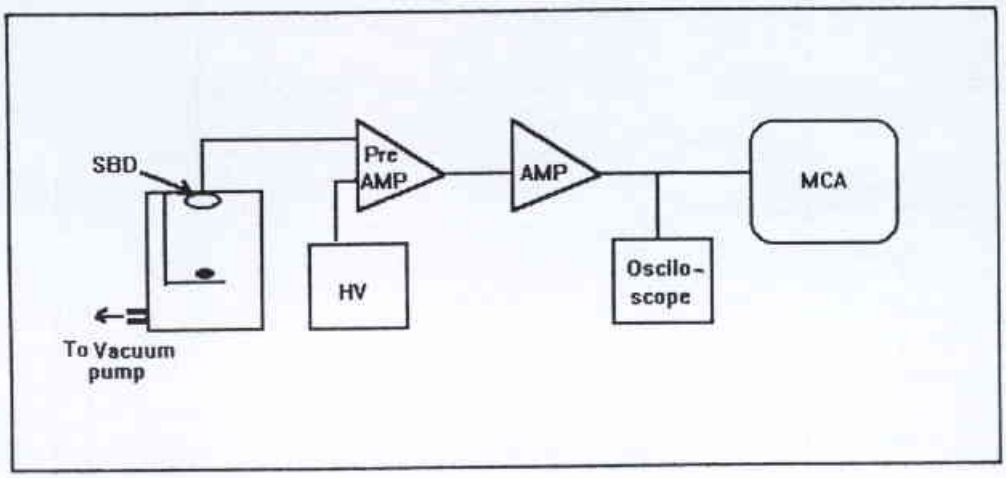
قياسات غاما وألفا الطيفية

تتألف مطيافية غاما من كاشف من الجرمانيوم عالي النقاوة بكفاءة 12.5% ومقدرة فصل 1.8 keV عند الطاقة 1.33 MeV مربوطاً مع محلّل متعدد الأقنية S-100 بـ 8192 قناة. أُجريت القياسات ضمن درع رصاصي بسماكة 10 cm مغطى من الداخل بطبقة من النحاس بسماكة 1 mm. تمت معايرة طاقة وكفاءة المطيافية باستخدام عينات عيارية SRM تحتوي اليورانيوم RGU والثوريوم RGTh. قيست تلك العيّنات العيارية بنفس شروط العينات المدروسة [11]. يتم تحليل الأطياف الناتجة باستخدام برنامج التحليل الطيفي [12].

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

أما مطيافية ألفا فقد تمت باستخدام حجيرة CANBERRA، التي تحتوي على كاشف إعاقة سطحي SBD بكفاءة مطلقة 19%، مربوطة مع مازج إشارة Multiplexer ومحلّل متعدد الأقنية (Nuclear Data).

يظهر الشكل 6 مخططاً صندوقياً لمطيافية ألفا المستخدمة. يؤخذ 0.2g من بودرة الفسفات وتحل بـ 50 ml من مزيج حمضي مركّز $HClO_4$, HNO_3, HF بنسبة (1:2:2) ثم توسم بكمية معلومة من النظير ^{232}U. تبخر العينة المهضمة حتى تمام الجفاف ثم تحل بعدها بحمض كلور الماء، ينقل بعدها المحلول الناتج إلى عمود فصل يحتوي على مبادل الأيونات السالبة DOWEX 1 x 8 (ϕ = 10mm, L = 10cm)، وذلك لفصل اليورانيوم عن العناصر الأخرى المتواجدة في العينة.



الشكل 6– مخطط توضيحي يظهر جهاز ألفا الطيفي المستخدم.

يغسل اليورانيوم المثبت على العمود بـ 50 ml من حمض كلور الماء المدّد 0.1 M ثم تجفف الرشاحة الناتجة، وتحل بعد ذلك بـ 18 ml من $(NH_4)_2SO_5$ بتركيز 0.5 M وتضبط قيمة الـ pH عند القيمة 2 بإضافة حمض الكبريت. ينقل المحلول بعدها إلى خلية ترسيب كهربائي. كانت شروط الترسيب 10.0 DCU, 0.6A وكان زمن الترسيب 90 دقيقة. حيث تترسب نظائر اليورانيوم ^{232}U, ^{234}U, ^{238}U على صفيحة من الستانلس (قطرها 22 mm وثخانتها 0.5 mm)، ويجرى عدّها بمطيافية ألفا لفترة تقارب 24 ساعة.

حسبت نشاطات ^{234}U و ^{238}U من العلاقة:

$$A^{238}U = A^{232}U\ S_{238}/S_{232}$$

$$A^{234}U = A^{232}U\ S_{234}/S_{232}$$

حيث $A^{238}U$ و $A^{234}U$ هما نشاطا النظيرين ^{238}U و ^{234}U.

$A^{232}U$ نشاط النظير ^{232}U المضاف إلى العينة.

S_{238} مساحة القمة العائدة للنظير ^{238}U.

S_{234} مساحة القمة العائدة للنظير ^{234}U.

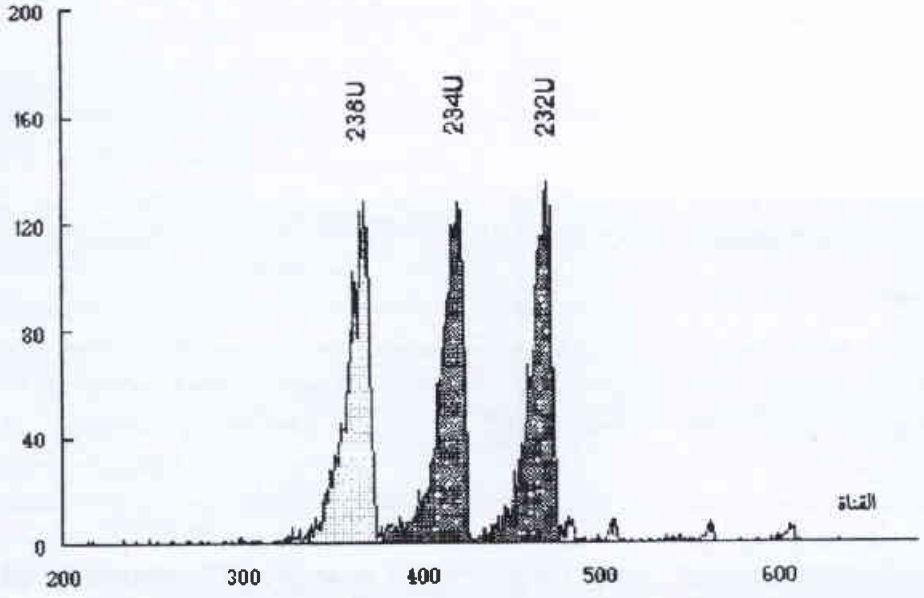
S_{234} مساحة القمة العائدة للنظير ^{232}U.

يظهر الشكل 7 مثالاً عن طيف مقيس لنظائر اليورانيوم في إحدى العينات الفسفاتية.

النتائج والمناقشة

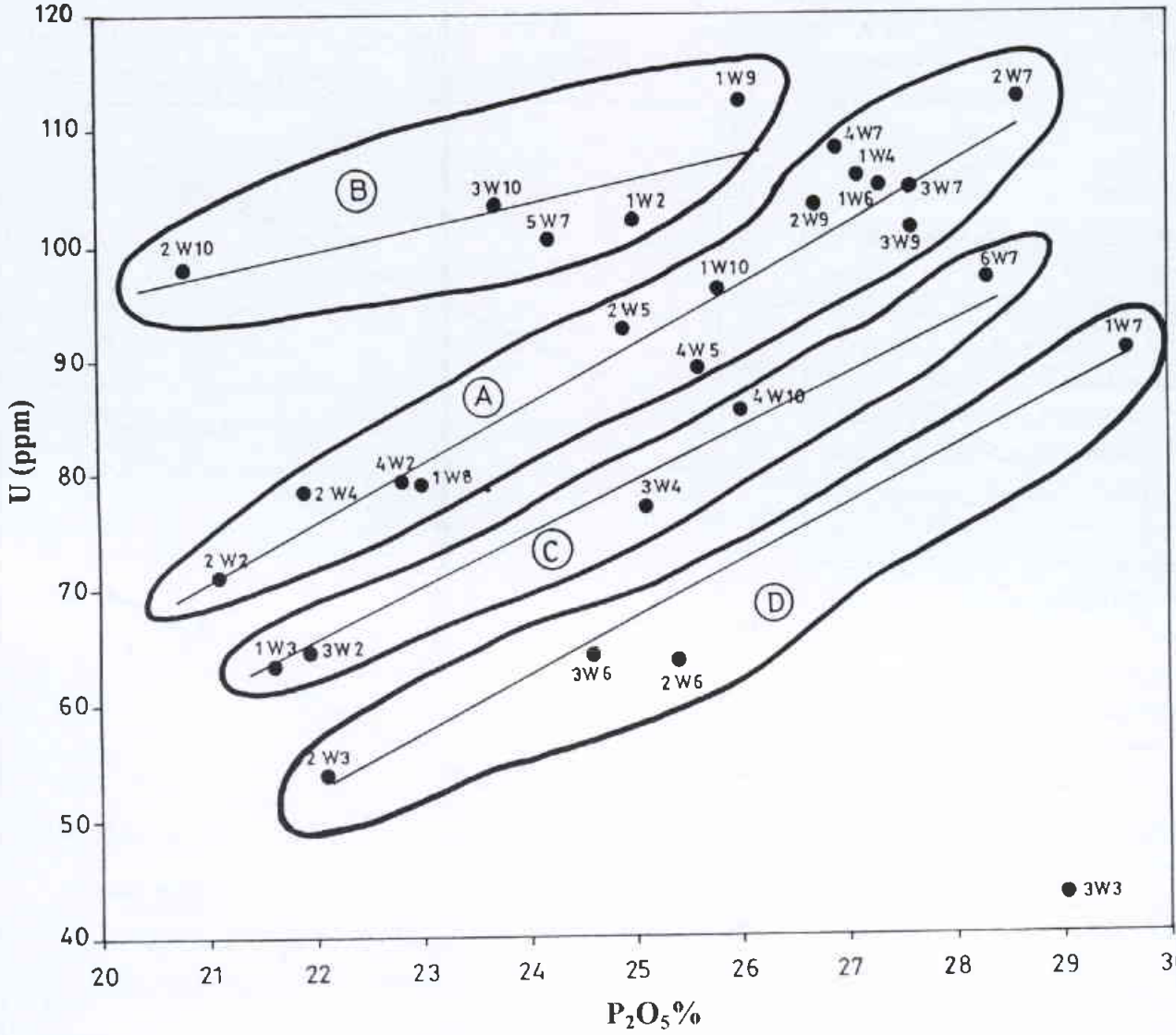
بيّنت القياسات الجيوفيزيائية البئريّة باستخدام تقنية غاما الطبيعية أن الشدّات الإشعاعية للطبقات الفسفاتية في المنطقة المدروسة تتراوح بين 150 و275 عدة/ثانية بمتوسط قدره 253 عدة/ثانية وانحراف معياري قدره 31 عدة/ثانية.

يشير الشكل 8 الذي يُظهر تراكيز (U) ومحتوى P_2O_5 لـ 29 عينة فسفاتية محلّلة مأخوذة من الآبار التسعة المدروسة إلى أن هذه العينات تتمايز إلى المجموعات الأربع التالية:



الشكل 7– مثال يظهر طيف إحدى العينات الفسفاتية المحلّلة بتقنية غاما.

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



الشكل 8– تمايز العينات المحلّلة إلى أربع مجموعات A, B, C, D حسب العلاقة بين اليورانيوم و P_2O_5.

1- المجموعة A: وهي تمثل الاتجاه العام السائد في منطقة البحث، إذ تتوزع في هذه المجموعة غالبية العينات المحلّلة (14 عينة).

2- المجموعة B: تتصف باحتوائها على محتوى أعلى من اليورانيوم مقارنة بالمجموعة الأولى.

3- المجموعتان C و D: تتصفان باحتوائهما على محتوى أقل من اليورانيوم مقارنة بالمجموعة الأولى.

يبين تحليل التراجع الخطي لعينات المجموعة A وجود علاقة ارتباط قوية بين كل من الأزواج (cps, U) و (cps, P_2O_5) و (P_2O_5,U) حيث بلغت R^2 (0.09) و (0.958) و (0.887) على التوالي (الشكل 9). ترتبط الشدّات الإشعاعية المقيسة في الطبقات الفسفاتية مباشرة باليورانيوم، إذ لم يُظهر التحليل الطيفي وجود الثوريوم في مثل تلك التوضعات، كما أن قيم البوتاسيوم المحلّلة في العينات المدروسة هي في الحدود الدنيا للكشف (LLD=0.1%). ومن الجدير بالذكر أن العلاقة الطردية بين P_2O_5 وكل من U والشدّات الإشعاعية المقيسة معروفة في أغلب التوضعات الفسفاتية العالمية [16,15,14,13,9,6,5].

تتراوح نسبة اليورانيوم في العينات المحلّلة بين 42.8 و 112.5 ppm وبمتوسط قدره 93 ppm وبانحراف معياري قدره 15.2، بينما يتراوح محتوى P_2O_5 في صخور هذه العينات بين 20.5 و 28.3% بمتوسط قدره 25.13% وبانحراف معياري قدره 3.11. وهذه النتائج ممثلة في الجدول 1.

