عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

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

العدد الثاني والسبعون | السنة السادسة عشرة | آذار–نيسان 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**

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 مجتمعة 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

- أنابيب الكربون النانويّة تتدفق باطّراد . . . . . مقدمة. 7
  ترجمة هيئة التحرير
- أنابيب الكربون النانويّة الوحيدة الجدار. . . . . .بول مكوين . . . . . 9.
  ترجمة هيئة التحرير
- أنابيب الكربون النانويّة المتعددة الجدران . . . . . كريستيان شوننبيرغر، لانزلو فورّو. 15
  ترجمة هيئة التحرير
- التحكم بإنماء الأنابيب النانويّة. . . . . هونغجي داي 21
  ترجمة هيئة التحرير
- الصناعة تتحكم بحجم الأنابيب النانويّة. . . . . والت دي هير، ريتشارد مارتل 27
  ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

- عدسات نانويّة – هل نستطيع كسر حاجز الضوء؟ . . . . . 34.
- الجهود مستمرة لتحقيق حلم الحصول على طاقة اندماج لا تنضب . . . . . 35.
- ما وراء الجزيئات النظرية المثالية . . . . . 36.
- قطة شرودنغر خارج القبعة. . . . . 38.
- مبدّل جزيئي قلاّب. . . . . 39.
- النقاط الكمومية بمثابة شوائب كوندو قابلة للتوليف. . . . . 41.
- هل الإلكترون قابل للانقسام . . . . . 42.
- القمر. . . . . 46.

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

- تعديل التصميم النتروني لمفاعل البحث السوري (منسر). . . . . .د. إبراهيم خميس، د. قاسم خطاب. 53
- إنتاج ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم بطريقة تسلسلية . . . . . د. محمد درغام زيدان، د. عبد الوهاب علاف . 57
  في الطور الغازي وتحديدها بمطيافية ما تحت الأحمر
- تأثير أشعة غاما على تنشيط كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. . . . . .د. فواز كرد علي، محمد الشماع، 61
  في نبات الحمّص (Cicer arietinum L.) المسمّد بمستويات زهير الأيوبي
  مختلفة من كبريتات الأمونيوم
- تأثير أشعة غاما على إنتاج درينات البطاطا في الزجاج . . . . . د. بسام الصفدي، زهير الأيوبي، دانا جودت . . 67
- مقاطع إشعاعية تبين نمط تشتت اليورانيوم قرب رواسب الكريتاسي . . .د. يوسف جبيلي، محمد الهلال، 72
  الفسفاتية في حوض وادي قصر الحلاّبات، وسط سورية غسان رجا، أحمد العلي

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ تأثير معاملات نبضة الملء على قمة DLTS في عينات InP:Zn عالية التطعيم . . . . . د. رامي درويش، د. بسام المعصراني 81

☐ تأثير درجة الحرارة على توازن الأطوار للجمل شبه الثلاثية . . . . . د. موسى الإبراهيم 82

☐ دراسة المركبات العطرية في الكيروسين التجاري السوري. وتعيين هويتها . . . . . .د. عادل حرفوش، عدنان عودة 83

☐ دراسة محتوى مياه الصرف الصحي من العناصر الثقيلة. . . . . د. صلاح الدين تكريتي، عبير القائد. 85

☐ دراسة سويات الضجيج في مدينة حلب . . . . . د. محمد العودات، د. يوسف مسلماني 87

كتب حديثة مختارة

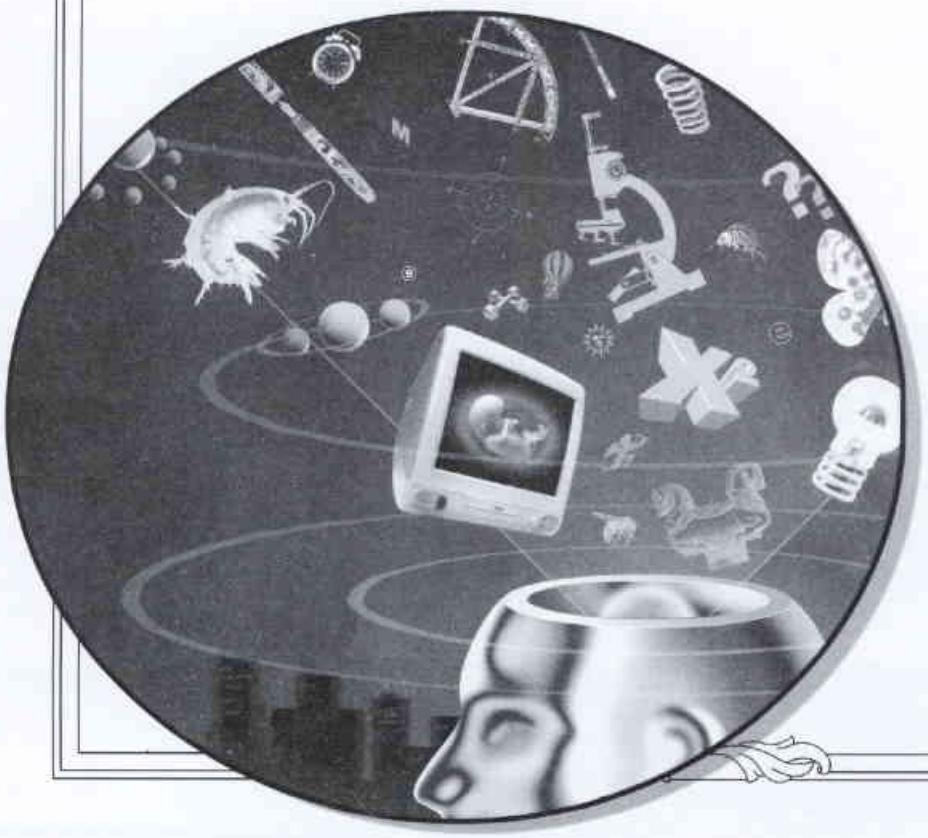
☐ التناظر الجزيئي وعلم الأطياف . . . . . .(تأليف: ر. بنكر، برجنسن). 90
(عرض وتحليل: ك. جونغن)

☐ البيولوجيا في الفيزياء: هل الحياة مادة؟ . . . . . (تأليف: ك. بوغدانوف) 91
(عرض وتحليل: ر. جونز)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 100

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



مقدمة

أنابيب الكربون النانويّة تتدفق باطّراد*

إن الخواص المتميزة لأنابيب الكربون النانوية يمكن أن تسمح لها بلعب دورٍ حاسمٍ في السباق نحو النمنمة في سلم المقياس النانوي

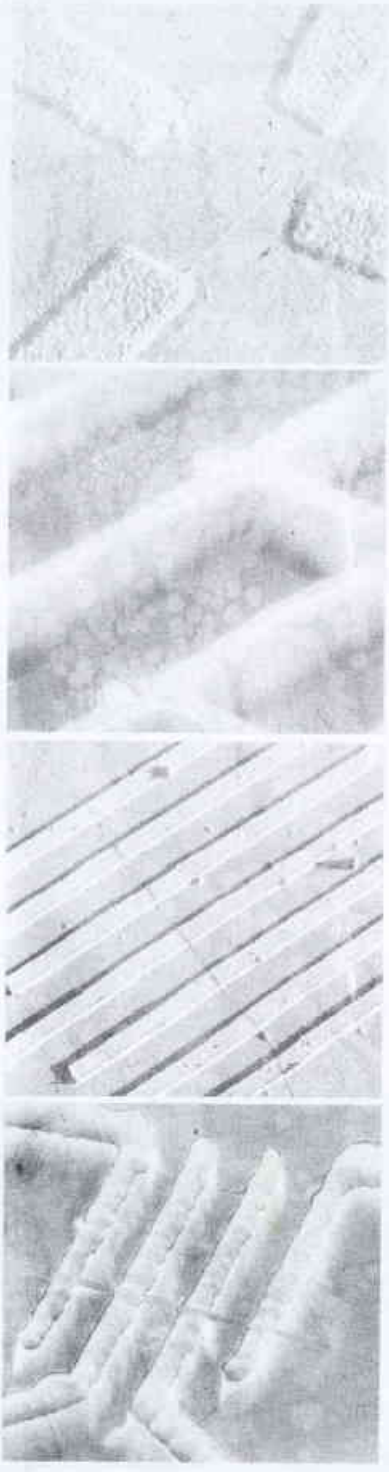
يُتنبأُ للتقانة النووية أن تشعل شرارة سلسلة من الثورات في العقدين القادمين، بما سيؤدي إلى تحويل حياتنا إلى مدى أوسع بكثير مما حولتها الإلكترونيات المكروية للسليكون في القرن العشرين. يمكن لأنابيب الكربون النانوية أن تلعب دوراً هاماً وأساسياً في هذه الثورة القادمة إذا أمكن استغلال خواصها الكهربائية والميكانيكية المتميزة.

ومنذ القياسات الأولى التي جرت عام 1997، استحوذت صفائح الغرافيت المتراكمة على تصورات الباحثين في جميع أنحاء العالم. لقد تقدَّم فهم فيزياء وكيمياء الأنابيب النانوية بسرعة مذهلة بدون تباطؤ.

تتمتع الأنابيب النانوية بقائمة مثيرة من الخواص المميزة، إذ تستطيع أن تسلك سلوك المعادن أو أنصاف النواقل، وأن تنقل الكهرباء بصورة أفضل من النحاس، وتنقل الحرارة أفضل من الماس، ويمكن تصنيفها من بين أقوى المواد المعروفة - غير سيئة من أجل بُناها التي يبلغ مقطعها عدة نانومترات. ويمكن أن نرى، بعد عدة عقود من الآن، دارات متكاملة مع مكوناتها وأسلاكها مصنَّعة من الأنابيب النانوية، ولربما نرى أيضاً أبنية تستطيع أن تعود إلى شكلها بعد الزلزال.

الأنابيب النانوية وأنابيب الاختبار

إن أول من لاحظ أنابيب الكربون النانوية هو سوميو إيجيما S. Iijima عام 1991 لدى NEC في اليابان، وهي المسماة بالأنابيب النانوية المتعددة الجدران المؤلفة من عدة أنابيب متمركزة من الكربون، متداخلة بعضها في بعض. وبعد ذلك بعامين لاحظ إيجيما ودونالد بيثون D. Bethune لدى شركة IBM في الولايات المتحدة وآخرون أنابيب نانوية أحادية الجدار لا يتجاوز قطرها 1-2 nm، ولكن هذا الحقل من المعرفة انطلق بعد سنوات قليلة، عندما وجدت عدة أفرقة سبل إنتاج الأنابيب النانوية العالية الجودة وبمقادير كبيرة.



يصف بول مكوين P. McEuen في مقال لاحق كيف أن الخواص الكهربائية المتميزة للأنابيب الأحادية الجدار ترتكز على البنية الإلكترونية غير الطبيعية للغرافيت. يمكن للأنبوب النانوي أن يكون معدناً أو نصف ناقل وفقاً للطريقة التي جرى بها لَفُّ صفائح الغرافيت. الأنابيب النانوية المعدنية هي أيضاً منظومات مثالية يعود استثمار انتقال إلكترون في بُعد واحد فيها إلى البنى الكاملة المجاورة.

يمكن اختبار ظواهر أساسية أخرى في الفيزياء الكمومية على الأنابيب النانوية المتعددة الجدران، كما يبيّن ذلك لاحقاً كريستيان شوننبيرغر C. Schönenberger ولازلو فورّو L. Forro في الصفحة (16) من هذا العدد. يتوقع الباحثون وجود سلوك أكثر تعقيداً في الأنابيب النانوية المتعددة الجدران يعود إلى التآثرات بين الطبقات المتجاورة.

تطبيقات وتحدّيات

بدأت الصناعة في ملاحظة الخواص الفريدة لأنابيب الكربون النانوية، كما يُبيّن والت دو هير W. de Heer وريشارد مارتل R. Martel في الصفحة (27) من هذا العدد. أول نبيطة تجارية استخدمت الأنابيب النانوية المتعددة الجدران يمكن أن تكون مصباحاً يعمل على مبدأ إصدار الحقل. وعلاوة على ذلك، فإن مميزات الإصدار الحقلي لأفلام أنبوب الكربون النانوي جذبت الانتباه إلى الفائدة الكبيرة المتوخاة من كبريات صناعة العارضات. فشركة سامسونغ مثلاً تخطط لتسويق عارضة ملوّنة مسطّحة الشاشة مصنوعة من أنابيب كربونية متعددة الجدران خلال السنتين القادمتين، في حين تشير شركة IBM إلى أن ترانزستورات الأنابيب النانوية ستكون منافسة لنبائط السليكون الموجودة حالياً. يمكن استخدام الأنابيب النانوية أيضاً في خزن الهدروجين لتزويد المركبات الكهربائية بالطاقة.

* نشرت هذه المقدمة في مجلة *Physics World*, June 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية

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

على أية حال، هنالك كثير من العقبات التقانية التي يجب تجاوزها قبل أن تصل التطبيقات الكبيرة الحجم إلى السوق، فالتقنيات المستخدمة في بناء الأجزاء الإلكترونية من الأنابيب النانوية مثلاً تحتاج إلى بذل الجهد، وهي غير ملائمة تماماً للإنتاج الكبير. ولكن ربما يكون التحديد الأكثر قطعاً هو في القدرة على إنتاج الأنابيب النانوية العالية الجودة بكميات محدودة جداً، فسيخام الأنبوب النانوي التجاري يكلّف عشر مرات ما يكلّفه الذهب.

يصف هونجي داي H. Dai في الصفحة (21) من هذا العدد كيف يتعلم الباحثون للتحكم بنمو أنابيب الكربون النانوية وصنعها بكفاءة أكبر. لقد أنتجت هذه التقنيات بنى نانوية منتظمة بخواص متقدمة.

ورغم وجود العديد من التحديات في المستقبل، فإنه يُقدّر للأنابيب النانوية أن تتيح المجال لكثير من التطبيقات العملية، وتزيد من فهمنا للفيزياء الأساسية على مستوى المقياس النانوي.■

☆ ★ ☆

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

أنابيب الكربون النانويّة الوحيدة الجدار*

بول مكوين
مختبر لورنس الوطني بيركلي – الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

تعدُّ الأنابيب النانوية منظومات مثالية لدراسة نقل الإلكترونات في بُعد واحد، ولها كمون تجاري كالأسلاك النانوية القياس والترانزستورات والمحسّات.

الكلمات المفتاحية: أنبوب كربون نانوي، غرافين، ترانزستور، اهتزازات كولونية، ناقل أحادي البعد، سائل لوتينغر، تطبيقات.

لقد قدّمت نبائط الحالة الصلبة، التي تكون فيها الإلكترونات محصورة بمستويات ثنائية البعد، بعض الاختراقات الأكثر إثارة من الناحية العلمية والتقانية في السنوات الخمسين الأخيرة. فقد لعبت النبائط القائمة على ترانزستورات أثر الحقل ذات البنية معدن – أكسيد – سليكون وحتى تلك ذات البنى غير المتجانسة العالية الحركية من زرنيخيد الغاليوم، دوراً رائداً في ثورة الإلكترونيات المكروية، وكوّنت مركبات حرجة في صفيف واسع من المنتجات بدءاً من الحواسيب وحتى قارئات القرص المتراص. ومن منظور ضيق، فإن دراسة الإلكترونات في منظومات ثنائية البعد كانت السبب في حصول كلاوس فون كليتسنغ K. V. Klitzing عام 1985 وروبرت لوغلن R. Laughlin وهورست شتورمر H. Störmer ودانييل تسوي D. Tsui عام 1998 على جائزتي نوبل في الفيزياء. وهذه شهادة بالأهمية الأساسية والتطبيقية لمثل هذه النبائط.

ومن ناحية ثانية، تبرهن المنظومات أحادية البعد (1-D) أيضاً بأنها مثيرة جداً، فمنذ عدة سنوات، قدّمت دراسات المنظومات شبه الأحادية البعد، كالبوليميرات الناقلة، تبصراً مذهلاً حول طبيعة عدم الاستقرار الإلكتروني في البعد الواحد. إضافة إلى ذلك فقد جرى صنع نبائط أحادية البعد (1-D) كالأدلة الموجية للإلكترون، التي تنتشر فيها الإلكترونات ضمن قناة ضيقة في المادة. وقد أظهرت التجارب على هذه النبائط، مثلاً، أن مناقلة منظومات (1-D) القذفية، والتي تعبر فيها الإلكترونات القناة بطولها دون حدوث أي تبعثر، تُكمم بوَحدات من e^2/h، حيث تدل e على شحنة الإلكترون وتدل h على ثابت بلانك Planck.

ومع ذلك، بقيت هذه المنظومات محدودة بحقيقة أنها معقدة أصلاً و/ أو من الصعب صنعها. وما كان ناقصاً هو وجود منظومة نموذج كامل لاستكشاف نقل وحيد البعد – ناقل (1-D) رخيص وسهل الصنع، يمكن تداوله وقياسه بشكل إفرادي، وفي بنيته قليل من عدم الانتظام. وأنابيب الكربون النانوية الوحيدة الجدار تناسب هذه القائمة بشكل تام. لقد اكتُشِفت هذه الأسطوانات الجوفاء الرفيعة عام 1993 من قبل أفرقة قادها سوميو إيجيما S. Iijima من مختبر البحوث الأساسية في تسوكوبا باليابان، ودونالد بيثون D. Bethune من مركز بحوث ألمادن لـ IBM في كاليفورنيا. كما أنها أول ما صُنِعَت بكميات كبيرة عام 1995 من قبل فريق ريك سمولّي R. Smalley في جامعة رايس بتكساس. ومنذ ذلك الحين بقي هذا النوع من الناقل (1-D) محط دراسة كثيفة ومذهلة. وسيقدّم الكاتب هنا جزءاً من ذلك النشاط وهو: خلق نبائط إلكترونية نانوية بالغة الصغر تقوم فيها الأنابيب النانوية بالدور الفعّال.

وكما سنرى، فإن بعض الأنابيب النانوية تُعدّ أنصاف نواقل، ولهذا يمكن أن تستخدم لبناء نبائط ببعد واحد شبيهة بترانزستورات أثر الحقل من المعدن – أكسيد – سليكون، التي تتحرك فيها الإلكترونات في سطح طبقة رقيقة ذات بعدين. وهنالك في المقابل أنابيب نانوية أخرى تكون نواقل معدنية تامة إلى حد ما، وهي جديدة مخبرياً لدراسة حركة الإلكترونات في بُعد واحد. وإن النبائط النانوية، نصف الناقلة منها والمعدنية، يمكن أن يكون لها تطبيقات تقانية هامة.

البنية الإلكترونية للأنابيب النانوية

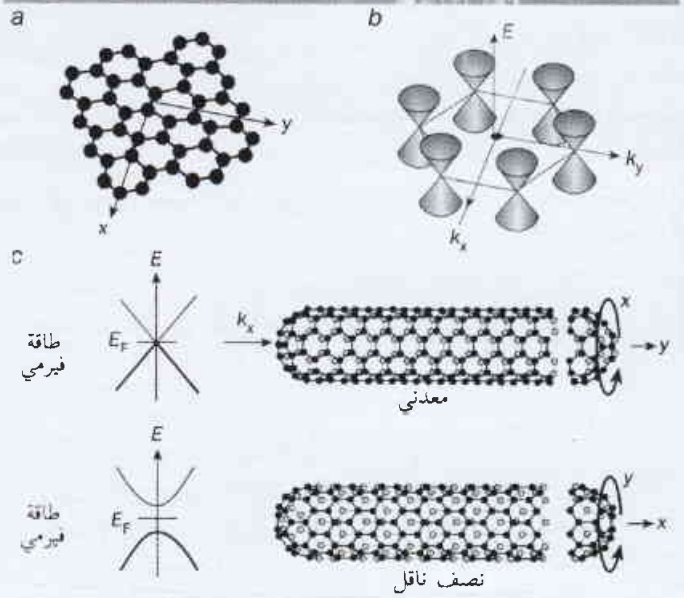
ترتكز الخواص الإلكترونية المتميزة لأنابيب الكربون النانوية الأحادية الجدار على البنية الإلكترونية غير العادية للغرافين – وهو المادة ثنائية البعد (2-D) المصنّعة منها. الغرافين بكل بساطة طبقة ذرّية وحيدة من الغرافيت، المادة التي يصنع منها قلم الرصاص. للغرافين بنية قرص العسل ذي بعدين، يتألف من ذرّات كربون مرتبطة ارتباط sp^2 (الشكل 1a). تحدّد خواصه الناقلة بطبيعة الحالات الإلكترونية قرب طاقة فيرمي E_F، التي هي طاقة أعلى حالة إلكترونية مشغولة في الدرجة صفر. يبيّن الشكل 1b طاقة الحالات الإلكترونية كتابع لشعاع الموجة k قرب E_F. إن هذه البنية العصابية، التي تُحدّد بكيفية تبعثر الإلكترونات من الذرّات في الشبيكة البلّورية، غير عادية تماماً. فهي لا تشبه ما هو في المعدن الذي يملك حالات عديدة تنتشر بحرية ضمن البلّورة عند E_F، وليست كالبنية العصابية لنصف الناقل، الذي يملك فرجة طاقة بدون حالات إلكترونية قرب E_F ناجمة عن التبعثر الراجع للإلكترونات من الشبيكة.

وتكون البنية العصابية للغرافيت بدلاً عن ذلك، في مكان ما بين هذين الحدّين. نجد في معظم الاتجاهات، أن الإلكترونات المتحركة عند طاقة فيرمي تتبعثر راجعة بفعل الذرّات في الشبيكة مما يعطي للمادة فرجة

* نشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, June 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الشكل 1- لف الأنبوب النانوي



(a)- بنية شبيكة الغرافين – المادة الثنائية البعد التي تُلفّ لتشكيل الأنبوب النانوي. تتألف الشبيكة من قرص نحلي من ذرّات الكربون. (b)- طاقة حالات النقل للغرافين كتابع لشعاع الموجة، k، للإلكترونات. لا تكون المادة ناقلة إلاّ عبر اتجاهات معينة خاصة حيث توجد حالات "المخاريط". (c)- إذا جرى لَفُّ الغرافين حول المحور y، يكون الأنبوب النانوي معدناً (الشكل العلوي)، ولكنه إذ لفّ حول المحور x يكون الأنبوب النانوي نصف ناقل (الشكل السفلي). وعندئذ تعطى بنية العصابة للأنبوب النانوي بشرائح ذات بعد واحد من خلال بنية العصابة ذات البعدين المبينة في (b). شعاعا الموجة المسموح بهما يكونان مكمّمين على طول محور الأنبوب.

عصابية طاقية تشبه ما هو في نصف الناقل. ومن ناحية ثانية، نجد في اتجاهات أخرى، أن الإلكترونات، التي تتبعثر من الذرّات المختلفة في الشبيكة، تتداخل بشكل هدّام، مما يُخمد التبعثر الراجع ويقود إلى سلوك معدني. يحدث هذا التخميد فقط في الاتجاه y وفي الاتجاهات الأخرى التي تشكل 60°، 120°، 180° و 240° مع y (الشكل 1b). ولذلك يُطلق على الغرافين اسم "نصف المعدن" لأنه يكون معدناً في هذه الاتجاهات الخاصة ونصف ناقل في الاتجاهات الأخرى.

وإذا أمعنا النظر في الشكل 1b، تظهر بنية العصابة في حالات الطاقة المنخفضة على شكل سلسلة من المخاريط، ففي الطاقات المنخفضة يشبه الغرافين عالماً بيعدين مسكون بفرميونات عديمة الكتلة.

للحصول على ناقل 1-D من العالم 2-D هذا، نحذو حذو نظريي الأوتار ونلفّ أحد الأبعاد الإضافية ليتشكل أنبوب (الشكل 1c). والشروط الحدودية الدورية الناتجة على تابع الموجة تُكمّم k_n، مركّبة k العمودية على محور الأنبوب: في الحالة الأبسط تكون $k_n = 2\pi n/C$، حيث تدل C على محيط الأنبوب و n عدد صحيح. وفي غضون ذلك تبقى مركّبة k على طول الأنبوب متغيراً مستمراً.

إذا اختير محور الأنبوب ليشير إلى الاتجاه y، فإن الطاقة كتابع لـ k (أي لبنية العصابة) تكون شريحة عبر مركز المخروط. وعندها يعمل الأنبوب كمعدن أحادي البعد بسرعة فيرمي وهذا يشابه معظم المعادن. وعلى أية حال، إذا كان المحور يشير إلى اتجاهات مختلفة، كامتداد المحور x مثلاً، فإن البنية العصابية يكون لها مقطع مخروطي مختلف. وهذا ما ينتج عادة في بنية عصابية نصف ناقلة أحادية البعد مع فرجة طاقة بين حالات الثقب الممتلئة وحالات الإلكترون الفارغة.

الشيء المهم هو أن الأنبوب النانوي يمكن أن يكون إما معدناً أو نصف ناقل، ويعتمد ذلك على كيفية لفّ الأنبوب. لقد جرى التحقق من هذا التنبؤ النظري الهام باستخدام عدد من تقنيات القياس، وربما كان أكثرها مباشرة ما قام به فريق سيس ديكّير C. Dekker من جامعة دلفت للتقانة في هولندا، وفريق شارل ليبير C. Lieber من جامعة هارفارد في الولايات المتحدة. استخدم الباحثون في دلفت وهارفارد المجهرية النفقية الماسحة لتعيين البنية الذرّية لأنبوب خاص – من عدة أنواع من الأنابيب المنتجة عندما تنمو العينة – قبل سبر خواصه الإلكترونية بالمجهر. لقد أكّدت قياساتهم العلاقة بين بنية الأنبوب النانوي وخواصه الإلكترونية كما ذُكر سابقاً.

الأنابيب النانوية: كيف تنقل

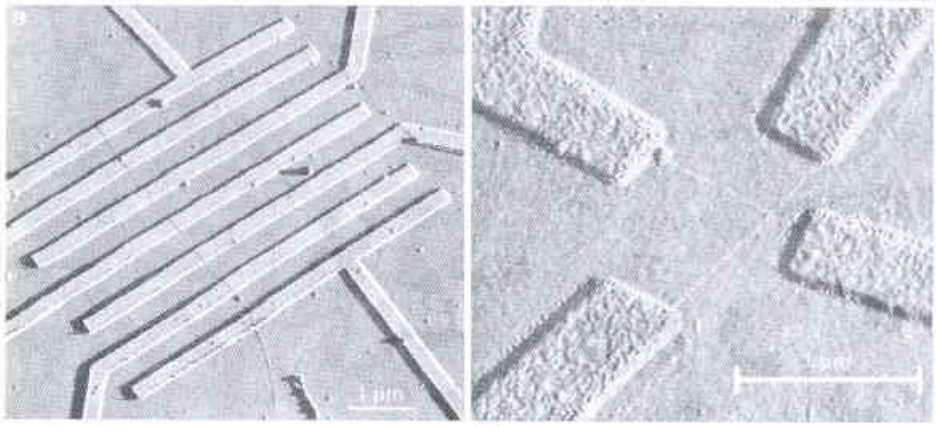
قبل أن نتمكّن من قياس الخواص الناقلة للأنبوب النانوي؛ علينا أن نربط الأنبوب بسلك عن طريق وصله بإلكترودات معدنية. إن الإلكترودات، التي يمكن وصلها إما إلى أنبوب وحيد أو إلى باقة مكوّنة من عدة مئات من الأنابيب، تُصنع عادة باستخدام الطباعة الحجرية (الليثوغرافيا) بالحزمة الإلكترونية. يمكن وصل الإلكترودات بعدة طرق مختلفة: الطريقة الأولى هي في صنع الإلكترودات ومن ثم إسقاط الأنابيب عليها (الشكل 2a)، والطريقة الأخرى هي في توضيع الأنابيب على ركازة تم وضعها وترتيبها باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح أو مجهر القوة الذرّية، ثمّ وصل أسلاك إلى الأنابيب باستخدام الطباعة الحجرية (الشكل 2b). وتطورت أيضاً تقنيات متقدّمة أكثر لجعل صنع النبيطة أكثر قابلية للتكرار وللتحكم، ويتضمن ذلك إمكانية إنماء الأنابيب بين إلكترودين (انظر مقال داي Dai في الصفحة (21) من هذا العدد)، أو بوصل الأنابيب إلى السطح بطريقة يمكن التحكم بها باستخدام إما قوى كهراكدية أو كيميائية.