وقد أُجريت دراسة مقارنة بين هذه التوضعات الفسفاتية في جنوب الأبتر والتوضعات الفسفاتية في خنيفيس والشرقية. يظهر الشكل 10 نتائج هذه المقارنة المتعلقة بتراكيز P_2O_5 و U من أجل المواقع الثلاثة. تتناقص

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

تراكيز اليورانيوم باتجاه الشمال تدريجياً من خنيفيس وباتجاه الشرقية. يُعزى هذا الاختلاف في تراكيز اليورانيوم إلى عاملين:

1- بيئة التشكل

2- درجة التجوية

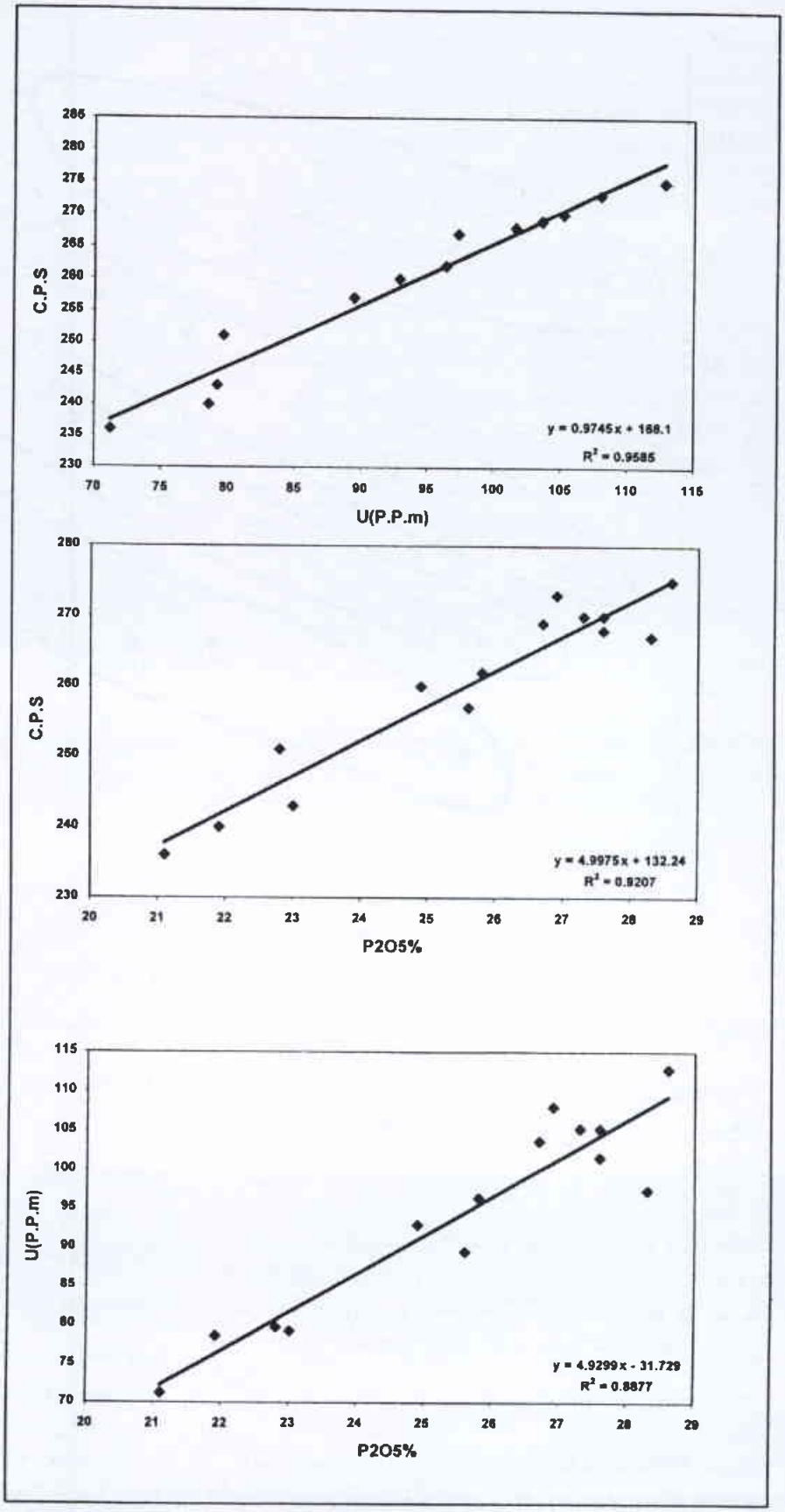
إن بيئة التشكّل في توضعات الشرقية تختلف عن بيئة التشكل في توضعات خنيفيس كونها في الشرقية أكثر شاطئية وأكثر كربوناتية وأكثر تصحرية منها في خنيفيس. كما أن درجة التجوية في الشرقية أكبر من درجة التجوية في خنيفيس. وربما حررت هذه التجوية بشكل كلي جزءاً من اليورانيوم الممتص في الفسفات. أما في توضعات خنيفيس فإن جزءاً من اليورانيوم مازال مرتبطاً بالمادة العضوية داخل الحبات الفسفاتية. إضافة إلى ذلك فإن آثار تمعدنات اليورانيوم الثانوي التي لوحظت في التوضعات الفسفاتية في جنوب الأبتر هي نواتج تجوية سطحية محدودة جداً. ومن الملاحظ أن التجوية تزداد بنفس اتجاه حركة المياه الجوفية. يظهر الجدول 2 متوسط محتوى P_2O_5 للتوضعات الفسفاتية في خنيفيس - الشرقية - جنوب الأبتر.

كما أُجريت دراسة مقارنة أخرى بين التوضعات الفسفاتية في جنوب الأبتر وتوضعات فسفاتية عائدة للكريتاسي الأعلى والأيوسين في حوض التيتس في كل من النقب وأولاد عابدون [17,18]. تمت مقارنة نتائج وسطي التحاليل الكيميائية لتوضعات جنوب الأبتر مع الوسطي المحسوب نظرياً للفسفات العالمي من قبل [16]، ونتائج هذه المقارنة مبينة في الجدول 2، ومن هذه المقارنات المعروضة نجد مايلي:

1- إن القيم المتوسطة لـ P_2O_5 في جميع التوضعات المعروفة يمكن مقارنتها، إذ تتراوح هذه القيم بين 24.28% و 28.6%.

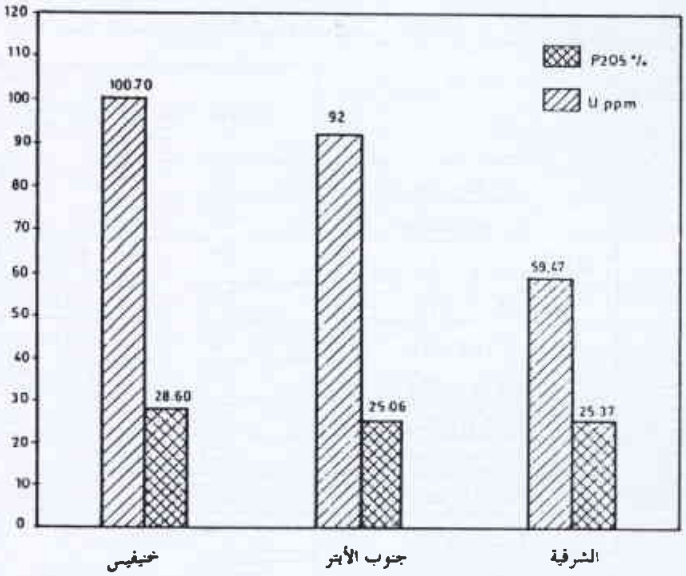
2- إن القيم المتوسطة لليورانيوم في توضعات جنوب الأبتر (93 ppm) أقل من القيمة المتوسطة النظرية العالمية 120 ppm، وأعلى من القيمة المتوسطة لليورانيوم في توضعات الشرقية (59.47 ppm).

3- إن القيمة المتوسطة للسترونسيوم في توضعات جنوب الأبتر 612 ppm أقل من وسطي السترونسيوم النظري 750 ppm وأخفض من متوسط قيم السترونسيوم في توضعات أخرى.



الشكل 9- علاقات الارتباط الخطية بين (CPS, P_2O_5) و (CPS, U) و (P_2O_5,U) من أجل المجموعة A.

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



الشكل 10– هيستوغرام للمقارنة بين توضعات خنيفيس، الأبتر، الشرقية من حيث احتواؤها على U و P_2O_5.

العناصر المدروسة. وبنتيجة الحساب لم يتبين وجود قيم لليورانيوم وP_2O_5 أعلى من قيم العتبة threshold. كما تم حساب معاملات الارتباط بين هذه العناصر لكشف أي علاقة بينها. يبيّن الجدول 4 مصفوفة الارتباط الناتجة عن هذا الحساب والتي يتضح منها ألفة اليورانيوم العالية لبعض عناصر الأثر وبخاصة الفاناديوم و السترونسيوم والرصاص. كما تشير إلى أهمية تحري تلك العناصر في عمليات البحث عن توضعات اليورانيوم.

إن الارتباط العالي بين الفسفات واليورانيوم من جهة وبين الفسفات وبعض عناصر الأثر قد يقدم مؤشرات هامة. ومن المهم أن نلاحظ أن هذه العناصر واليورانيوم محتواة في الأباتيت. إضافة إلى أن تشكّل هذه العناصر يحدث بنفس الوقت في الحوض الرسوبي عبر تشكيل معقدات عضوية معدنية [20,19,14]. يعتبر ارتباط اليورانيوم مع بقية عناصر الأثر الموضحة في الجدول 4 ضعيفاً.

الجدول 1– التحليل الإحصائي للطبقات الفسفاتية في جنوب الأبتر.

	القيمة الدنيا min	القيمة العظمى max	القيمة المتوسطة $\bar{X}$	الانحراف المعياري σ
P_2O_5 %	20.5	28.3	25.13	3.11
U (ppm)	42.8	112.5	93	15.2
أشعة غاما الطبيعية (عدة /ثانية)	150	275	253	31

الجدول 2– نتائج تحليلية من أجل توضعات فسفاتية مختلفة.

العنصر	خنيفيس 48 عينة	الشرقية 69 عينة	الأبتر 20 عينة	أولاد عابدون 21 عينة	النقب 185 عينة	متوسط القيم في الفسفوريت [16]
P_2O_5%	28.6	25.37	25.17	24.28	25.71	-
U (ppm)	100.79	59.47	85	-	111	120
Sr (ppm)	1572.92	1456.02	612	1209	2300	750
Ba (ppm)	521.92	267.46	110	55.5	338	350
V (ppm)	125.38	72.49	71.4	131.57	155	100
Ni (ppm)	23.44	16.98	46	85.81	89	53
Co (ppm)	8.36	8.8	2	18.14	5	7
Cr (ppm)	104.64	115.13	186.7	196.52	227	125
Zn (ppm)	122.94	144.24	115	312.19	521	195
Cu (ppm)	16.64	7.89	31.9	37.38	20	75
Sc (ppm)	2.7	1.35	1.5	8.15	-	11

تم حساب المتوسط، والانحراف المعياري (σ) والعتبة (المتوسط +2σ) والقيم الشاذة التي تمثل القيم الأكبر من (المتوسط + 2 σ) لعينات الأبتر الممثلة في الجدول (3). إن أعماق هذه العينات الفسفاتية مبينة في الجدول (5). تهدف هذه الحسابات إلى كشف وجود قيم شاذة لمختلف

تتناقص قيم اليورانيوم المحلّلة في العينات المأخوذة من البئرين W3, W2 بتابعية العمق، (الجدول 5).

يمكن تفسير هذه الظاهرة على اعتبار أن التوضعات الفسفاتية في جنوب الأبتر قريبة من السطح وليست عميقة. وبالتالي فمن الطبيعي أن

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

الجدول 3- ملخص قيم المتوسط ($\overline{X}$)، والانحراف المعياري (σ)) والقيم الشاذة لمختلفة العناصر للعينات الفسفاتية المأخوذة من تسعة آبار في جنوب الأبتر.

	عدد العينات	مجال تغير القيم	$\overline{X}$	σ	$2\sigma+\overline{X}$	$>2\sigma+\overline{X}$
P_2O_5%	29	20.5 - 28.3	25.13	3.11	31.35	non
U (ppm)	29	42.8 - 112.5	93	15.2	123.4	non
Natural γ ray (cps)	29	150 - 275	253	31	315	non
Zn (ppm)	20*	30 - 300	115	73	261	2
V(ppm)	20	40 - 130	71.4	24	119.4	2
Sr(ppm)	20	100 - 1000	612	230	1072	non
Pb(ppm)	20	2 - 20	7	3.47	13.9	1
Ni(ppm)	20	5 - 60	46	12	70	non
Mo(ppm)	20	2 - 15	6.95	3.11	13.17	1
Cu(ppm)	20	20 - 50	31.9	9.06	50	non
Cr(ppm)	20	130 - 250	186.7	35.76	258	non
Co(ppm)	20	1.5 - 3	2	0.22	2.44	1
Ba(ppm)	20	95 - 300	110	57.3	224.6	2

* تمت دراسة نفس هذه العينات الفسفاتية بتقنية ألفا الطيفية.

الجدول 4- مصفوفة الارتباط الخطية بين مختلف العناصر المدروسة.

	P_2O_5	U	C.P.S	Zn	V	Sr	Sc	Pb	Ni	Mo	Cu	Cr	Co	Ba
P_2O_5	1	0.78	0.83	-0.163	0.781	0.753	-0.122	0.784	-0.294	-0.172	0.088	0.114	-0.183	-0.017
U		1	0.84	-0.172	0.815	0.7	-0.365	0.788	-0.37	0.141	0.051	0.233	-0.103	-0.184
C.P.S			1	-0.147	0.781	0.716	-0.348	0.696	-0.307	0.034	0.003	0.198	-0.075	-0.155
Zn				1	-0.489	-0.277	-0.09	-0.174	0.792	0.193	0.341	0.846	0.63	0.623
V					1	0.733	-0.023	0.758	-0.636	-0.227	-0.302	-0.109	-0.315	-0.316
Sr						1	-0.09	0.648	-0.062	-0.059	0.208	-0.011	-0.228	-0.24
Sc							1	0.111	-0.076	-0.753	-0.319	-0.455	0.111	0.082
Pb								1	-0.331	-0.214	-0.035	0.079	-0.111	-0.117
Ni									1	0.24	0.586	0.557	0.459	0.443
Mo										1	0.405	0.399	0.202	-0.165
Cu											1	0.388	0.106	0.112
Cr												1	0.455	0.458
Co													1	-0.125
Ba														1

يكون تركيز اليورانيوم في المستويات العليا أعلى منه في المستويات الأعمق. وهذا يمكن توضيحه بعمليات تعرية وغسل تقود نواتجها نحو الأسفل، ومن ثم عن طريق خاصة التبخر الشعرية، تصعد هذه المحاليل المحتملة باليورانيوم عبر المسامات والشقوق لتتركز في السويات الأعلى شيئاً فشيئاً.

ولتحري فيما إذا كانت هناك ظواهر غسل لمحاليل اليورانيوم قمنا بدراسة التوزع النظيري لليورانيوم عن طريق دراسة النسبة U^{234}/U^{238} وذلك لفهم حالة توازن اليورانيوم في منطقة البحث. طبقنا لهذا الغرض تقنية ألفا الطيفية التي أتينا على وصفها. يتضمن التفكك الإشعاعي ^{238}U إلى ^{234}U إصدارين، جسيم ألفا وجسيمين بتا. يؤدي قذف هذه

الجدول 5– نتائج قياسات ألفا الطيفية لعشرين عينة فسفاتية مأخوذة من تسعة آبار في نطاق جنوب الأبتر.

رقم العينة	مجال العمق (m)	نشاط ^{234}U	نشاط ^{238}U	$^{234}U/^{238}U$	قيم اليورانيوم المقاسة بغاما الطيفية (ppm)	قيم اليورانيوم المصححة (ppm)
1W2	5.5-6.3	0.163	0.1470	1.1	102.4	93
2W2	7.5-9	0.1169	0.09954	1.17	71.2	60.8
3W2	9-11.5	-	-	-	64	64
1W3	21-22	0.464	0.445	1.04	63.5	61.05
2W3	23.3-24	0.5	0.496	1	54	54
3W3	25-27	0.0365	0.0404	0.9	42.8	47.5
1W4	13-13.8	0.2006	0.2002	1	106.1	106.1
2W4	14.8-15.4	0.0351	0.0376	0.93	78.6	84.5
3W4	16.8-17.6	0.1956	0.1849	1.06	77.2	72.8
2W5	21.9-22.7	0.1349	0.158	0.85	92.9	108.8
1W6	22-23	0.238	0.2458	0.97	105.2	108.6
2W6	25.8-26.7	0.112	0.114	0.98	63.7	64.8
3W6	27-28	0.1266	0.1266	1.03	64.3	62.3
1W7	16.2-16.6	0.1498	0.15	1	91	91
4W7	17.9-19.4	0.2307	0.2302	1	108.4	108.4
5W7	20-20.9	0.144	0.1439	1	100.7	100.7
6W7	20.9-21.8	1.062	1.113	0.95	97.3	101.9
2W9	8.7-9.3	0.2995	0.3128	0.96	103.6	108.2
1W10	11-12	0.04036	0.03956	1.02	96.4	94.5
2W10	12.5-13	0.0887	0.0887	1	98.3	98.3
4W10	13.9-15	0.2238	0.22	1.02	85.7	84.2

(–) غير محللة.