يسمح إلكترودا المنبع والمصرف، وقد سمّيا كذلك بالمشابهة مع النبائط نصف الناقلة المعيارية، بقياس خواص النقل للأنبوب النانوي. بالإضافة إلى ذلك، يستعمل غالباً طرف ثالث يدعى "البوابة" (الشكل 2c). يعمل الأنبوب والبوابة كصفيحتي مكثّفة، مما يعني أنه بالإمكان استخدام البوابة لتحريض الحوامل كهراكدياً على الأنبوب. يحرّض الانحياز السالب على البوابة شحنات موجبة على الأنبوب، ويحرض الانحياز الموجب شحنات سالبة.

عندما جرى قياس ناقلية الأنبوب كتابع لفولطية البوابة (وبالتالي كتابع للشحنة في وحدة طول الأنبوب) لوحظ نوعان من السلوك يوافقان الأنابيب المعدنية والأنابيب نصف الناقلة. أول من درس الأنابيب النانوية الوحيدة الجدار المعدنية المفردة هو فريق ديكّير عام 1997 في دلفت، وفريق كاتب المقال في جامعة كاليفورنيا في بيركلي. ولكليهما صلة بفريق سمولّي في رايس، ونشر بعدئذ فريق دلفت السلوك نصف الناقل عام 1998.

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

الشكل 2- قياس مقاومة الأنابيب النانوية



لإيجاد كيفية نقل الأنابيب النانوية للكهرباء، علينا وصل الإلكترودات بها. تستخدم عادة الطباعة الحجرية بالحزمة الإلكترونية لصنع الإلكترودات التي توصل بدورها إما إلى أنبوب وحيد أو إلى باقة من الأنابيب. (a)- صورة مجهر قوة ذرّية (AFM) لنبيطة أنبوب نانوي وحيد حصل عليها الباحثون في معهد دلفت للتقانة. الأنبوب النانوي هو الخط الأحمر الدقيق جداً السائر من المركز السفلي إلى يسار أعلى الصورة. (b)- صورة (AFM) لتصالب من أنبوب نانوي جرى الحصول عليها في مختبر المؤلف في بيركلي بكاليفورنيا. الأنبوبان النانويان هما الخطان الأخضران اللذان يربطان الإلكترودات. وفي كلتا الحالتين صنعت النبائط على ركازة ناقلة مغطاة بطبقة أكسيد عازلة. (c)- تعمل الركازة كبوابة لتسمح لكثافة الشحنة للأنبوب النانوي بأن تتغير.

ومنذ ذلك التاريخ قامت عدة أفرقة بصنع وقياس خواص نبائط مماثلة. الحقيقة أن معظم الجامعات ومختبرات البحوث، مثل IBM، عندها على الأقل فريق واحد لدراسة هذه المواد من أجل تنوع تطبيقاتها الإلكترونية. ومع أن المعطيات الواردة في هذا المقال مأخوذة كلياً من فريق بيركلي، الذي يقوده ألكس تستل A. Zettl وستيفن لوي S. Louie ومارفن كوهين M. Cohen وكاتب المقال بول مكوين، فيجب أن يُنظر إليها كنموذج ممثل للحقل. وفي معظم الحالات جرى الحصول على نتائج مشابهة من قبل باحثين آخرين.

ترانزستورات الأنابيب النانوية

يمكن للأنابيب النانوية أن تعمل كترانزستورات، فتستطيع أن "توصل"، أي تقوم بالنقل، بتطبيق انحياز سالب على البوابة، وأن "تفصل"، بتطبيق انحياز موجب (الشكل 3a). يحرّض الانحياز السالب ثقوباً على الأنبوب مما يجعله ينقل. وبالمقابل تستنفد الانحيازات الموجبة الثقوب وتخفض المناقلة. في الواقع، يمكن أن تزيد مقاومة حالة الفصل مليون مرة عن حالة الوصل. يشبه هذا السلوك سلوك ترانزستور أثر الحقل من معدن -أكسيد - سليكون (MOSFET) من النوع p، باستثناء أن الأنبوب النانوي يحل محل السليكون كمادة مضيفة لحاملات الشحنة.

ولكن لماذا الأنبوب من النوع p-؟ ومع ذلك، يمكن للمرء أن يتوقع أن يكون الأنبوب النانوي المعزول نصف ناقل أصيل - وبكلمة أخرى، إن الإلكترونات الزائدة هي تلك المتولّدة من التأرجحات الحرارية فقط. على أية حال، يُعتقد حالياً أن الإلكترودات المعدنية - وكذلك الأنواع الكيميائية الممتزة على الأنبوب - تُطعّم الأنبوب ليصبح من النوع p-. وبعبارة أخرى، إنها تزيل الإلكترونات من الأنبوب، تاركة الثقوب المتحركة الأخرى مسؤولة عن النقل. الحقيقة أن التجارب التي قام بها فريق هونجي داي في جامعة ستانفورد وفريق بيركلي أظهرت أن تغيير البيئة الكيميائية للأنبوب يمكن أن يغيّر سوية التطعيم، وهذا يغير بشكل كبير الفولطية التي تعمل فيها النبيطة، والأكثر إثارة من ذلك يمكن للأنابيب أن تطعّم من النوع n- بتعريض الأنبوب إلى عناصر كالبوتاسيوم التي تمنح الإلكترونات للأنابيب.

تعدُّ النبيطة نصف الناقلة من النوع المبيَّن في الشكل 3 متميزة حقاً من نواح عدة، فهي أولاً، بعرض نانومتر واحد فقط. وبينما يلزم عمل كثير لصنع نبائط نصف ناقلة فائقة الصغر من أنصاف النواقل الجرمية، فإن مثل هذه النبائط تصاب عادة بـ "حالات سطحية" - وهي حالات إلكترونية تنشأ عندما تُقطع بلورة ثلاثية الأبعاد بسطح. وعادة ما تحطّ هذه الحالات السطحية من خواص تشغيل النبيطة، ويعدّ التحكم بها إحدى التحديات التقانية لنمنمة النبيطة. لقد حلّت الأنابيب النانوية مسألة الحالة السطحية بأسلوب رائع. أولاً هي بالأصل مواد ثنائية الأبعاد، ولهذا فإن مسألة اجتماع الشبيكة 3-D مع السطح غير واردة. وثانياً فإنها تتجنب مسألة الحدود - لأنه لا توجد أطراف في الأسطوانة.

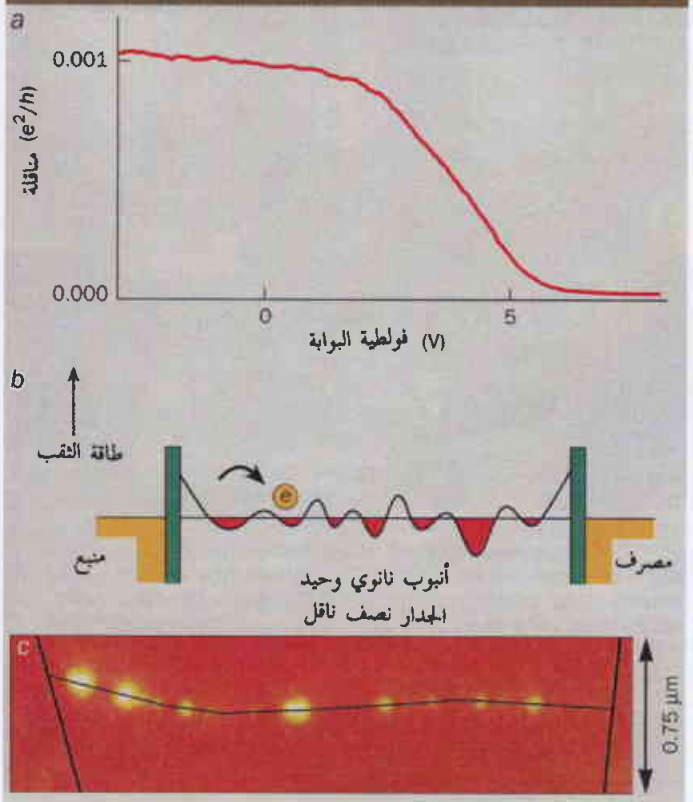
وبالتمعن في مناقلة الأنابيب النانوية نصف الناقلة، نجد أنها ترتفع في البدء خطياً عند خفض فولطية البوابة، ويتحسن النقل بإضافة مزيد من الثقوب من الإلكترود إلى الأنبوب النانوي. تتحدَّد المناقلة فقط بالحواجز التي تصادفها الثقوب لدى اجتيازها الأنبوب. يمكن أن يكون سبب هذه الحواجز هو العيوب البنيوية التي في الأنبوب، أو من الذرّات الممتزة على الأنبوب، أو الشحنات المتوضّعة قرب الأنبوب. ولهذا تصادف الثقوب سلاسل من القمم والوديان في المنظر الكموني، التي يجب أن تقفز عليها إذا أُريد للأنبوب أن ينقل (الشكل 3b). وتكون مقاومة الأنبوب مرهونة بالحواجز الأعلى في الأنبوب.

لقد أكدت تجارب الأفرقة في بيركلي ودلفت هذه الصورة البسيطة. استخدم الباحثون رأس مجهر السبر الماسح لتحديد مواقع التبعثر الرئيسة، مما مكّن من وضع خارطة لحواجز النقل. (الشكل 3c).

في فولطيات البوابة الأخفض، تتوقف عادة الزيادة في المناقلة وتصبح ثابتة، لأن مقاومة التماس بين الإلكترودات المعدنية والأنبوب تصبح مرتفعة جداً. ومن سوء الحظ، يمكن لمقاومة التماس هذه أن تتفاوت بين

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

الشكل 3- الأنابيب النانوية كترانزستورات



(a)- مناقلة أنبوب الكربون النانوي نصف الناقل كتابع لفولطية البوابة. يمكن تشغيل الأنبوب بتطبيق فولطية سالبة، وعدم تشغيله بتطبيق فولطية موجبة. تشغل النبيطة بفولطيات سالبة لأن ثقوباً تُضاف للأنبوب. (b)- المنظر الجانبي للكمون التي تراها هذه الثقوب تعود إلى عدم الانتظام في بنية الأنبوب النانوي والتماس غير الكامل بين الإلكترودات والأنبوب. يجب على الثقوب أن تقفز خلال الحواجز في هذا المنظر الجانبي إذا أريد للأنبوب النانوي أن يقوم بدور النقل. (c)- يمكن استخدام رأس مجهر السبر الماسح لتصوير الحواجز أمام النقل. تدل الخطوط الأفقية على موضع الأنبوب النانوي، وتدّل الخطوط العمودية على حدود التماس. تُقاس مناقلة الأنبوب عندما يجري مسح الرأس المتحاز إيجابياً فوق العينة. البقع اللامعة تكون حيث ينقص الرأس المناقلة. الشدة الأكبر متوافقة مع تغير أكبر في المناقلة.

النبائط بعدة مراتب. وربما يُعزى ذلك إلى أسباب أرضية، كنظافة السطح. ولتحسين الاتساق في ترانزستورات الأنابيب النانوية، تقوم عدة أفرقة بتحسين جودة هذه التماسات من خلال تطوير طرائق تلدين حرارية وتنظيف جديدة - مع تحقيق بعض النجاح.

من المحتمل أن تكون النبائط الشبيهة بترانزستورات MOSFET المنمنمة الأولى في مضيف من بُنى نبائط نصف ناقلة جديدة قائمة على أنابيب الكربون النانوية. أما النبائط الأخرى، كالديودات الوصلية p-n والترانزستورات الثنائية القطبية من الأنابيب النانوية، فقد نوقشت من الناحية النظرية ومن الممكن تحقيقها قريباً.

الأنابيب النانوية كمعادن أحادية البعد

في تباين ملفت للانتباه في الأنابيب النانوية نصف الناقلة، لم يُلاحظ أن مناقلة بعض الأنابيب النانوية في درجة قريبة من درجة حرارة الغرفة قد تأثرت بإضافة قليل من حوامل الشحنة. وهذا السلوك نموذجي بالنسبة للمعادن التي تملك عدداً كبيراً من الحوامل وتملك خواص ناقلة لا تتأثر كثيراً بإضافة بضعة حوامل أكثر بقليل. وكما هو متوقّع فإن مناقلة هذه الأنابيب النانوية المعدنية أكبر بكثير أيضاً من نبائط الأنابيب النانوية نصف الناقلة. وبالفعل فقد صنع عدد من الأفرقة أنابيب تتراوح مناقلتها بين 25 % و 50 % من القيمة $4e^2/h$ التي جرى التنبؤ بها للأنابيب النانوية القذفية الناقلة التامة. تشير هذه النتيجة إلى أن الإلكترونات تستطيع أن تسير مسافات تبلغ عدة مكرونات في الأنبوب قبل أن تتبعثر. وقد أيدت عدة قياسات هذه النتيجة، بما فيها القياسات التي أجراها فريقنا باستعمال مجهرية السبر الماسح. وبيّنت هذه القياسات أيضاً أن مقاومة التماس بين الأنبوب والإلكترودات يمكن أن تكون جوهرية، كما هو الحال في الأنابيب نصف الناقلة.

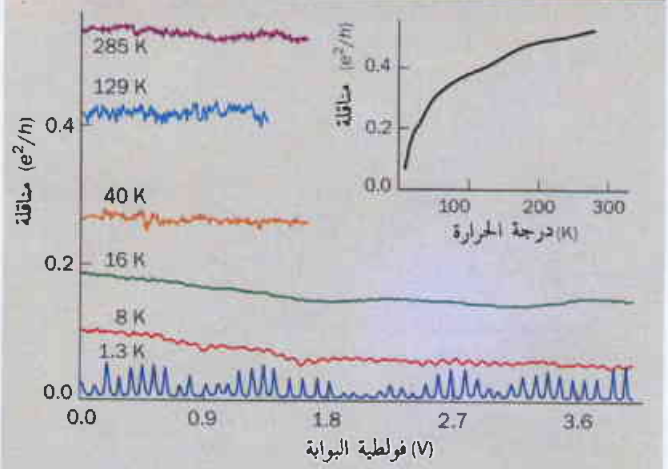
يأتي الدليل الآخر على الطبيعة القريبة من الكمال لهذه الأنابيب من الطريقة التي تسلكها في الدرجات المنخفضة من الحرارة. يُلاحظ أن المناقلة تهتز كتابع لفولطية البوابة (الشكل 4). تحدث هذه "الاهتزازات الكولونية" في كل مرة يُضاف فيها إلكترون إلى الأنبوب النانوي. وفي الخلاصة، يعمل الأنبوب كصندوق طويل للإلكترونات يطلق عليه غالباً اسم "نقطة كمومية". تكشف الخواص الكهربائية والمغنطيسية لهذه النقاط من الأنابيب النانوية الكمومية شيئاً كثيراً حول سلوك الإلكترونات في الأنابيب النانوية. فمثلاً، تشير الاهتزازات المنتظمة تماماً والدورية إلى أن الحالات الإلكترونية ممتدة على طول الأنبوب بكامله. وعلى أية حال، إذا كان هنالك تبعثر ملحوظ في الأنبوب، تصبح الحالات متوضّعة وتصبح الاهتزازات الكولونية أقل انتظاماً. لقد وُجد أن النقاط الكمومية للأنابيب النانوية التي يبلغ طولها 10 µm تبدي هذه الاهتزازات المنتظمة جداً، مشيرة بذلك مرة أخرى إلى أن المسار الحرّ الوسطي يمكن أن يكون طويلاً جداً.

تشير التجارب الموصوفة سابقاً إلى أنه يمكن للإلكترونات أن تسير مسافات طويلة في الأنابيب النانوية بدون أن يصيبها تبعثر راجع. وهذا مخالف تماماً للسلوك الملاحظ في المعادن العادية، كالنحاس، التي تكون أطوال التبعثر فيها من اهتزازات الشبيكة عادة عدة نانومترات في درجة حرارة الغرفة. إن السبب الرئيس لهذا الاختلاف المميز هو أن الإلكترون في منظومة 1-D (مثل الأنبوب النانوي) لا يستطيع أن يتبعثر إلاّ بعكس اتجاهه كلياً، بينما تستطيع الإلكترونات في المواد 2D أو 3D في درجة حرارة الغرفة أن تتبعثر بتغيير الاتجاه بسهولة بزاوية قليلة جداً. إن الفونونات - وهي اهتزازات الشبيكة الطويلة الموجة التي تبعثر الإلكترونات في كل من المواد 2-D و 3-D في درجة حرارة الغرفة - لا تملك اندفاعاً كافياً لعكس اتجاه الإلكترون المسرّع في الأنبوب النانوي 1-D. ولذلك فهي لا تؤثر على مناقلته، على الأقل في الفولطيات المنخفضة.

بيّنت التجارب الحديثة لفريق ديكير في دلفت أن الإلكترونات في الفولطيات العالية (أكبر من 0.15 فولط) تستطيع أن تصدر فونونات عالية الاندفاع قادرة على أن تبعثر الإلكترونات في الأنابيب النانوية 1-D. وهذا ما يؤدي إلى انخفاض مثير في المناقلة عند الفولطيات العالية، جاعلة التيار يتشبّع عند حوالي 25 مكروأمبير من أجل أنبوب نانوي وحيد. ويبقى هذا تياراً جهرياً لافتاً للنظر يجب أن تحمله مثل هذه المنظومة النانوجهرية.

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

الشكل 4– الأنابيب النانوية كمعادن



مناقلة الأنبوب النانوي المعدني في ست درجات حرارة مختلفة كتابع لفولطية البوابة. في الدرجات المنخفضة من الحرارة تهتز المناقلة عند إضافة إلكترونات فردية للأنبوب. وهذا يدل على أن الأنبوب النانوي يعمل كنقطة كمومية طويلة وضيقة، مع حالات إلكترونية تمتد على كامل طول الأنبوب. يتناقص وسطي مناقلة الأنابيب عند تخفيض درجة الحرارة (انظر الشكل الداخلي). الشكل الوظيفي منسجم مع سلوك قانون القوة المتنبأ به من أجل الدخول في النفق إلى سائل لوتينغر.

إن حقيقة كون الأنبوب النانوي المعدني يسلك سلوك ناقل 1-D قريب من الكمال عند الفولطيات المنخفضة تجعله منظومة مثالية لاختبار بعض الأفكار التي تدور حول الإلكترونات في بعد واحد منذ حوالي نصف قرن. وبدءاً من الخمسينيات، أوضحت سلسلة من أبحاث سين – اتيرو تومواناغا S. I. Tomonaga وجواغوين لوتينغر J. Luttinger ولاتر دونكان L. Duncan أن منظومة الإلكترون أحادية البعد يجب أن تسلك سلوكاً مختلفاً تماماً عن نظيرتيها 2-D و 3-D عند أخذ التآثر الكولوني التنافري بين الإلكترونات المتجاورة بعين الاعتبار. وفي الشروط العادية يسلك الناقل المعدني 2-D و 3-D "كسائل فيرمي" حتى عندما تتآثر الإلكترونات مع بعضها بعضاً عبر قوة كولون. تملأ الإلكترونات في مثل هذه المواد حالات الطاقة الدنيا حتى طاقة فيرمي، مولّدة ما يسمى "بحر فيرمي" من الإلكترونات. وغالباً تسلك إثارات الطاقة الدنيا (أو أشباه الجسيمات) لهذه الجملة سلوك الإلكترونات الحرّة تماماً، متحركة بشكل مستقل تماماً إحداها عن الأخرى. وبعبارة أخرى فإن الحالة المثارة تشبه كثيراً جداً إلكتروناً إضافياً وحيداً فوق بحر فيرمي.

ومن جهة أخرى، تكون إثارات الطاقة الدنيا في منظومات 1-D إثارات جماعية للمنظومة الإلكترونية الكلية، فالإلكترونات تتحرك في انسجام وتناغم بدلاً من أن تكون جسيمات مستقلة لسائل فيرمي. ويُطلَق على هذه المنظومة اسم "سائل تومواناغا – لوتينغر" (أو بشكل أسهل "سائل لوتينغر") لتأكيد اختلافها عن السلوك المعياري لسائل فيرمي للمعادن 2D و 3D.

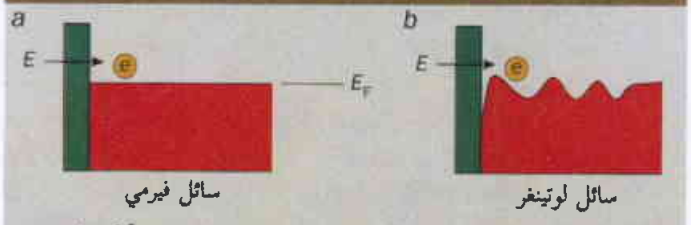
إحدى الطرق لاختبار هذا التنبؤ هو رؤية فيما إذا كان الإلكترون يستطيع أن يعبر النفق إلى المنظومة من العالم الخارجي – من تماس معدني على سبيل المثال. فإذا كانت الإثارات المنخفضة الطاقة أشباه جسيمات بسيطة، فسوف لن يجد الإلكترون صعوبة في دخول النفق إلى داخل المنظومة (الشكل 5a). ومن غير المتوقّع أن تتغير المناقلة النفقية مع درجة الحرارة أو بفولطية الانحياز. ومن ناحية ثانية، إذا كانت الإثارات المنخفضة الطاقة جماعية بطبيعتها، فإن الإلكترونات الأخرى في الأنبوب ستتحرك بتناغم مع الإلكترون النفقي، من أجل إفساح المجال أمامه. وواقعياً، يجب على الإلكترون عندما يقفز إلى داخل سائل لوتينغر أن يُحدث "رشة" (الشكل 5b). وإذا كانت الطاقة E للإلكترون النفقي أعلى بكثير من طاقة فيرمي E_F، فإن هذه الرشة ليست مشكلة. على أية حال، عندما يدخل الإلكترون النفق مع زيادة في الطاقة أقل فأقل، فإنه يملك طاقة أقل فأقل ليدفع الإلكترونات الباقية من طريقه إلى الخارج.

تبيّن الحسابات أن لسائل لوتينغر مناقلة نفقية تتناقص متناسبة مع $(E-E_F)^\alpha$، حيث α قوة خاصة. تعتمد قيمة α على شدة تآثر كولون بين الإلكترونات، وتعتمد أيضاً على ما إذا كان الإلكترون سيدخل النفق إلى منتصف الأنبوب أو إلى نهايته أو بين نهايتي أنبوبين. يستطيع النظريون تقدير هذه القوى بشكل دقيق بكل معنى الكلمة من أجل الأنابيب النانوية، مما يؤدي إلى تنبؤات محدّدة يمكن للتجريبيين أن يختبروها.

اختبر فريق المؤلف في بيركلي هذه التنبؤات بقياس المناقلة النفقية داخل أنبوب نانوي من إلكترود معدني كتابع لدرجة الحرارة والانحياز. في هذه الحالة، عملت التماسات الضعيفة لمصلحتنا، إذ خدمت كحواجز نفقية بين الأنبوب والإلكترود. يتناقص وسطي المناقلة ببطء كتابع لدرجة الحرارة (الشكل 4). وصِفت العلاقة بقانون القوة الذي يتفق تماماً مع النظرية. قاس الفريق أيضاً قدرات الإلكترونات كي تعبر نفقياً إلى وسط ونهايات الأنبوب، في حين قام فريق دلفت بالعمل نفسه للإلكترونات التي تعبر النفق من نهاية أحد الأنابيب النانوية إلى نهاية الأنبوب الآخر. وقد اتفقت جميع هذه النتائج بشكل جيد مع التنبؤات النظرية.

تثبت هذه التجارب بوضوح أن تآثر المعادن 1-D تعمل بشكل مخالف جداً للمعادن 2-D و 3-D. وربما لا يكون هذا مدهشاً إلى حد كبير – وإذا استعملنا تشبيهاً مرورياً نقول بأن تآثرات سيارة – سيارة أكثر أهمية بكثير في أحد مسارات الطريق العام السريع منها فيما إذا كانتا في موقف للسيارات 2-D، حيث تستطيع السيارة أن تتحرك بصورة مستقلة تقريباً عن السيارات الأخرى. إن ما يثير الدهشة، على أية حال، هو كم

الشكل 5– الإلكترونات في بعد واحد



(a)- دخول إلكترون في النفق من إلكترود معدني إلى سائل فيرمي مخلّفاً الإلكترونات الأخرى في بحر فيرمي غير موزعة نسبياً. (b)- على أية حال، يجد الإلكترون سهولة أقل للدخول في النفق إلى سائل لوتينغر، لأن الإثارات الجماعية في سائل الإلكترون يجب أن تكون مثارة. تبيّن الحسابات أن لسائل لوتينغر مناقلة نفقية تتناقص متناسبة مع $(E-E_F)^\alpha$ حيث تدل E على طاقة الإلكترون وتدل E_F على طاقة فيرمي وتدل α على القوة. تقدم الطاقة الإضافية للجسيم الداخل إلى النفق بواسطة درجة الحرارة أو الفولطية.

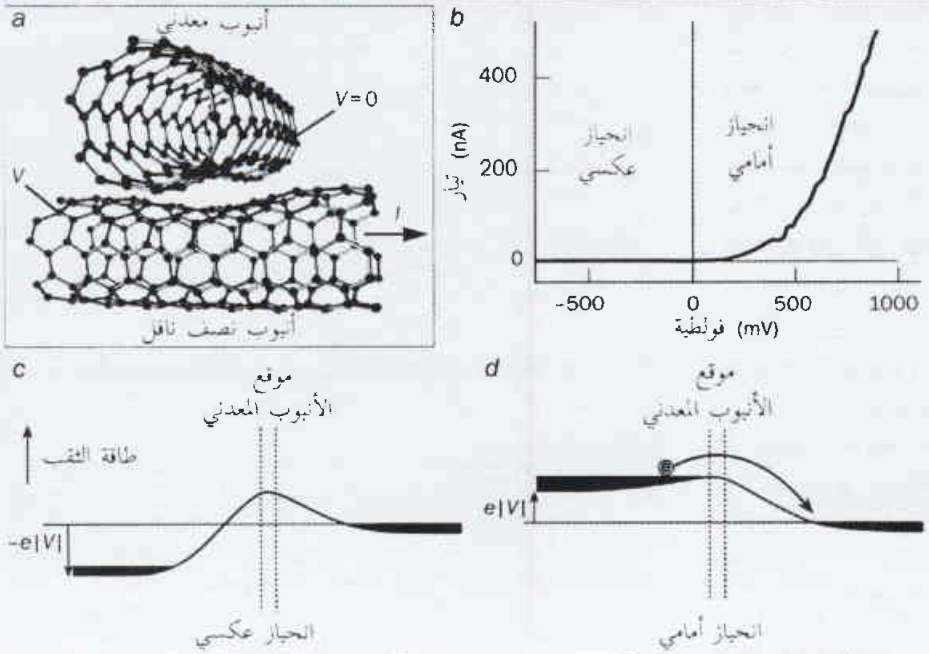
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

سيطول الوقت قبل اختبار هذه التنبؤات بالتفصيل. وبينما يثبت القياسات السابقة للمنظومات الأخرى سلوك لوتينغر، فإن الأنابيب النانوية ربما قدّمت الإدراك الأوضح والأكثر مباشرة لفيزياء سائل لوتينغر حتى الآن.

نبائط وهندسات رياضياتية جديدة

بينما تثبت التجارب التي مرت سابقاً أن كثيراً من الخواص الأساسية لأنابيب الكربون النانوية الأحادية الجدار قد فُهمت، فهنالك غالباً عدد غير محدود من الهندسات الرياضياتية الجديدة والعناوين تنتظر استكشافها وهنالك الحاجة إلى إبداع كل أساليب بناها الجديدة. الحقيقة أن الباحثين يطوّرون عدداً كبيراً من التقنيات الجديدة التي تجمع بشكل مبدع الطباعة الحجرية والكيمياء والتداول على النطاق النانوي، مثل إنماء الأنابيب على بنى مصنّعة مسبقاً، أو دفعها هنا وهناك بواسطة رؤوس مجاهر القوة الذرّية. إنه لشيء لافت للنظر تماماً كم تطور هذا الحقل من المعرفة منذ القياسات الأولى التي جرت عام 1997، وكيف أن هذا التقدم لا يبدو عليه أية إشارة تباطؤ.

الشكل 6- الأنابيب النانوية كمقوّمات



(a)- يولد أنبوب نانوي معدني عابر فوق أنبوب نانوي نصف ناقل "مقوّماً". (b)- بعبارة أخرى، تولد الفولطية الموجبة تياراً يجري في اتجاه واحد، في حين توقف الفولطية السالبة جريان التيار تماماً. يُنصب الأنبوب المعدني الإلكترونات الموجودة في الأنبوب نصف الناقل الواقع تحته موضعياً، مولداً حاجزاً، يُثبت ارتفاعه بالكمون المطبق على الأنبوب المعدني. (c)- تعطي الفولطيةُ الموجبة المطبقة على الأنبوب نصف الناقل الثقوبَ الطاقةَ الضرورية لاجتياز الحاجز الكمومي، في حين لا يتم ذلك مع الانحياز السالب (كما في d).

وكمثال، يمكن صنع نبائط جديدة بتقاطع أنبوبين نانويين، تماماً كعبور أنبوب معدني فوق أنبوب نصف ناقل (الشكل 6). يستنفد الأنبوب المعدني موضعياً الثقوب في الأنبوب نصف الناقل من النوع p- الواقع تحته، وهذا يعني أن الإلكترون العابر للأنبوب نصف الناقل يجب أن يجتاز الحاجز المتولد من هذا الأنبوب المعدني. ويقود انحياز أحد نهايات الأنبوب نصف الناقل بالنسبة للأنبوب المعدني إلى سلوك مقوّم. وبعبارة أخرى، يجري اجتياز الحاجز في اتجاه انحياز واحد وليس في الاتجاه الآخر. وهذه البنية هي مجرد واحدة من عدة إمكانيات لنبائط الأنبوب النانوي التي تنتظر الاستكشاف.

في أثناء ذلك، صنع فايدون أفوريس Ph. Avouris ومعاونوه، في مركز بحوث واطسون TJ التابع لشركة IBM في نيويورك "وشائع أنابيب نانوية" حيث تلتف عُرى الأنبوب الوحيد راجعة على نفسها مشكلة بنية شبيهة بالحلقة. من الممكن استعمال مثل هذه الوشائع كلوالب صغيرة جداً لتوليد حقول مغنطيسية، أو لدراسة ظاهرة التداخل الكمومي. قامت عدة أفرقة أيضاً بوصل تماسات النواقل الفائقة مع الأنابيب النانوية لدراسة سلوك النواقل الفائقة المرتبطة بناقل 1-D.

تقدم الأنابيب النانوية أيضاً وعوداً جادة في العمل كعناصر فعّالة في منظومات إلكتروميكانيكية نانوية. فصفاتها الميكانيكية والإلكترونية المتميزة تجعلها مرشحاً ممتازاً للتطبيقات، مثل الهزازات العالية التواتر والمرشحات.

لقد صنّع كثير من الأفرقة نبائط أُزيحت منها الركازة التي تحت الأنبوب النانوي، تاركة هذا الأنبوب معلقاً في الفراغ بين التماسين. وبهذا يكون الأنبوب حرّ الاهتزاز مثل وتر الغيتار. وبدأ الباحثون في التحري عن التأثرات بين درجات الحرية الميكانيكية والإلكترونية (انظر مقال داي في الصفحة (21) من هذا العدد).

المستقبل رهن بالأنابيب

لقد اجتازت الأنابيب النانوية الأحادية طريقاً طويلاً، ولكن المدى الذي ستبلغه سيظلّ تخميناً. ستبقى الأنابيب جزءاً من المشهد العلمي لسنوات، حتى تصبح منظومة نمطية من أجل الدراسات الفيزيائية على المستوى النانوي.

هنالك تطبيقات تجارية عديدة جرى اقتراحها، بدءاً من الإلكترونيات الجزيئية وحتى الاستشعار. ولكن ما سيتمخض عن ذلك من الصعب تقديره (انظر مقال هير ومارتل في الصفحة (27) من هذا العدد)، وإذا نجحت هذه التطبيقات الميدانية للأنابيب النانوية، فعلينا إيجاد طرائق ناجحة لمكاملتها مع منتجات الإلكترونيات المكروية وتقنياتها. ولكن إذا عملنا على تطوير التقانة لصنع أنابيب نانوية من نوع معين، كنمط متحكم في طوله وقطره – ودمج الأنابيب في دارات الطباعة الحجرية في أماكن محددة وبكفايات تقترب من 100 % - فلا يحدها عندئذ غير السماء.

وبينما يكون هذا هدفاً تنافسياً، يظهر أنه لا توجد حواجز أساسية للوصول إليه. وربما يكون الزواج بين الفيزياء والكيمياء والهندسة الكهربائية هو العمل المطلوب. ويمكن أن تسير الإلكترونيات في طريق البيولوجيا وتستخدم الكربون كعمودها الفقري.■

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

أنابيب الكربون النانويّة المتعددة الجدران*

كريستيان شونبيرغر
معهد الفيزياء - جامعة بازل - سويسرا
لاتزلو فوزو
معهد الهندسة اللدرّية - المدرسة العليا الفيدرالية - لوزان

ملخص

تبرهن الخواص الميكانيكية والإلكترونية الفريدة للأنابيب النانويّة المتعددة الجدران على أنها مصدر خصب لفيزياء جديدة ويمكن أن تؤدي إلى تطبيقات جديدة في المواد والنبائط.

الكلمات المفتاحية: أنابيب نانويّة أحادية الجدار، أنابيب نانويّة متعددة الجدران، غرافيت، إصدار الحقل، تطبيقات.

استخدم سوميو إجيما S. Iijima عام 1991 المجهر الإلكتروني النافذ العالي الفصل لدراسة الشخام المتولّد من الانفراغ الكهربائي بين إلكترودين من الكربون في مختبر البحوث الأساسي NEC في تسوكوبا في اليابان. ووجد أن الشخام يحوي بُنىً مؤلفة من عدة أنابيب متمركزة من الكربون متداخلة بعضها في بعض كالدمى الروسية.

وبعد عام، طوّر توماس أيبسين T. Ebbesen وبوليكل آجايان P. Ajayan، اللذان يعملان أيضاً في NEC في تسوكوبا، طريقة عالية الكفاءة لصنع كميات كبيرة من هذه الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران. ومن ثَمّ، وفي عام 1993 اكتشف فريق إجيما في NEC وفريق دونالد بيثون D. Bethune في مركز بحوث ألمادن التابع لـ IBM في كاليفورنيا، كل على حدة، الأنابيب النانويّة الوحيدة الجدار. وفي حين يبلغ مقطع الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران عشرات من النانومتر، فإن القطر النموذجي للأنبوب النانوي الوحيد الجدار يبلغ حوالي نانومتر واحد أو اثنين. لقد شهد العقد الماضي كمّاً هائلاً من البحوث في كلا نوعي هذه الأنابيب.

يمكن إنماء الأنابيب النانويّة حالياً بواسطة التفكك الحفزي للغاز المتفاعل الحاوي على الكربون، مع الحديد المستعمل في أغلب الأحيان كحفّاز (انظر مقال داي في الصفحة (21) من هذا العدد). وتتميز هذه العملية بميزتين. أولاهما أنه يمكن الحصول على الأنابيب النانويّة بدرجات حرارة أخفض بكثير، رغم أن ذلك يتم على حساب النوعية الأقل جودة (الشكل 1a). وثانيهما أنه من الممكن إنماء الأنابيب على ركازة مما يسمح بالحصول على بُنى جديدة مثل "المِشفرات النانويّة" (الشكل 1b). ويمكن حالياً إنماء الأنابيب النانويّة بطول يتجاوز 100 مكرون وبأشكال مختلفة مثل "النوابض النانويّة" (الشكل 1c).

يمكن اعتبار الأنبوب النانوي كصفيحة من الغرافيت جرى لَفّها على شكل أنبوب. تتوقف الخواص الإلكترونية للأنبوب النانوي على الاتجاه الذي لُفّ به الأنبوب. فبعضها معادن ذات ناقلية عالية، في حين أن البعض الآخر أنصاف نواقل ذات فرجات عصابة كبيرة نسبياً. كما أن للأنابيب النانويّة أيضاً ميزات ميكانيكية هامة، إذ يمكن استغلالها في تقوية المعادن أو "كرؤوس" في مجاهر السبر الماسحة. ولما كانت مكوّنة بمجملها من الكربون، فلها أيضاً وزن نوعي منخفض.

الخواص الميكانيكية

في صفيحة من الغرافيت ترتبط كل ذرة كربون ارتباطاً وثيقاً مع ثلاث ذرات أخرى، مما يجعل الغرافيت قوياً جداً في اتجاهات معينة. ومن ناحية ثانية، تكون الصفائح المتجاورة مرتبطة بشكل ضعيف بقوى فان درفالس V. der Waals، ولهذا نجد من السهل تقشيرها - كما يحصل عند الكتابة بقلم رصاص. وكما سنرى، ليس من السهل جداً تقشير طبقة الكربون من أنابيب الكربون النانويّة المتعددة الجدران. لقد استعملت ألياف الكربون سابقاً لتقوية مجموعة واسعة من المواد، وتعني الخواص غير الاعتيادية لأنابيب الكربون النانويّة أنها يمكن أن تكون ليفاً عالي القوة حتى الحد الأقصى.

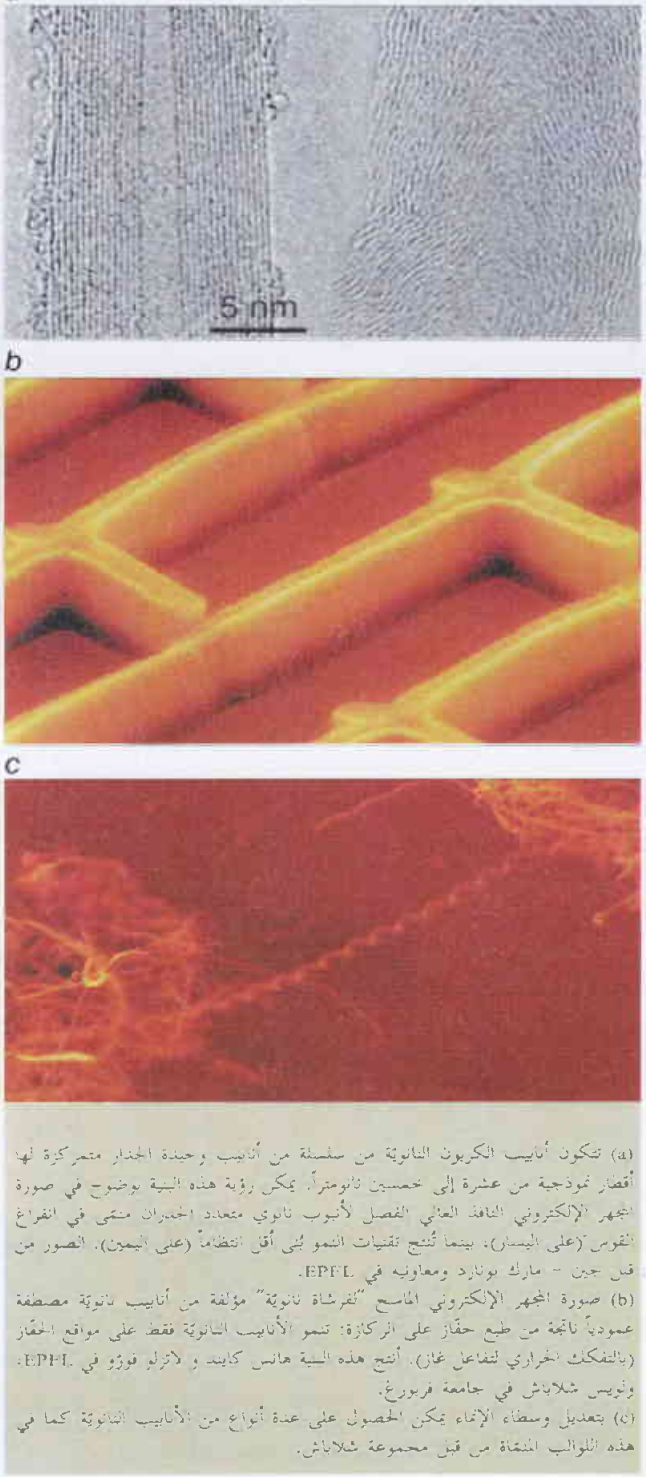
في عام 1996 قاس ميشيل تريسي M. Treacy و إيسين من مختبرات NEC في برنستون، وموري جيبسون M. Gibson من جامعة إلينوى في اوربانا، مُعامِل يونغ لأنابيب الكربون النانويّة. ومعامل يونغ للمادة هو قياس متانة مرونتها. رتب تريسي ومعاونوه أنابيب الكربون النانويّة بصورة عمودية على سطح حيث كانت الأنابيب مثبتة من قاعدتها وطليقة الحركة من أعلاها، واستخدموا المجهر الإلكتروني الماسح (TEM) لقياس الاهتزازات الحرارية للنهايات الطليقة. أظهرت سعة الاهتزاز ارتفاعاً عالياً بصورة استثنائية لمعامل يونغ المرن بقيمة تبلغ حوالي 10^{12} نيوتن بالمتر المربع (أو تيرا باسكال واحد)، وهي قيمة تعادل حوالي خمسة أضعاف ما للفولاذ.

من المعروف حالياً أن معامل يونغ يجب أن يقترب من القيمة 1.25 تيرا باسكال. وهذا الشيء صحيح لكل من الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران والأحادية الجدار لأن تعيين المعامل يتم بصورة رئيسة من الروابط كربون - كربون الموجودة ضمن الطبقات الفردية. لقد جرى التأكد من

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

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

الشكل 1– بُنى الأنابيب النانويّة



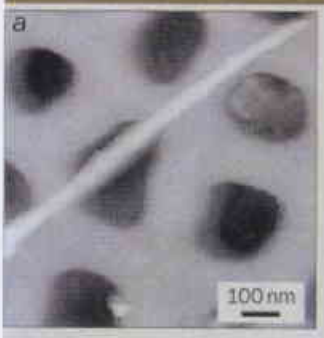
(a) تتكون أنابيب الكربون النانويّة من سلسلة من أنابيب وحيدة الجدار متمركزة لها أقطار نموذجية من عشرة إلى خمسين نانومتراً. يمكن رؤية هذه البنية بوضوح في صورة المجهر الإلكتروني النافذ العالي الفصل لأنبوب نانوي متعدد الجدران منحنٍ في انفراغ القوس (على اليسار). بينما تُنتج تقنيات النمو بُنى أقل انتظاماً (على اليمين). الصور من قبل جين – مارك بونارد ومعاونيه في EPFL.

(b) صورة المجهر الإلكتروني الماسح "لفرشاة نانويّة" مؤلفة من أنابيب نانويّة مصطفة عمودياً ناتجة من طبع حفّاز على الركازة: تنمو الأنابيب النانويّة فقط على مواقع الحفّاز (بالتفكك الحراري لتفاعل غاز). أنتج هذه البنية هانس كايبد و لاتزلو فوزو في EPFL، وتويس شلاباش في جامعة فريبورغ.

(c) بتعديل وسطاء الإنماء يمكن الحصول على عدة أنواع من الأنابيب النانويّة كما في هذه اللوالب المنمّاة من قبل مجموعة شلاباش.

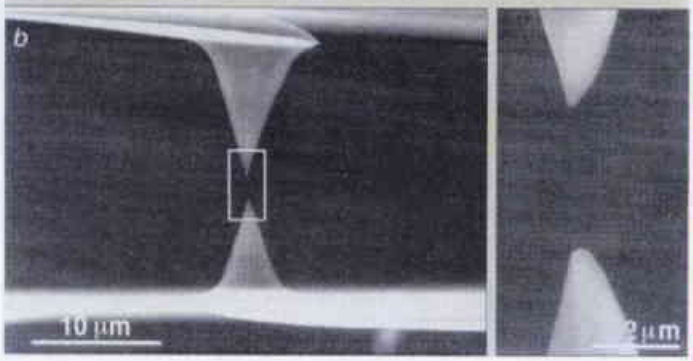
هذه القيمة حديثاً من قِبَل شارل ليبر C. Lieber ومعاونيه من جامعة هارفارد الذين استخدموا مجهر القوة الماسح (SFM) لحني الأنابيب النانويّة المثبتة ميكانيكياً من إحدى نهايتيها. يستطيع مجهر القوة الماسح تصوير وتناول وقياس القوة اللازمة لحني الأنابيب.

الشكل 2– انحناء ومطّ الأنابيب النانويّة



(a) صورة مجهر القوة الذريّة (AFM) لأنبوب نانوي متعدد الجدران عبر السّم. يمكن استخدام AFM أيضاً لتطبيق قوة على الأنبوب النانوي وقياس مدى انحنائه، مما يسمح لقياس مُعامِل يونغ.

(b) صور المجهر الإلكتروني الماسح لأنبوب نانوي متعدد الجدران محمول بين رأسي AFM. وعندما يُبعد الرأسان أحدهما عن الآخر، تتمزق الطبقة السطحية الأبعد للأنبوب النانوي.



يمكن قياس جسوء الحني أيضاً بوضع الأنابيب النانويّة عبر المسام النانويّة "nanopores" واستعمال مجهر القوة الذرّية لحنيها في الوسط – التقنية التي طوّرها جان بول سالفيتات J.P. Salvetat ومعاونوه من المدرسة الفدرالية المتعددة التقنية في لوزان (EPFL) في سويسرا. بدأ سالفيتات ومعاونوه بترسيب الأنابيب النانويّة من السائل فوق غشاء من الألومينا الجيد التلميع الحاوي على مسام مقطعها حوالي 200 نانومتر (الشكل 2a). تجسّد الأنبوب النانوي أحياناً أحد المسام وعندها استخدم المجهر في قياس كيفية تغيير الانحراف، الذي يتناسب عكساً مع معامل يونغ، مع القوة المطبّقة.

وجد سالفيتات ومعاونوه أن الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران والمنمّاة بانفراغ القوس الكهربائي يكون معاملها حوالي واحد تيرا باسكال، بينما يكون مُعامِل الأنابيب المنمّاة بالتحلّل الحفزي للهدروكربونات أقل بمقدار مرتبة أو مرتبتين في القيمة. تثبت هذه النتائج أن الأنابيب النانويّة الجيدة الغَرْفتة well-graphitized والعالية الترتيب فقط هي التي يمكن مقارنة جسوئها مع الغرافيت، بينما تحوي الأنابيب المنمّاة بالتحلل الحفزي كثيراً من العيوب (نعني بالغَرْفتة الجيدة أن روابط الكربون – كربون ضمن كل طبقة قوية جداً، بينما تكون التآثرات بين الطبقات ضعيفة). تكشف صور TEM في الحقيقة أن صفائح الكربون ليست مستمرة لمحور الأنبوب أو موازية له.

تابع ليبر ومعاونوه استكشاف قوى وتشوهات أكبر وقارنوا أنابيب الكربون النانويّة مع قضبان نانوية من كربيد السليكون وهي مادة قوية أخرى. لقد كان ما وجدوه مدهشاً: فيما تكسرت القضبان النانويّة من كربيد السليكون في آخر الأمر، انحنت أنابيب الكربون النانويّة متعددة الجدران ولكنها لم تنكسر. ومنذ ذلك الحين جرى التأكد من هذا السلوك

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

بتجارب عديدة حيث كانت الأنابيب النانوية إما أن تنحني أو تنضغط عبر طولها.

أول من حسب ماذا يحصل لقضيب عندما يتعرض للانضغاط عبر طوله (وهذا ما يدعى بالانضغاط المحوري) هو أويلر Euler. في البداية يبقى القضيب مستقيماً بازدياد الانضغاط، قبل أن ينقلب إلى شكل منحنٍ عند حد أويلر. إذا مورست هذه التجربة على قشة شرب بحمولة ثابتة، فإن القشة ستنعقف فجأة، وتبقى كذلك إذا أُزيحت الحمولة. وبعبارة أخرى، الانعقافات هي بالأحرى تشوهات لدنة وليست مرنة.

أنابيب الكربون النانوية شيء مختلف، أولاً تنحني بزاويا كبيرة تثير الدهشة قبل أن تبدأ بالتجعّد والتحدّب، ثم بعدئذ تنعقف في النهاية. الشيء المدهش في أنابيب الكربون النانوية أن هذه التشوهات مرنة، وتختفي جميعها تماماً عندما تزاح الحمولة.

ولرؤية كيف يمكن أن تكون هذه الخواص مفيدة، تصور أنك تملك سيارة BMW مصنوعة من أنابيب الكربون النانوية، ولسوء الحظ اصطدمت بجدار. فنظراً لكبر قوة الصدم، ستنحني الأنابيب النانوية ثم تتحدب عاصرةً إياها إلى شيء يشبه سيارة الفولكس فاكن الخنفساء. وهذا سيحصل عبر مسافة طويلة نسبياً مما يُحدث "منطقة سحق" فعّالة. وعلاوة على ذلك، تنفرد الانحناءات والتحدبات جميعها بعد الصدم وتعود سيارة الـ BMW إلى سابق عهدها وكأن شيئاً لم يحدث. وللسلامة الكلية؛ على أي حال، يجب جمع الأنابيب النانوية مع مواد ماصّة للطاقة وإلاّ فإن الصدم بين السيارة والحائط سيكون مرناً بالكامل مما يجعلها ترتدّ عن الحائط بالسرعة نفسها التي ضربته بها.

ويمكن أن تتضمن التطبيقات المستقبلية، ولكن بصورة أقل، سترة ضد القذائف خفيفة الوزن وأبنية مضادة للزلازل، بينما نجد رؤوس الأنابيب النانوية المستخدمة في مجاهر السبر الماسحة قد دخلت السوق التجاري مسبقاً.

ظهرت حديثاً رؤى أخرى في الخواص الميكانيكية أكثر عمقاً للأنابيب النانوية المتعددة الجدران عندما وصل رودني روف R. Ruoff من جامعة واشنطن في سانت لويس ومعاونوه نهايتي أنبوب نانوي متعدد الجدران إلى رأسين AFM ومطّوه حتى انكسر (الشكل 2b). وجدوا أن قوة الشد كانت على الأقل بمرتبة واحدة أقل من المتوقع إذا كان الإجهاد موزعاً بانتظام على جميع طبقات الأنبوب النانوي. كان على الطبقة الخارجية أن تأخذ معظم الإجهاد لأن الرؤوس لاتمس إلاّ السطح الخارجي للأنبوب النانوي فقط. وجد روف ومعاونوه أن الأنبوب الأكثر بعداً يتمزق عند حد الشد، وهذا مايتبعه استطالة فجائية. وقد استنتجوا من صور TEM أن الأنبوب الخارجي الممزق ينزلق فوق الأنابيب الداخلية.

إن المتانة العالية لأنابيب الكربون النانوية جعلتها مرشّحة في تطبيقات التقوية مع أن هنالك كثيراً من المشاكل الهامة التي يجب حلّها، أولها أن خواص الأنابيب المفردة يجب أن تكون مثلى. وثانيها يجب أن تكون الأنابيب مرتبطة بكفاءة إلى المادة التي تقوم بتقويتها (الحامل) حتى يصبح بإمكانها حقاً أن تتحمل العبء. وثالثها أن تكون الحمولة موزّعة داخل الأنبوب النانوي نفسه للتأكد من أن الطبقة الخارجية لاتقصّ (انظر مقال هير ومارتل في الصفحة (27) من هذا العدد).

الخواص الإلكترونية

أنابيب الكربون النانوية أسلاك جزيئية ضخمة تستطيع الإلكترونات أن تنتشر فيها بحرية، تماماً كما يحصل في المعدن العادي. وهذا يخالف بشدة البوليميرات الناقلة التقليدية حيث تكون الإلكترونات فيها متوضعة. الحقيقة أن هذه الجزئيات تكون عوازل وتصبح ناقلة فقط إذا ما جرى تطعيمها بصورة كثيفة. ومن ناحية أخرى، يستطيع الغرافيت نقل الكهرباء لأن أحد إلكترونات التكافؤ الأربعة المرتبط مع كل ذرة كربون يكون غير متوضع ولهذا يستطيع أن يكون مشتركاً بين ذرات الكربون الأربع.

على كل حال، المسألة هي أن صفيحة الغرافيت المفردة (والمسماة أيضاً بالغرافين) هجين إلكتروني: فهي -وإن لم تكن عازلة- ليست نصف ناقلة أو معدن. والغرافين نصف معدن أو نصف ناقل "صفر-الفرجة" (انظر مقال بول مكوين في الصفحة (9) من هذا العدد).

تعني هذه الميزة أن حالات الغرافين الإلكترونية حساسة جداً بالنسبة للشروط الحدودية المضافة، كتلك التي تُفرض بلفّ الغرافين على شكل أنبوب. يمكننا تبيان أن موجة الإلكترون المستقرة يمكن أن تتطور فقط إذا كان محيط دائرة الأنبوب النانوي مضاعفَ طول موجة الإلكترون. يعني الشرط الحدودي هذا أن الأنبوب النانوي إما أن يكون معدناً أو نصف ناقل. وهذه حقيقة جرى إثباتها في تجارب الأنابيب النانوية الوحيدة الجدار.

يتوقع المرء أن يجد سلوكاً أكثر تعقيداً في الأنابيب النانوية المتعددة الجدران نظراً للتآثرات بين الطبقات المتجاورة، وهذا موضوع الأبحاث الجارية. وزيادة على ذلك، فإن جمع أنابيب نانوية مختلفة وإضافة إلكترودات بوابة إليها يؤديان إلى وجود إمكانية لتصنيع أنواع واسعة من النبائط الإلكترونية، تمتد من الأسلاك الكمومية إلى ترانزستورات أثر الحقل.

إنه لشيء أساسي أن يكون الأنبوب النانوي الكامل ناقلاً قذفياً. وبكلمة أخرى إن كل إلكترون يُحقن في إحدى نهايتي الأنبوب النانوي يجب أن يخرج من النهاية الأخرى. وبالرغم من أن الناقل القذفي يملك بعض المقاومة، فإن هذه المقاومة مستقلة عن طوله، وهذا يعني أن قانون أوم لايطبق في هذه الحالة. الحقيقة أن الناقل الفائق، الذي ليس له مقاومة كهربائية البتة، هو أحسن النواقل.

يشبه أنبوب الكربون النانوي الخالي من العيوب ليفاً ضوئياً. تسمى الألياف الكبيرة القلب الألياف المتعددة الأنماط لأنها تسمح بانتشار عدة أطوال موجات (أو أنماط ذاتية) تنتشر عادةً بسرعات مختلفة عبر الليف. ومن أجل نقل المعطيات، تفضل الألياف المسماة بالألياف أحادية النمط لأنها تسمح بسرعات أعلى للمعطيات. غالباً ما يكون الأنبوب النانوي الأحادي الجدار ليفاً وحيد النمط من أجل الإلكترونات. وتتنبأ النظرية بوجود نمطين ذاتيين منتشرين لأنبوب نانوي أحادي الجدار، مستقلين عن قطره. ويتوقع أن تكون المناقلة الكهربائية عندئذ (وهي مقلوب المقاومة) ضعف الكم الأساسي للمناقلة $G_0=2e^2/h$ حيث تدل e على شحنة الإلكترون وتدل h على ثابت بلانك. وهذا يعني أن من المتنبأ به هو أن الأنابيب النانوية تملك مقاومة دنيا حوالي 6.5kΩ بغض النظر عن طولها.

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

يُتنبأ أيضاً بأن النواقل الأحادية البعد تملك خواص إلكترونية غير عادية لايمكن تفسيرها بنظرية سائل فيرمي – النظرية التي تستطيع أن تتنبأ بخواص معظم المواد. سنركز هنا على تجربتين حديثتين تتعلقان بالسؤال عمّا إذا كانت الأنابيب النانوية المتعددة الجدران نواقل قذفية أم انتشارية.