الجسيمات إلى تخريب في الوحدة الأساسية للشبكة البلّورية حول الذرّة الأم ^{238}U.

إن الذرّة المتولّدة ^{234}U غالباً ما تغير موضعها الأصلي نتيجة الارتداد وتنفصل بشكل أسهل عن التركيبة المتواجدة بها أثناء مرور سائل بالقرب منها (أمطار – مياه جوفية – وغيرها). وهكذا تحتوي فلزات اليورانيوم على كمية أقل من ^{234}U الناتج عن حوادث الارتداد خلال تفكك ألفا للنظير ^{238}U. وتكون ذرات ^{234}U أقل ارتباطاً بالشبكة البلّورية، وتتمتع بسهولة كبيرة في الانفصال عن هذه الشبكة عند تعرضها لغسيل حامضي [21].

يمكن تفسير تغيرات نسبة النشاط U^{234}/U^{238} عن طريق تأثيرات ارتداد ألفا لذرّات اليورانيوم ^{234}U [24,23,22].

يشير الجدول 5 إلى نتائج التحاليل النظيرية لعشرين عينة مأخوذة من الطبقات الفسفاتية التي تم اختراقها بالآبار التسعة المدروسة في نطاق جنوب الأبتر. تشير هذه النتائج إلى أن النسبة U^{234}/U^{238} هي بشكل ثابت قريبة جداً من الواحد، مع بعض قيم تكون فيها هذه النسبة أقل من الواحد بقليل، وهذا ما يدل على أن التوازن منزاح باتجاه ^{238}U.

نستنتج من هذه التحاليل أن اليورانيوم يتواجد في حالة توازن إشعاعي من أجل كل من النظيرين ^{238}U و ^{234}U وذلك منذ لحظة تشكل الفسفات. إن زمن التوازن بين ^{238}U و ^{234}U تم حسابه وفق معادلة باتمان [25]، وهو حوالي 2×10^6 سنة، حيث أن عمر التوضعات الفسفاتية في النطاق المدروس حوالي 10^8 سنة (الكريتاسي الأعلى) [26].

وبالتالي يمكننا أن نفترض أن ^{234}U و ^{238}U هما في حالة توازن حقبي من أجل الشروط الجيولوجية على مقياس الزمن الكبير. تشير حالات عدم التوازن الإشعاعي التي تمت ملاحظتها في بعض العينات إلى أن ^{234}U تحرّك أو أبعد خارجاً بسبب الغسل الناتج عن جريان المياه.

الخاتمة

مكّننا هذا العمل من التعرف على خصائص الطبقات الفسفاتية في نطاق جنوب الأبتر. تحتوي الطبقات الفسفاتية على تركيز متوسط لليورانيوم وقدره 93 ppm. كما أن متوسط تركيز P_2O_5 في هذه التوضعات هو 25.13%.

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

ترتبط الشدّات الإشعاعية المقيسة لهذه الطبقات الفسفاتية في آبار الدراسة بشكل أساسي بتركيز اليورانيوم. لقد تم التحقق من ألفة اليورانيوم والفسفات لبعض عناصر الأثر من خلال تحليل نتائج مصفوفة الارتباط. لم تشر تقنية غاما الطيفية إلى وجود الثوريوم، كما أن وجود البوتاسيوم كان دون الحد الأدنى من الكشف (LLD=0.1%).

بيّنا أيضاً أن اليورانيوم يوجد في حالة توازن إشعاعي في نطاق جنوب الأبتر، وذلك باستخدام تقنية ألفا الطيفية. وكنتيجة هامة وتطبيقية لهذا التوازن الإشعاعي فإن قياسات غاما الطبيعية في الآبار المدروسة تتناسب مع محتوى الطبقات الفسفاتية من اليورانيوم، وبالتالي يمكن لهذه القياسات أن تستخدم لتزويدنا بالمحتوى اليوراني للطبقات الفسفاتية.

REFERENCES المراجع

[1] Ponikarov, V. P. et al, (1966). Carte géologique au 1/200 000 de Syrie. In Ponikarov V. P. (ed.). Ministère du pétrol et des ressources minérales. Damas, Syrie.

[2] Ponikarov V. P. et al, (1967). Notes explicatives de la carte géologique au 1/500 000 de Syrie. Ministère du pétrol et des ressources minerals, Damas, Syrie, part I, 229 p., part II, 70 p.

[3] Geomine, (1976). Repot of geological investigation, carried out on the Khneiffis phosphorite deposit. Unpubl. report general company for phosphate, Homs, Syria. T. I, 109p.

[4] Geomine, (1977). Synthesis geological report on the Eastern (Sharquieh) phosphate deposit. Unpubl. report general company for phosphate, Homs, Syria. T. I, 71p.

[5] Atfeh, S. (1967). The phosphate deposits of Syria, unpub. Ph.D. Thesis, University of London, Kings College, 348p.

[6] Abbas, M., (1987). Géochemie de l'uranium des phosphorites des Palmyrides Centrales, Syrie. Thèse Sci., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, France, 166p

[7] Al-Maleh. A. Kh, Mouty. M, (1994). Lithostratigraphy of Senonian phosphorite deposits in the palmyridean region and their general sedimentological and paleogeographic framework, Proc. 29th. Int'l. Geol. Congr., Par C pp. 225-233.

[8] Borehole logging Instruments (1982). Mount Sopris instrument company division of EG&G Geometrics P.O. Box 449 Delta, Colorado U.S.A.

[9] Asfahani. J, Kamarji. Z, (1996). The automatic interpretation of natural gamma rays in well logging of the phosphatic deposits in the Palmyra region in Syria, Appl. Rad. Isot. Vol.47, No. 516, pp. 591-598.

[10] Asfahani. J. (1999) Determination of radioactive and phosphatic layer by measuring γ-ray intensities in well logging in the south Al-Abter region in Syria, using numerical methods of analysis, Journal of King Abdulaziz University "Science", in press.

[11] AQCS, (1995). IAEA, p.44.

[12] Nuclear Analysis Software, (1991). (GANAAS), IAEA, Vienna, IAEA/CMS/3.

[13] Jubeli. Y. M, (1998). The role of airborne radiometric survey in defining the distribution of phosphate rocks in Syria desert and the northern palmyrides, Explor. Mining Geol., Vol.6, No.3, pp.269-278.

[14] Gavshin. V. M, Bobrov V. A, Zorkina. L. S, (1974). Quantitative relation between uranium and phosphorus in phosphatic sedimentary rocks. Litho. Min. Depsit, 6, P. 118-126 (English trans, pp. 740-746).

[15] Hunting Geology and Geophysics Limited, (1975). Exploration and development in Syria. Report on consultancy.

[16] Altschuler. Z. S, (1980). The bearing of geochemistry on the recovery of uranium and rare earth in phosphorites. Proc. 2nd internat. Congr. Phosphorus Compounds, Boston, April 1980, pp.605-625.

[17] Nathan. Y., Rodel. R., Shiloni. Y., Gal. I Deutsch. Y. (1979). The geochemistry of the northern and central negev phosphorites. Isr. Geol. Surv. Bull., 73, P.41.

[18] Prevot. L, (1990). Geochemistry, petrography, genesis of cretaceous-eocen phosphorites. The Ganntour deposit (Morocco). A typical example Mem. Soc. Geol. Fr., 158.

[19] Baturin. G. N, (1973). Uranium in the modern marine sedimentary cycle. Geochemistry intern. 9-10. P.1031-1041.

[20] Baturin. G. N. (1982). Phosphorite on the sea floor. Origin, composition and distribution. Developments in sedimentology, 33, Elsevier, 343 p.

[21] Martinez. A, Aquirre. M, Garcia-Leon, Ivanovich. M, (1994). Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, pp.339, 287.

[22] Fleischer. R. L. and, Raabe O. G, (1978). Geochim.. Cosmochim. Acta, 42, 973.

[23] Fleischer. R. L, (1988). Nucl. Tracks Radiat. Meas., 14, 437.

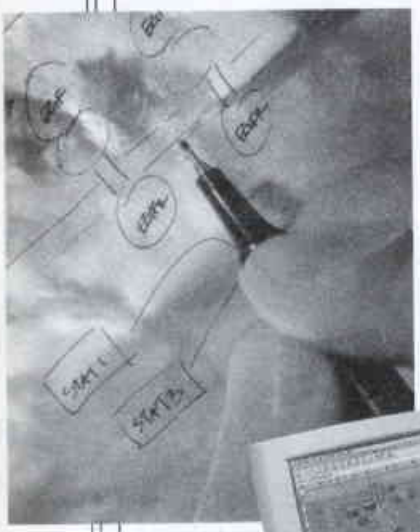
[24] Takriti. S. Abdul-Hadi. A, (1998). Determination of activity ratio in Syrian phosphates. J. Radianal. Nucl. Chem., Vol 230, pp.299-301.

[25] Bessis. J, (1978). Manuel de Physique Nucléaire, Eyrolles, Paris.

[26] Jubeli. Y. M., Hale M, (1990). Geochemical reconnaissance for uranium in the Palmyrides region of central Syria, Earth Sci., 99, 125.■

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

التقارير العلمية



دراسة تلوث بيئة نهر بردى ببعض العناصر السامة الناجمة عن صناعة الجلود (الدبّاغات)★

د. إبراهيم خميس، أحمد سرحيل، نزار الصمل
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية
د. محمد سعيد المصري
قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

يتواجد على نهر بردى وفروعه، وخاصة الجزء الأخير منه (المنطقة الشرقية من مدينة دمشق)، عدد من المعامل والمحلات الصناعية الصغيرة. ونذكر منها معامل الدباغة الحكومية وعددها 4 و200 معمل خاص للدباغة وحوالي 80 وحدة ملحقة ومعامل غراء والمسلخ الحكومي ووحدة معالجة اللحوم وعدد من معامل تلبيس المعادن والتي تستخدم معظمها مواد كيميائية يدخل في تركيبها عناصر سامة، مثل الكروم والنحاس والنيكل والكادميوم. ونظراً لضخامة صناعة الدباغة في هذه المنطقة فإنها تعد المصدر الرئيسي للتلوث في الجزء الشرقي من نهر بردى في مدينة دمشق.

تعد صناعة الدباغة إحدى الصناعات المنتشرة في العالم، ولقد تطورت عبر العصور. وتستخدم للتخلص من الشحوم الطبيعية في الجلود وغيرها مواد مؤكسدة كيميائية إضافة إلى المنظفات. ومن المؤكسدات مركبات الكروم التي تنتقل إلى مياه الصرف لتلك الصناعات. ولهذا تستخدم العديد من المعامل طرائق معالجة كيميائية قبل رمي مياه الصرف. فاستخدمت طريقة الترسيب بماءات الحديد لترسيب الكروم أو فسفات المغنيزيوم لترسيب الأمونيوم والأكسدة بالأكسجين للتخلص من السلفيد. وما تزال هذه المياه تُرمى إلى البيئة دون معالجة في كثير من بلدان العالم وخاصة بلدان آسيا و إفريقيا، بما فيها سورية.

الكلمات المفتاحية: تلوث نهر بردى، عناصر الأثر، تلبيس المعادن، الدباغات.

النتائج والمناقشة

جرى تعيين بعض العناصر الأساسية وعناصر الأثر في كافة العينات. وسنناقش هنا العناصر ذات الأهمية:

الرسوبيات

يبين الجدول 1 تراكيز عناصر الأثر الهامة التي يمكن أن تتواجد نتيجة الصناعات المتمركزة في ذلك القسم من النهر، وتمثل هذه العناصر بالفضة والزرنيخ والكوبالت والكروم والزئبق والنيكل والنحاس.

ويلاحظ من الجدول 1 أن تراكيز كل من الكوبالت والكروم والنحاس كانت أعلى من الحدود الطبيعية. إذ تراوحت تراكيز الكروم بين 77 جزء في المليون و 2692 جزء في المليون (تتراوح الحدود الطبيعية بين 10 - 90 جزء في المليون). أي أن هناك زيادة عن الخلفية الطبيعية بحوالي ثلاثين مرة، وخاصة في منطقة الدباغات. ويدل توزع الكروم في الرسوبيات على طول النهر الذي جرى جمع العينات منه أن الكروم يبقى في الرسوبيات ولا ينتقل إلى مسافات طويلة لحسن الحظ. ويعود ذلك إلى ارتفاع كمية الحديد في رسوبيات النهر في موقع رمي هذه النفايات. أما العنصر الآخر، الذي لوحظ بكميات كبيرة على طول هذا الجزء من النهر، فهو النحاس حيث وصل تركيزه إلى قيمة عظمى في موقع الكباس (3971 جزء في المليون). ويعود هذا الارتفاع إلى رمي نفايات معامل تلبيس المعادن المنتشرة كذلك في المنطقة. ويلاحظ التوجه نفسه مع عنصر النيكل الذي يعد أيضاً من ملوثات صناعة تلبيس المعادن. أما العنصر الآخر الذي لوحظ بتراكيز مرتفعة فهو التيتانيوم. يتراوح تركيز التيتانيوم بين 1034 و 1987 جزء في المليون، وكان توزع التيتانيوم في الرسوبيات متجانساً تقريباً على طول هذا الجزء ما عدا منطقة الدباغات وما يليها. وتعد صناعة الدهانات والأصبغة أحد مصادر التلوث بالتيتانيوم الذي يستخدم كمادة رئيسية في الصباغ الأبيض.

التربة

يبين الجدول 2 أن تراكيز الكروم كانت مرتفعة نسبياً في موقع الدباغات، حيث وصل تركيزه إلى 327 جزء في المليون، أي أكثر بـ 4 مرات تقريباً عن السويات الطبيعية. ويعود سبب وجود هذه الكميات إلى وجود معامل الدباغة. وبمقارنة هذه القيم مع تلك الموجودة في الرسوبيات فإنها تعد صغيرة نسبياً، أما العناصر الأخرى فكانت منخفضة بالمقارنة مع تراكيزها في الرسوبيات. ويعود سبب تلوث التربة إلى ارتفاع منسوب النهر في حالات المطر الشديد والفيضانات.

★ تقرير مختصر عن تجربة علمية استطلاعية حقلية - أنجزت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الجدول 1– تراكيز عناصر الأثر في الرسوبيات.

Cu	Ti	Ni	Hg	Cr	Co	As	Ag	
1476±107	1461±241	<	1.16±0.07	98±1	7.44±0.09	5.01±0.16	7.6±0.4	
1602±116	1491±246	150±11	1.59±0.09	11±2	6.94±0.09	4.37±0.14	12.3±0.6	500
436±32	1208±199	55±4	1.56 ±0.09	77±1	4.01±0.05	3.16±0.10	8.2±0.4	
392±28	1034±171	55±4	1.76±0.10	2692±41	6.97±0.09	2.96±0.10	6.7±0.3	
1791±129	1852±261	167±13	1.50±0.08	128±2	7.09±0.09	4.50±0.15	18.3±0.8	
3971±287	1826±301	133±10	2.09±0.12	92±1	7.09±0.09	4.45±0.14	4.8±0.2	
2516±181	1733±286	134±10	2.53±0.14	119±2	7.59±0.09	4.56±0.15	10.4±0.5	
1216±88	1987±328	88±7	1.19±0.07	94±1	9.63±0.12	4.16±0.14	6.8±0.3	
824±60	1185±196	92±7	1.16±0.07	79±1	5.49±0.07	3.34±0.11	8.6±0.4	
0.07	-	-	-	10-90	74	74.3	-	

الجدول 2– تراكيز عناصر الأثر في التربة.