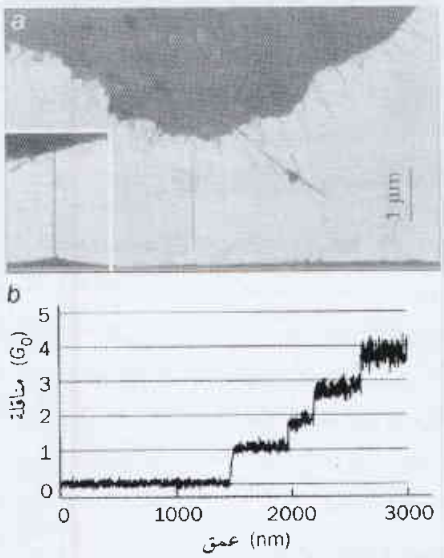
في عام 1998 اخترع والت دي هير W.de Heer وزملاؤه من معهد التقانة في جورجيا في الولايات المتحدة طريقة بارعة لقياس المناقلة الكهربائية للأنابيب النانويّة المتعددة الجدران. لقد أنزل بلطف ليفاً جهرياً من الأنابيب النانوية المتعددة الجدران في قطرة من معدن سائل (الشكل 3). ولما كانت الأنابيب النانويّة المفردة تبرز من الليف، فمن الممكن عند غمس الأنابيب النانويّة إلى أعماق مختلفة، أن نعيّن مقاومة الأنابيب النانويّة المفردة. تسمح هذه التقنية أيضاً بكشف أي تغير في المقاومة مع الطول.

تختلف هذه الطريقة لصنع تماس كهربائي مع الأنابيب النانويّة كثيراً عن التقنيات التي تعتمد على تقانة صنع ما تحت المكرون (الشكل 4). لاتلاحظ المناقلة المكمّاة إلاّ إذا صنعت تماسات مثالية مع الأنبوب النانوي، وهذا من الصعب تحقيقه. (في التماس المثالي لايمكن لأي إلكترون داخل أو خارج من الأنبوب النانوي أن يتبعثر راجعاً نتيجة التماس). وجدت التجارب السابقة مع التماسات المكروصنعية دليلاً قوياً على أن الإلكترونات كانت تتبعثر. ولهذا فقد تبين أن النقل انتشاري أكثر منه قذفي.

على كل حال، وجد دي هير ومعاونوه أن لجميع الأنابيب النانوية المتعددة الجدران تقريباً المناقلة نفسها، $G_0 = 2e^2/h$، وأن اعتماد المقاومة على الطول ضعيف جداً. وبعبارة أخرى، بدت الأنابيب النانوية المتعددة الجدران نواقل قذفية بالرغم من التأثرات المتوقعة بين الطبقات المختلفة (الشكل 3b).

وفوق ذلك، إن التيارات الكهربائية التي تستطيع العبور من خلال الأنبوب النانوي المتعدد الجدران توافق كثافة تيار أكبر من 10^7 A. cm^{-2}. فإذا كانت الأنابيب النانوية مقاومات تقليدية، فإن الاستطاعة المتبددة بتيار كهذا سوف تسخن الأنبوب إلى حد كبير يمكن به أن يتبخر. إن عدم حدوث هذا الأمر يوحي بأن الإلكترونات في الأنابيب النانويّة منفكّة بقوة

الشكل 3– المناقلة المكمّاة



(a) صورة المجهر الإلكتروني النافذ لليف جهري من الأنابيب النانويّة استخدمها والت دي هير ومعاونوه في معهد جورجيا للتقانة لقياس مناقلة الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران المفردة. وإذا ما أُنزل الليف في داخل سائل الزئبق يتم التماس بصورة مبدئية مع أحد الأنابيب النانويّة فقط التي تبرز من الباقة (الشكل الداخلي).

(b) يبين الخط البياني للمناقلة مع العمق بوضوح أن المناقلة تتزايد مع وحدات كمّ المناقلة، $G_0 = 2e^2/h$، عندما يزداد عدد الأنابيب النانويّة المفردة التي تقوم بتماس مع الزئبق. يبرهن ذلك على أن الأنابيب النانويّة عبارة عن دلائل موجة مثالية من أجل الإلكترونات.

الشكل 4– عند التماس مع الأنابيب النانوية

صورة مجهر إلكتروني ماسح لأنبوب نانوي متعدد الجدران واقع عبر أربعة إلكترودات من الذهب مصنعة بآخر ما توصل إليه العلم من الطباعة الحجرية بالحزمة إلكترونية قبل توضع الأنبوب النانوي.

عن الشبيكة. فالإلكترونات "الساخنة" مزاحة بكفاءة بواسطة تماس السائل – معدن أكثر منها متحولة إلى اهتزازات الشبيكة.

ولما كانت الأنابيب المتعددة الجدران مؤلفة من عدة أنابيب نانويّة أحادية الجدار متمركزة، فإن المرءلا يتوقع بأن تسلك سلوك نواقل وحيدة البعد. فإن تأثرت طبقات الكربون المتجاورة كما هو الحال في الغرافيت، فلن تكون الإلكترونات محصورة بطبقة واحدة. على كل حال، تقترح النتائج المستقاة من دي هير ومعاونيه أن التيار يجري، بصورة رئيسة، خلال الطبقة الأبعد. وقد أكدت كذلك تجارب مؤلفي المقال التي أجروها في بازل و EPFL. يبدو لذلك أن الطبقات الداخلية تؤمّن فقط الدعم الميكانيكي، رغم أن من الممكن أن يتغير ذلك إذا ما عملنا تماساً كهربائياً بين جميع الطبقات. على كل حال، يبقى السؤال عمّا إذا كان النقل الإلكتروني قذفياً أو انتشارياً بدون جواب.

الأنابيب النانويّة والحقول المغنطيسية

استخدمت الأنابيب النانويّة للمساعدة في إثبات أثر أهارونوف – بوم Aharonov - Bohm، أحد أكثر الظواهر الكمومية الفيزيائية الأساسية. في أثر أهارونوف – بوم تنفصم حزمة الجسيمات الكمومية، مثل الإلكترونات، إلى حزمتين جزئيتين تمران على جانبي منطقة حاوية على حقل مغنطيسي، ثم تعود هاتان الحزمتان الجزئيتان للاتحاد لتشكلا نموذج تداخل. يمكن تغيير نموذج التداخل بتغيير الحقل المغنطيسي – بالرغم من أن الإلكترونات لاتمس الحقل المغنطيسي (الشكل 5a).

تثبت ملاحظة نموذج التداخل بأن الإلكترون الوحيد لايختار مساراً خاصاً ولكنه يسلك سلوك موجة ممتدة ويتبع كلا المسارين في الوقت نفسه. ينزاح نموذج التداخل بتغير الحقل المغنطيسي، ويعود إلى النموذج الأصلي عندما يتغير التدفق المغنطيسي بكمّ التدفق المغنطيسي $\phi_0 = h/e$.

إن أثر أهارونوف مفيد بشكل خاص لأنه يعتمد على الكمون الشعاعي الكهرطيسي A الذي يرتبط بالحقل المغنطيسي بالمعادلة $B = \nabla A$ حيث تدل ∇ على المؤثر الشعاعي "دوّار". كان يُعتقد في الأصل أن الكمون الشعاعي A ليس له معنى فيزيائي (تضاف مختلف الكميات إلى A بدون أن يطرأ أي تغيير على المقدار الفيزيائي القابل للرصد B. على

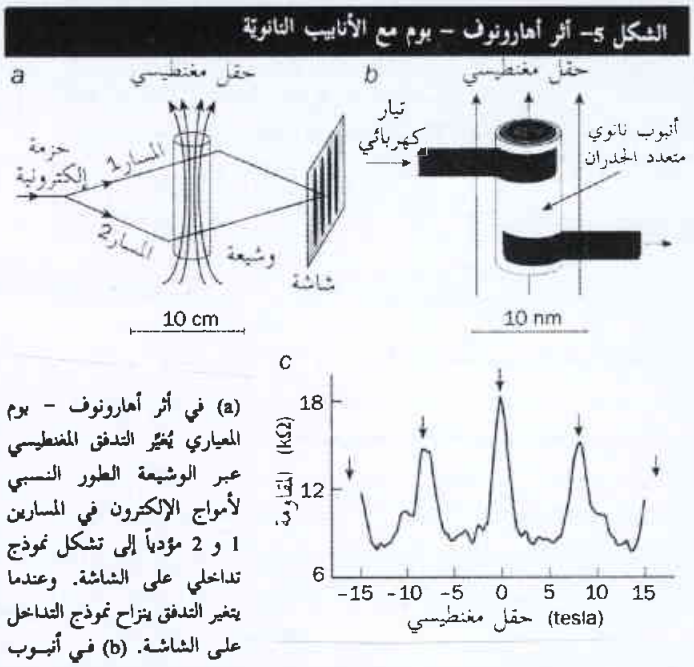
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

كل حال، فإن التنبؤ النظري لأثر أهارونوف - بوم وما تبعه من تأكيد التجارب قد أظهر أن الحالة ليست كذلك.

تصوّر أنبوب كربون نانوياً وقد وضع في حقل مغنطيسي بحيث يكون محوره موازياً للحقل (الشكل 5b). ولما كانت الأنابيب النانويّة نواقل أسطوانية، فإن الإلكترونات تستطيع أن تنتشر في اتجاه عقارب الساعة أو بعكس اتجاه عقارب الساعة. يتداخل هذان "المساران" منتجين تعديلاً دورياً للمقاومة الكهربائية عندما يُغيّر التدفق المغنطيسي خلال الأنبوب. يكون الدور في هذه الحالة $1/2\phi_0 = h/2e$. إن هذا التأثير قوي نسبياً ويمكن ملاحظته حتى وإن كان نقل الإلكترون في الأنبوب النانوي انتشارياً.

إن التعاون الذي جرى في العام الماضي بين فريق المؤلفين في بازل والـ EPFL قد قاس المقاومة الكهربائية للأنابيب النانويّة المتعددة الجدران كتابع لدرجة الحرارة وللتدفق المغنطيسي (الشكل 5c). هنالك قمة مقاومة عند $B = 0$ وقمم أصغر عند $B = \pm 8.5$ T بتوافق جيد مع تنبؤات أثر أهارونوف - بوم.

الشكل 5- أثر أهارونوف - بوم مع الأنابيب النانوية



(a) في أثر أهارونوف - بوم المعياري يُغيّر التدفق المغنطيسي عبر الوشيعة الطور النسبي لأمواج الإلكترون في المسارين 1 و 2 مؤدياً إلى تشكل نموذج تداخلي على الشاشة. وعندما يتغير التدفق يتراح نموذج التداخل على الشاشة. (b) في أنبوب الكربون النانوي، يكون المساران باتجاه عقارب الساعة وبعكس اتجاه عقارب الساعة حول الأنبوب النانوي، ويسفر الانزياح في التداخل عن نفسه كتغير في المقاومة الكهربائية عبر الأنبوب النانوي كتابع للحقل المغنطيسي. (c) يمكن ربط الحقل المغنطيسي عند القمم مع كمّ التدفق المغنطيسي، h/2e، والمقطع العرضي للأنبوب النانوي.

وبالإضافة إلى ذلك، فقد بينت قيمة الحقل المغنطيسي عند القمم أن التيار كان محمولاً بالطبقة الأبعد للأنبوب النانوي. لقد لاحظ المؤلف ومعاونوه أن التدفق المغنطيسي خلال الأنبوب هو بكل بساطة حاصل جداء الحقل المغنطيسي ومساحة المقطع العرضي للأنبوب. وهكذا يرتبط الفصل بين القمم ΔB ونصف قطر الأنبوب النانوي r بالمعادلة البسيطة $\Delta B = h/(2e\pi r^2)$. ونجد من أجل $\Delta B = 8.5$ T أن r تساوي 9 نانومتر، وهذا مايتفق مع القياسات المباشرة لنصف القطر بواسطة مجهر القوة الذرّية. ولما كان للأنبوب النانوي الأحادي الجدار نصف قطر يبلغ بضعة نانومترات، فإن هنالك حاجة إلى حقل مغنطيسي أكبر - وهو أكبر بكثير مما يمكن تحقيقه بالتجربة حالياً - لملاحظة التأثير في هذه المنظومة.

توحي سعة اهتزازات أهارونوف - بوم الملاحظة أن النقل في هذه التجارب ليس قذفياً: إن فرق المقاومة عند القمم والأغوار في الأنبوب النانوي القذفي المثالي يجب أن يكون أكبر. وهذا بسبب أن الطور النسبي لتابع الموجة حول المحيط هو الذي يحدّد فيما إذا كان الأنبوب النانوي معدناً أو نصف ناقل. ولما كان التدفق المغنطيسي يغير الطور، فيجب على الأنبوب النانوي المعدني أن يتطور إلى أنبوب نانوي نصف ناقل وبالعكس مع دور تدفق مقداره h/e (وهو دور يساوي ضعف دور أثر أهارونوف-بوم). ويجب عند درجات منخفضة بكفاية أن تقترب المقاومة من اللانهاية، عندها يصبح نصف الناقل بالفعل عازلاً. على كل حال ، لم يلاحظ هذا الانتقال من المعدن إلى نصف ناقل بعد في التجارب.

تبين هذه التجارب وقياسات أخرى للمقاومة المغنطيسية أن النقل الإلكتروني انتشاري مع طول تبعثر يتراوح بين 3 nm (انتشاري جداً) إلى 100 nm (متوسط بين الانتشاري والقذفي). إن سبب اتساع المجال هذا بين السلوكين مثيراً للدهشة حيث أن حقيقة الانتقال من المعدن إلى نصف الناقل لم تُلاحظ بعد تجريبياً.

وبالرغم من أن أفضل ما يميز النقل في الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران كونه انتشارياً، فقد لوحظت تيارات كهربائية كبيرة (حتى المَلّي أمبير الواحد) مما يثبت أن الإلكترونات تقترن بالشبيكة اقتراناً ضعيفاً فقط، هذا إذا وجد فعلاً. يمكن فهم جميع قياسات المقاومة المغنطيسية هذه على أساس نظرية سائل فيرمي بفرض أن النقل انتشاري في بعدين. على كل حال، كشفت التجارب النفقية الحالية للأنابيب النانويّة المتعددة الجدران، التي أجريت من قبل التعاون بين بازل و EPFL، شذوذات شبيهة بما شُوهِد في الأنابيب النانويّة الأحادية الجدار. ستكون هنالك حاجة لأساليب جديدة تذهب إلى ما بعد نظرية سائل فيرمي لتوضيح هذه النتائج.

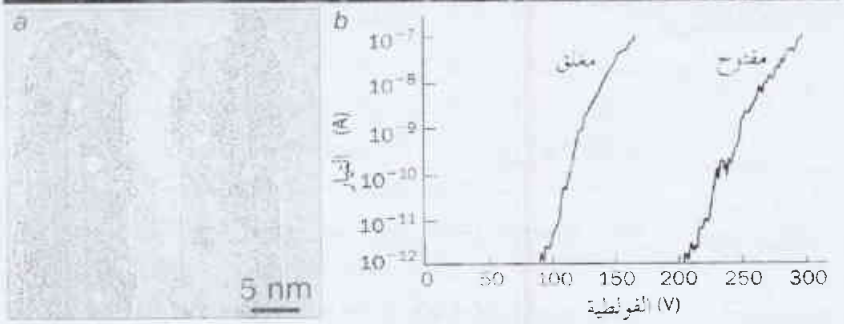
الاختراق الآخر في الخواص الإلكترونية للأنابيب النانويّة كان الإثبات الحديث لـ "النقل السبيني" من قبل كازوهيتو تسوكاجوشي K. Tsukagoshi من مختبر RIKEN في اليابان، وبروس ألفينار B. Alphenaar من هيتاشي في كمبريدج، وهيروكي آغو H. Ago من جامعة كمبريدج. سيكون نقل السبين السمة المفتاحية في نبائط "السبينترونيات spintronic"، التي تستغل السبين بدلاً من شحنة الإلكترونات. وصل تسوكاجوشي وزملاؤه طبقات الكوبالت، وهو معدن مغنطيسي، إلى نهايتين متقابلتين من الأنبوب النانوي، ويبّنوا أن مقاومة هذا الأنبوب تعتمد على التوجه النسبي للمغنطة في طبقتي الكوبالت. ولكي يحدث هذا، يجب الاحتفاظ باتجاه سبينات الإلكترون أثناء تحركها عبر الأنبوب النانوي، وهذه خاصة يمكن أن تثبت أهميتها في السبينترونيات.

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

إصدار الحقل

القطر الصغير لأنابيب الكربون النانويّة مرغوب جداً من أجل إصدار الحقل – وهي العملية التي تصدر فيها النبيطة إلكترونات عندما يطبق عليها حقل كهربائي أو فولطية كهربائية. أول من اقترح استعمال الأنابيب النانويّة كمصدرات حقل هو دي هير de Heer، وأندريه تشاتيلان A. Chatelain ودانييل أورغيت D. Urgate في عام 1995. إصدار الحقل هام جداً في عدة مجالات من الصناعة بما فيها الإضاءة والعارضات، ويمكن للفولطية المنخفضة نسبياً أن تكون ميّزة من أجل إصدار الحقل في الأنابيب النانويّة في كثير من التطبيقات. على كل حال، وكما هو الحال في التقانات الجديدة، هنالك عوائق هائلة يجب اجتيازها وتذليلها (انظر مقال دي هير في الصفحة (27) من هذا العدد).

الشكل 6– إصدار الحقل من الأنابيب النانوية



(a) صور المجهر الإلكتروني النافذ للأنابيب النانويّة المغلقة المتعددة الجدران (إلى اليسار) والمفتوحة الجدران (إلى اليمين) استخدمت في تجارب إصدار الحقل.
(b) مميزات التيار – الفولطية لإصدار الحقل من أنابيب نانويّة مفتوحة ومغلقة.
تستطيع الأنابيب المغلقة أن تنتج تيارات إصدار هامة بفولطيات أخفض بكثير من الأنابيب النانويّة المفتوحة.

سنركّز هنا على قياسات إصدار الحقل من عدة أنواع من الأنابيب النانويّة أجريت من قبل جين – مارك بونارد Bonard ومعاونيه في EPFL. لصنع منبع إصدار الحقل بأنبوب نانوي واحد، تُركّب أنابيب نانويّة متعددة الجدران مفردة على رأس من الذهب. تحفظ الأنابيب النانويّة في مكانها بواسطة قوى فان درفالس فقط (لاتستعمل اللواصق). قارن بونارد ومعاونوه إصدارات الحقل من الأنابيب النانويّة المتعددة الجدران بواسطة أنابيب مفتوحة ومغلقة (الشكل 6b). إن الأنابيب النانويّة المنتاة في انفراغات القوس تكون عادة مغلقة، ولكن يمكن فتحها بتطبيق حقل كهربائي كبير جداً عليها، أو بمعاملتها بالأكسجين في درجات عالية من الحرارة. يحدث إصدار الحقل عند تطبيق فولطية من مئات قليلة من الفولطات على الرأس الذهبي. تستطيع كل من الأنابيب النانويّة المفتوحة والمغلقة إصدار التيارات حتى 0.1 ملّي أمبير، الذي يمثل كثافة تيار هائلة من أجل مثل هذه الأشياء الصغيرة.

ومن المدهش أن تكون الأنابيب النانويّة المغلقة أكثر كفاءة بكثير من الأنابيب المفتوحة (الشكل 6b). وكان هذا الأمر غريباً لأن من المتوقع أن يقود الانحناء الفعّال الأصغر للأنابيب النانويّة المفتوحة إلى تضخيم أكبر للحقل. يعتقد غالباً بأن أنواعاً أخرى (مثل ذرات الأكسجين) تربط نفسها مع الروابط الحرّة المدلاّة في نهاية الأنبوب النانوي محدثةً بذلك حالات إلكترون متوضعة. ولما كانت هذه الحالات تقع ما دون طاقة فيرمي في الأنبوب النانوي فهي لاتستطيع أن تصدر إلكترونات. يُعتقد أيضاً بأن حالات التوضّع تتشكل على رؤوس الأنابيب النانويّة المغلقة. على كل حال، إن هذه الحالات تتزاوج مع ما يسمى مدارات π في الأنبوب النانوي، وهذا ما يعزز بكفاءة عملية إصدار الإلكترونات. ولهذا أيضاً ميزة تضييق توزع طاقة الإلكترونات المصدرة. والمجهر الإلكتروني أحد التطبيقات التي يكون لهذا التأثير فيها فائدة كبيرة.

نظرة مستقبلية

تبدي أنابيب الكربون النانويّة رصيداً ضخماً من الخواص والظواهر. فبينما جرى فهم كثير منها بقيت أنابيب نانوية أخرى مثيرة للجدل. ومن المؤكد أن تبقى الأنابيب النانويّة منطقة مثيرة لفيزياء المادة الكثيفة في السنوات القادمة. إن الخواص البنيوية والإلكترونية المدهشة للأنابيب النانويّة ليست موضع شك. وعلى كل حال، وككل تقانة فإن الأنابيب النانويّة ستمكّن تقانة التيار من كسب موطىء قدم في الأسواق التجارية. وستبقي جميع هذه التحديات الباحثين في الأنابيب النانويّة مشغولين لوقت طويل حتى تتحقق.■

☆ ★ ☆

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

التحكم بإنماء الأنابيب النانويّة*

هونغجي داي
جامعة ستانفورد، كاليفورنيا - الولايات المتحدة

ملخص

باكتساب السيطرة على نمو أنابيب الكربون النانوية، تمكن الباحثون من تصنيع أسلاك جزيئية بالغة الصغر، ومن إلقاء الضوء على خواص هذه الأنابيب، إضافة إلى إنتاج نبائط جديدة بالسلم النانوي.

الكلمات المفتاحية: **أنابيب كربونية نانوية متعددة الجدران، أنابيب كربونية نانوية أحادية الجدار، ترسيب كيميائي من البخار، إنماء متحكم به، مجهر القوة الذرية، المناقلة الكهربائية، محسّات كيميائية مصنّعة من أنابيب نانوية، محسّات أنابيب نانوية مغلفة بالبلاديوم.**

خلال السنوات العشر الماضية تقريباً، استحوذت الخواص الكهربائية والميكانيكية الاستثنائية للأنابيب النانوية على اهتمام الباحثين في أرجاء العالم. ويعود هذا بشكل رئيسي إلى أن لهذه البنى الجديدة فائدة جوهرية هامة وبأنها تقود إلى مجال ضخم من التطبيقات التي قد تصل في قيمتها إلى بلايين الدولارات. وتتفاوت هذه البنى في نوعها ما بين إلكترونيات ذات سلّم نانوي ومعدات لمناولة ذرات إفرادية، إلى مواد ذات قوة استثنائية، وعارضات مسطحة الشاشة، وخلايا ذات وقود هدروجيني.

من ناحية ثانية، كي يتحول العلم النانوي إلى تقانة يجب أن نكون قادرين على إنماء أنابيب الكربون النانوية وتصنيع نبائط نانومترية الحجم على نطاق واسع، كما نحتاج أيضاً إلى فهم شامل لخواص الأنابيب النانوية. لقد تعرقلت الجهود الأولى من أجل تحديد خصائص أنابيب الكربون النانوية بسبب عدم المقدرة على صنع عينات بنقاوة كافية وسبب صعوبة تجميع بنى "قابلة للتوجيه" من أنابيب نانوية إفرادية. وفي المستقبل، ستعتمد، وبصورة حتمية، الدارات المتكاملة ذات المكونات أو الأسلاك المصنّعة من أنابيب نانوية على نوع ما من "التجمع الذاتي" الكيميائي، الذي تؤدي فيه الخواص الكيميائية للجزيئات المكونة له إلى تشكيل بنى منتظمة، أو على طرائق للتحكم بنمو الأنابيب النانوية فوق السطوح. وتطوير هذه الأساليب الكيميائية سيغني دون أدنى شك دراسات أساسية للمنظومات شبه - أحادية البعد مع تطبيقاتها العملية.

أنابيب نانوية منمّاة بوساطة ترسيب البخار كيميائياً

في عام 1991، أخبر سوميو إيجيما S. Iijima، لدى مختبر NEC للبحوث الأساسية في اليابان، عن مشاهدته الأولى لأنابيب نانوية كربونية متعددة الجدران في سخام منتَج بانفراغ قوس كهربائي بين إلكترودين غرافيتيين في جو من الهليوم. وبعد أقل من سنتين لاحظ أنابيب نانوية وحيدة الجدار في انفراغات قوس كهربائي مماثلة. ومنذ ذلك التاريخ سُخّرت جهود بحثية كثيرة لإيجاد طرائق فعّالة لإنتاج كميات ضخمة من الأنابيب النانوية.

وفي عام 1992، قام توماس إيبسن T. Ebbesen وبوليكل أجايان P. Ajayan، لدى مختبر NEC أيضاً، بتطوير طريقة لإنتاج بضعة غرامات من أنابيب نانوية متعددة الجدران ذات نوعية عالية بتبخير إلكترودات كربونية. وفي الوقت ذاته، تمكّن رتشارد سمولي R. Smalley وزملاؤه لدى جامعة رايس من إنماء كميات كبيرة من أنابيب نانوية وحيدة الجدار عالية النوعية بنسف هدف من الكربون بحزمة ليزرية نبضية شديدة. كذلك قامت كاترين جورنيه C. Journet وزملاؤها لدى جامعة مونبلييه في فرنسا بإنماء مواد مماثلة وذلك باستخدام انفراغ قوسي. وقد أدت هذه النجاحات إلى توفر واسع النطاق لمواد الأنابيب النانوية التي كانت بمثابة حفّاز رئيسي وراء قفزات سريعة متلاحقة حدثت مؤخراً في فهم الفيزياء الأساسية للأنابيب النانوية.

وخلال السنوات العشر الماضية، أمكن بنجاح صنع ألياف وشعيرات كربونية باستخدام طريقة تعرف باسم ترسيب البخار كيميائياً chemical vapour deposition (CVD)، وهي تقنية جرى استخدامها بشكل واسع لترسيب أفلام رقيقة فوق ركازات. وفي عملية الترسيب الكيميائي من البخار للمواد الكربونية، يجري تمرير غاز هدروكربوني عبر حفّاز مسخّن. وتؤدي فعاليات الحفّاز إلى تحلل الهدروكربون إلى ذرات من الهدروجين والكربون التي تزوّد "خامة التغذية feedstock" لنمو الليف الكربوني. وقد اتبعت بشكل فعّال طريقة CVD لتصنيع أنابيب كربونية نانوية. فعلى سبيل المثال، أنتج التحفيز الهيريوني Hyperion Catalysis لسنوات عديدة، في كامبريدج بولاية ماساتشوستس، كميات كبيرة من الأنابيب النانوية المتعددة الجدران باستخدام طريقة CVD. لكن العيب الرئيسي للأنابيب النانوية المنمّاة بهذه الطريقة يكمن في أنها تميل لأن يكون لها عدد كبير من العيوب البنيوية.

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

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

والوسطاء الأساسية المسؤولة عن إنماء الأنابيب النانوية بطريقة CVD تشمل كلاً من أنواع الهدروكربونات والحفّازات المستخدمة، ودرجة الحرارة التي يحدث عندها التفاعل. ومعظم طرائق CVD التي يجري استخدامها لإنماء أنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران تستخدم غازي الإثيلين أو الأستيلين كخامة تغذية كربونية، في حين تستخدم الجسيمات النانوية من الحديد أو النيكل أو الكوبالت كحفّاز. وبشكل نموذجي، تقع درجة حرارة الإنماء في المجال 700°C - 500. وعند درجات الحرارة هذه تنحلّ ذرات الكربون داخل الجسيمات النانوية المعدنية التي تصبح، في نهاية المطاف، مشبعة، ثم يترسب الكربون بعد ذلك ليشكل أنابيب كربونية صلبة تتحدد أقطارها بأحجام الجسيمات المعدنية في الحفّاز.

ورغم النجاحات التي تحققت فيما مضى، إلاّ أن طبيعة العيب الحاصل في الأنابيب النانوية المتعددة الجدران المنمّاة بطريقة CVD تبقى قليلة الفهم ولربما يُعزى ذلك إلى درجات الحرارة المنخفضة نسبياً التي جرى استخدامها والتي لا تسمح للأنابيب النانوية أن تتبلور بشكل كامل.

في عام 1998، نجح، ولأول مرة، فريقنا لدى جامعة ستانفورد في صنع أنابيب نانوية أحادية الجدار ذات بنى كاملة باستخدام طريقة CVD. وقد استخدمت طريقتنا غاز الميتان كخامة تغذية مع درجات حرارة تقع ما بين 1000°C - 900. ومثل هذه الدرجات العالية من الحرارة ضرورية سواء من أجل تشكيل أنابيب نانوية أحادية الجدار ذات أقطار صغيرة وطاقات انفعال عالية، أو لصنع أنابيب خالية عملياً من العيوب.