Ti	Ni	Hg	Cr	Co	As	Ag	
2622±316	45.5±5.1	0.64±0.09	82±3	8.23±0.16	5.07±0.05	-	
2601±314	45.6±8.0	0.64±0.09	84±3	9.09±0.002	4.63±0.04	2.24±0.16	500
2849±344	48.6±4.6	1.31±0.18	277±41	10.14±0.12	6.23±0.06	3.48±0.17	
2844±343	53.0±1.7	0.45±0.06	327±37	9.0±0.29	7.15±0.07	2.11±0.21	
3158±381	58.6±3.5	0.08±0.01	92±11	10.60±0.02	10.37±0.10	1.62±0.23	
2486±300	708±8.1	0.58±0.08	91±4	9.67±0.26	6.73±0.06	3.56±0.18	
2283±275	39.8±8.2	1.25±0.17	84±9	8.13±0.01	4.92±0.05	1.76±0.21	
3008±363	52.2±3.8	0.85±0.11	83±6	10.85±0.25	10.02±0.09	1.83±0.22	
2894±349	48.9±6.5	0.22±0.03	77±3	9.05±0.32	5.77±0.05	0.90±0.16	
	2.6±0.1	0.2±0.06	10-90	8	7	-	

تراكيز عناصر الأثر في الأوراق

كانت معظم تراكيز عناصر الأثر أقل من حد الكشف ما عدا الكروم والكوبالت، كما هو موضح في الجدول 3. على أية حال، كانت معظم تراكيز الكروم ضمن الحدود الطبيعية في النباتات، وربما يعود سبب هذا الانخفاض إلى ثبات الكروم في التربة وعدم انتقاله إلى النباتات أو إلى طبيعة النباتات وصغر عمرها.

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

الجدول 3- تراكيز عناصر الأثر في الأوراق (ملغ/ كغ. جاف).

Cu	Ni	Hg	Cr	Co	As	Ag	
< LOD	< LOD	< LOD	0.51±0.06	0.03±0.009	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	0.72±0.08	0.08±0.01	< LOD	n.d	500
< LOD	< LOD	< LOD	1.52±0.09	0.09±0.07	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	1.66±0.11	0.45±0.031	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	0.57±0.05	0.14±0.024	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	0.58±0.10	0.07±0.015	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	0.56±0.03	0.04±0.009	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	0.80±0.10	0.21±0.017	< LOD	n.d	
< LOD	< LOD	< LOD	0.73±0.03	0.10±0.08	< LOD	n.d	
5-20	0.05±5	4-20 ميكروغرام	0.02-14		1 ميكروغرام	0.06-0.28 ميكروغرام	

LOD من أجل As، Hg، Ni، Cu = 0.45، 0.1، 25، 2.0 على التوالي
n.d: لم تكشف

تعيين تدفق الرصاص 210 الجوي في سورية*

د.محمد سعيد المصري، هيثم شيخ خليل
قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص. ب 6091 - دمشق سورية

ملخص

جرى تعيين معدلات تدفق الرصاص 210 الجوي بجمع واحد وخمسين مقطعاً طولياً من الترب السورية خلال عام 1998. تراوحت معدلات تدفق الرصاص 210 في سورية محسوبة من مخزون الرصاص 210 في التربة بين 15 بكريل . م$^{-2}$. سنة$^{-1}$ و 407 بكريل. م$^{-2}$. سنة$^{-1}$ وبقيمة وسطية قدرها 128 بكريل. م$^{-2}$. سنة$^{-1}$. كانت أعلى المعدلات في منطقة حماة، ويعود ذلك إلى وجود فالق الغاب الذي يُعدّ مصدراً لغاز الرادون في المنطقة. وكانت المعدلات مرتفعة أيضاً في معظم المواقع التي تقع في الوديان أو حول البحيرات السورية. كما دلّت الدراسة على أنه لا توجد علاقة خطية تربط بين قيم تدفق الرصاص 210 والمعاملات الأخرى كالهطل المطري السنوي والكثافة الظاهرية للتربة. ومن جهة أخرى، لوحظ تأثير هذين العاملين على شكل توزع تركيز الرصاص 210 مع العمق. وأوضحت نتائج قيم تدفق الرصاص 210 المتفاوتة من موقع إلى آخر، ضرورة جمع عدد مناسب لمقاطع التربة للحصول على قيمة وسطية ممثلة لتدفق الرصاص 210 في منطقة ما. على أية حال، تبقى القيمة الوسطية المسجلة في هذه الدراسة ضمن المجال العالمي لتدفق الرصاص 210.

الكلمات المفتاحية: تدفق الرصاص 210، الراديوم 226، التربة، سورية، الشرق الأوسط.

مقدمة

يعد الرصاص 210 (عمر النصف 22 سنة) أحد نواتج تفكك غاز الرادون في البيئة، ونظراً لانخفاض طاقة جسيمات بيتا الصادرة عنه (55 كيلو إلكترون فولت)، فإن معظم الجرعة الإشعاعية الناتجة عن وليداته البزموت 210 والبولونيوم 210. ويتواجد الرصاص 210 في معظم مكونات البيئة. فقد يصل تركيزه في المياه الجوفية إلى حوالي 7 بكريل/ل.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية - أنجزت في قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

أما في مياه الأمطار فيبلغ تركيزه حوالي 65 ملّي بكريل/ ل بافتراض مقدار الهطل المطري العالمي نحو 785 ملم، ويتراوح تركيز الرصاص 210 في الهواء الجوي بين 0.2 و 1.5 ملّي بكريل/ م^3. أما تركيز الرصاص 210 المتواجد في التربة فيتألف من مكونتين الأولى وهي الرصاص 210 المدعم (Supported Lead 210) والناتج عن تفكك غاز الرادون 222 المتواجد في التربة والمرتبط تركيزه بتركيز الراديوم 226 في التربة. أما المكونة الثانية والتي تدعى بالرصاص 210 غير المدعم (Unsupported Lead - 210) فهي الرصاص 210 الجوي والناجم عن تفكك غاز الرادون 222 في الجو. وتدل الدراسات على أن هذه الكمية من الرصاص 210 موجودة في الجزء العلوي من التربة غير المقلوبة (0 – 20 سم). استخدمت هذه الزيادة في التركيز بين الرصاص 210 المدعم وغير المدعم في تعيين معدلات تدفق الرصاص 210 الجوي، ونذكر هنا أن التربة غير المقلوبة تعد المصائد الجيدة للرصاص 210 وأن قرابة 99% منه تبقى في التربة السطحية، وبشكل خاص في التربة الغنية بالمواد العضوية.

يعتمد تدفق الرصاص 210 في موقع ما على العديد من العوامل الجوية والجغرافية. وتعد عملية غسل الرصاص 210، بواسطة مياه الأمطار أو الثلوج، الآلية الأساسية لإزالته من الجو إضافة إلى الترسيب الجاف. ولهذا فإن تدفق الرصاص 210 يمكن أن يلاحظ بقيم متفاوتة في رقعة صغيرة من الأرض فيما لو كانت الشروط الجوية غير ثابتة على مر السنين. وتعد العمليات الطبيعية كإعادة تعلق التربة والأسمدة الفسفاتية واحتراق الوقود الأحفوري أحد مصادر الرصاص 210 الجوي والتي تزيد من قيم تدفق الرصاص 210.

جرى تعيين تدفق الرصاص 210 في أوربا الشرقية وأوربا الوسطى والاتحاد السوفييتي السابق والهند واليابان وأستراليا ونيوزلاندا وأمريكا وأفريقيا وبريطانيا ونيجيريا. ولم يتبيّن لنا أنه توجد معلومات كافية عن تدفق الرصاص 210 في منطقة الشرق الأوسط. ولهذا هدفت الدراسة الحالية إلى دراسة التوزع العمودي للرصاص 210 في الترب السورية وتعيين تدفق الرصاص 210 الجوي في القطر العربي السوري.

النتائج والمناقشة

تراوح مخزون الرصاص 210 في التربة بين 478 بكريل. م$^{-2}$ و13080 بكريل. م$^{-2}$. وبقيمة وسطية قدرها 4509 بكريل. م$^{-2}$ وهي قيمة مرتفعة نسبياً. أما تدفق الرصاص 210 الجوي والذي يرتبط بمخزون الرصاص 210 في التربة فتراوح بين 15 بكريل. م$^{-2}$. سنة$^{-1}$ و 407 بكريل. م$^{-2}$. سنة$^{-1}$ وبمعدل وسطي قدره 128 بكريل. م$^{-2}$. سنة$^{-1}$، وتقع هذه القيمة ضمن الحدود العالمية. ولوحظ أيضاً أن هناك مجالاً واسعاً لقيم تدفق الرصاص 210 ضمن رقعة واحدة كمنطقة دمشق وحلب وربما يعود هذا التغير، على الرغم من تقارب قيم الراديوم 226 في هذه المواقع بشكل عام، إلى طبيعة المواقع الجغرافية واتجاه الرياح وشدتها في تلك المواقع. تقع المواقع ذات القيم المرتفعة في الوديان وحول البحيرات والتي تعد محصورة ببعض التلال (بحيرة الجبول، وادي اليرموك) أما القيم المنخفضة فلوحظت في المرتفعات والسهول كما هو الحال في موقع الزبداني. أما أخفض القيم المسجلة فكانت في منطقة دير الزور حيث بلغ تدفق الرصاص 210 قرابة 15 بكريل. م$^{-2}$. سنة$^{-1}$ أي أقل بحوالي 27 مرة من أكبر قيمة مسجلة في هذه الدراسة، وتتميز عينات هذا الموقع بمحتوى منخفض نسبياً من الراديوم 226 (13.5 بكريل/ كغ) إضافة إلى أن المنطقة مكشوفة وسهلية وكثيرة التيارات الهوائية. أما أعلى القيم فكانت في موقع كفربهم في حماة وهي منطقة قريبة من معمل الإسمنت ومحاطة بالمكاسر وبعض التلال المنخفضة. وليس هذا هو السبب الحقيقي لارتفاع قيمة التدفق هنا وإنما يعود سبب هذا الارتفاع إلى وجود فالق الغاب الذي يُعدّ مصدراً هاماً لغاز الرادون في ذلك الموقع. ولوحظت أيضاً قيمة مرتفعة نسبياً في الموقع القريب من مناجم الفسفات السورية التي تعدّ مصدراً هاماً لغاز الرادون. وبشكل عام، فإنه من الصعب الحصول على قيم قريبة من الواقع لتدفق الرصاص 210 في رقعة ما، ما لم تؤخذ كافة العوامل المؤثرة في هذا التدفق في الاعتبار. ويقترح لتقليل الفروق في قيم تدفق الرصاص 210 زيادة عدد المقاطع الطولية. بالإضافة إلى ذلك، لم يلاحظ وجود علاقة خطية تربط بين قيم تدفق الرصاص 210 والهطل المطري السنوي لأي موقع من المواقع، حيث كانت أعلى القيم في إحدى المناطق لا يتجاوز فيها الهطل المطري السنوي عن 338 ملم ورافق أعلى القيم للهطل المطري قيمة منخفضة نسبياً من تدفق الرصاص 210 (طرطوس). إضافة إلى ذلك، أجريت معالجة إحصائية لقيم تدفق الرصاص 210 والكثافة الظاهرية للتربة، فلم يُلاحظ وجود أي ارتباط. على أية حال، تقع القيمة الوسطية والناتجة عن هذه الدراسة ضمن القيم المسجلة عالمياً والتي اعتمد الدارسون في قياساتهم طريقة مخزون الرصاص 210 في التربة. ويمكن أن تكون القيمة الوسطية المسجلة في هذه الدراسة ممثلة لمنطقة الشرق الأوسط.■

دراسة مواصفات حمض الآزوت المنتج في الشركة العامة للأسمدة واستخدامه★

عبد الرحمن وحود – وليد رفول – د. سعد الدين خرفان
قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

يعد حمض الآزوت من الحموض الواسعة الاستخدام في الصناعة. وقد بدأ القطر العربي السوري بتصنيع حمض الآزوت في الشركة العامة للأسمدة الآزوتية بحمص من أجل إنتاج الأسمدة الآزوتية المركّبة. تدرس هذه الورقة مواصفات حمض الآزوت المنتج في الشركة العامة للأسمدة بحمص وتقارنه مع الأنواع المختلفة من حمض الآزوت المستورد لبيان إمكانية استخدام حمض الآزوت المنتج محلياً مما

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية – أنجزت في قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يحقق اقتصادية أكبر ويوفر كثيراً من القطع الأجنبي ويوظف البحث العلمي مباشرة في خدمة التنمية الاقتصادية والاعتماد على الذات.

الكلمات المفتاحية: مواصفات، حمض الآزوت.

النتائج والمناقشة

يبلغ تركيز حمض الآزوت المنتج في الشركة العامة للأسمدة من 48% إلى 50% ويمكن للمعمل أن ينتج حمض آزوت يصل تركيزه حتى 52% وذلك بتغيير شروط التشغيل [1]. هذا التركيز منخفض بالمقارنة مع الحمض المتوافر في السوق المحلية والذي يبلغ من 64% إلى 68%. وتؤثر مواصفات المياه المستخدمة في الامتصاص ومواصفات غاز النشادر المستخدم والطريقة المتبعة في التصنيع ووسائط التخزين على مواصفات حمض الآزوت المنتج. ويبين الجدول 1 مواصفات المياه المستخدمة في الامتصاص.

الجدول 1- مواصفات المياه المستخدمة في الامتصاص [1].

نوع التحليل	النتيجة مغ/ل
الأملاح المنحلة	108
القلوية الكلية	0.5
الكلور	0.5
القساوة الكلية	أقل من 1

أما بالنسبة لغاز النشادر فهو يستحصل بنقاوة عالية ضمن الشركة حيث من الضروري خلوه من الزيوت وأحادي وثنائي أكسيد الكربون والأكسجين والكبريت والزرنيخ والفسفور والميتان والأرغون كي لا تتسبب في تسمم الوسيط البلاتيني [2، 3] وتجنباً لإجراء عمليات التنقية التي تزيد من أسعار النشادر المستحصل. ويبين الجدول 2 مواصفات غاز النشادر المستخدم في صناعة حمض الآزوت في الشركة العامة للأسمدة بحمص.

الجدول 2- مواصفات غاز النشادر المستخدم في صناعة حمض الآزوت [1].

نوع التحليل	النتيجة
الزيوت	4 مغ/ل
الرطوبة	%0.001
تركيز النشادر	%99.99

إن مقارنة مواصفات حمض الآزوت المنتج في الشركة العامة للأسمدة مع مواصفات الآزوت المخبري المتوافر في السوق المحلية من المصادر المختلفة وبدرجات نقاوة مختلفة والمبينة في الجدول 3 تبين أن مواصفات هذا الحمض قريبة من نقاوة الأصناف المخبرية سوى أن هنالك

الجدول 3- مقارنة بين مواصفات حمض الآزوت المنتج في الشركة العامة للأسمدة ومواصفات حمض الآزوت المخبري.