يستخدم الميتان لأنه الأكثر ثباتاً بين جميع جزيئات الهدروكربونات من حيث تحللها الذاتي عند درجات حرارة عالية، وهي الخاصة الحاسمة التي تمنع تشكل الكربون اللا بلوري الذي يمكنه أن يسمم الحفّاز ويغلّف الأنابيب النانوية. وبتحليل الغازات المتدفقة من منظومة CVD بالمطياف الكتلي أثبتنا أن الميتان لا يتحلل تحت الظروف المستخدمة عادة.

والعنصر الأساسي الثاني في إنماء الأنابيب النانوية الأحادية الجدار هو الحفّاز، الذي يكون نموذجياً بشكل مسحوق ناعم. يتألف الحفّاز من جسيمات أكسيد الحديد ذات الحجم النانوي متبعثرة على مادة حاملة كأكسيد الألومنيوم. والمادة الحاملة ضرورية بحيث تشكل عدداً كبيراً من المواقع لوضع وتثبيت جسيمات الحفّاز المعدني التي منها يمكن أن تنمو أنابيب نانوية أحادية الجدار. وتمنع التأثرات بين النوع المعدني والمادة الحاملة جسيمات أكسيد الحديد من التكدس وإنتاج جسيمات كبيرة غير قادرة على تشكيل أنابيب نانوية أحادية الجدار. ومع النجاح في فهم الحفّاز وعملية الترسيب الكيميائي من البخار، حققنا مردوداً عالياً في إنماء الأنابيب النانوية بالاختيار الأمثل للمساحة السطحية لمسحوق الحفّاز. وهذا يضمن وجود عدد كبير من المواقع التحفيزية لإنماء الأنبوب النانوي - فعلى سبيل المثال، يكون لغرام واحد من مادة الحفّاز مساحة سطحية قدرها حوالي $250\ m^2$. إضافة لما سبق، تتمتع مادة الحفّاز بقوام عالي المسامية، الأمر الذي يعني أن جزيئات الميتان يمكنها أن تغذي بصورة مستمرة نمو الأنابيب النانوية بالعبور بسهولة إلى المواقع التحفيزية.

وفي الآونة الأخيرة، تبنّى جي ليو J. Liu، لدى جامعة ديوك Duke في الولايات المتحدة، طريقة اصطناع كيميائي للحصول على حفّاز عالي المسامية، الأمر الذي أدّى إلى مردود في إنماء الأنابيب قدره 100%.

وبعبارة أخرى، نتج غرام واحد من الأنابيب النانوية الأحادية الجدار من كل غرام حفّاز استخدم في عملية CVD المعتمدة على الميتان. وقد كان المردود الأكثر شيوعاً فيما مضى يقع في حدود 40%. ومع تحقيق إنجازات جديدة في فهمنا لكيمياء الحفّازات وإنماء الأنابيب النانوية تحقق المزيد من الأمثلة لطرائق الترسيب الكيميائي من البخار من أجل إنتاج كميات، تقدّر بالكيلو غرامات، من الأنابيب النانوية الكاملة التكوين.

وقد نشطت مؤخراً أعمال بحثية في مجال تنمية الأنابيب النانوية بطريقة CVD انطلقت من فكرة أن الأنابيب النانوية يمكن أن تنمو فوق سطوح بدرجة تحكم لا تجاريها تقنيتا الانفراغ القوسي أو الاستئصال الليزري. وقد سبق وبيّنا أنه يمكن إنماء حزم برجية موجّهة ومتموضعة بشكل جيد، لأنابيب نانوية متعددة الجدران، فوق ركازات سليكونية منقوشة بمواد حفّازية (الشكل 1a) حيث تنمو الأنابيب متراصفة مع بعضها البعض ومتوضعة عامودياً على سطح الركازة. ويعزى هذا "التوجيه الذاتي" إلى تأثرات فاندرفالس القوية بين الأنابيب والتي تسبب تجمع الأنابيب مع بعضها في حزم وتشكيلها لبنى صلدة. يبين هذا المثال أنه بالإمكان صنع أجسام جهرية من أنابيب نانوية متراصفة مع بعضها البعض أثناء عملية التنمية بالترسيب الكيميائي من البخار.

وجرى تطوير طرائق أخرى ممتازة لإنماء بنى موجّهة من أنابيب نانوية متعددة الجدران. فعلى سبيل المثال، أنمى سي - شن زاي S. Sh. Xie، ومعاونوه لدى أكاديمية العلوم الصينية، أنابيب نانوية متراصفة بطول يصل إلى عدة ملّيمترات باستخدام حفّازات مسامية مدعمة بسليكا. وفي نفس الوقت، قام زيفنغ رن Z. Ren لدى كلية بوسطن، بإنماء بنى متعددة الجدران ذات قطر كبير نسبياً فوق ركازات زجاجية جرى توجيهها بشكل متقن.

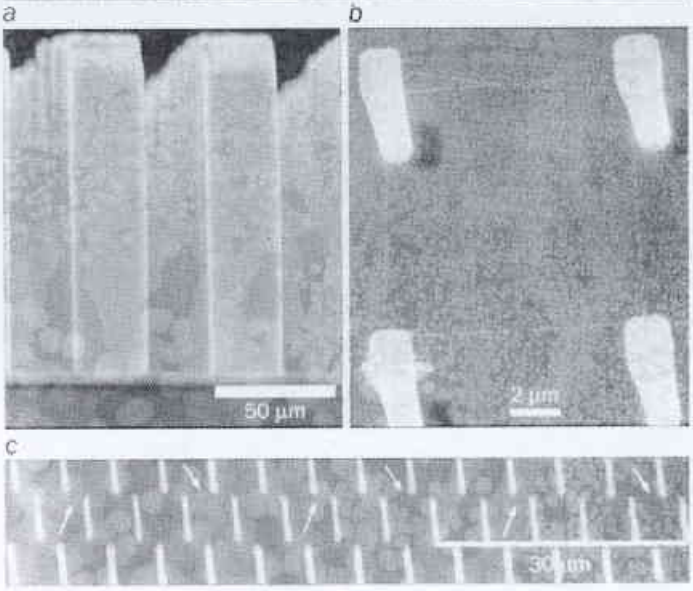
والنجاح الذي حققه فريقنا في صنع أنابيب أحادية الجدار عالية النوعية بطريقة CVD مكّننا من تطوير أسلوب ممتع ومفيد في بناء الأنابيب النانوية يُنفّذ بطريقة مسيطر عليها. فعلى سبيل المثال، طورنا طريقة لإنماء شبكات من الأنابيب النانوية معلقة بين أعمدة سليكونية (الشكل 1b). فقمنا أولاً بتنميش الأعمدة السليكونية من ركازة مستخدمين تقنيات تصنيع مكروية، ثم نقلنا انتقائياً مادة الحفّاز إلى ذُرا الأعمدة مستخدمين أسلوب طباعة التماسات. وتكون الأنابيب النانوية الإفرادية، أو حزم الأنابيب النانوية الأحادية الجدار، المنمّاة بطريقة CVD المعتمدة على الميتان، معلقة بالأعمدة وتشكل شبكات موجهة تبعاً لطراز الأعمدة. وتكون معظم الأنابيب النانوية معلقة، وتشير ملاحظاتنا في هذا الصدد إلى أن عدداً قليلاً جداً من الأنابيب يرقد على السطح القاعدي للركازة.

كيف تتشكل مثل هذه البنى الموجهة؟ أثناء نمو الأنابيب النانوية الأحادية الجدار يُقيها تدفق غاز الميتان طافية ومتماوجة في مهب الريح.. وهذا يحول دون أن تلامس الركازة ومن أن تُمسك بالسطح السفلي لها. من ناحية ثانية، تزوّد الأعمدة القريبة بنقاط تثبيت للأنابيب النامية. وعندما تلامس الأنابيب النانوية الأعمدة القريبة تكون تأثرات فاندرفالس بين العمود والأنبوب النانوي بقدر من القوة كاف للإمساك بالأنابيب النانوية والإبقاء عليها عالياً.

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

لقد كان تحدياً عظيماً إنماء أنابيب نانوية أحادية الجدار كاملة التكوين بأطوال جهرية وبصورة متواصلة. في السابق أنتجت معظم الطرائق أنابيب نانوية ضمن المدى 1 – 10 مكرون. والآن أصبحنا قادرين، من خلال الجهود التي بذلناها لفهم إنماء الأنبوب النانوي وأمثلته، على إنماء أنابيب نانوية أحادية الجدار تصل في الطول إلى 200 مكرون (الشكل 1c).

الشكل 1– إنماء أنابيب نانوية متحكم به



(a) صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لصفيفات أبراج حزمية من أنابيب نانوية متعددة الجدران.
(b) مربع مكون من أنابيب أحادية الجدار معلّقة بخيط بين أعمدة سليكونية.
(c) استخدمت هذه التقنية لإنماء أنبوب أحادي الجدار بطول يعادل تقريباً 100 مكرون.

الخصائص الكهربائية

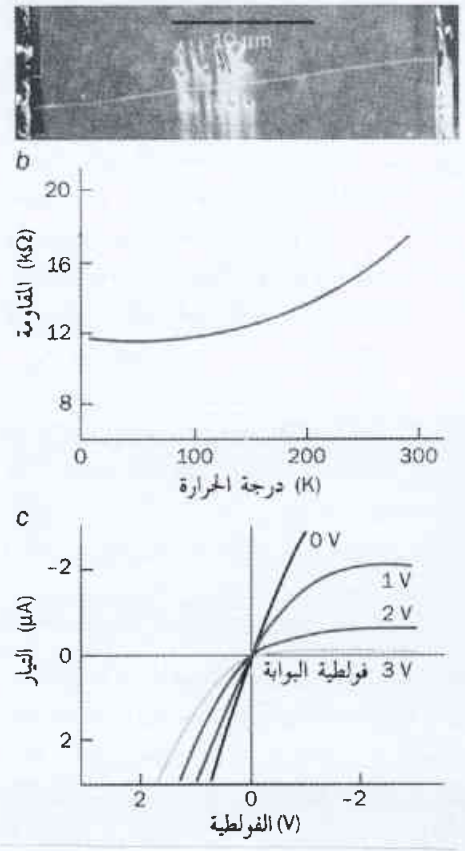
تشكل الأنابيب النانوية المنمّاة بالانفراغ القوسي والاستئصال الليزري حزماً متشابكة تجعلها صعبة في التنقية والتداول والفرز. وباستخدام هذه المواد يُعدّ اصطفاء أسلاك الأنبوب النانوي الفردي تحدّياً. من ناحية أخرى، أوجد الإنماء المسيطر عليه طرقاً جديدة لتشكيل بنى "قابلة للتوجيه" يمكن استخدامها لقياس خواص الأنابيب النانوية ولبناء نبائط بالمقاس النانوي بصورة سهلة.

ومن الممكن تصنيع دارات كهربائية تتضمن أنابيب فردية أحادية الجدار بإنماء أنابيب نانوية عند مواقع محددة فوق ركازة من أكسيد السليكون مزركشة بجزر محفّزة. بعد ذلك يغدو ممكناً تبخير التماسات المعدنية على كلتا نهايتي الأنبوب النانوي لوصله ببقية أجزاء النبيطة الكهربائية. وباستخدام طريقة "النمو والدمج" هذه، وُجد أن الإلكترودات المصنّعة من التيتانيوم تعطي أقل مقاومة تماس بالمقارنة مع معادن أخرى بما في ذلك الذهب والألمنيوم.

يمكن للأنابيب النانوية أحادية الجدار أن تسلك سلوكاً مماثلاً لمعدن أو نصف معدن أو نصف ناقل تبعاً لأقطارها وكيراليتها chirality (أي تبعاً للاتجاه الذي جرى فيه لف صفيحة الغرافيت لفاً أسطوانياً لتشكيل الأنبوب). وعند قياس أنابيب فردية أحادية الجدار نجد أن أنابيب معدنية بطول بضعة مكرونات سيكون لها، في الحالة النموذجية، مقاومة تتراوح بين 10 kΩ و 200 kΩ. وأقل مقاومة تمّ قياسها تقع في حدود 12 kΩ. هذا وقد وجدنا أن مقاومة أنابيبنا النانوية المعدنية تتناقص نموذجياً مع درجة الحرارة. لكن المقاومة تزداد قليلاً عند انخفاض درجة الحرارة عن حدٍّ معين – وهذا تأثير جرت ملاحظته باستمرار في العديد من عيناتنا، ويبدو أنه ذاتي وأصيل لأنابيب معدنية ذات مقاومة منخفضة، الأمر الذي يجعل منها تماسّاً كهربائياً جيداً مع بقية أجزاء النبيطة (الشكل 2b). وقد لوحظ سلوك مماثل في عدة دراسات سابقة شملت حبالاً من الأنابيب النانوية الفردية وموادَّ جرمية منمّاة بالاستئصال الليزري.

إن مقاومة التماس المنخفضة نسبياً المتحصَّل عليها بطريقة النمو والدمج يمكن أن تُعزى إلى عدة عوامل. الأول منها هو أن الإلكترودين المعدنيين يكونان في وضع تماس مع كلتا نهايتي الأنبوب النانوي بدلاً من جانبه، الأمر الذي يؤدي إلى اقتران أقوى. أما العامل الثاني فهو إمكانية تشكل روابط الكربون – التيتانيوم (الكربيد) عند السطح البيني بين المعدن والأنبوب أثناء عملية التبخير بالحزمة الإلكترونية. هذا، وتؤدي التأثرات القوية بين ذرات التيتانيوم والكربون عند هذا السطح البيني إلى اقتران كهربائي حميم بين المادتين. وبالمقابل، لا يشكل الذهب والألمنيوم مركبات كربيدية مستقرة ولهذا تكون المقاومة التماسية أعلى.

الشكل 2– خواص كهربائية



(a) صورة مأخوذة بمجهر القوة الذرية لأنبوب نانوي مفرد أحادي الجدار له طول تقريبي قدره 3 مكرون ويتصل بالتماس مع إلكترودين معدنيين.
(b) مقاومة أنبوب نانوي معدني كتابع لدرجة الحرارة.
(c) التيار المقيس في أنبوب نانوي نصف ناقل رُسم مقابل الفولطية من أجل أربع فولطيات للبوابة.

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

وقد سبق لسيز ديكر C. Dekker وزملائه من جامعة Delft للتقانة في هولندة، وفيما بعد لفيدون آفوريس Ph. Avouris ومساعديه لدى IBM في Yorktown Heights، أن أظهروا إمكانية صنع ترانزستورات أثر الحقل من أنابيب نانوية إفرادية نصف ناقلة أحادية الجدار باستخدام عينات ذات مقاومة عالية.

ونحن الآن قادرون، باستخدام طريقة الإنماء والدمج، أن نحصل على نبائط مصنّعة من أنابيب نانوية نصف ناقلة إفرادية ذات مقاومة منخفضة نسبياً (تبلغ مئات الـ kΩ). وتبدي هذه الأنابيب النانوية سلوك ترانزستور من نوع p في درجة حرارة الغرفة (انظر مقال بول مكويـن P. McEuem في الصفحة 9 من هذا العدد). وبتبديل فولطيات البوابة، نستطيع بصورة مؤثرة تغيير المناقلة بعدة مراتب في القيمة من حالة ناقلة إلى حالة عازلة (الشكل 2c).

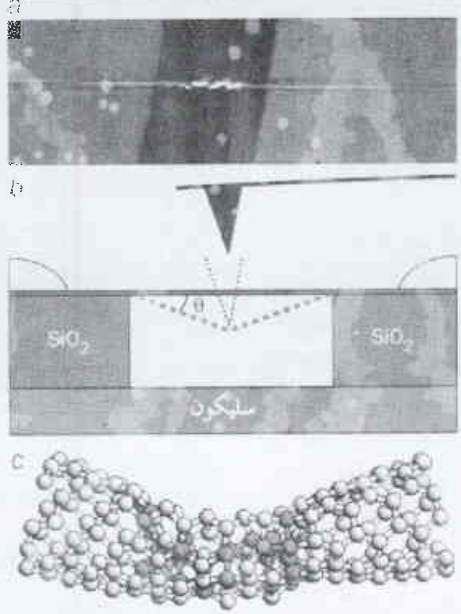
وتكون الناقلية التبادلية transconductance لأنابيبنا نصف الناقلة – وهي نسبة التغير في التيار مقسومة على التغير في فولطية البوابة – أعلى بمرتبتين في القيمة مما سبقت ملاحظته في عينات مصنّعة بالترسيب العشوائي للأنابيب النانوية عبر إلكترودين معدنيين. وتعزى ناقلية التبادل العالية إلى المقاومة المنخفضة للأنابيب النانوية نصف الناقلة الأحادية الجدار، حيث من الممكن نقل تيارات عالية عبر المنظومة عند فولطيات انحياز منخفضة نسبياً. ويجب عدم الاستخفاف بهذه النتيجة التي تبدو وكأنها بسيطة إذا أدركنا أهمية ناقلية التبادل العالية والربح بالفولطية بالنسبة إلى الترانزستورات. ومهما يكن من أمر تبقى هناك حاجة للقيام في المستقبل بجهود من أجل تصميم أنابيب نانوية نصف ناقلة ذات مقاومات منخفضة بدرجة كبيرة وذلك للحصول على ترانزستورات تعتمد الأنابيب النانوية وذات خصائص تتشابه مع ما يتوفر حالياً من نبائط سليكونية.

نبائط كهرميكانيكية – نانوية

وعن طريق الجمع بين طريقتي إنماء الأنبوب النانوي فوق السطوح والتصنيع المكروي، سوف يتمكن الباحثون، خلال وقت قريب، من إيجاد نبائط أنابيب نانوية حديثة من أجل ضروب منوعة من الدراسات والتطبيقات. فعلى سبيل المثال، يظل السؤال " كيف تغير التشوهات الميكانيكية خواص أنابيب الكربون النانوية"، سؤالاً مثيراً وهاماً من أجل تطبيقات محتملة تشكل فيها الأنابيب النانوية أحجار البناء لنبائط كهرميكانيكية بالمقاس النانوي.

ولتوجيه هذا السؤال تجريبياً، سيكون الأمر مثالياً لو تمكن المرء من الحصول على نبائط أنبوبية نانوية معلّقة وقابلة للتوجيه. ولبلوغ هذا الهدف، قمنا أولاً بإنماء أنابيب نانوية إفرادية أحادية الجدار عبر خنادق مسبقة الصنع فوق ركازات ثنائي أكسيد السليكون/ سليكون، ثم وضعنا تماسات معدنية عند كل نهاية للأنبوب النانوي (الشكل 3a). بعد ذلك قمنا برصد الانحراف الميكانيكي والمقاومة الكهربائية للأنبوب النانوي المعدني المعلق وذلك عند وخزه بصورة متكررة بوساطة الرأس المستدقة لمجهر القوة الذرية (AFM) (الشكل 3b).

الشكل 3- مجهار إلكترومكانيكي



(a) صورة مأخوذة بمجهر القوة الذرية (AFM) لأنبوب نانوي أحادي الجدار طوله حوالي 600 nm معلق فوق خندق. البقع النيرة حول الجزء المعلق للأنبوب النانوي ناجمة عن ملامسة الأخير والتصاقه بجانب الرأس المستدقة أثناء عملية مسحه بالقرب من الأنبوب.

(b) منظر جانبي تخطيطي للتجربة. تُنفّذ القياسات الإلكترومكانيكية بوساطة سحب ودفع متكررين للرأس المستدقة (الخاصة بمجهر AFM) من وإلى الأنبوب النانوي المعلق أثناء عملية رصد مناقلته الكهربائية. هذا، ويطلق على الزاوية θ اسم زاوية الانحناء.

(c) تشكيلة ذرية محاكية جرى دفعها إلى زاوية انحناء قدرها 15° بوساطة الرأس المستدقة لمجهر AFM. هذا، وأرغمت الذرات الملونة بالأحمر على الدخول في حالة sp^3 عن طريق نكزها بالرأس المستدقة وربطها بأربع ذرات أخرى من الكربون.

لقد وجدنا أن المناقلة الكهربائية تهبط بشكل حاد عند تشويه الأنبوب لكنها تعود إلى قيمتها الأصلية عندما يسحب رأس مجهر القوة الذرية. تشير مثل هذه العكوسية في الخواص الكهربائية والميكانيكية إلى أن نهايتي الأنبوب النانوي كلتيهما ممسوكتان بإحكام، وهذا يعود إلى قوى فاندرفالس الشديدة ما بين الجزء المثبّت من الأنبوب وركازة أكسيد السليكون. وهكذا، يعزى التغير الملاحظ في المناقلة الكهربائية بأكمله إلى التشوه الميكانيكي للأنبوب النانوي. وقد وجدنا أن المناقلة الكهربائية تتناقص إلى النصف عند زوايا الانحناء الصغيرة بينما تتناقص بصورة مؤثرة عند زوايا الانحناء الكبيرة.

ولفهم هذه الخصائص الكهرميكانيكية، قام Shi - yu Wu وزملاؤه العاملون لدى جامعة Louisville بإجراء محاكيات ديناميكية جزيئية لأنبوب نانوي معدني أحادي الجدار. نمذجوا الانحراف الناجم عن الرأس المستدقة مستخدمين ما يحاكي "الغطاء cap" لأنبوب نانوي صلب. ووجدوا، عند زوايا انحناء صغيرة نسبياً، أن طبيعة الروابط الكيميائية في جميع أرجاء بنية الأنبوب النانوي بقيت لا متغيرة، لكن الروابط بين الذرات في المنطقة المجاورة للرأس تشوهت بصورة محسوسة. وعندما دفعوا الرأس المستدقة أكثر من ذلك، لاحظوا أن بنية الأنبوب النانوي تتطور تدريجياً مع حدوث تغيرات بنيوية كبيرة في الموقع المتاخم للرأس (الشكل 3c).

أظهرت حسابات البنية الإلكترونية أن إعادة ترتيب الروابط ستؤدي إلى نقص في الكثافة الموضعية للإلكترونات المسؤولة عن النقل الكهربائي، وهذا سيسبب بدوره نقصاً جوهرياً في مناقلة الأنبوب النانوي. وفي أنبوب نانوي لا مضطرب ترتبط كل ذرة كربون مع ثلاث ذرات أخرى

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

برابطة تكافؤية ويقال عند ذلك أنها في حالة sp^2. وهناك إلكترون رابع يكون حر الحركة (أي أنه غير متوضع) وهو لذلك مسؤول عن المناقلة الكهربائية للأنبوب النانوي. لكن تحت ظروف التشوه الميكانيكي الكبير تُجبر بعض الذرات على الدخول في تشكيلة sp^3 فترتبط مع أربع ذرات. وتؤدي حالة sp^3 هذه إلى تموضع الإلكترونات، الأمر الذي يقلل من مناقلة الأنبوب النانوي (للماس، على سبيل المثال، بنية ارتباط - sp^3 نقية وهو لذلك عازل من الناحية الكهربائية). كذلك، يثبت عمليات المحاكاة أن بنية الأنبوب النانوي تعود ثانية إلى شكلها الأصلي عندما تستبعد الرأس المستدقة.

إضافة لما سبق، حسّب Wu وزملاؤه كيف تتغير مناقلة الأنبوب النانوي مع تغير زاوية الانحناء. وقد اتفقت، نتائجهم من الناحية الكيفية مع بياناتنا التجريبية وبذلك قدّمت أساساً منطقياً مفصلاً لما لوحظ من خصائص كهرميكانيكية للأنابيب النانوية. وتقترح النتائج النظرية والتجريبية مجتمعة أنه بالإمكان استخدام الأنابيب النانوية الأحادية الجدار كمحولات transducers كهرميكانيكية عكوسة - وهي نبائط من الممكن أن تكون ذات أهمية لمنظومات إلكتروميكانيكية نانوية.

وتختلف النتائج النظرية تماماً عن دراسات سابقة اعتمدت أنابيب نانوية ذات انحناء أملس. أجريت في هذه الدراسات المبكرة محاكاة انحناء الأنبوب النانوي بتثبيت نهايتي الأنبوب عند زاوية محدّدة. وفي هذه الحالة تبقى بنية الأنبوب النانوي في حالة sp^2 حتى من أجل زوايا انحناء تصل إلى 20°، مع حدوث تشوهات رابطية صغيرة فقط في أرجاء البنية كافة. وهكذا، تنبأت هذه النماذج بأن مناقلة الأنبوب النانوي لا تتغير بشكل محسوس حتى من أجل زوايا انحناء كبيرة، وهو تنبؤ لا يتفق مع ملاحظات تجريبية.

إن الفيزياء التي جرى وصفها هنا، ينبغي أن تكون قابلة للتطبيق على الأنابيب الأحادية الجدار التي لها تشوهات موضعية كبيرة تسببت في حدوثها قوى أخرى. فعلى سبيل المثال، لا بد للمناقلة الكهربائية لأنبوب نانوي مجهز "بعقفات" حادة ثُبّتت واستقرت بفعل قوى فاندرفالس ما بين العقفة والركازة أن تكون أصغر كثيراً من تلك الخاصة بأنبوب نانوي مستقيم.

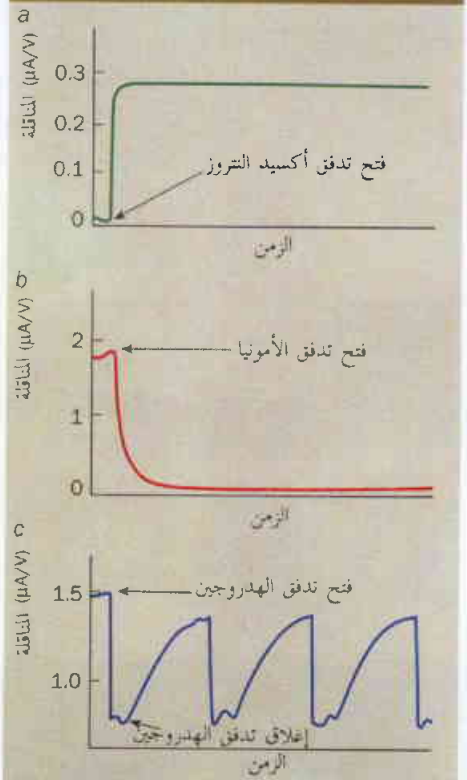
أنابيب نانوية من أجل محسّات كيميائية

بيّن فريقنا إمكانية استخدام أنابيب نانوية للكشف عن تراكيز صغيرة من جزيئات غاز ما بحساسية فائقة جداً عند درجة حرارة الغرفة. ويعد تحسس الغاز أمراً هاماً في الرصد البيئي والتحكم بعمليات كيميائية، وفي التطبيقات الزراعية والطبية. وهناك سعي متواصل لاستنباط مواد تحسس جديدة ذات مردود أفضل.

وما يتوفر حالياً من مواد محسّات كهربائية يشمل أكاسيد معدنية نصف ناقلة، وترانزستورات أثر الحقل، وبوليميرات ناقلة، ومركبات بوليمير - كربونية وقد جرى تحري أنواع مختلفة من البوليميرات كمواد محسّات. ومن حيث المبدأ، تعد أنابيب الكربون النانوية منظومات كبيرة "مترافقة conjugated"، مما يعني أن الإلكترونات فيها غير متموضعة وهي لذلك تستطيع القيام بعملية النقل. ولهذا، كان من الطبيعي أن تدرس الأنابيب النانوية من أجل استخدامها في تطبيقات التحسس.

وقد سبق أن بيّنا أن المحسّات الكيميائية المعتمدة على أنابيب نانوية قادرة على كشف بعض المواد الكيميائية، مثل أكاسيد النتروز والأمونيا. وعلى سبيل المثال، عرّضنا أنبوباً نانوياً أحادي الجدار نصف ناقل إلى 200 جزء في المليون من أكسيد النتروز فوجدنا أن المناقلة الكهربائية قد ازدادت بثلاث مراتب في القيمة خلال بضع ثوان، كما أدى تعرضه للأمونيا بتركيز 2% إلى تناقص هذه المناقلة بقدر يصل إلى مرتبتين (الشكل 4).

الشكل 4 - أنابيب نانوية تتحسس الغازات



المناقلة الكهربائية لأنبوب نانوي نصف ناقل ضمن تدفق من الأرغون المحتوي على: (a) 200 جزء في المليون من أكسيد النتروز، و (b)1% أمونيا. (c) المناقلة الكهربائية لأنبوب نانوي مغلف بالبلاديوم ضمن تدفق للهواء ممتزج بالهدروجين. جرى فتح وإغلاق تدفق الهدروجين عدة مرات. يبين هذا السلوك بشكل واضح أن الأنابيب المحورة بالبلاديوم تُعدّ محسّات ممتازة للهدروجين ذات استجابة سريعة وحساسية عالية تحت الظروف السائدة. تعكس المناقلة عائدة إلى وضعها الطبيعي عندما يجري إغلاق تدفق الهدروجين.

وعلى صعيد المقارنة العامة، تعمل، وبشكل نموذجي، محسّات الحالة الصلبة التقليدية، التي تستخدم للكشف عن أكسيد النتروز والأمونيا، عند درجات حرارة أعلى من 400°C؛ وفي الوقت نفسه، تكون حساسية البوليميرات الناقلة محدودة. بالمقابل، تتمتع المحسّات المصنّعة من أنابيب نانوية أحادية الجدار بحساسية عالية واستجابة سريعة عند درجة حرارة الغرفة - وهما مزيتان هامتان في عملية الكشف الغازي.

وتتعلق آليات التحسس الكيميائي بالطريقة التي يتأثر فيها نوع من الجزيئات مع أنابيب نانوية وما ينجم من تأثير على خواصها الكهربائية. هذا، وقد أظهرت حسابات النظرية الوظيفية في الكثافة density functional-theory calculations، التي أجراها كيونجي تشو K. Cho وزملاؤه من جامعة ستانفورد، أن أكسيد النتروز يمكنه أن يرتبط بشكل وثيق مع أنبوب نانوي أحادي الجدار نصف ناقل. ويسحب جزيء أكسيد النتروز حوالي 1/10 شحنة إلكترونية من الأنبوب النانوي. يسبب هذا الانتقال للشحنة زيادة شبه أسية في عدد الثقوب، وهو بذلك

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

يعزز المناقلة للأنبوب النانوي من النوع p، وهذه سمة تمنح الأنابيب النانوية حساسية عالية.

وفي الوقت الذي أمكن فيه فهم آلية التحسس الخاصة بأكسيد النتروز، تبقى الطبيعة الدقيقة للتأثرات بين الأنبوب النانوي والأمونيا أمراً غير محسوم تماماً. فالأمونيا تميل نحو منح إلكترونات في التفاعلات الكيميائية. ومن ناحية ثانية، لم تستطع الحسابات النظرية حتى الآن أن تحدد هوية أي تأثر قوي أو انتقال للشحنة بين جزيء الأمونيا والأنبوب النانوي الأحادي الجدار. هذا، وإننا نقوم حالياً بتحري عدة مسالك غير مباشرة يمكن أن يحدث التأثر عبرها.

من الواضح أنه يمكن رفع سوية نبائط الأنبوب النانوي بوساطة أساليب الإنماء البسيطة. ومع ذلك فإن المحسّات الكيميائية المصنّعة من أنابيب نانوية تواجه أيضاً تحديات عدة: أولها يكمن في أن المناقلة لمحسّ نموذجي يجب أن ترتد ثانية وبسرعة إلى وضعها الطبيعي عندما يستبعد مصدر الغاز، علماً أنه - في الوقت الراهن ــ تنعكس المناقلة ببطء فقط عند درجة حرارة الغرفة. أما التحدي الثاني فيتمثل في أننا نود لو توفرت لدينا محسّات تعتمد على الأنابيب النانوية ذات حساسية وانتقائية عاليتين من أجل مدى واسع من الجزيئات، لكننا وجدنا أن الأنابيب النانوية غير حساسة للعديد من أنواع الجزيئات، بما في ذلك الهدروجين وأحادي أكسيد الكربون. والتحدي الثالث يكمن في الحاجة إلى قدر كبير من العمل النظري والتجريبي كي نستطيع التوصل إلى فهم كامل للآثار الناجمة عن التأثر الجزيئي داخل الأنابيب النانوية.

ولا بد لنا، أن نصبح قادرين على إنتاج محسّات كيميائية عالية الانتقائية والحساسية من أجل تطبيقات عملية من خلال تحوير كيميائي أو فيزيائي للأنابيب النانوية. وعلى سبيل المثال، اكتشفنا مؤخراً إمكانية الحصول على محسّات هدروجين فائقة الحساسية بوساطة تغليف أنبوب نانوي أحادي الجدار نصف ناقل بطبقة رقيقة من البلاديوم. إن مناقلة مثل هذا الأنبوب النانوي تتناقص بسرعة عندما يتعرض المحسّ إلى تيار هوائي ممتزج مع 400 جزء في المليون من الهدروجين. هذا، وتنعكس أو تعود المناقلة إلى ما كانت عليه عندما يجري إيقاف تدفق الهدروجين (الشكل 4c).

ومن الممكن فهم حساسية النبيطة الملفتة للنظر عندما يستذكر المرء أن جزيئات الهدروجين تتفكك، عند درجة حرارة الغرفة، إلى هدروجين ذري فوق سطوح البلاديوم. وتنحل بسهولة ذرات الهدروجين داخل البلاديوم، وبالتالي تسبب انتقالاً إلكترونياً من البلاديوم إلى الأنبوب النانوي وبذلك يخفض عدد الثقوب وبالتالي مناقلته. وينعكس بسهولة ويسر سلوك محسّات الأنابيب النانوية المغلفة بالبلاديوم عند إيقاف تدفق الهدروجين، حيث يتحد الهدروجين الذري مع أكسجين الهواء ويغادر المنظومة على شكل ماء. تماثل هذه المزايا والآليات محسّات الهدروجين التقليدية التي تعتمد على نبائط نصف ناقلة مجهزة ببوّابات بلاديوم، والتي كان أول الروّاد المستنبطين لها إنغيمار لوندستروم I. Lundström، من جامعة Linkoping في السويد، في السبعينيات.

مستقبل واعد

ليس هناك أدنى شك بأن الإنماء المباشر للأنابيب النانوية ضمن بنى مرتبة فوق السطوح طريقة واعدة من أجل إيجاد نبائط جديدة بالمقاس النانوي، ذات خواص كهربائية وإلكترومكانيكية، وكيميائية متقدمة. ومع تحقيقنا لمزيد من التحسينات في مجال التحكم بإنماء الأنبوب النانوي، فإننا سنواصل الكشف عن عدد ضخم من التطبيقات العملية الجديدة، إضافة إلى تحقيق إنجازات في العلوم الأساسية بالمقاس النانوي.■

☆ ★ ☆

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

الصناعة تتحكم بحجم الأنابيب النانويّة*

والت دي هير
مدرسة الفيزياء، معهد جورجيا للتقانة - الولايات المتحدة
ريتشارد مارتل
مجموعة علم القياس النانوي والتقانة، نيويورك - الولايات المتحدة

ملخص

بدأت الصناعة تأخذ بالحسبان الخواص الفريدة لأنابيب الكربون النانوية، ولكن هنالك حاجة لتجاوز كثير من العقبات التقانية قبل وصول التطبيقات الكبيرة الحجم إلى السوق.

الكلمات المفتاحية: مصابيح إصدار الحقل، ترانزستور أثر الحقل، نبائط أنابيب نانوية، عارضة مسطّحة الشاشة.

أصبحت الخواص العديدة الرائعة لأنابيب الكربون النانوية في الوقت الحالي معروفة تماماً، كما تؤكد على ذلك مقالات هذا الملف. من الواضح أن الأنابيب النانوية تختلف عن الجزيئات العادية وعن الأجسام الصلبة بنواح متعددة. الحقيقة أن الأنابيب النانوية تملك هوية غامضة: فلها بنية محدّدة تماماً ومعقولة ولو كان نوع كبير منها يشبه الجزيئات، ولكن طولها وعرضها الكبيرين نسبياً يجعلانها تشبه الأجسام الصلبة أيضاً. الحقيقة أن الأنابيب النانوية تستطيع أن تمتد إلى أطوال وعروض جهرية لتندمج في النهاية مع كتلة الغرافيت التي تملك بنية طبقية معروفة.

إن الرابطة التي تصل كل ذرة إلى الذرات الثلاث المجاورة في مستوى الغرافيت هي من أقوى الروابط الموجودة في الطبيعة. وتنعكس هذه القوة على قساوة الماس، رغم أن الرابطة في الغرافيت أكثر قوة. وقد أعطت هذه الخاصة لأنابيب الكربون النانوية قوة استثنائية. وفي المقابل تماماً فإن الربط بين مستويات الغرافيت ضعيف جداً، مما يعني أن طبقات الغرافيت تستطيع أن تنزلق فوق بعضها البعض بسهولة - وهي خاصة تجعل من الغرافيت مزلقاً جيداً.

الأنابيب النانوية خاملة كيميائياً وليس لديها الميل "للتلبد"، بعكس الجسيمات الصغيرة لمعظم العناصر النقية. فمثلاً تندمج الجسيمات النانوية المعدنية حالاً مشكلةً جسيمات أكبر بكثير بسبب تأثير التوتر السطحي، ولأنّ المعادن تستطيع أن تتشوه بسهولة. وبالإضافة إلى ذلك، تميل الذرات في الأسلاك المعدنية الدقيقة إلى الهجرة، وخاصة عندما تمر التيارات الكهربائية خلالها، مما قد يتسبب في انكسارها. وبالعكس، فإن أنابيب الكربون النانوية شبه الجزيئية لاتندمج، وهي خاملة كيميائياً وثابتة جداً من الناحية الميكانيكية ولاتتلف بفعل التيارات الكهربائية الكبيرة نسبياً، ولهذه الخواص أهمية واضحة للعديد من التطبيقات.

لقد بدأنا فقط في فهم الخواص الكهربائية الفريدة لأنابيب الكربون النانوية (انظر مقالات مكوين و شونبرغر و فورّو في هذا العدد). وفي الحقيقة يمكن أن تكون هي الأمثلة الأولى الواضحة على النواقل الوحيدة البعد، مؤكدة بذلك التنبؤات النظرية التي برهنت سابقاً أنها محيرّة.

تستطيع الأنابيب النانوية أن تكون أنصاف نواقل أو معادن وذلك حسب طريقة لفّ صفائح الغرافين إلى أسطوانات - أو ما يسمى اللولبية أو الكيرالية (اللاانطباقية) لتشكيل الأنابيب النانوية. وللأنابيب النانوية في شكلها المعدني قدرات حمل للتيار استثنائية يمكن إرجاعها إلى "النقل القذفي". ولم يلاحظ هذا الشكل من النقل الكهربائي - حيث تمر الإلكترونات عبر الأنبوب النانوي بدون ممانعة - إلاّ في درجات الحرارة المنخفضة جداً، ولكن يلاحظ هذا الأمر في أنابيب الكربون النانوية في درجة حرارة الغرفة وإن يكن ذلك بشكل معدّل. إن الداخل الأجوف والخمول الكيميائي الشديد لأنابيب الكربون النانوية يجعلانها مرشحة للاستخدام في احتواء الغازات والمواد الكيميائية.

لاشك في أن لأنابيب الكربون النانوية خواص هامة وفريدة، ولهذا السبب اهتمت الصناعة بها. سنقوم في هذه المقالة باختيار تطبيقات الأنابيب النانوية الممكنة، حيث لم يدخل أي منها السوق حتى الآن، وهذا ما يضعنا في موقع غير مريح كالعرّافين المعروفين بتصوراتهم الخصبة أكثر منها في وثوقيتهم.

هنالك حالياً عدة أمثلة على المواد الجديدة المثيرة التي يُتنبأ بأنها تملك تأثيراً ثورياً على التقانة. وبالرغم من أن النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة قد جرى اكتشافها في منتصف الثمانينيات، فإن تطبيقاتها الصناعية قد بدأت الدخول إلى السوق حديثاً. ولم يحافظ البكمنسترفلّرين أو الكربون 60، وهو ابن العم القريب للأنبوب النانوي، على المستوى الذي وصل إليه من حيث توقعاته التقانية. ومن جهة أخرى، فإن تأثير المقاومة المغنطيسية الهائل - أي التغير الكبير في مقاومة متعدد طبقات مغنطيسية في حقل مغنطيسي - قد جرى تقبله مباشرة من قبل صناعة التسجيل مع نتائجه الاقتصادية الهائلة. على كل حال، لقد حدث هذا الاكتشاف بدون متابعة كبيرة من عامة الشعب.

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

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

مصدِرات الحقل: المصابيح والعارضات

نبدأ هذه المناقشة بتطبيق يبدو أنه آتٍ على الطريق. اكتشف والت دي هير W. de Heer بالتعاون مع دانييل أوغارت D.Ugarte (وكلاهما يعمل حالياً في فيدرالية البوليتكنيك في لوزان - سويسره) خواص الإصدار الحقلي للأفلام المتشكلة من أنابيب الكربون النانوية عام 1995. وأشارا إلى التطبيقات الممكنة.

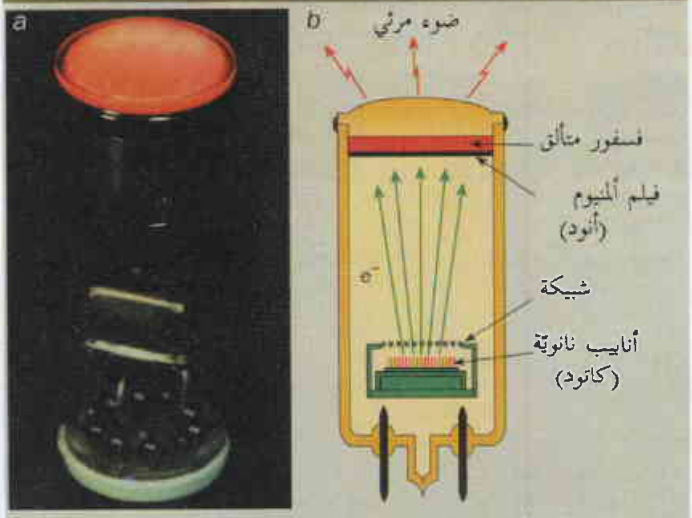
تسترعي خواص الإصدار الحقلي للأنابيب النانوية المتعددة الجدران الاهتمام لعدة أسباب. وبخاصة، يمكن باستخدام حقول كهربائية متوسطة فقط استخلاص تيارات ثابتة كبيرة جداً من هذه الأفلام. على كل حال هنالك حاجة لأمثلة مميزات إصدار حقلي عديدة للعارضات المسطحة الشاشة، أحدها "حقل الوصل" وهو الحقل الكهربائي المطلوب لإنتاج تيار مقداره 1 μA في السم المربع من السطح المصدر. والآخر هو "حقل العتبة" المعرّف بالحقل الكهربائي اللازم لانتاج تيار مقداره 1 mA في السم المربع. ويعد هذا بمثابة كثافة التيار الصغرى من أجل تطبيقات عارضات الشاشة المسطحة. وكلما كان حقل العتبة أخفض يصبح المصدر أكثر ملاءمة من أجل الأغراض العملية.

تجري بحوث مكثّفة لايجاد مواد لها مميزات إصدار حقلي مرغوبة، ورخيصة ومتينة أيضاً. ويبدو في الوقت الحاضر أن أفلام الأنبوب النانوي أفضل الإنجازات من منظورات عدة، ويمكن أن يصبح إنتاجها من الناحية الاقتصادية معقولاً. وقد أدى هذا إلى تحريض محاولات جادة من قبل عدة شركات بما فيها شركة سامسونغ في كوريا ونوريتاك وإلكترونيات أيز في اليابان لتطوير نبائط قائمة على الأنبوب النانوي.

يمكن أن تكون أول نبيطة في السوق تستخدم الأنابيب النانوية المتعددة الجدران مصباحاً يعمل على مبدأ الإصدار الحقلي وليس عارضة مسطحة الشاشة. عرض ياهاتشي سايتو Y.Saito ومعاونوه في جامعة مي في اليابان حالياً مصباحاً نموذجياً أولياً (الشكل 1). يستخلص الحقل الكهربائي الإلكترونات من الفلم ويسرّعها فيما بعد باتجاه شاشة ذات بريق فسفوري تضيء بسطوع.

إن القوة الدافعة وراء هذه التقانة هي كفاءة طاقة المصباح. وهذه الكفاءة عالية لأن المصباح لايتطلب فتيلاً مسخناً. يمكن أيضاً تعديل لون المصباح بسهولة وذلك بتغيير الفسفور. وبالإضافة إلى ذلك يمكن إشعال وإطفاء هذه المصابيح بسرعة كبيرة جداً. وتحدّ معدلات هذه السرعة فقط سرعة الإلكترونيات التي تسيّر المصباح، ومن السهل إحراز معدلات سرعة تساوي عدة مئات من الدورات في الثانية. إنّ المصدرات من نوع الأنابيب النانوية الرقيقة قابلة للتحمل كثيراً، وبعكس مصدرات الحقل الأخرى، يمكن تشغيلها تحت شروط خلاء ضعيفة نسبياً. وفي هذه الحالة هناك تلاقي التوقيت والكثير من الخواص العديدة المفضلة للأنابيب النانوية التي تفتح الباب أمام تطبيقات ممكنة وعلى نطاق واسع.

الشكل 1- مصابيح إصدار الحقل لأنابيب الكربون النانوية



(a) عنصر إضاءة الأشعة الكاثودية هذه مزود بكاثود مصدر الحقل لأنبوب الكربون النانوي. (b) تستخلص الإلكترونات من الكاثود بتطبيق فولطية على شاشة التحكم. تُسرّع الإلكترونات نحو الشاشة الفسفورية التي تصدر بالتالي ضوءاً. يعتمد لون الضوء على المادة الفسفورية المختارة.

إن العارضة التلفزيونية المسطحة الشاشة أكثر المشروعات تحدياً لأنها تتطلب صفيفات متراصة جداً من عناصر الإصدار الحقلي التي يمكن تحويلها بسرعات تلفزيونية. (يمكن تبديل صورة الفيديو العادي حوالي 100 مرة في الثانية). وبالرغم من تعقيد هذا المشروع، فقد عرض جونغمين كيم J. Kim في سامسونغ عارضة تعمل بنجاح لها شاشة 9 إنش بكامل اللون (انظر الشكل 2). ورغم أن هنالك عدة أخطاء خفية تحتاج إلى إصلاح فإن المشروع قريب من الكمال، ومن المقرر أن تدخل العارضة المسطحة الشاشة القائمة على الأنبوب النانوي السوق خلال العامين القادمين. ويمكن أن يمثل هذا الاختراق بشكل جيد التطبيق الأول الكبير لأي من مواد الفلّرين.

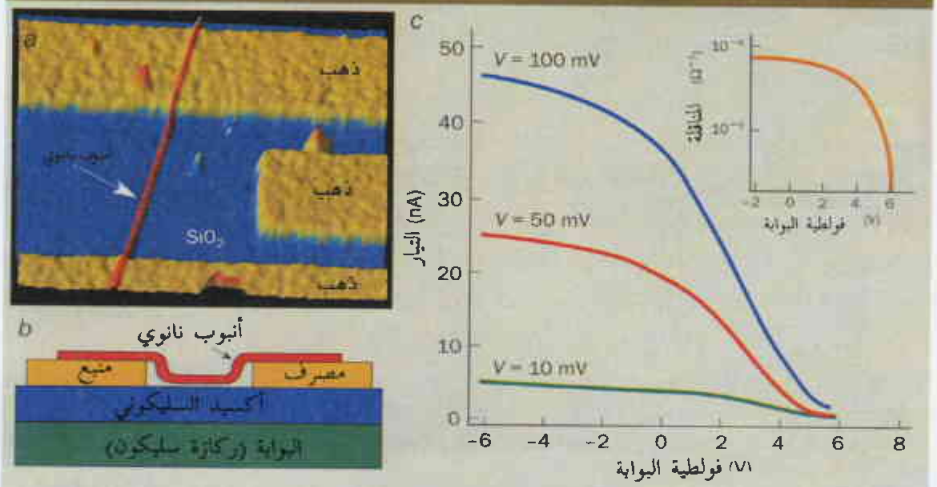
الشكل 2- عارضات مسطحة الشاشة

تستخدم الإلكترونات الصادرة من أنابيب الكربون النانوية في العارضة المسطحة الشاشة هذه والمطوّرة من قبل معهد سامسونغ المتقدم للتقانة في كوريا، في إضاءة العنصورات لتوليد صورة على الشاشة. وينتج هذا النموذج الأولي من هذه العارضة المسطحة 9 بوصة صور فيديو كاملة اللون.

وبفرض أن مجمل سوق العارضات حالياً يقيّم بحوالي 40 بليون دولار، مع استمرار ازدياد هذا الرقم بسرعة، فإن تقانة عارضات الأنابيب النانوية يمكن أن تمثل صناعة بمقدار يبلغ عشرة أرقام. ومع ذلك، ففي سوق العارضات المتنافسة بشدة يوجد هنالك رابحون قليلون وبلاشك خاسرون كثيرون. هنالك شاشات عديدة أخرى كعارضات البلّورات السائلة المسطحة الشاشة، التي تستعمل الحواسيب الحضنية والتي يجري تحسينها باستمرار. ويبدو في الوقت نفسه أن عارضات البلازما الساطعة جداً والكفوءة من الناحية الطاقية، واعدة جداً.

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

الشكل 3- ترانزستورات أنابيب نانوية تظهر للعيان



ترانزستور تأثير الحقل قائم على أنبوب نانوي وحيد الجدار. (a) صورة مجهر القوة الذرّية لأنبوب نانوي وحيد عابر لإلكترودي الذهب. (b) رسم تخطيطي لبنية النبيطة. (c) تيار المنبع - المصرف كتابع لفولطية البوابة من أجل انحيازات منبع - مصرف متعددة. يبين الشكل الداخلي تغير مناقلة الانحياز المنخفض لترانزستور تأثير الحقل لأنبوب نانوي كتابع لفولطية البوابة.

من هنا، فإن ترنزستورات أثر الحقل من الأنابيب النانوية المصنعة بهذه المميزات يمكن أن تبشر بعهد الإلكترونيات الجزيئية.

على كل حال، يجب أولاً اجتياز عدد كبير من العقبات قبل أن نستطيع دخول هذا العهد الجديد من الإلكترونيات غير السليكونية. فمثلاً لاتوجد حالياً مؤشرات واضحة عن كيفية صنع نبائط الأنابيب النانوية بشكل موثوق. لايُعرف كيف يمكن أن تتموضع الأنابيب النانوية مثلاً أو كيف يمكن صنع الربط البيني بمقاومات تماس من القياس النانومتري.

الحقيقة أن هنالك مقاومة تماس أصغرية نظرية تعود أو تلازم الخواص الإلكترونية لأنابيب الكربون النانوية. توحي الحسابات النظرية الحالية بأن الإلكترونات في أنابيب الكربون النانوية تنتقل عبر حالات كمومية محدّدة تماماً أو قنوات تمتد من إحدى نهايتي الأنبوب إلى النهاية الأخرى.

يوجد في أنابيب الكربون النانوية الأحادية الجدار قناتان متوازيتان تمانعان جريان الإلكترونات. وهذه الممانعة مستقلة عن طول الأنبوب بشكل قريب الشبه بطريقة جريان الماء خلال ثقب في سدٍّ محدّد بشكل رئيسي بقطر الثقب أكثر من طول القناة. والغريب في الأمر أن الأنبوب النانوي نفسه لاترتفع درجة حرارته رغم إعاقة جريان الإلكترون. وبدلاً عن ذلك، فإن تبديد الطاقة يتم بصورة رئيسة على التماسات بطريقة مشابهة لما يجري للماء الذي ينفث من السدّ، والذي يفقد طاقته عندما

الإلكترونيات: النبائط والروابط البينية

تملك أنابيب الكربون النانوية خواص عديدة يمكن أن تجعلها ملائمة للنبائط الإلكترونية. وأول خاصة ظاهرة فيها هي حجمها، لاسيما أن الاتجاه نحو تنمتها مستمر بسرعة لاتلين نحو المقاس النانومتري. ويمكن للأنابيب النانوية في آخر الأمر أن تجد مكانها في صناعة الإلكترونيات كروابط بينية بين المكوّنات الإلكترونية وكنبائط منطقية ونبائط تخزين.

ولمواصلة هذه الأهداف الرفيعة هنالك العديد من النجاحات. تتضمن نبائط النماذج الأولية، التي جرى صنعها، الديودات والمقومات والترانزستورات ذات الإلكترون الوحيد وترانزستورات أثر الحقل (FETs). لقد كان رائد هذه الجهود سيز ديكّير C.Dekker ومعاونوه في جامعة دلفت للتقانة في هولندة، وتشارل ليبر C.Lieber وزملاؤه في جامعة هارفرد إلى جانب مجموعات بقيادة ألكس تستل وبول مكوين ر. مارتل في جامعة كاليفورنية في بيركلي وأحد مؤلفَي هذا المقال ر. مارتل ومعاونيه في الـ IBM.

ترانزستورات أثر الحقل القائمة على الأنابيب النانوية جذابة بشكل خاص كبديل لمتممها السليكوني في التطبيقات الإلكترونية الواسعة الانتشار (انظر الشكل 4). لقد تحرّى الباحثون في IBM مميزات ترانزستورات أثر الحقل القائمة على الأنابيب النانوية وقيّموا قدرة الثقوب والإلكترونات على الحركة استجابةً لتطبيق حقل كهربائي. وقد وجدنا أن حركية الثقوب في الأنابيب النانوية تقارن مع الحركية في نبائط السليكون التي لها تراكيز مشابهة من حاملات الشحنة. علاوةً على ذلك، فقد كشفت أبحاثنا أن حركية الثقب في الأنابيب النانوية أكبر بمرتبة في القيمة من النواقل القائمة على المادة العضوية أو ترنزستورات أثر الحقل العضوية. وبالتالي فإن سرعة التبديل في الـ FET من الأنابيب النانوية يجب أن تكون منافسة مع نبائط السليكون الحالية.

الشكل 4- أنابيب نانوية معقوفة تشكل نبائط جزيئية

مشهد منظوري لعقفة في أنبوب كربون نانوي (أزرق) الذي نهايتاه بالإلكترودين (أصفر). يقع الأنبوب على ركازة (أخضر). يلعب الأنبوب النانوي المعقوف في هذه الحالة دور ديود جزيئي ويسلك الطريقة التي يسلكها الديود التقليدي. ينساب التيار بصورة أسهل في اتجاه واحد خلال الأنبوب النانوي أكثر من الاتجاه الآخر.

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

يتناثر في الحوض. وبالنتيجة، فمن أجل جميع الأغراض العملية، تشبه ممانعة جريان الإلكترون مقاومة تماس تبلغ 6.5 kΩ .

على كل حال، لم يتم التوصل إلى هذا الحد النظري الأخفض في أي تجربة أجريت حتى الآن. وإن أخفض مقاومة تماس جرى التوصل إليها حالياً تبلغ حوالي ضعف هذا المقدار مما يوحي بأن النظرية قد لا تكون ناقصة. وعادة ما تعزى هذه القيم الأكبر إلى تأثيرات تجريبية مختلفة. فمثلاً من الصعب "لَحْم" القضبان المعدنية على أنابيب الكربون النانوية لأن المعادن لا "ترطب" الأنابيب، ولهذا فإن جميع مفاصل اللَّحام بصورة عامة تؤدي إلى مقاومات تماس كبيرة.

إن منزلة إلكترونيات الأنابيب النانوية في الوقت الحالي هي في سوية منخفضة جداً. تُنتَج معظم نبائط الأنابيب النانوية كلية بالصدفة بما في ذلك ديود الأنبوب النانوي الذي صنعه ديكير ومعاونوه والمبيَّن في الشكل 4 . تتوضع الأنابيب النانوية في كثير من الحالات بصورة عشوائية على ركازة عازلة. وتصنع التماسات المعدنية بعد ذلك باستعمال تقنيات الطباعة الحجرية من صناعة الإلكترونيات المكروية. وكبديل، تُحرَّك الأنابيب النانوية إلى مكانها باستعمال مجهر السبر الماسح. إن مجرّد تحضير عنصر إلكتروني وحيد يُعدّ عملية تتطلب مهارة وهي ليست مناسبة إطلاقاً من أجل إنتاج كبير لنبائط متراصة بكثافة.

حتى وإن وجد لمشاكل الإنتاج ووضع النبائط حلٌّ في المستقبل، فهناك مسألة أخرى تتعلق بالخواص الإلكترونية للأنابيب النانوية نفسها. يمكن أن توجد الأنابيب النانوية كمعادن أو أنصاف نواقل وذلك حسب اعتمادها على لولبية البنية الغرافيتية. على كل حال، لايمكن التحكم باللولبية باستخدام طرائق الإنتاج الحالية.