الشوائب	الحد الأقصى لنسب الشوائب في أصناف حمض الآزوت المختلفة مغ / كغ					
	حمض آزوت تجاري GFC	Merck Extra Pure	Riedel Extra Pure	BDH Extra Pure	BDH Analar	Merck GR
المواد غير الطيارة	50	100	5	50	5	5
الكلوريد	1	3	1	5	0.5	0.5
أكاسيد الآزوت	1000	30	-	-	-	5
رصاص	0.004	5	5	1	0.05	0.01
زنك	0.1	-	-	-	0.1	0.05
نحاس	0.003	-	-	-	0.02	0.01
كادميوم	0.0005	-	-	-	0.02	0.01
كالسيوم	5	10	5	-	0.1	0.5
حديد	0.08	5	1	2	0.2	0.2
بوتاسيوم	0.8	-	-	-	0.1	0.1
مغنيزيوم	1.5	-	-	-	0.1	0.1
فضة	0.04	-	-	-		0.01
باريوم	0.4	-	-	-	0.05	0.01
نيكل	0.2	-	-	-	0.02	0.05
مختبر	0.04	-	-	-	0.01	0.01

ارتفاعاً طفيفاً من نسبة الكالسيوم وكذلك البوتاسيوم والمغنيزيوم، ولكن تبقى هذه النسبة ضمن الحدود المقبولة وكذلك هناك ارتفاع في نسبة أكاسيد الآزوت. أما نسبة الشوائب الموجودة فيه من المعادن الثقيلة مثل الرصاص والزنك والنحاس والكادميوم فهي من مستوى نسبة هذه الشوائب في الحمض المخبري ذي النقاوة GR أما الشوائب الأخرى فهي من مستوى نسبة هذه الشوائب في الحمض المخبري مرتفع النقاوة Ext. Pure.

وجد أن مواصفات حمض الآزوت في الشركة العامة للأسمدة جيدة وهي تحقق المواصفات القياسية السورية [4] ويمكن أن يحل محل حمض الآزوت المستورد في حالات كثيرة، فهو يصلح لأغلب الأغراض الصناعية المحلية ويمكن الاعتماد عليه في هيئة الطاقة الذرّية في عمليات الغسيل والتنقية الكيميائية مما يحقق اقتصادية أكبر ويوفر كثيراً من القطع الأجنبي لأن سعره البالغ 5 ل. س/ كغ زهيد مقارنة بأسعار حمض الآزوت المخبري المستورد والبالغ 600 - 650 ل. س/ كغ. ويمكن رفع تركيز هذا الحمض عند الضرورة حتى 65% بالطرائق العادية في أوعية فولاذية الصنع.

المراجع REFERENCES

[1] محطات ووثائق معمل حمض الآزوت، الشركة العامة للأسمدة/ حمص.

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

[2] T. H. Chilton, Manufacture of Nitric Acid by The Oxidation of Ammonia, (1960) New York.

[3] وتي، عبد الله (الصناعات الكيميائية اللاعضوية)، جامعة حلب (1985).

[4] المواصفة القياسية السورية رقم (351)، هيئة المواصفات والمقاييس السورية/ دمشق، (1984).

[5] M. Benedict, T. H. Ping, Nuclear Chemical Engineering, (1957).■

دراسة إمكانية الكشف عن سبق تعرض الخضار للأشعة باستخدام زراعة الأنسجة★

د.بسام الصفدي – د. نجم الدين الشرابي – عماد نابلسي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

يعتبر تشعيع الأغذية من التقانات الهامة في تحسين سلامة الغذاء عن طريق خفض العوامل المرضة المكروبية، وخاصة تلك المسببة لفساد الغذاء. وهذا يمكن أن يؤدي إلى تحسين نوعية الغذاء وإطالة الفترة التخزينية. كما يتم تشعيع بعض الخضار مثل البصل والثوم والبطاطا بهدف منع الإنبات وتقليل الفقد في الوزن وتقليل الإصابات الفطرية خلال فترة التخزين. تمت تجربة عدة طرائق بهدف التمييز بين الأغذية المشعة وغير المشعة. ومن تلك الطرائق التألق الكيميائي، الناقلية الكهربائية، الكروماتوغرافيا الغازية. إن معظم الطرائق المذكورة أعلاه قادرة على تمييز الأغذية المشعة فقط عند مستوى جرعات تزيد عن واحد كيلو غراي. ونظراً لكون معظم الخضار والفواكه تشعع بجرعات أقل من 150 غراي فإنه لا يمكن تطبيق هذه التقانات.

لهذا هدفت الدراسة الحالية إلى تطوير بعض الطرائق التي يمكن استخدامها لكشف تشعيع الخضار مثل البصل والثوم والبطاطا والجزر بشكل سريع مع المقدرة على تمييز مستوى الجرعات المستعملة.

الكلمات المفتاحية: التشعيع بأشعة غاما، زراعة نسيجية، كالوس، كشف، ثوم، بصل، بطاطا، جزر.

المواد والطرائق

دُرس في هذه التجربة أربعة أنواع من المحاصيل الخضرية هي البصل والثوم والبطاطا والجزر. عُرِّضت الأجزاء النباتية من فصوص وأبصال ودرنات وجذور لأشعة غاما بجرعات 0، 25، 100، 150، 250، 500، 750، 1000 غراي. استُخدِمت بيئة (Murashige and Skoog 1962) MS والمعدلة بالفيتامينات والهرمونات. زُرعت الأجزاء النباتية المختلفة على البيئات الخاصة بإنتاج الكالوس في أطباق بتري قياس 8 سم ثم وضعت في الحاضنة على حرارة 22 درجة مئوية في الظلام. كما قُطعت من الساق القرصية ثم زُرعت في بيئة مغذية ضمن أنابيب باستخدام بيئة إكثار خضري. زُرعت أيضاً فصوص الثوم وأبصال البصل ودرنات البطاطا في مادة التورب ضمن أصص قطرها 12 سم وتُركت لتنبت تحت ظروف المخبر.

النتائج

الزراعة في الزجاج in vitro

1 – تأثير أشعة غاما في إنتاج الكالوس

بلغت النسبة المئوية للقطع المشكلة للكالوس في الشاهد 100% في كل من الجزر والثوم و 81% في البطاطا و 94% في البصل. أدى التشعيع إلى خفض مقدرة الخضار المشعة بشكل معنوي ($p<0.01$) على تشكيل الكالوس وخاصة عند الجرعات العالية حيث لم يتشكل الكالوس بدءاً من الجرعة 100 غراي في الجزر والبطاطا. أما الثوم والبصل فكانا أكثر مقاومة للتشعيع حيث تشكل الكالوس على القطع المشعة بجرعات وصلت إلى 750 غراي رغم أن النسبة المئوية انخفضت إلى أقل من 20% بالمقارنة مع الشاهد ولم يتشكل أي كالوس عند الجرعة 1000 غراي.

أما بالنسبة إلى سماكة الكالوس المتشكل على القطع فكانت القراءات (بشكل عام) مشابهة لقراءات النسبة المئوية للقطع المشكلة كالوس. فقد تفوق الشاهد معنوياً ($p<0.01$) بعد 3 أسابيع من الزراعة عند كافة الجرعات المستخدمة. تناقصت سماكة الكالوس مع زيادة جرعة التشعيع حيث بلغت عند الجرعة 50 غراي أقل من 60% من الشاهد في الجزر والبطاطا وأقل من 25% من الشاهد عند الجرعة 750 غراي في كل من الثوم والبصل.

2 – تأثير أشعة غاما في النمو الخضري و التجذير (البصل والثوم)

أظهرت القراءات التي أخذت بعد أسبوع من الزراعة وجود تأثير معنوي ($p<0.01$) للتشعيع في مقدرة خلايا الثوم والبصل على إعطاء نموات خضرية. فقد انخفضت النسبة للقطع المنتشة (التي أعطت نموات

★ تقرير مختصر عن دراسة استطلاعية مخبرية – أنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

خضرية) من 100% في شاهد الثوم إلى أقل من 30% عند الجرعة 1000 غراي ومن 93.7% في شاهد البصل إلى 12% عند الجرعة نفسها. إضافة إلى انخفاض مقدرة الخلايا على إعطاء نموات خضرية فقد انخفض أيضاً طول السويقات مع زيادة جرعة التشعيع. حيث انخفض متوسط سويقات الثوم والبصل إلى حوالي 20% من الشاهد عند الجرعة 1000 غراي.

تأثّر نمو الجذور كثيراً بالتشعيع، فقد بيّنت القراءات، التي أخذت على طول الجذور النامية من القطع المزروعة وذلك بعد 7 أيام من الزراعة، وجود تأثير معنوي ($p<0.01$) للتشعيع في تشكيل الجذور وخاصة في الثوم حيث ظهرت الجذور في الشاهد فقط. أما في البصل فقد ظهرت الجذور في الجرعات الأعلى إلا أن طولها انخفض بشكل كبير ووصل إلى أقل من 20% بدءاً من الجرعة 25 غراي وبلغ 5% فقط من طول الشاهد عند الجرعة 500 غراي ولم تظهر أية جذور في الجرعتين 750 و1000 غراي.

الزراعة خارج الزجاج in vivo (تأثير أشعة غاما في نمو النباتات في الأصص)

أظهرت هذه التجربة وجود تأثير كبير للتشعيع في البطاطا حيث لوحظ نمو نباتات في معاملات الشاهد فقط. أما في محصولي البصل والثوم لوحظ إنبات كامل في كافة المعاملات ولم يكن بالإمكان تمييز المعاملات المختلفة بعد الإنبات بثلاثة أيام. بدأت الفروقات في طول النباتات بالظهور اعتباراً من اليوم الخامس في البصل واليوم السابع في الثوم. أصبحت الفروقات معنوية بين شاهد البصل والمعاملات الإشعاعية من 250 غراي وأعلى اعتباراً من اليوم الثامن. أما في الثوم فقد أصبحت الفروقات معنوية اعتباراً من اليوم الثاني عشر. تناقص طول نباتات الثوم في المعاملة 1000 غراي إلى 40% من الشاهد عند الجرعة نفسها، أما في المعاملات الأقل فكانت الفروقات أقل وضوحاً.

المناقشة

أظهرت طرائق الزراعة النسيجية المختبرة في هذه التجربة مقدرة عالية في الكشف عن سبق تعرض الخضار للأشعة وحتى عند جرعات منخفضة نسبياً (25 غراي). وقد كانت طريقة إحداث الكالوس فعّالة في الكشف عند جرعات 25 غراي في البطاطا و50 غراي في الجزر حيث انخفضت النسبة المئوية للقطع المشكلة كالوس وسماكة الكالوس بشكل معنوي بالمقارنة مع الشاهد بينما لم يتشكل أي كالوس عند جرعات أعلى. أما في محصولي الثوم والبصل فقد استمر تشكل الكالوس عند جرعات أعلى ولكن بنسبة أقل كثيراً من الشاهد.

قدمت طريقة الزراعة النسيجية الثانية المستخدمة في التجربة (إحداث نمو خضري وجذري) مؤشرات واضحة وفعّالة عن سبق تعرض الخضار للأشعة خلال فترة زمنية قصيرة (3 - 7 أيام). وعلى العكس من طريقتي الزراعة النسيجية المستخدمتين في التجربة فلم تكن طريقة الزراعة في الأصص فعّالة في الكشف عن الخضار المشعّعة. فقد نمت نباتات البطاطا في معاملة الشاهد فقط بينما ظهرت نباتات الثوم والبصل في كافة المعاملات الإشعاعية ولم يكن بالإمكان التمييز بين المعاملات الإشعاعية والشاهد خلال الأيام الثلاثة الأولى بعد الإنبات ولم تكن الفروقات في طول النباتات فيما بعد معنوية بين الشاهد والمعاملات الإشعاعية أقل من 250 غراي.■

الكشف عن الاختلافات الوراثية داخل أهم الأصناف القديمة والحديثة من القمح السداسي (L) aestivum triticum والرباعي triticum durum (Desf) من خلال دراسات الرحلان الكهربائي★

د. نزار مير علي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

دُرست الاختلافات الوراثية داخل أكثر الأصناف القديمة والحديثة من القمح انتشاراً. شملت الدراسة أربعة أصناف حديثة قاسية (شام 1، شام 5 و وبحوث 5) وصنفين قديمين قاسيين (جزيرة 17 وحوراني). إضافة إلى ثلاثة أصناف حديثة (بحوث 4، شام 4 وشام 6) وصنفين قديمين طريين (مكسيباك وفلورنس أورور) من الأقماح الطرية. استُخدم من كل صنف 52 بذرة في طريقتي رحلان البروتين A- PAGE و SDS-PAGE لكشف الاختلاف داخل نوعي البروتينات الغلياديات والغلوتينينات عالية الوزن الجزيئي على التوالي.

أظهرت النتائج أربع فئات ضمن الأصناف المدروسة: 1 - نقاوة وراثية في نوعي البروتينات (بحوث 5، جزيرة 17، بحوث 4). 2 - نقاوة وراثية في الغلياديين (شام 4، فلورنس أورور). 3 - تغاير وراثي في الغلياديين ونقاوة وراثية في الغلوتينين (شام 1، شام 5 وحوراني). 4 - تغاير وراثي في نوعي البروتين (شام 3، شام 6 ومكسيباك). بشكل عام كان التغاير الوراثي أعلى في الغلياديين منه في الغلوتينين داخل الأقماح القاسية بينما كان العكس في الأقماح الطرية وعزي ذلك جزئياً لوجود الأليل null في موقع (GLU-A1) في

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

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

كل الأصناف المدروسة من الأقماح القاسية مما نجم عن إمكانية الكشف عن موقع GLU-B1 فقط في الأقماح القاسية. نوقشت الفروق بين الأصناف القديمة والحديثة واستُنتج أنه يجب استخدام كلتا طريقتي الرحلان A-PAGE، SDS-PAGE للحصول على صورة شاملة عن الاختلافات الوراثية داخل الأصناف.

الكلمات المفتاحية:قمح، تغاير وراثي، نقاوة وراثية، A-PAGE، SDS-PAGE.

مقدمة

يهدف هذا البحث إلى الكشف عن الاختلافات داخل أهم الأصناف القديمة والحديثة، بنوعيها الطري والقاسي، المزروعة في القطر العربي السوري وإلى تحديد أساس هذه الاختلافات أهو ناجم عن تباينات وراثية أم خلط ميكانيكي. استخدمت لذلك طريقتان من طرائق الرحلان الكهربائي على بروتينات التخزين التي تشكل معظم بروتينات الحبة وهما طريقة A-PAGE التي تفصل الغلياذين على درجة حموضة pH=3.1 وطريقة SDS-PAGE التي تفصل الغلوتينين على درجة حموضة pH=8.8.

المواد والطرائق

المادة النباتية

استُخدمت خمسة أصناف قمح قديمة (قاسية: حوراني، سيناتور كابيللي، جزيرة 17. طرية: فلورنس أورور، مكسيباك). وسبعة أصناف حديثة (قاسية: شام 1، شام 3، شام 5، بحوث 5. طرية: بحوث 4، شام 4، شام 6).