القضايا الأخرى تتضمن سوية التطعيم في الأنابيب النانوية، التي تحدّد مميزات وصلات نصف الناقل المتشكلة. يمكن أن يُنجز التطعيم إما بإبدال ذرات البور أو النتروجين بذرات الكربون أثناء عملية إنماء الأنبوب النانوي، أو بربط ذرات قلوي أو هالوجين إلى خارج الأنبوب، وهو أمر صعب عمله بطريقة دقيقة ومحكمة. أثبت الباحثون في IBM أن سوية التطعيم حرجة من أجل النبائط الإلكترونية لأنها تؤثر في الطول الذي عليه يمكن أن يُشحن الأنبوب بالكهرباء الراكدة. في الحقيقة، بيّنا أن مايسمى بالعرض المستنفد يتغير أسياً مع تركيز التطعيم. هذا الأمر هام لأن الحجب الإلكتروني في هذه المنظومات شبه الأحادية البعد يمتد على أطوال أكبر بكثير بالمقارنة مع السليكون المستوي الذي يطرح أيضاً تحدياً آخر في تصميم النبيطة بالمقاس النانوي.

يقتضي الاتجاه العام نحو النبائط الحاوية كثافة أكبر من المكوّنات طلبات متزايدة باطّراد على الأسلاك التي تصلها مع بعضها البعض. وصناعة الإلكترونيات المكروية تعي تماماً المشاكل الناتجة عن هجرة الذرات في الأسلاك. وهجرة الإلكترونات هذه تُحرَّض بالتيارات العالية الشدّة في الأسلاك وتعرّض وثوقية النبائط للخطر. ولمواجهة هذا التحدي، أدخلت IBM حديثاً تقانة تسمح لصانعي الجذاذات باستخدام الوصلات البينية النحاسية التي هي أكثر قوة فيما يتعلق بهجرة الإلكترونات من أسلاك الألمنيوم المستعملة عادة.

يمكن أن تكون أنابيب الكربون النانوية بصورة خاصة ملائمة تماماً للتوصيل البيني، لأن إزاحة ذرة كربون من الأنبوب النانوي أصعب بكثير. وللمقارنة، يمكن إزاحة ذرة بسهولة نسبياً من سلك المعدن. تستطيع الأنابيب النانوية أيضاً أن تنقل كثافات تيار عالية، تزيد عن $10^9 A.cm^{-2}$، ولاتتخرب بمثل هذه التيارات العالية نتيجة لمقاومتها الأصيلة. ومن الملامح الأخرى المرغوبة في الأنابيب النانوية ناقليتها الحرارية العالية، وارتفاع متانة وجودة رابطة الغرافيت بالمقارنة مع الرابطة المعدنية الطَّروقة.

هل ستصبح الإلكترونيات القائمة على الأنابيب النانوية حقيقة واقعة؟ تشير جميع الدلائل في الوقت الحاضر إلى أن هذا لن يحدث، على الأقل في المستقبل المنظور. لايوجد دليل على أن الإلكترونيات الوليدة القائمة على الكربون ستكون بالتأكيد قادرة على أن تنافس الإلكترونيات المكروية السليكونية المطوَّرة تماماً في الصناعة . من المحتمل أكثر أن تجد إلكترونيات الأنابيب النانوية مكاناً لها في بعض التطبيقات النوعية التي لا يوجد فيها بديل سليكوني أو لايمكن أن يُصنع.

فمثلاً، يمكن أن تقود الأنابيب النانوية إلى مُحسّات كيميائية جديدة، فقد تبين حديثاً أن ناقلية الأنابيب النانوية الوحيدة الجدار حساسة لمختلف الغازات بما فيها الأمونيا والأكسيد الآزوتي والأكسجين (انظر مقال هـ. داي في الصفحة (21) من هذا العدد).

المواد القائمة على الأنابيب النانوية

يعود الفضل في تطور مواد خفيفة وقوية بصورة كبيرة إلى القوة الاستثنائية لألياف الغرافيت المطمورة في داخل البوليميرات. وأنابيب الكربون النانوية تقرب بشكل واضح من ألياف الغرافيت. لكن بنية أنابيب الكربون النانوية، بعكس الألياف الصنعية، هي كاملة على الأغلب. والغياب الفعلي للعيوب يعزز متانة أنابيب الكربون النانوية التي تصنف حالياً بين أقوى المواد المعروفة.

إن الأنابيب النانوية أيضاً جسوءة بصورة استثنائية بمُعامل يونغ يصل إلى تيرا باسكال (10^{12} باسكال) مما يجعل جسوءتها غالباً برتبة مقدار واحدة أصلب من الفولاذ. وفي الحقيقة إن الأنابيب النانوية الأحادية الجدار قوية جداً وخفيفة بحيث أنه إذا كان من الممكن صنع سلك يمتد إلى الفضاء فإنه لن ينكسر نتيجة وطأة وزنه. وتستدعي هذه الصفة صور سواتل مقيدة بالأرض.

تدل هذه المظاهر الرائعة بوضوح أن الأنابيب النانوية الأحادية الجدار يمكن أن تحل محل ألياف الغرافيت الصنعية المعيارية وتحدث ثورة في صناعة المواد. على كل حال، يجب وللمرة الثانية تجاوز عدة عوائق رئيسة أولاً، وبالخصوص فيما يتعلق بإنتاج الأنابيب النانوية. تعطي طرائق الإنتاج التقليدية أنابيب نانوية قصيرة إلى حد ما، ونادراً ما يتجاوز طولها ملّيمتراً واحداً. وهنالك حاجة لتطوير طرائق جديدة لتعزيز هذا الطول بعدة رتب

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

من المقادير على الأقل. ويفضل إنتاج أنابيب نانوية بطول عدة أمتار أو أكثر.

على كل حال، من المحتمل أن لا تكون هذه المشكلة التقنية من أكثر التقييدات صرامة. ويجب ملاحظة أن كمية إنتاج الأنابيب النانوية العالية النوعية محدودة جداً. الحقيقة أن سعر الغرام من سخام الأنبوب النانوي التجاري غير المنقّى يبلغ حوالي ستين دولاراً، أي على الأغلب عشرة أضعاف سعر الذهب. ومن الواضح أن طرائق استحضار الأنابيب النانوية الطويلة بشكل كبير واقتصادي يجب أن تتطور بحيث يمكن تخفيض سعر الكيلوغرام إلى عدة بنسات. وبما أن الكربون رخيص وطرائق الإنتاج بصورة عامة بسيطة، فإن تحقيق هذا الهدف يبدو ممكناً. على كل حال يمكن إجراء مناقشة مماثلة على الكربون 60 "كُرات بوكي" القريب الصلة جداً بالأنابيب النانوية. لقد تطورت طرائق الإنتاج الكبير الكفوءة على الأغلب في العقد السابق، مع ذلك فإن الغرام الواحد من كرات بوكي مازال يكلف 25 دولاراً.

هنالك العديد من التقارير عن المواد المركبة الجديدة المصنوعة من البوليميرات وأنابيب الكربون النانوية. والفضل في امتلاك بعض هذه المواد خواص ميكانيكية وكهربائية مطورة يعود إلى أنابيب الكربون النانوية. وللتوصل إلى مثل هذه المتركبات، من الضروري أن تتشكّل رابطة قوية بين الأنابيب النانوية والمادة المضيفة. على كل حال، الأنابيب النانوية ناعمة جداً وبالتالي فهي زلقة جداً، ولهذا فهي بالفعل لاتقدم شيئاً لدعم ذلك حتى على المستوى الجزيئي. ويعني هذا أنه يجب تطعيم "مقابض" في الأنابيب النانوية. ويتطلب هذا في المصطلح الكيميائي أن يتم تحريض الأنابيب على أداء وظيفتها بربط جزيئات معها. على كل حال، يجري في الأنابيب النانوية الكاملة، ربط كل ذرة كربون مع ذرات الكربون الثلاث المجاورة. وبعبارة أخرى، تكون الروابط مشبعة ويتطلب هذا تعديل بنية الغرافيت الكاملة من أجل دمج هذه الجزيئات. ويمكن لهذه التعديلات أن تعرّض متانة الأنبوب للخطر.

إن تفعيل الأنابيب النانوية ودمجها مع الركازة عمل شاق. وقد حصل تقدم ضمن هذا الاتجاه، وتم الحصول على روابط قوية نسبياً بين أنابيب الكربون النانوية ومواد معينة من ركازة البوليمير. على كل حال، من الواضح أن الطريق مازال طويلاً للوصول إلى مواد عملية وخفيفة وقوية جداً يقوم أساسها على الأنابيب النانوية.

هنالك اهتمام كبير لإنتاج مواد بلاستيكية تستطيع نقل الكهرباء إلى درجة ما. وهذه الخاصة مفيدة مثلاً لحماية المكوّنات الإلكترونية من الفولطية الكهراكدية أثناء فترة التخزين والشحن. أنتجت مثل هذه التحريات بوليميراً عضوياً ضعيف الناقلية ممزوجاً مع الأنابيب النانوية لتشكيل ناقل عضوي بشكل كامل. تشير هذه الأمثلة إلى بعض الاتجاهات نحو مواد جديدة تستخدم الأنابيب النانوية.

الأنابيب النانوية في مجهرية السبر الماسحة

لقد فتحت مجهرية السبر الماسحة أعيننا على عالم الجهرية النانوية. التي كان الاقتراب منها سابقاً بواسطة المجهرية الإلكترونية فقط. ومجهرية السبر الماسحة هي نبيطة بسيطة نسبياً حيث تقرب إبرة دقيقة لتصبح على تماس مع عينة يتم ضبطها بمكاشيف حساسة جداً.

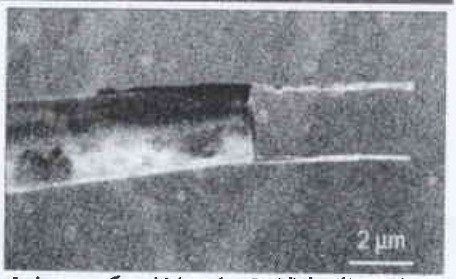
في مجهر القوة الذرّية مثلاً يقاس انحراف الإبرة الدقيق إلكترونياً. تسجل القوى بين رأس الإبرة والعينة عندما يمس الرأس العينة مثناً رقيقاً معطياً صورة طبولوجية للسطح. تصنع رؤوس الإبَرة حالياً باستخدام طرائق طباعة حجرية. على كل حال فهي نسبياً مثلّمة وغير منتظمة من وجهة النظر الذرّية. ويسعى الباحثون باستمرار لإيجاد رؤوس أفضل.

يوحي طول وجسوءة الأنابيب النانوية أنها قد تكون مثالية لمجهرية السبر الماسحة. الحقيقة أن هونجي داي وريك سمولي R. Smalley ومعاونيهما في جامعة رايس أبدعوا عام 1996 أحد التطبيقات المبكرة للأنابيب النانوية كرؤوس لمجاهر السبر الماسحة. وهذه الرؤوس غير عادية لأنها تستطيع أن تصمد أمام "تحطمات" السطوح التي تمسحها. وفوق ذلك، ونظراً للقطر الدقيق للأنبوب النانوي بالمقارنة مع طوله، يمكن استخدامه لاستكشاف الصدوع العميقة التي تكون صعبة المنال باستخدام الرؤوس التقليدية. طور ليبير من جامعة هارفارد وداي الموجود حالياً في جامعة ستانفورد طرائق لإنماء الأنابيب النانوية مباشرة على رؤوس تقليدية بدلاً من الاعتماد على احتمال التصاقها.

لقد عُززت قدرات السبر الماسح كثيراً بجعل رأس المجهر حساساً لجزيئات معينة. وقد أنجز ليبير ومعاونوه في جامعة هارفارد هذا الأمر بربط جزيئات مناسبة إلى نهاية رأس أنبوب الكربون النانوي. وبالتالي فإن القوة بين الإبرة والجزيئات تعتمد على التأثر الكيميائي بين الجزيئات على الرأس والسطح. وهذا يعني أنه من الممكن قياس القوى الجزيئية مباشرةً. ومن هنا فإن صورة مجهر القوة الذرّية تمثل خارطة كيميائية انتقائية للسطح. لهذه الطريقة قدرة كامنة كبيرة بحكم المدى الواسع للجزيئات التي يمكن أن تُربط بالرأس.

طور ليبير منذ عهد أقرب طريقة ذكية للحصول على زوج من ملقطين نانويين بإنماء زوجين من الأنابيب النانوية على نهاية رأس سبر ماسح (الشكل 5). يفتح الملقطان ويغلقان بتطبيق فولطية على الأنابيب بحيث يمكن التقاط الأجسام النانوجهرية وتحريكها هنا وهناك.

الشكل 5- آلات جديدة من أجل النقانة النانوية

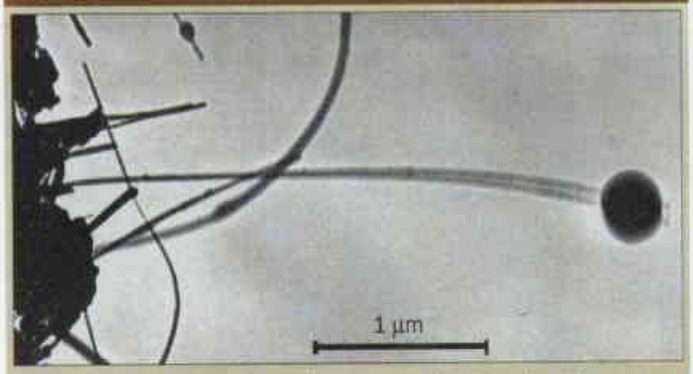


زوجان من الملاقط النانوية صمّمهما فيليب كيم من جامعة كاليفورنيا في بيركلي وتشارلز ليبر من هارفارد يتألفان من أنبوبي كربون نانويّين متصلين بإلكترودين من الذهب على طرفي القضيب الزجاجي. الملقطان يفتحان ويغلقان بتطبيق فولطية متساوية القطبية للأنابيب النانوية أو متعاكسة. يستطيع الملقطان التقاط أجسام مقطعها 500 nm.

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

في عام 1999 طوّر دري هبر ومعاونوه مشروع مناولة للأنبوب النانوي له علاقة بالموضوع لوزن الأجسام النانوية. يربط الجسم النانوي إلى أنبوب الكربون النانوي (الشكل 6). يمكن أن توضع هذه المنظومة المؤلفة مما يشبه الكرة والنابض بحالة حركة تجاوبية وذلك بتطبيق فولطية متناوبة. ولما كان التواتر التجاوبي يعتمد على كتلة الجسم وثابت النابض للأنبوب النانوي، المعروف القيمة، فمن الممكن "وزن" الجسم.

الشكل 6- ميزان نانوي كربوني



اهتزازات تجاوبية لجسيم كربون كروي مرتبط مع أنبوب كربون نانوي. تواتر التجاوب لهذه الجملة 968 كيلوهرتز. ومن هذا التواتر والخواص المعروفة للأنبوب النانوي، أمكن تعيين كتلة هذا الجسيم، الذي قطره 42 nm، بأنها تبلغ 6 ± 22 فمتوغرام.

الأنابيب النانوية لتخزين الطاقة

الطريقتان الرئيستان المستعملتان حالياً لتخزين الطاقة هما البطاريات وخلايا الوقود. والأنابيب النانوية هي المادة المرشّحة في كلا التطبيقين، ولكن يبدو في الوقت الحاضر أن خلايا وقود الهدروجين هي الأفضل، إذ تَعِد بالكثير.

ومن المحتمل أن تصبح مثل هذه الخلايا مصدراً هاماً للطاقة المحمولة في المستقبل القريب، وبخاصة من أجل السيارات الكهربائية. تعتمد خلية الوقود على تحويل الهدروجين الجزيئي إلى ماء باستخدام حفّاز، وتتحرر طاقة التفاعل على شكل طاقة كهربائية، مما يعني بأن خلية الوقود هي بصورة أساسية بطارية كيميائية.

الهدروجين على كل حال غاز قابل للاشتعال مما يجعله صعب التخزين. ولايمكن اعتبار صهاريج التخزين العالية الضغط قابلة للتطبيق لاعتبارات الأمان. وفي الوقت ذاته، فإن درجة الحرارة المنخفضة المطلوبة لتخزين الهدروجين السائل أمر قابل للتحقيق ولكنه ليس مثالياً. والبديل، أن هنالك عدداً من المواد كالبلاّديوم قابلة لامتصاص كميات كبيرة من الهدروجين وتحريرها ثانية تحت شروط معينة، مثلاً في درجات الحرارة المرتفعة.

أثبت ميشيل هيبين M. Heben ودون بيثون D. Bethune ومعاونوهما في المختبر الوطني للطاقة المتجددة في غولدن - كلورادو عام 1997 أن الأنابيب النانوية الأحادية الجدار تمتص مختلف الغازات بغزارة، وبخاصة الهدروجين. وتم إدراك الإمكانيات من أجل خلايا الوقود مباشرة.

ومنذ ذلك الحين قامت عدّة أفرقة بالتحري عن خواص تخزين الهدروجين وتحرره في كل من أنابيب الكربون النانوية الأحادية الجدار والمتعددة الجدران. والنتائج كانت مشجعة نسبياً، فمثلاً، بيّن العلماء في أكاديمية العلوم الصينية في شينيانغ حديثاً أن ذرّة هدروجين واحدة يمكن أن تخزن في ذرتين من الكربون في عينة من الأنابيب النانوية المعالَجة كيميائياً تحت ضغوط معتدلة. وفوق ذلك يمكن أن يتحرر معظم الهدروجين الممتص تحت الضغط المحيط في درجة حرارة الغرفة.

نظرة مستقبلية

لقد أثارت الأنابيب النانوية خيال الفيزيائيين والكيميائيين الذين يتحرّون خواصها وكذلك تسويغها. ليس هنالك أدنى شك أن أنابيب الكربون النانوية ستكون مهمة بشكل استثنائي في العديد من التطبيقات. *والسؤال هو متى؟*

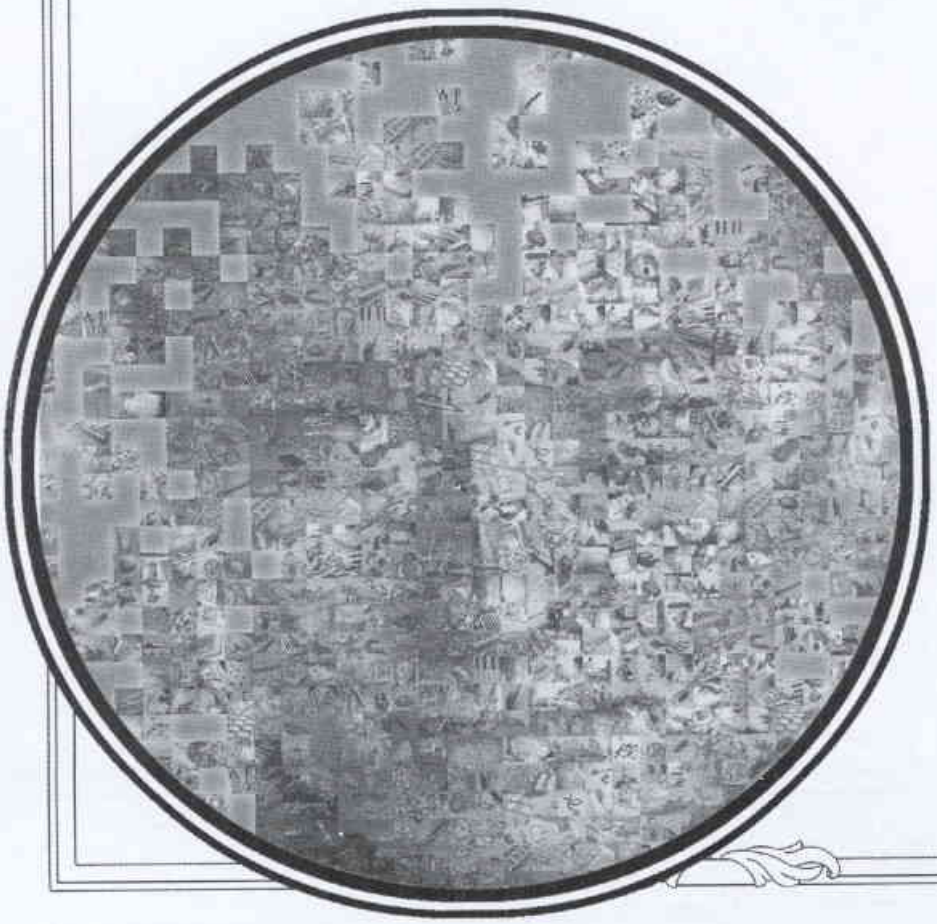
لقد اكتُشفت الأنابيب النانوية حديثاً ويمكن أن نقول باطمئنان أنه حتى الخاصة الأساس مثل النقل الكهربائي في الأنابيب، هي في أحسن الأحوال غير مفهومة بشكل جيد. ويمكن أن نقول الشيء نفسه عن خواص إصدار الحقل للأنابيب النانوية، والكيمياء الكهربائية الخاصة بها مع خواصها الإلكترونية والميكانيكية. هنالك جدول زمني للبحوث الأساسية من الصعب تسريعه، إذ من الممكن أن يتطلب تقدّم قليل في حقل ما تقدماً كبيراً في عدة حقول أخرى.

إنها لنعمة لاتخلو من نقمة ذلك أن الفهم الأساسي للأنابيب النانوية ليس شرطاً من أجل التطبيقات القائمة عليها. وبالرغم أن من الممكن أن نشاهد في السوق نتاجاً بدائياً نسبياً للأنابيب النانوية خلال سنوات قليلة، فإن النجاح التقاني الكبير لهذه الأشياء يمكن أن لايتحقق قبل عقود أو ربما أكثر. وفوق ذلك، فإن من المحتمل للاكتشافات الكبيرة أن تأتي حتى على أشكال لم نلمسها هنا.■

☆ ★ ☆

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

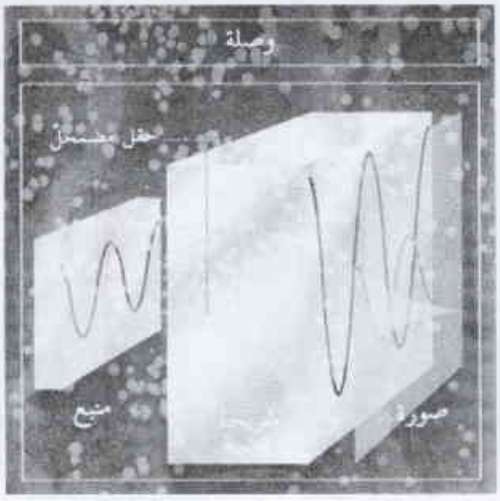
أخبار علميّة



1- عدسات نانوية*

هل نستطيع كسر حاجز الضوء؟

هناك حدّ لعدد الصور التي تستطيع أن تحصل عليها على DVD، وحدّ لعدد الترانزستورات على جذاذة من السليكون - ألا وهو طول موجة الضوء. ذلك لأن الفيزيائيين يستخدمون الضوء لتسجيل بتّات من المعطيات أو أنهم يصنعون مكوّنات صغيرة جداً (منمنمة)، بيد أنهم لم يستطيعوا أن يمرّروا الضوء في بقعة أصغر من طول موجة الضوء. لكن باحثاً بريطانياً يقول اليوم إن بإمكانه أن يمرّر الضوء في بقعة أصغر بمئات المرات من طول موجته، مستخدماً صنفاً جديداً تماماً من العدسات.



إن النظرة التقليدية عن الضوء هي أنه مُكوّن من حقلين كهربائي ومغنطيسي يهتزان وينتشران بصورة رائعة في الفضاء. تُبقِّر العدسات التقليدية الضوء بإزاحة توقيت الأمواج - أي "طورها" - وإن دقة التبئير محدودة بالطول الموجي للضوء.

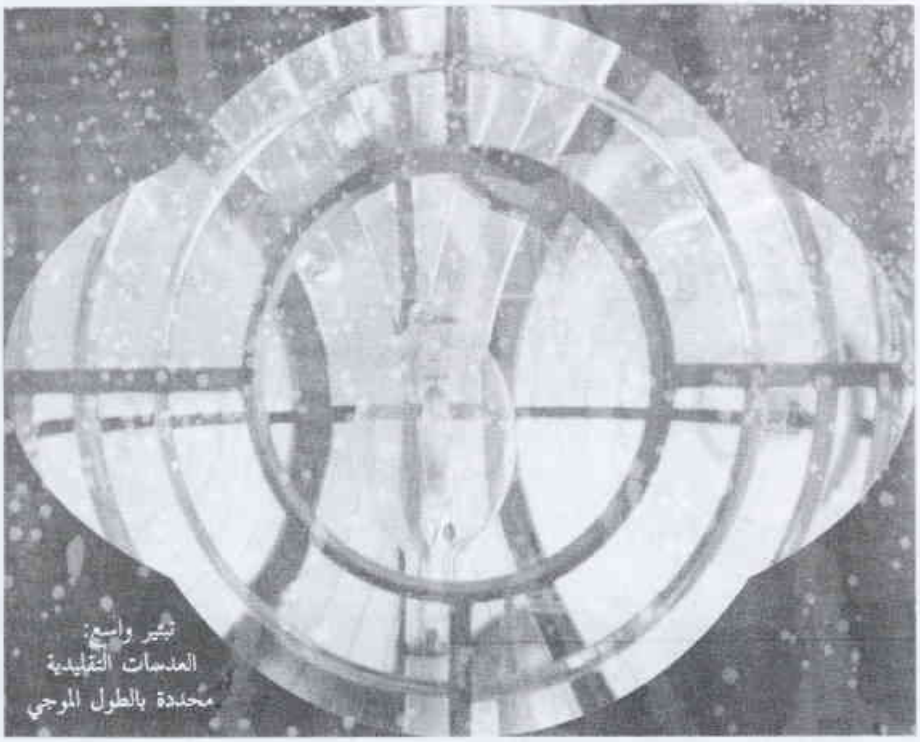
لكن الضوء في الجوار القريب من مصدره أكثر تعقيداً. ففي هذه المنطقة يحتوي الضوء أيضاً على حقلين كهربائي ومغنطيسي ساكنين يعرفان جماعياً باسم "حقل الضوء المضمحلّ" evanescent field. يهبط حجم هذه الأمواج المستقرة بسرعة فائقة عندما تتحرك مبتعداً عن المنبع، وتختفي بعد بضع عشرات النانومتر، لذا فإن الفيزيائيين اعتادوا إهمالها.

لكن جون بندري J. Pendry من الكلية الملكية في لندن، يعتقد بإمكان استعمال الحقل المضمحلّ في استخدامات نافعة. فيقول بأن نوعاً جديداً من العدسات يمكن أن يصنع خيالاً للحقل المضمحلّ يعكس منبع الضوء الأصلي انعكاساً مرآوياً (انظر الشكل). لا تأخذ العدسة شكل عدسة تقليدية، بل هي فلم بسيط يبلغ ثخنه حوالي 40 نانومتراً من مادة كالفضة مثلاً لها ثابت عزل سالب - أي إنه يثني الجزء الكهربائي من الحقل بطريقة معاكسة للمواد الأخرى.

وعلى السطح القريب (الأنسي) من العدسة، تستجيب الإلكترونات للموجة المضمحلّة بإحداث كمون كهربائي متزايد في الفضة. ينتشر هذا الكمون عبر الفلم، وتزداد طويلته مع تقدمه، حتى يصل السطح البعيد من العدسة حيث يولّد هناك موجة مضمحلّة جديدة يصفها بندري بـ "تأثير النقّافة" slingshot effect. وبعدئذ تتلاشى هذه الموجة الجديدة إلى صورة للمنبع الأصلي.

يقول بندري: لا يوجد حدّ نظري للدقة التي يمكن أن تبأر بها أمواج الحقل القريب، لذا فإن الصورة ينبغي أن تكون حقيقية حتى النانومترات. ويقول بندري "لم أصدقها، ولكنني اليوم أدعوها معجزة".