الرحلان الكهربائي بطريقة A-PAGE

حسب الإجراءات المتبعة في Z2-001. درست هلامات جميع الأصناف القاسية والطرية منها والحديثة بمعدل أربعة هلامات تحوي كل منها 13 بذرة توفر للتحليل 4×13=52 بذرة من كل صنف. تم تسجيل البيانات المتعلقة بكل حزمة ولكل مجموعات الغلياذين ω, γ, β, α وأعطيت قيمة 1 عند وجود الحزمة وقيمة 0 عند غيابها. سجل عدد الاختلافات في نهاية الجدول لكل حزمة ثم حسبت النسبة المئوية لها وحسبت النسبة المئوية للاختلافات في كل مجموعة في الحقل الأخير.

الرحلان الكهربائي بطريقة SDS-PAGE

حسب الإجراءات المتبعة في Z2-003 باستثناء أنه استُخلصت البروتينات الكلية من نفس الحبوب المفردة المستخدمة في طريقة A-PAGE وذلك لإظهار التغايرات في البروتينات المختلفة لنفس الحبة. حددت الصيغ الأليلية لكل موقع وراثي مسؤول عن الغلوتينين عالي الوزن الجزيئي HMW-GS استناداً لتوصيف Payne and Lawrence (1983) حيث أورد الاختلافات الأليلية لكل من المواقع Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1.

النتائج والمناقشة

كانت التغايرات في مجموعة الأصناف القاسية بالمتوسط أعلى ضمن مجموعة الغلياذين منها في مجموعة الغلوتينين. من ناحية أخرى تبين أن الأصناف الحديثة القاسية كانت ذات معامل Het I أعلى من الأصناف القديمة الأمر الذي يبدو غير متوقع، على أنه وجد تفاوت كبير ضمن مجموعة الأصناف الحديثة. ففي حين أن الصنف بحوث 5 متماثل وراثياً بالنسبة لجميع المواقع المدروسة (Het I=0)، كان الصنف شام 3 الأكثر تغايراً وراثياً (Het I=0.66) وكان الصنفان شام 1 وشام 5 متغايرين بالنسبة لمجموعة الغلياذين فقط. أما بالنسبة لمجوعة الأصناف القديمة فكان الصنف جزيرة 17 متماثلاً وراثياً لجميع المواقع في حين لوحظ تغاير واحد في مجموعة α غلياذين في الصنف حوراني (Het I=0.17).

على العكس من ذلك كانت التغايرات في الأصناف الطرية أعلى في مجموعة الغلوتينين منها في مجموعة الغلياذين. كما لوحظ أيضاً أن الأصناف الحديثة كانت بالمتوسط أقل في دليل Het I من الأصناف القديمة ولكن مع بقاء الاختلافات الكبيرة بين قيم Het I ضمن مجموعتي الأصناف. حيث كان الصنف بحوث 4 متماثلاً وراثياً في جميع المواقع (Het I=0) بينما حقق الصنف شام 6 أعلى نسبة من التغاير الوراثي (Het I=0.86)، في حين وجد اختلاف في موقع واحد في الصنف شام 4. في مجموعة الأصناف القديمة اشترك الصنف مكسيباك بأعلى نسبة تغاير مع الصنف الحديث شام (Het I=0.86) 6 والصنف فلورنس أورور مع الصنف الحديث شام 4 بوجود اختلاف واحد في نفس الموقع (Het I=0.14).

أظهرت هذه الدراسة مقدرة طريقتي الرحلان الكهربائي A-PAGE و SDS-PAGE المطبقتين على بروتينات التخزين في حبوب القمح على كشف الاختلافات الوراثية ضمن الأصناف الحديثة والقديمة لكل من الأقماح القاسية Triticum durum (Desf.) والأقماح الطرية Triticum aestivum (L.). من ناحية أخرى فإن تطبيق هاتين الطريقتين ذو أفضلية أكبر مقارنة مع الواسمات الجزيئية للدنا DNA فهي أرخص ثمناً وأسهل لتقييم الاختلافات ضمن أصناف القمح كونها ذات تلقيح ذاتي وذات جينوم وراثي Genome ضخم يمتاز بمستوى قليل من الاختلافات بين الأصناف على مستوى الدنا سواءً باستخدام طريقة (Sharp et al 1989) RFLPs أو بواسمات PCR (Talbert et al 1994). من ناحية أخرى، أظهرت التوابع الصغيرة microsatellites أنها موزعة بشكل عشوائي على طول الجينوم ولكنها أظهرت تعددية شكلية أقل من بروتينات التخزين بالقمح (Roder et al 1995) وعلى أن واسمات الدنا تكون فعالة في إظهار التعددية الشكلية على المستوى البينوعي interspecific وتستطيع نظرياً تغطية كامل جينوم القمح وبالتالي يمكن أن تستخدم بشكل أكثر نجاحاً في الكشف عن مورثات ذات أهمية خاصة تم نقلها من أقارب القمح (Jia et al 1996; Somers et al 1996).

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

الاستنتاجات

وجدت أصناف حديثة ذات معامل تغاير وراثي أعلى من الأصناف القديمة وربما يعود ذلك إلى أسباب عديدة نذكر منها:

آ - سهولة تمييز بعض الأصناف القديمة شكلياً في الحقل مما يقلل إلى حد بعيد من فرص الخلط، مثال على ذلك الصنف جزيرة 17 الذي يمتاز بلون سنبلة أسود والصنف فلورنس أورور الذي يمتاز بعدم وجود سفا.

ب - إن العينة التي تم تحليلها من الصنف حوراني (المعروف أنه يتكون أساساً من عدد كبير من الطرز الوراثية) لا تمثل الصنف الأساسي نتيجة عمليات الانتخاب التي تمت عليها في مراكز البحوث الزراعية.

النسب العالية الملاحظة في دليل Het I لبعض الأصناف الحديثة مثل شام 6 وإلى حد أقل شام 3 و شام 5 قد تشير إلى أن:

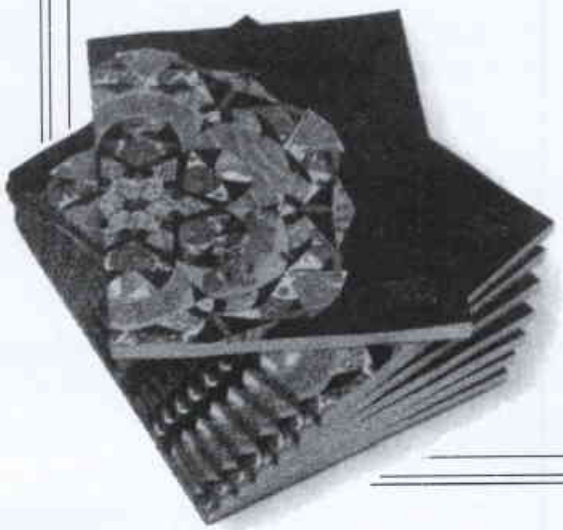
آ - إما لم تتم تنقيتها أساساً بشكل جيد.

ب - أو حصل عليها خلط ميكانيكي أثناء تداول البذار عند الزراعة أو الحصاد.■

☆ ★ ☆

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

كتب حديثة مختارة



1- أفكار أساسية ومفاهيم في الفيزياء النووية: عرض تمهيدي

Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics: An Introductory Approach ★

تأليف: ك. هيد
عرض وتحليل: ب. ر. باريت**

تُعدُّ الطبعة الثانية لكتاب كريس هيد K. Heyde في الفيزياء النووية الذي صدر عام 1994 خلفاً قيماً، وإضافة مرحباً بها، إلى حقل يتميز بافتقاره إلى كتب تدريسية من سوية الدرجتين الجامعيتين الأولى والثانية. وكما حصل في الطبعة الأصلية، استعرضت الطبعة الجديدة -وبشكل جوهري- أساسيات الحقل كافة بطريقة شاملة، سهلة القراءة، مع التأكيد على البنية النووية (التي تشمل 60% تقريباً من مجمل الكتاب)، التي هي موطن قوة المؤلف. لكن الصفحات الاثنتين والعشرين التي كرّستها هذه النسخة المعدلة لمعالجة التفاعلات النووية لا تشكل مسحاً كاملاً لهذا الموضوع. لذلك، يبقى الكتاب محدوداً بالمقارنة مع كتب تدريسية أخرى شاملة في حقل الفيزياء النووية، مثل الكتابين اللذين يحملان العنوان نفسه "مقدمة في الفيزياء النووية Introductory Nuclear Physics"؛ لكن الأول من تأليف كينيث كرين K. S. Krane، صادر عن دار نشر Wiley عام 1988، في حين أن الثاني من تأليف صمويل ونغ S. S. M. Wong، صادر عن دار نشر Prentice Hall -الطبعة الثانية- عام 1999.

وتعالج معظم المواد المعدَّلة والجديدة التي تحويها الطبعة الثانية مكتشفات حديثة في نظرية البنية النووية، وهذا يشمل -على سبيل المثال- فصلاً جديداً في حقل النوى البعيدة عن الاستقرار، وإضافات للفصول الحالية تتعلق بالنموذج الطبقي لطريقة مونت كارلو the shell model Monte Carlo method، وبتوسيعات جديدة للنموذج البوزوني المتآثر the interacting boson model، وبالعُصابات الفائقة التشوه والمطابقة superdeformed and identical bands. وكانت أهم الإضافات إدخال ثلاث مجموعات من مسائل الواجبات البيتية التي تتبع الأقسام الرئيسة الثلاثة التي عالجت على التوالي كلاً من: المكونات والخصائص النووية، والتآثرات النووية، والقوى النووية. لكن السوية العالية نوعاً ما لهذه المسائل تجعلها صعبة بالنسبة لمتوسط طلاب المرحلة الجامعية الأولى؛ علماً بأن كتاب كرين الآنف الذكر -على سبيل المثال- يتضمن مسائل من سويات صعوبة أكثر تنوعاً.

وأكثر الملامح المفضلة لديّ في طبعتي الكتاب هي ما يُطلق عليه المؤلف اسم: "المؤطرات boxes"، وهي مستطيلات جانبية قصيرة قد تتسع عند معالجة مواضيع خاصة في الكتاب، أو عندما تكون الرغبة ربط المادة في فصل ما مع مكتشفات أو تطورات حديثة تعود إليها. إن المعلومات المتنوعة الواردة في الوقت والمكان المناسبين، التي يجري التركيز عليها داخل المؤطرات، سوف تنقل للقارئ بعض الإثارة حول ما يحدث حالياً في حقل الفيزياء النووية.

قام هيد (مؤلف الكتاب)، وهو أحد الفيزيائيين النظريين من ذوي السمعة العالمية والبارزين في مجال بنية الذرة، بتأليف عدة كتب جامعية تستعرض جميعها مادة المقرر التدريسي المناسب بأسلوب واضح ومباشر. ولا يُعدّ الكتاب الحالي استثناءً لمؤلفاته السابقة حيث يشكل متناً مناسباً لتدريس مقرر فصلي في الفيزياء النووية من سوية متقدمة خلال المرحلتين الجامعيتين الأولى والثانية. لكن واقع الحال يتطلب دعمه بكتاب آخر أو بمادة إضافية من أجل تغطية التفاعلات النووية بشكل أكثر تفصيلاً من الناحيتين النظرية والتجريبية.

وقد أحببتُ الطبعة الأولى واستخدمتها ككتاب جامعي متمّم لمقرر الفيزياء النووية الذي أقوم بتدريسه لطلاب المرحلة الجامعية الثانية؛ وإنني، في الوقت الراهن، أستخدم الطبعة الثانية بطريقة مماثلة.■

2- فيزياء المواد الكثيفة

أشياء أكثر في السماء والأرض

احتفال الفيزياء بالألفية الجديدة ★★★

Condensed Physics Matters

More things in Heaven and Earth:

A Celebration of Physics at the Millennium

تأليف: ب. بدرسون
عرض وتحليل: ف. أندرسون****

إن فكرة التعبير عن تصميم الأشياء من قبل لجنة ما أمر مألوف وواقع. فقد قررت جماعة معينة -ربما مجلس الجمعية الأمريكية للفيزياء APS- أنه يجب الاحتفال بالألفية الجديدة وبالذكرى المئوية للجمعية بإصدار

★ By Kris Heyde, IOP, Philadelphia, 1999, 524pp.
** ب. ر. باريت: جامعة أريزونا - توسان - أريزونا - الولايات المتحدة الأمريكية.
- العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, December 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.
★★★ By B. Bederson, American Institute of Physics 1999.
**** ف. أندرسون - جامعة برينكتون - نيوجرسي - الولايات المتحدة الأمريكية.
- العرض والتحليل: عن مجلة *Nature*, Vol 402, 4 November, 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

عددٍ من مجلة "مراجعات في الفيزياء الحديثة Reviews of Modern Physics"، في حين رأى البعض الآخر أن من المستحسن وضع ما أنتجته الجمعية بين دفتي كتاب قاسيتين. لقد عيّن مارتي بلوم M. Blume رئيس تحرير APS و بن بدرسون B. Bederson محرّر المراجعات، لجنة مؤلفة من ستة فيزيائيين ممتازين جداً، يمثل كل واحدٍ منهم أحد الحقول الكبرى في الفيزياء، حيث عملت هذه اللجنة أفضل ما تستطيع، وأنتجت في معظم الأحوال مقالات هامة تحت إشرافهم الخاص، إضافة إلى اختيارهم مجموعة ممتازة من المتعاونين.

ومع ذلك، لماذا أترك الموضوع دون أن أكون راضياً عنه؟ يعود السبب في ذلك إلى شيء وحيد وهو أنه في السنوات العشر الأخيرة كانت الأكاديمية الوطنية للعلوم تستعمل الأسلوب التنظيمي نفسه، ويُنشر كتقرير عن وضع الفيزياء في الولايات المتحدة (تقرير برنكمان Brinkman، تقرير باك Pake ... الخ). ولا يعد أي من هذه التقارير أفضل مبيعاً، رغم أنها مفيدة بشكل لافت للنظر ومكتوبة إلى حد ما بشكل جيد. إذن ما هو الخطأ في هذه التقارير؟ إذا تركنا جانباً البحث في الجزئيات فإن التنافسية التي لا مفرّ منها، والتي تنتج في كل فصل، كُتبت وكأننا وصلنا تقريباً إلى ذروة الفهم. ولا نستطيع أن نجد أية إشارة أو تلميح بأنه من الممكن أن يكون خلف التحليل المقدَّم عقود من الأزمات وعدم الفهم وحتى الجدال المر، التي من غير المحتمل أن تكون حُلّت تماماً في هذه اللحظة. كما يوجد هنالك قليل من الفهم للوحدة الجوهرية في الفيزياء، ليس فقط فيما يتعلق بالموضوع ولكن لأشياء أكثر أهمية ولكنها أقل مادية وواقعية كالبنية الرياضياتية ونظرية المعرفة.

يوجد في الكتاب الحالي تحسين واضح حيث هنالك عدة مقالات تتمتع بأسلوب تاريخي أو بسيرة ذاتية بشكل مباشر وصريح، وهي بالنسبة للكاتب أفضل جزء في الكتاب إلى حد بعيد. إن كثيراً من المقالات، لسبب ما وليس لجميع الأسباب، جُمعت في فصل ابتدائي سُمّي "المنظورات التاريخية".

يتضمن هذا الفصل عدداً من التوائم: هانز بيثي H. Bethe في التاريخ المبكر للنظرية الكمومية، برام بايس B. Pais في تاريخ نظرية فيزياء الجسيم، فال فيتش V. Fitch في تعداده الجديد المدهش لفترة المستحلب في تجربة الجسيم، والقصة الشخصية لـ بوب باوند B. Pound عن الأيام المبكرة الأكثر أهمية للتجاوب المغنطيسي النووي NMR. وهنالك في الفصول الاختصاصية مقال جدير بالذكر عن الليزر لـ ويلّيس لامب W. Lamp وتشارلز تونيس C. Tounes وزملائهما تصب إلى حد كبير في المجرى القصصي نفسه.

تتابع في الكتاب بعد ذلك فصول متفرقة عن مختلف الحقول الفيزيائية، يتضمن تقرير باك التقليدي الكثير منها. إنها تتبع حتى الترتيب الذي لا مفرّ منه، مقدمة بذلك مكاناً رحباً لفيزياء الجزيء ومخفضة سلم الطاقة ومحافظة على الصلة الوثيقة في الموضوع) حتى نصل في نهاية الكتاب إلى الفيزياء الحيوية.

وكما يتوقع أن يصل إليه المرء، فإن ما ورد عن فيزياء الجسيم كان في غاية الوضوح والذكاء، وبخاصة ما قام به فرانك ويلتشك F. Wilczek عن نظرية الحقل التي وردت بشكل شفاف وواضح.

يعرض علماء الفيزياء الفلكية مواضيعهم وفقاً للشكل، مبتدئين بمقال تقني كثيف لِ تايسون Tyson وتيرنر Turner الذي يبدو لي أنه معرض لمراجعة مميزات علم الكون مدعوماً بالتجارب (لقد علقت على باب مكتبي شرحاً كرتونياً يقول: لقد أثبت الفيزيائيون أن كل ما نعرفه عن الكون معرّض للأذى وهو خطأ في خطأ). أما المواضيع عن الثقوب السوداء فإن خلفية الأمواج المكروية والأشعة الكونية تتضمن مواد حيوية كثيرة؛ حيث أن محصلتها النهائية فشلت بالكاد لأن تكون مثيرة. على أية حال، ينتهي الفصل بمقالين وليس بمقال واحد مكرسين لبحثين يبدو أنه لا أمل فيهما: للمادة العاتمة والإشعاع التثاقلي. ففي هذا الكتاب الذي أهملت فيه الكثير من الفيزياء المثيرة، كان من الممكن حذف هذين الموضوعين، أو الاستعاضة عنهما بنقاش جدي عن السياسة أو الاقتصاد أو علم الاجتماع لهذا الكم الكبير من النبائط التجريبية.

لا أستطيع متابعة جميع الفصول بمثل هذا التفصيل. وفي الوقت الذي تعيد فيه الفيزياء النووية اكتشاف نفسها كمزيج من التحريك اللوني الكمومي التطبيقي والفيزياء الفلكية، فيمكنني أن أتخطى ذلك. ويبدو أن الفيزياء الذرية متمركزة حول الأخبار الحالية المستقاة من مقدمة الأبحاث، إذا كانت مفيدة.

وإذا أتينا إلى المادة الكثيفة والفيزياء الإحصائية التي أعرف قليلاً عنها، نجدها غير واضحة إطلاقاً حيثما يقع الخط الفاصل بينهما: هل الحبيبات أقل تكثفاً من الموائع الفائقة؟ من الممكن أن يكون الأمر أكثر حكمة عند استعمال الأسلوب المتبع في التيار في التعابير الدالة على الحقل، فنقول مادة كثيفة "لينة" ضد "قاسية".

وفي النهاية، تقع مسؤولية التغطية غير الملائمة للمواد الكثيفة على المحرّر: إنه لم يفسح مجالاً كافياً للنطاق الواسع لهذا الحقل، الذي يشكل نصف الفيزياء. فإجحافه في ذلك واضح. لقد خصص لفيزياء الجسيمات والفيزياء الكونية 100 صفحة كاملة في حين خصص للمادة الكثيفة بالكاد 50 صفحة. أتاح كل موضوع رئيس من المواضيع الأخرى على الأقل وجود مقال رئيس يتضمن نسبياً تغطية عامة أو عمقاً عاماً. وإذا جاز التعبير، يحمل مقال ولتر كوهن W. Kohn عبئاً مضاعفاً لا يطاق- وذلك لتلخيص التاريخ ووضع الخلفية العقلانية للمقالات المتخصصة اللاحقة.

إن هذا العمل الأخير لم يتم إنجازه، فعلى سبيل المثال لم تُذكر مثل هذه المبادىء العريضة كالتناظر المنكسر وظاهرة موت Mott. لقد تُركت المقالات الستة المتخصصة لتدافع عن نفسها. هنالك جزء رائع عن أثر هول Hall الكمومي الحديث من قِبل ستورمر Stormer وتسوي Tsui وغوسارد Gossard، وشرح جيد من قِبل بينيغ Binnig و روهرر Rohrer عن مجهريات المسح الجديدة الخارقة. أما بقية المواضيع فهي غالباً روتينية الانتظام: لقد فشل شريفر Schrieffer وتينخهام Tinkham في ذكر النحاسيات في مقالهم عن الناقلية الفائقة، وبصورة أقل بكثير عن الإلكترونات الثقيلة والعضويات، وكذلك تجاهل ليغيت Leggett، في مقاله عن الميوعة الفائقة، ^3He الذي أسهم به كثيراً. وهذا ما أدى إلى إغفال ذكر ثلاث جوائز نوبل Nobel في الدليل.

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

استحقت فيزياء المواد ست صفحات مختصرة فقط من قبل شودهوري Chaudhuri و درسل هاوز Dressel haus. أستطيع الافتراض فقط أن بعض المؤلفين قد انسحب مشمئزاً بسبب التوجيهات المقيدة التي سمح لهم التحرك بموجبها و/أو جبن من إمكانية تصور نوع من المنافسة والارتياب اللذين هما، بعد كل ذلك، قوام حياة الفيزياء كما يحصل دائماً.

يحتفظ الفصل الرائع عن الفيزياء الإحصائية ببعض التوازن- على الأقل، ما ورد في المبادىء الكبرى عن تغيّر السلّم، الشمولية، وإعادة الاستنظام عالجها ستانلي Stanley بشكل تام. ونجد في المقالات الأقصر المتسلسلة بعض المواضيع الرئيسة عن الفيزياء الحديثة، بما فيها المقال الرائع عن تشكل النموذج من قبل جيم لانغر J. Langer وجيري غولوب J. Gollub.

ينتهي الكتاب بإيماءة إلى الفيزياء الحيوية وبفصل عن التقانة؛ أما المقطع الذي يتحدث به سيد دريل Drell عن الفيزياء والأمان فهو تثقيفي ومكتوب جيداً، ويبرز بين سلسلة من الإسهامات الجيدة ولكنها مختصرة.

يحاول هذا الكتاب المستحيل، فيبدأ بعدة غايات ولكنه لا يحقق منها إلا القليل أو لا يحقق شيئاً. أحد الأسئلة هل من المنطق مزج تقارير علمية رصينة مع حكايات ونوادر تعود إلى استطلاعات فصلية على مستوى الكتب الدراسية أو التقارير الحكومية. ويبدو في الكتاب تشويه كبير في الأشياء المؤكدة لمصلحة الحقول الصحفية الشعبية. يحوي الكتاب عدة مقالات مفيدة في المكتبة، ولا أنصح به لكثير من القراء.■

☆ ★ ☆

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

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرّية المعدّة للبيع

Publications of the AEC of SYRIA

منشورات عامة	الشكل	السعر (ل.س من داخل القطر) ($ من خارج القطر)
1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes Day Life (ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر)	كتيب مطبوع Printed Book	15 ل.س $ 3
2- ما يجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع What The General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of overexposed Individuals (ترجمة قسم الوقاية والأمان)	كتيب مطبوع Printed Book	40 ل.س $ 9
3- مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة (إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير) Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان)	كتاب مطبوع Printed Book	80 ل.س $ 7
4- تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته) Food Irradiation (A technique for Preserving and Imporoving the Safety of Food) (ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 15
5- نظرية الكم وقصتها الغريبة L'étrange Histoire des Quanta (ترجمة محمد وائل الأتاسي)	كتاب مطبوع Printed Book	250 ل.س $ 25
6- حقائق حول تشعيع الأغذية سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية Facts about Food Irradiation (ترجمة الدكتور نزار حمد)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 8
7- الإشعاع: الجرعات -الآثار -المخاطر Radiation: Doses, Effects, Risks (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان-المهندسة مها عبد الرحيم)	كتاب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 10
8- دروس من حوادث وقعت في منشآت التشعيع الصناعية Lessons Learned From Accidents In Industrial Irradiation Facilities (ترجمة الدكتور محمد قعقع)	كتيب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 6
9- الاختبارات اللاتلافية: طريقة التصوير الشعاعي الصناعي Industrial Radiography Method (تأليف الدكتور وفيق حرارة)	كتاب مطبوع Printed Book	200 ل.س $ 10
10- الطاقة الذرّية لأغراض عسكرية Atomic Energy for Military Purposes (ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
11- معجم المصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرّية (إنكليزي-عربي) Dictionary of Technical Terms in the Field of Atomic Energy (طبعة جديدة موسعة)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25

ملاحظة: يمكن طلب هذه المنشورات من مكتب الترجمة والتأليف والنشر في هيئة الطاقة الذرّية -دمشق - شارع 17 نيسان - هاتف 6111926/7.

Horani), in addition to three recent (Buhuth4, Cham4, and Cham6) and two old (Mexipak and F.Auror) bread wheat varieties. From each variety 52 seeds were used in both of A-PAGE and SDS-PAGE protein electrophoresis methods to reveal the variability within the gliadin and HMW glutenin protein classes respectively.

Results showed four categories among the studied varieties: 1 - homogeneity in both protein classes (Buhuth5, Jezira17, and Buhuth4). 2 - homogeneity in gliadin heterogeneity in glutenin (Cham4, F. Auror). 3 - heterogeneity in gliadin and homogeneity in glutenin (Cham1, Cham5, and Horani). 4 - heterogeneity in both proteins (Cham3, Cham6, and Mexipak). In general, heterogeneity was higher in gliadin than in glutenin in durum wheat, whereas the opposite was true in bread wheat and this was proposed to partly due to the presence of the null allele (Glu-A1)in all studies durum wheats resulting in the ability only (Glu-B1)in durum wheat. The differences between old and recent varieties were discussed and it was concluded that both A-PAGE and SDS-PAGE have to be utilized in order to obtain a comprehensive view of genetic Heterogeneity within varieties.

Key Words

wheat, heterogeneity, homogeneity, A-PAGE, SDS-PAGE.

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

☆ ★ ☆

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

Key Words

specifications, Nitric Acid.

* A short report on a laboratory scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

THE USE OF TISSUE CULTURE TECHNIQUES TO DETECT IRRADIATED VEGETABLES*

B. AL-SAFADI - N.E. SHARABI AND I. NABULSI

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

ABSTRACT

The ability of two tissue culture methods, callus and vegetative growth induction, to detect irradiated vegetables was evaluated. Potato tubers, carrot roots, garlic cloves, and onion bulbs were subjected to various gamma radiation doses (0, 25, 50, 100, 150,250, 500, 750, and 1000 Gy). Irradiated vegetables were cultured in vitro and in vivo (pots). Gamma irradiation significantly reduced callus-forming ability especially in carrot and potato where no callus was observed in doses higher than 50 Gy. Length of shoots and roots growing from irradiated garlic and onion explants was considerably reduced starting from the 25 Gy dose.No roots were formed on garlic explants at any irradiation dose. Garlic leaves growing from irradiated explants were spotted with purple to brown spots. The intensity of these spots increased as gamma ray dosage increased. In the pot experiment, potato plant appeared in the control only. On the contrary, a complete sprouting of garlic and onion was seen in all irradiation treatments. It was not possible to distinguish between the various irradiation treatments and the control 3 days after planting in pots. The two in vitro techniques, tested in our study, may effectively be used to detect irradiated vegetables and estimate the range of doses used. The callus formation method is more useful for potato and carrot, since regeneration of shoots in vitro from these two plants takes along time, making this method unpractical. The other technique is very useful in the case of onion and garlic since it is rapid. The two techniques can be used with most of the vegetables that can be cultured in vitro.

Key Words

Gamma irradiation، tissue culture، callus، detection، garlic، onion، potato، carrot.

* A short report on exploratory field experiment achieved in the Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission of Syria.

DETECTION OF GENETIC VARIABILITY IN SOME OLD AND RECENTLY RELEASED CULTIVARS OF BREAD AND DURUM WHEATS THROUGH THE USE OF PROTEIN ELECTROPHORESIS STUDIES*

N. MIR ALI

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

ABSTRACT

Genetic variation within the most widely grown old and recently released wheat varieties were studied. The study included 4 recent durum varieties (Cham1, Cham3, Cham5, and Buhuth5), two old durum varieties (Jezira17 and

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

collected. Results show high increase of chromium in river's sediment and soil adjacent to the riverbanks. However, such increase was not noticed in plantations or tree leaves. Copper and nickel concentrations were also high in sediments due to waste coming out of the electroplating industry. Concentration of titanium, one of the polishing and coloring industry's wastes, was noticed to be rather high too. Concentration of all previous pollutants was noticed to decrease as the distance become farther from the industrial complex.

Key Words

pollution of Barada river , trace elements, elctroplating, tanning industry.

⋆ A short report on a scientific exploratory field experiment achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

DETERMINATION OF LEAD 210 ATMOSPHERIC FLUXES IN SYRIA⋆

M. S. AL-MASRI, H. SHAIK KHALIL

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

ABSTRACT

Lead 210 atmospheric fluxes were determined by collecting 51 profiles from Syrian soil during 1998. Lead 210 fluxes in Syria calculated from lead 210 inventory in soil ranged from 15 $Bq.m^{-2}.y^{-1}$ and 407 Bq. m^{-2}. y^{-1} with an average value of 128 Bq. m^{-2} y^{-1}. The highest fluxes were found to be in Hama area due to the Gaab fault, which is consideredas a radon source in the area. In addition, fluxes were also high in most sites, which are located in Syria valleys and around the lakes. Moreover, the study has indicated that there is no linear relation between lead 210 flux values and other parameters such as annual rainfall and bulk density of the soil. On the other hand, an effect, of those two factors on lead 210 distribution with depth has been observed. In addition, the results of variable lead 210 fluxes from site to another have proved that it is necessary, in order to obtain a representative mean value for lead 210 flux in one area, to collect appropriate number of soil profiles. However, the mean value of lead 210 flux obtained in this study is within the worldwide range for lead 210 flux.

Key Words

lead 210 flux, radium226, soil, Syria, Middle East.

⋆ A short report on a field scientific study achieved in the Department of Protection, Atomic Energy Commission of Syria.

A STUDY OF THE PROPERTIES OF NITRIC ACID PRODUCED BY GENERAL FERTILIZER COMPANY IN HOMS/ SYRIA AND USES⋆

A. WAHOOD, W. RAFOOL, S. KHORFAN

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

ABSTRACT

Nitric acid has wide uses in industry. Production of nitric acid started at the General Fertilizer Company GFC in Homs/ Syria since 1969 to manufacture ammonium nitrate fertilizer.

This paper studies the properties of commercial nitric acid produced at GFC and compares it with properties of imported nitric acid of different grades and sources.

The study comes to the conclusion that it is possible to use the acid in many purposes beside production of fertilizer such as laboratory and other industrial applications.

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

compared to 20% in the control. Also, storability under natural conditions has improved. Weight loss during storage decreased from 8% in the control to only 4% in some Kisswany lines and from 10% to 3% in some Yabroudy lines.

Key Words

Gamma irradiation, garlic, mutation, white rot.

★ This paper appeared in *J. Genet. & Breed*, 54: 175-181 (2000).

GEOPHYSICAL NATURAL γ-RAY WELL LOGGING AND SPECTROMETRIC SIGNATURE OF SOUTH AL-ABTER PHOSPHATIC DEPOSITS IN SYRIA★

J. ASFAHANI, A. ABDUL-HADI

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

ABSTRACT

A combination of several exploration techniques was carried out in AL-Abter region, aiming at outlining the main characteristics of the phosphatic layers in this region. The techniques used in this research are natural γ-ray well logging, gamma and alphaspectrometry. It is shown that uranium concentrations in the samples taken from the wells studied vary between 42.8 and 112.5 ppm with a standard deviation of 15.2 ppm. The P_2O_5 content varies between 20.5% and 28.31% with standard deviation of 3.11% and the radioactive intensities vary between 150 and 275 counts per second (cps) with a standard deviation of 31 cps. The ratio of $^{234}U/^{238}U$ in the analyzed samples indicates that the study region is in radioactive equilibrium. The affinity of uranium and P_2O_5 to some trace elements, such as V, Sr, Cu, and Ni has been verified through studying the correlation matrix of these elements.

Key Words

well logging measurements, natural γ-ray, phosphate, spectrometric measurements.

★ This paper appeared in *Applied Radiation and Isotopes*, 1-15, 2000.

REPORTS

STUDY OF THE BARADA RIVER ENVIRONMENT POLLUTION WITH POISONOUS TRACE ELEMENTS RESULTING FROM TANNING AND ELECTROPLATING INDUSTRY★

I. KHAMIS, A. SARHEEL, N. AL-SOMEL

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

M. S. AL-MASRI

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

ABSTRACT

Investigation of leather industry impact on Barada-river environment, specifically in the eastern part of Damascus was made. Different environmental samples such as sediments, soil, and plantations from various locations were

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

IDENTIFICATION OF DRECHSLERA GRAMINEA ISOLATES BY CULTURAL CHARACTERS AND RAPD ANALYSIS*

M. JAWHAR, M. I. E .ARABI

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

R. S. SANGWAN

Université de Picardie Jules Verne Laboratoire Androgenèse et Biotechnologie, Faculté des Sciences, 33, Rue Saint-Leu, 80039 AMIENS, FRANCE . Fax: (33) 3.22.82.76.12

ABSTRACT

Isolates of Drechslera graminea, the causal agent of barley leaf stripe, were collected from different regions of Syria and analyzed for differences in cultural morphology, growth rate, colony colour, and randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. Differences in morphological characters were detected among the isolates used. Molecular polymorphisms (RAPDs) were also detected among them. However only two out of the twelve random primers used OPK3 (5'-CCAGCTTAGG-3') and OPK5 (5'-TCTGTCGAGG-3') revealed a different number and size of amplification bands between the isolates. These two primers were sufficient to identify most of the isolates studied. Our data show, that there were high differences within the pathogen isolates, and that the RAPD technique could be successfully used as an accurate and rapid way to discriminate isolates of D. graminea.

Key Words

Drechslera graminea, barley, RAPD.

* This paper appeared in *Cereal Research communications*, Vol. 28, Nos. 1-2, 2000.

IMPROVEMENT OF GARLIC (ALLIUM SATIVUM L.) RESISTANCE TO WHITE ROT AND STORABILITY USING GAMMA IRRADIATION INDUCED MUTATIONS*

B. AL-SAFADI, N. MIRALI, AND M. I. E. ARABI

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

ABSTRACT

A mutation breeding programme was conducted to improve garlic (Allium sativum L.) resistance to white rot (Sclerotium cepivorum) and to improve its storability under natural conditions. Cloves of two local garlic cultivars (Kisswany and Yabroudy) were irradiated with gamma ray doses 4, 5, 6 and 7 Gray (Gy). The cloves were planted in the field and the plants were advanced for 4 generations to isolate mutations in stable form. Starting in the second generation (MV_2), selection pressure against white rot disease was applied by covering the soil surrounding the plantlets with infested crop residues (50 g/m^2). In the third (MV_3) and fourth (MV_4) generations, however, a full selection pressure was applied by inoculating the cloves with the fungus sclerotes and planting them in a soil previously planted with infected garlic plants. Healthy garlic bulbs were harvested and stored under natural conditions and then planted to obtain the next generation. By the end of the (MV_4) generation, we were able to improve garlic resistance to white rot disease and its storability without a reduction in bulb size. Twenty four mutant lines from each garlic cultivar were selected. Twelve lines from cv. Kisswany had only a 3% infection percentage as compared to 29% in the control, and twelve lines from cv. Yabroudy had less than 5% infection percentage as

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

ELECTROCHEMICAL MICROMACHINING*

R. SCHUSTER, V. KIRCHNER, G. ERTL
Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Faradayweg 4-6, D-14195 Berlin, Germany
PH. ALLONGUE
Physique des Liquides et Electrochimie, CNRS UPR 15, 4 Place Jussieu, F-75005 Paris, France

ABSTRACT

The application of ultrashort voltage pulses between a tool electrode and a workpiece in an electrochemical environment allows the three-dimensional machining of conducting materials with submicrometer precision. The principle is based on the finite time constant for double-layer charging, which varies linearly with the local separation between the electrodes. During nanosecond pulses, the electrochemical reactions are confined to electrode regions in close proximity. This technique was used for local etching of copper and silicon as well as for local copper deposition.

Key Words

electrochemical micromachining, tool, etching, pulse.

*This article appeared in *Science*, Vol. 289, 7 July 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

ION EXCHANGE PROPERTIES OF CERIC SILICOTUNGSTATE*

G. ZAYZAFOON, T. YASSINE, A. SARHEEL
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Ceric silicotungastate was prepared under optimum conditions. The characteristics of the compound were investigated using different techniques. The resulting compounds showed good exchange properties with high affinity toward some cations, like Pb^{2+}, Fe^{3+}, Ag^{+}, Ba^{2+}, Ra^{2+} and UO_2^{2+}. The use of this exchanger for separation and analysis of radium isotopes in environmental samples is recommended.

Key Words

inorganic ion exchange, ceric silicotungstate, heteropolyacid salts.

* This paper appeared in *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 245, No. 3 (2000).

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

Key words

high - T_c superconductor, Mott insulator, stripes, quasipartic, pseudogap.

⋆This article appeared in *Science*, Vol. 288, 21 April 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

EXPLORING NUCLEAR FRONTIERS⋆

P. REGAN

the Department of Physics at the University of Surrey - UK

B. BLANK

the CEN Bordeaux-Gardignan - Le Haut-Vigneau - France

ABSTRACT

Recent experiments using beams of radioactive ions have shed new light on the structure of exotic nuclei at the very limit of existence, and physicists are planning the next generation of accelerators to stretch these boundaries even further.

Key Words

exotic nuclei, decay, fusion evaporation, projectile fragmentation.

⋆This article appeared in *Physics World*, January 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

REAL-TIME OBSERVATION OF ADSORBATE ATOM MOTION ABOVE A METAL SURFACE⋆

H. PETEK

Advanced Research Laboratory, Hitachi, Japan

M. J. WEIDA, H. NAGANO, S. OGAWA

Department of Physics and Astronomy, University of Pittsburgh, Pittsburgh, USA

ABSTRACT

The dynamics of cesium atom motion above the copper (111) surface following electronic excitation with light was studied with femtosecond (10^{-15} seconds) time resolution. Unusual changes in the surface electronic structure within 160 femtoseconds after excitation, observed by time-resolved two-photon photoemission spectroscopy, are attributed to atomic motion in a copper-cesium bond-breaking process. Describing the change in energy of the cesium antibonding state with a simple classical model provides information on the mechanical forces acting on cesium atoms that are "turned on" by photoexcitation. Within 160 femtoseconds, the copper-cesium bond extends by 0.35 angstrom from its equilibrium value.

Key Words

antibonding, excitation, f.s., ground state, photoemission, observation, adsorbate, wave packet.

⋆This article appeared in *Science*, Vol. 288, 26 May 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

OPTICAL MICROSCOPY USING A SINGLE-MOLECULE LIGHT SOURCE*

J. MICHAELIS, C.HETTICH, J. MLYNEK & V. SANDOGHDAR
Universität Konstanz, Fach M696, 78457 Konstanz, Germany

ABSTRACT

Rapid progress in science on nanoscopic scales has promoted increasing interest in techniques of ultrahigh-resolution optical microscopy. The diffraction limit can be surpassed by illuminating an object in the near field through a sub-wavelength aperture at the end of a sharp metallic probe[1,2]. Proposed modifications[3,4] of this technique involve replacing the physical aperture by a nanoscopic active light source. Advances in the spatial[5] and spectral[6] detection of individual fluorescent molecules, using near-field and far-field methods[7], suggest the possibility of using a single molecule[8,9] as the illumination source. Here we present optical images taken with a single molecule as a point-like source of illumination, by combining fluorescence excitation spectroscopy[10] with shear force microscopy[11]. Our single-molecule probe has potential for achieving molecular resolution in optical microscopy; it should also facilitate controlled studies of nanometre-scale phenomena (such as resonant energy transfer) with improved lateral and axial, spatial resolution.

KeyWords

optical microscopy, shearforce microscopy, fluorescence excitation, scanning near-field optical microscopy (SNOM).

* This article appeared in *Nature*, Vol. 405, 18 May 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

ADVANCES IN THE PHYSICS OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY*

J. ORENSTEIN
Department of Physics University of California Berkeley, CA 94720, USA, and Materials Science Division, Lawernce Berkeley National Laboratory, Berkeley, Ca 94720, USA
A. MILLIS
Department of Physics and Astronomy, Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, USA

ABSTRACT

The high -temperature copper oxide superconductors are of fundamental and enduring interest. They not only manifest superconducting transition temperatures inconceivable 15 years ago, but also exhibit many other properties apparently incompatible with conventional metal physics. The materials expand our notions of what is possible, and compel us to develop new experimental techniques and theoretical concepts. This article provides a perspective on recent developments and their implications for our understanding of interacting electrons in metals.

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

☐ GEOPHYSICAL NATURAL γ-RAY WELL LOGGING AND SPECTROMETRIC SIGNATURE OF SOUTH AL-ABTER PHOSPHATIC DEPOSITS IN SYRIA — J. ASFAHANI, A. ABDUL-HADI — 68

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ STUDY OF THE BARADA RIVER ENVIRONMENT POLLUTION WITH POISONOUS TRACE ELEMENTS RESULTING FROM TANNING AND ELECTROPLATING INDUSTRY — I. KHAMIS et al. — 82

☐ DETERMINATION OF LEAD 210 ATMOSPHERIC FLUXES IN SYRIA — M. S. AL-MASRI, H. SHAIK KHALIL — 84

☐ A STUDY OF THE PROPERTIES OF NITRIC ACID PRODUCED BY GENERAL FERTILIZER COMPANY IN HOMS/ SYRIA AND USES — S. KHORFAN, A. WAHOOD, W. RAFOOL — 85

☐ THE USE OF TISSUE CULTURE TECHNIQUES TO DETECT IRRADIATED VEGETABLES — B. AL-SAFADI, N. E. SHARABI, I. NABULSI — 87

☐ DETECTION OF GENETIC VARIABILITY IN SOME OLD AND RECENTLY RELEASED CULTIVARS OF BREAD AND DURUM WHEATS THROUGH THE USE OF PROTEIN ELECTROPHORESIS STUDIES — N. MIR ALI — 88

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ BASIC IDEAS AND CONCEPTS IN NUCLEAR PHYSICS: AN INTRODUCTORY APPROACH — BY: K. HEYDE. OVERVIEW & ANALYSIS: B. R. BARRETT — 93

☐ CONDENSED PHYSICS MATTERS: MORE THINGS IN HEAVEN AND EARTH-A CELEBRATION OF PHYSICS AT THE MILLENNIUM — BY: B. BEDERSON OVERVIEW & ANALYSIS: PH. ANDERSON — 93

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH — 104

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ OPTICAL MICROSCOPY USING A SINGLE-MOLECULE LIGHT SOURCE ..... J. MICHAELIS, et al. 7

☐ ADVANCES IN THE PHYSICS OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY ..... J. ORENSTEIN, A. MILLIS .. 11

☐ EXPLORING NUCLEAR FRONTIERS ..... P. REGAN, B. BLANK 21

☐ REAL-TIME OBSERVATION OF ADSORBATE ATOM MOTION ABOVE A METAL SURFACE ..... H. PETEK, M. J. WEIDA, H. NAGANO, S. OGAWA ... 28

☐ ELECTROCHEMICAL MICROMACHINING ..... R. SCHUSTER et al. 32

NEWS

☐ CERN GIVES HIGGS HUNTERS EXTRA MONTH TO COLLECT DATA ..... *SCIENCE* 39

☐ SURPRISING MOVEMENTS IN SOLIDS. ..... *NATURE* 40

☐ A FORMAL APPLICATION TO BUILD FINLAND'S FIFTH REACTOR ..... *NUCLEAR NEWS* 42

☐ JAPAN'S PU RECYCLE PROGRAM. APPEARS TO BE ON THE MOVE ..... *NUCLEAR NEWS* 42

☐ THE ALL-CHEMIST ..... *NATURE* 43

☐ BREATHING LIFE INTO AN OLD MODEL ..... *NATURE* 44

☐ SOLID PROGRESS IN ION CONDUCTION ..... *NATURE* 45

☐ GAINING LIGHT FROM SILICON ..... *NATURE* 47

☐ STUCK ON CHIPS ..... *NEW SCIENTIST* 49

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ ION EXCHANGE PROPERTIES OF CERIC SILICOTUNGSTATE. . . G. ZAYZAFOON et al. 52

☐ IDENTIFICATION OF DRECHSLERA GRAMINEA ISOLATES BY CULTURAL CHARACTERS AND RAPD ANALYSIS ..... M. JAWHAR et al. 58

☐ IMPROVEMENT OF GARLIC (ALLIUM SATIVUM L.) RESISTANCE TO WHITE ROT AND STORABILITY USING GAMMA IRRADIATION INDUCED MUTATIONS ..... B. AL-SAFADI, N. MIRALI, M. I. E. ARABI 62

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.

Subscription rates, including first class postage charges: *a) Individuals* *$ 30 for one year*
b) Establishments *$ 60 for one year*
c) For one issue *$ 6*

It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

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.

N° 73 **16th Year** **MAY/JUNE 2001**

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam *(Editor In-Chief)*

Dr. Mohammed Ka'aka ***Dr. Fouad Al-Ijel***

Dr. Ahmad Haj Said ***Dr. M. Fouad Al-Rabbat***

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