"إنها فكرة شيقة وصحيحة بكل تأكيد"



هذا ما يقوله شلدون شولتز Sh. Schultz - وهو من جامعة كاليفورنيا، سان ديغو - الذي طوّر مع ديفيد سميث D. Smith تركيباً يتمتع بقرينة انكسار سالبة، يثني الضوء في الاتجاه المعاكس للمواد الطبيعية. ويقول بندري: ستكون هذه المادة العدسة الكاملة، القادرة على تبئير الجزأين المغنطيسي والكهربائي للحقل المضمحلّ.■

* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 28 October 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

2- الجهود مستمرة لتحقيق حلم الحصول على طاقة اندماج لا تنضب*

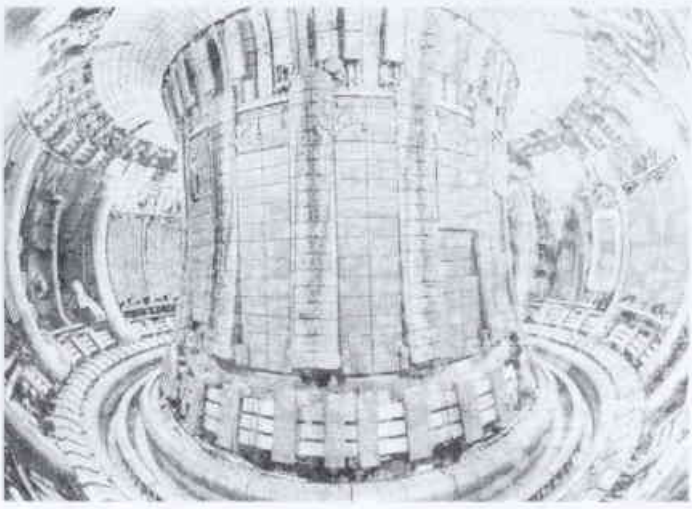
في محاولة أخيرة تُطرح دعوة لتحقيق حلم عمره خمسون عاماً يطمح إلى توليد طاقة كهربائية لا محدودة من التفاعلات ذاتها المولِّدة لطاقة الشمس، لجأ الفيزيائيون في الأسبوع الماضي إلى تقديم تصميمهم النهائي المعدّل (الأقل تكلفة) لمفاعل نووي اندماجي، وفي ذات الوقت حذّر هؤلاء من أنه سيُقضى نهائياً على الحلم المذكور ما لم تقم الحكومات الآن بتخصيص مبلغ 3.5 بليون يورو (أو ما يعادل 2 بليون جنيه استرليني) يتطلبها بناء مثل هذا المفاعل.

وكان المشروع العالمي لطاقة الاندماج محط إهمال لمدة سنتين، منذ أن أعرضت الحكومات الممولة عن بطاقة سعره الأصلي التي بلغت 7 بليون يورو. وقد بدأ الباحثون منذ ذلك الحين بخفض قاسٍ لطموحاتهم. وفي مؤتمر طاقة الاندماج الذي نظمته الوكالة الدولية للطاقة الذرّية وجرى عقده في الأسبوع الماضي في مدينة سورنتو Sorrento، أفاد إفجني فيلخوف Evgenii Velikhov، وهو أحد كبار العلماء الروس في مجال طاقة الاندماج، بأن مستقبلنا سيكون كئيباً جداً ما لم يُتخذ قرار سريع بشأن البدء ببناء المفاعل المنوه عنه آنفاً. كذلك، حذّر أمبرتو فنزي Umberto Finzi، منسق المفوضية الأوربية من أجل الطاقة والبيئة، من أنه سوف تتلاشى وتندثر البحوث العملية لطاقة الاندماج إذا ما فشلت الحكومات في دعم وتبني التصميم الجديد.

وقد بدأت الولايات المتحدة وأوربا واليابان والاتحاد السوفيتي (سابقاً) العمل معاً في طاقة الاندماج عام 1986. لكنه، في الوقت الذي انتهى عنده تصميم المفاعل النووي الحراري التجريبي الدولي (إيتر International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER في عام 1998، أضحى المناخ السياسي مختلفاً جداً، حيث تضاءل دعم الولايات المتحدة لمشروع طاقة الاندماج، كما لم يبق لروسيا سوى القليل من المال الذي يمكن وضعه على مائدة المساهمة في هذا المشروع.

في العام الماضي، انسحبت الولايات المتحدة من المشروع، ومنذ ذلك الوقت عكف باحثوا طاقة الاندماج في أوربا واليابان وروسيا في العمل على مراجعة المشروع وتعديل تصميمه بشكل يتيح خفض تكلفة رأس المال إلى النصف. وفي هذا الصدد، يشير فنزي إلى أن تكلفة بناء المفاعل، إذا ما جرى توزيعها على عشر سنوات، ستمثل فقط 25 % من مبلغ 1.4 بليون يورو سبق أن أُنفقت سنوياً على بحوث الاندماج في أنحاء العالم كافة. ووراء الكواليس في سورنتو، كان فنزي مشغولاً في تحضير أرضية التفاوض، في العام القادم، بشأن صفقة تمويل ما بين أوربا واليابان.

ويبقى مبدأ مفاعل ITER المختزل ذاته كما كان سابقاً، والذي يتمثل في وعاء ضخم له شكل الكعكة، يُطلق عليه اسم "توكاماك tokamak"، يحتوي في داخله على حقول مغنطيسية جبّارة تحيط ببلازما نظيري الهدروجين - الدوتريوم والتريتيوم. وما أن يجري التسخين لدرجات حرارة أعلى من 100 مليون درجة حتى تندمج نوى الدوتريوم والتريتيوم لتشكل جسيمات ألفا ونترونات. وتقوم جسيمات ألفا بإعادة تسخين البلازما في حين يغدو ممكناً استخلاص طاقة النترونات.



لا فائض من الطاقة: لا تستطيع مفاعلات صغيرة، كمفاعل JET أن تولد طاقة مجدية.

لقد تقلّص العديد من البارامترات الأساسية في التصميم الجديد للمفاعل إيتر فقلّت القدرة المفروض توليدها من 1500 إلى 500 ميغاواط، كما انخفض حجم البلازما من 2000 إلى 837 متر مكعب. والشيء الحاسم هو أن المفاعل الجديد لم يعد بعد الآن يهدف إلى "إشعال" البلازما. والاشتعال يحدث عندما تزوِّد جسيمات ألفا طاقة كافية لاستمرار التفاعل، وعندها لا توجد حاجة للمزيد من دخل الحرارة. وأصبح الهدف حالياً تزويد 67 % من طاقة البلازما من جسيمات ألفا، وهذا يعد رقماً لا يمكن تحقيقه بوساطة أي من "التوكاماكات" البحثية الصغيرة الموجودة حالياً.

ورغم احتياجه إلى طاقة دخل، يُنتج مفاعل إيتر المختزل عشرة أضعاف الطاقة التي يستهلكها. وحتى الآن لم يتمكن أي نوع آخر من "التوكاماكات" من إنتاج طاقة فائضة، مع أن مفاعل JET الاندماجي في كلهام بمقاطعة أكسفوردشاير - كان قريباً من تحقيق ذلك. وفي تجارب

	مفاعل ITER الأصلي	مفاعل ITER المختزل
الاستطاعة	1500 ميغاواط	500 ميغاواط
الوزن	70 000 طن	32 000 طن
حجم البلازما	2000 m^3	837 m^3
التكلفة (يورو)	7 بليون	3.5 بليون

* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 14 October 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

قامت بها مؤسسة السوار الأوربي التشاركي Joint European (JET) Torus خلال الأشهر القليلة الماضية أمكن، ولمدة خمس ثوان، التوصل إلى سويات الضغط البلازمي والكثافة والحصر التي يتطلبها مفاعل ITER. ويعلّق على هذا الموضوع رئيس فريق JET قائلاً: "لقد حققنا تقدماً مستمراً على جميع الجبهات..، وأنا متأكد من نجاح عمل مفاعل ITER".

وبصرف النظر عن التصميم، فإن السؤال الآخر الملح الذي يطرحه باحثوا إيتر هو : "أين سيجري بناء مثل هذا المفاعل؟"؛ ومن المواقع المقترحة لبنائه: كاداراش في جنوب فرنسا، وثلاثة أماكن أخرى في اليابان؛ لكن كندا، وهي عضو مشارك في مشروع ITER، تقترح بناء المفاعل بالقرب من المجمع النووي الموجود حالياً في كلارنغتون غرب مدينة تورونتو. وهناك فائدة مميزة لاقتراح الموقع الأخير، حيث يجري فيه منذ وقت إنتاج التريتيوم، كما يمثل حلاً وسطاً ما بين اقتراحي أوربا واليابان. إضافة لما سبق، يأمل علماء ITER أن يُغري الموقع الأخير الولايات المتحدة للنظر في عودة انضمامها إلى المشروع.■

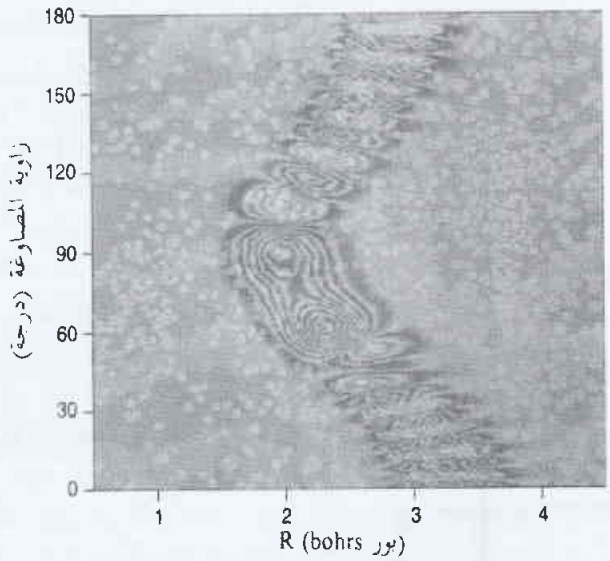
3– ما وراء الجزيئات النظرية المثالية*

يتضمن كل عدد تقريباً من مجلة العلوم Science رسومات جميلة للجزيئات؛ لكن هذه الرسومات نظرية تُظهر بنى مثالية سكونية. لكن الجزيئات في واقعها ليست سكونية بل تتحرك، وهي تفعل ذلك بطريقة منتظمة أو معقدة وغالباً ما تكون شواشية. وكمثال معروف جيداً هو مصاوغة المقرون – مفروق cis-trans isomerization في شبكية العين، والتي تعد ذات أهمية مركزية في حدوث الرؤية. والتفاعلات الكيميائية مثال أكثر عمومية لذرّات في حالة الحركة.

وتوحي دراسات حديثة أنه يمكن بالليزرات التحكم في هذه الحركة وبالتالي التأثير على حصيلة التفاعل. ومن أجل فهم ومناولة حركات الجزيئات، لا بد لنا أولاً من إيجاد طريقة لوصفها ونمذجتها حسابياً. وتحقيق ذلك بصورة دقيقة جداً يتطلب استخدام ميكانيك الكم، وبخاصة في حالة ذرّات الهدروجين الخفيفة المنتشرة في كل مكان والتي يمكنها، في كثير من الحالات وباحتمال كبير، أن تَعبُرَ نفقياً مسافات واسعة. وفي بعض الأحيان، يمكن التوفيق بين الصورة النظرية المثالية وبين الصورة الصحيحة وفق ميكانيك الكم على صورة بنية تصف القيم المتوقعة لأطوال الرابطة وزواياها عند درجة الصفر المطلق (0 K) أو على صورة حالة بلّورية كاملة. غير أنه في معظم الحالات الأخرى لا يمكن للصورتين النظرية والكمومية أن تتوافقا، ولا يمكن تجاهل الاهتزازات الجزيئية. ويظل التعارض، النظري والحاسوبي، الناجم هائلاً.

وفي ورشَتَي عمل عُقدتا مؤخراً [2,1]، جرى التركيز على طبيعة سلوك الجزيئات عندما تُثار بصورة اهتزازية. فيمكن للجزيئات العالية الإثارة أن تخضع لحركة ذات سعة كبيرة تؤدي إلى مصاوغة (أي أنها تأخذ أنواعاً من البنى غير تلك التي لها أخفض قيمة طاقية) أو إلى تحطيم الروابط، الأمر الذي قد يؤدي إلى تأثيرات مثيرة في سرعات التفاعلات الكيميائية – التي تعد أساس علم التحريك الكيميائي chemical dynamics. وركّزت عدة محاضرات على علاقات نظرية جديدة ما بين الصور الكمومية والتقليدية لحركة جزيئية عالية الإثارة. ولجأت محاضرات أخرى إلى توصيف طرائق تجريبية جديدة تتيح سبراً مباشراً للمصاوغة وسبراً حتى للتأثر الضعيف لفيزياء الجسيمات المرغوب كشفها في جزيئات كيرالية chiral molecules.

والمعالجة الكمومية المقبولة للحركة الجزيئية الاهتزازية تعتمد، من حيث المبدأ، على تقريب "بورن – أوبنهيمر Born-Oppenheimer approximation الذي يرتكز على حقيقة أن النوى الذرّية أكثف كثيراً من الإلكترونات، وبالتالي فهي ثابتة تقريباً بالمقارنة مع حركة الإلكترونات. وبداية، تُحلُّ معادلة شرودنغر للطاقة الإلكترونية والتنافر النووي – النووي مرات عديدة من أجل العديد من المواقع المختلفة للنوى ضمن الجزيء. إن تغير هذه الطاقة الإلكترونية مع تغير الشكل الهندسي النووي – المشار إليها باسم "سطح الطاقة الكامنة "potential (PES) energy surface – هي التي ستحدد حينئذ السلوك الكمومي للحركة النووية، وتعطي الوصف الكامل للتحريك الاهتزازي الجزيئي molecular vibrational dynamics (إن هندسة الجزيء عند الطاقة الإلكترونية الدنيا هي التي غالباً ما تمثله الصورة النظرية المثالية (المشار إليها أعلاه).



التابع الموجي لأدنى طاقة مبدياً رسم مصاوغة HCN - HNC
تتوافق HCN الخطية مع زاوية مصاوغة قدرها 0°، وتقع HNC الخطية عند 180° والحالة الانتقالية (الحاجز بين بنيتي الطاقة الدنيا) عند 67°. أما R، فهي المسافة بين ذرّة H ومركز الكتلة لشدفة CN.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol. 290, 27 October, 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يتطلب هذا الإجراء الثنائي براعة ودقة فائقتين؛ وقد جرى، لسنوات عديدة، تبسيطه لدرجة كبيرة باتباع تحليل النمط النظامي صغير السعة normal mode analysis (NMA) الذي يُقرّب الحركة الاهتزازية إلى مجموعة هزّازات توافقية غير مترابطة تهتز حول هندسة مرجعية مفردة. يُستخدم التحليل المذكور في حقول متنوعة كما هو الحال في الصوتيات، والهندسة البنيوية، والجيوفيزياء، وفيزياء الحالة الصلبة، والفيزياء الكيميائية. وتعتمد رزم البرمجيات الأكثر تداولاً في مجال الكيمياء الكمومية على التحليل الآنف ذكره، لكن نتائج تحليل النمط النظامي ليست دقيقة، وربما يعطي صورة مغايرة كلياً للاهتزازات الجزيئية، لأنه يتجاهل التقارنات اللاخطية والطبيعة اللاتوافقية للاهتزازات الجزيئية الحقيقية. وخلال السنوات الخمس عشرة الماضية، أمكن إظهار [3] أن لهذه التقارنات دوراً حاسماً في الاهتزازات الجزيئية، ولا سيما من أجل حالات مثارة.

وعلى سبيل المثال، يحدث انحراف عن NMA ملفت للنظر في حالة المصاوغة ما بين HCN و HNC ويمثل التابع الموجي الثلاثي البعد، الذي يبينه الشكل، بنيتي HCN و HNC إضافة إلى الحالة الانتقالية. ولا يمكن تقريب هذا النوع من التابع الموجي بواسطة الهزاز التوافقي الذي يفترضه NMA والذي يقتصر على توصيف إما HCN أو HNC، وليس على كليهما. (ومثال آخر على عدم صلاحية NMA هو الانهيار المفجع لجسر "تاكوما ناروز Tacoma Narrows" في عام 1940).

وحتى فترة وجيزة، اقتصرت الحسابات من البدء العالية الدقة للقوى الجزيئية والتحريك الجزيئي، بسبب القدرة الحاسوبية، على جزيئات ثلاثية الذرّات، لأن اقتران الأنماط الاهتزازية يوسع بشكل هائل مجال الحسابات. وساعدت إعادة التفكير بالمشكلة والزيادات التي طرأت على القدرة الحاسوبية على تطوير كودات جديدة يمكنها تقديم طاقات اهتزازية وتوابع موجية بدقة عالية تفوق كثيراً تلك التي يقدمها تحليل النمط النظامي NMA [5,4]. وباستخدام الكود المتعدد الأنماط MULTIMODE الذي قمنا باستنباطه [5]، والذي يتيح لمستخدمه اختيار سويات مختلفة من الدقة، استطعنا الحصول على نتائج دقيقة من أجل جزيئات خماسية وسداسية الذرّات، وعلى نتائج أقل دقة لكنها تظل معقولة وعملية من أجل جزيئات أكبر بكثير.

والمقاربة الأساسية الكامنة وراء هذه الكودات هي تمثيل الكمون كمجموعة مراتبية لتأثرات نمط – نمط بحيث يجري التمثيل لكامل "سطح الطاقة الكامنة ذي النمط N-mode PES N" بواسطة مجموع اثنين أو ثلاثة أو أربعة أنماط، ومعالجة حقل متوسط (يدعى أيضاً بحقل اهتزازي منسجم ذاتياً) لتأثرات اهتزازية [6]. وفي الآونة الأخيرة، أدخل غربر Gerber ومساعدوه، لأول مرة، تأثير الترابط النمطي إلى الكود الخاص بهم مستخدمين نظرية الاضطراب من المرتبة الثانية [7]. أما أحدث كود لكارتر وبراون [8] فيعالج الترابطات النمطية بطرائق "المزج التشكيلي configuration mixing" التي يمكنها أساساً إعطاء نتائج دقيقة. وجرى ربط الكودات الآنفة الذكر بكودات إلكترونية بنيوية، مما أتاح إجراء حسابات مباشرة للقوى والديناميات الاهتزازية [9-11]. وعلى سبيل المثال، استطاعت حسابات الطاقة الاهتزازية للمعقد $Cl\text{-}H_2O$ تأكيد نتائج إحدى التجارب ومقارنتها بتجربة أخرى [11]. كذلك، جرى توسيع نطاق استخدام الكود المتعدد الأنماط MULTIMODE لمعالجة الدوران الداخلي ضمن الجزيئات [12]، الذي يعدُّ ظاهرة واسعة الانتشار في الجزيئات الكبيرة لكنها معروفة بصعوبة معالجتها حاسوبياً.

وهكذا نجد أن المسرح مُعدٌّ لحسابات أكثر دقة وواقعية لاهتزازات جزيئية، لاسيما بجزيئات ونظم جزيئية متوسطة التعقيد مثل: المواد الممتزة adsorbates، والمعقدات، والجزيئات الصغيرة المغلفة ضمن أوساط ضيقة محدودة. ومن المؤكد أن تتلقى، في المستقبل القريب، حالات المصاوغة للجزيئات مزيداً من العناية التجريبية؛ ولا شك بأن فهم وتفسير هذه التجارب سيستفيد من مثل هذه المعالجة النظرية الدقيقة للحركة الاهتزازية.

المراجع REFERENCES

[1] "Spectroscopy and Computational Challenges in Vibrationally Highly Excited Polyatomic Molecules,"sponsored by CECAM (Centre Europeen de Calcul Atomique et Moleculaire), Lyon, France, 10 to 12 July 2000.

[2] "Intramolecular Dynamics, "Telluride Summer Research Conferences, Telluride, CO, 7 to 11 August 2000.

[3] J. M. Bowman, Ed., Advances in Molecular Vibrations and Collision Dynamics, vols. 1 and 3 (JAI Press, Greenwich, CT, 1991 and 1998, respectively).

[4] A. Roitberg, R. Gerber, R. Elber, M. A. Ratner, Science 268, 1319 (1995).

[5] S. Carter, S. Culik, J. M. Bowman, J. chem. Phys. 107, 10458 (1997).

[6] J. M. Bowman, Acc. Chem. Res. 19, 202 (1986).

[7] J. -O. Jung, R. B. Gerber, J. Chem. Phys. 105, 10332 (1996).

[8] S. Carter, J. M. Bowman, J. Chem. Phys. 108, 4397 (1998). Online documentation: WWW.emory.edu/CHEMISTRY/faculty/bowman/multimode.

[9] G. M. Chaban, J.-O. Jung, R. B. Gerber, J. Chem. Phys. 111, 1823 (1999).

[10] K. Yagi, T. Taketsugu, K. Hirao, M. S. Gordon, J. Chem. Phys. 113, 1005 (2000).

[11] S. Irle, J. M. Bowman, J. Chem. Phys. 113 (2000).

[12] S. Carter, N. C. Handy, J. Chem. Phys. 113, 987 (2000).

[13] K. Christoffel, J. M. Bowman, J. Chem. Phys. 112, 4496 (2000).■

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

4- قطة شرودنغر خارج القبعة*

يعدُّ ميكانيك الكم واحداً من أهم الإنجازات الرائعة في فيزياء القرن العشرين. لقد نجح منهج ميكانيك الكم بصورة غير عادية في تفسير مجالٍ واسع من الظواهر المجهرية، بدءاً من تأثرات الجسيمات تحت الذرّية وحتى بنية الذرّات والجزيئات وتأثر الضوء مع المادة. ولكن هل تستطيع نظرية الكم أيضاً أن تُستخدم في وصف سلوك الأجسام الجهرية؟ وعند ذلك ستكون في حالة الإجابة بنَعَم مقنعة وموفية للغرض. وبفرض أن الذرّات والجزيئات هي مكوّنات الأجسام الجهرية، فإنه يجب على الوصف الكمومي لتجمعات البلايين من هذه الكينونات أن يقدِّم لنا وصفاً أنيقاً للمادة لا جعدة فيه. قام فان درفال وزملاؤه [1] باتخاذ خطوة مهمة نحو إثبات أن ميكانيك الكم يقدِّم وصفاً مقنعاً للظواهر الجهرية.

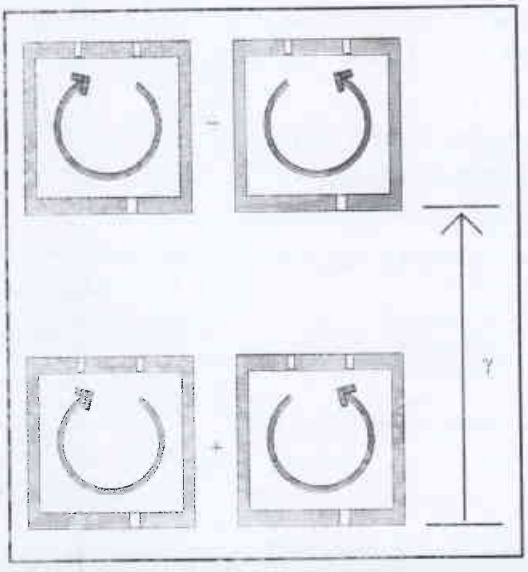
كان تطبيق ميكانيك الكم على المنظومات المعقدة موضوع جدل وخلاف منذ نشوء نظرية الكم في العشرينيات. كان مفتاح العثرة الكبيرة في أن توقعات ميكانيك الكم كانت تتعارض بكليتها مع ما يقدِّمه لنا حدسنا عن خواص الأجسام الجهرية. وحسب خبرتنا، فإن لجميع الأجسام المحيطة بنا خواص فيزيائية محددة تماماً وفريدة - فالقطط إمّا أن تكون حية أو ميتة، ولا تكون في الحالتين معاً في الوقت نفسه - ونتوقع دوام هذه الخواص حتى وإن لم يوجد هنالك أحد ليلاحظها.

ليست حالة هذه المسألة نموذجية إطلاقاً بالنسبة للمنظومات الكمومية، فالجسيم المجهري كالإلكترون يمكن أن يكون في الوقت نفسه في حالات متعددة لها خواص فيزيائية استثنائية تبادلية مختلفة جداً في الظاهر. يمكن أن تبدو هذه الحالة غير ذات بال عندما تكون الخاصة موضوع الدراسة خفية، كما هو الحال في "سبين" الإلكترون. ولكن أحد مؤسسي نظرية الكم وهو إروين شرودنغر E. Schrodinger اقترح سيناريو أكثر خطورة وإثارة للانتباه. ففي تجربته الذهنية التقليدية عام 1935 كانت المنظومة الكمومية هي قطته، والخواص موضوع السؤال كانت مختلفة بشكل شديد فيما إذا كانت هذه القطة "ميتة" و"حيّة". في التجربة الذهنية، توضع القطة الخيالية في صندوق مع مادة نشطة إشعاعياً. يحتوي الصندوق أيضاً آلية تطلق غازاً ساماً عندما تُقدح بواسطة نواتج الاضمحلال الإشعاعي. يجب على الاضمحلال الإشعاعي، حسب وجهة النظر التقليدية للحوادث، أن يقتل القطة حتى وإن لم نكن واعين من موتها. يدّعي شرودنغر أن وصف ميكانيك الكم التام لذلك يجب أن يزاوج بين حالة النواة المشعة وموت القطة. فكلاهما يجب أن يبقى على الحدود حتى يفتح التجريبيون الصندوق.

تتألف رواية فان درفال عن قطة شرودنغر من مجموعة لنبيطتين فائقتي النقل ومتداخلتين (انظر الأشكال). العروة الداخلية شبيه جهري لقطة شرودنغر السيئة الحظ.

تتوافق اتجاهات جريان التيار، مع عقارب الساعة وبعكس عقارب الساعة، في هذه العروة مع حالتي شرودنغر "ميتة" و "حية". العروة الخارجية هي عبارة عن نبيطة تداخل كمومي فائقة النقل (سكويد = SQUID) تقيس اتجاه جريان التيار في العروة الداخلية.

الناقلية الفائقة ظاهرة كمومية بشكل أساسي. تميل الإلكترونات في المواد الفائقة الناقلية إلى أن تتزاوج مشكلة كينونة كمومية مفردة. في درجات الحرارة المنخفضة بصورة كافية تندمج جميع الأزواج في حالة أساسية حيث يمكنها أن تتحمّل تياراً دائماً بغير حدود. إن التيارات، المشار إليها في الشكل الأول، من هذه الطبيعة تماماً. طبق فان درفال وزملاؤه دفقاً مغنطيسياً على العروة الداخلية ليضمنوا أن المنظومة تستطيع تحمّل تيارين، باتجاه عقارب الساعة و/أو بعكس اتجاه عقارب الساعة، لهما سعتان متساويتان تقريباً. إن تغيرات طفيفة في الحقل المغنطيسي المطبق سوف تشوش قليلاً التابع الموجي الكمومي للزوج الإلكتروني، وتتغير بذلك سعة التيار الدّوار. يعكس هذا السلوك الظاهرة الكمومية المجهرية أكثر من الظاهرة الجهرية.



الشكل 1- نظرة فوقية على قطة شرودنغر الشهيرة. تحمل العروة الفائقة الناقلية تياراً دوّاراً باتجاه عقارب الساعة وبعكس اتجاه عقارب الساعة. ففي انحياز مغنطيسي مناسب، تكون الحالة الأساسية عبارة عن تراكب متناظر لتوجهي التيار (في الشكل السفلي). تقابل حالة الإثارة الأولى توليفة مضادة للتناظر (في الشكل العلوي). تحصل الانتقالات بين الحالة الأساسية وحالة الإثارة الأولى بامتصاص فوتون إشعاع موجة مكروية (تمثّل بـ γ).

إن التنكس القريب بين الجريان باتجاه عقارب الساعة والجريان بعكس اتجاه عقارب الساعة في تجربة فان درفال يكشف احتمالاً مفيداً جداً، أعني احتمال ملاحظة التراكب الكمومي للكثافتين الفائقتي الناقلية. تتضمن كل من الحالة الأساسية وحالة الإثارة الأولى لهذه المنظومة تراكباً من

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol.290, 27 October 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

التيارات المتميزة الجهرية المتكونة من الحركات المترابطة لبلايين الإلكترونات. استعمل فان درفال وزملاؤه إشعاع الأمواج المكروية لتحريض انتقالٍ بين هاتين الحالتين، ووجدوا، بشكل لافت للنظر، أن التنبؤات العددية لميكانيك الكم كانت مرضية بكثير من تفاصيلها حتى من أجل تراكبات كمومية تتطلب الحالات الطاقية الأدنى للمنظومة. إن هذه النتائج، بالإضافة إلى تلك التي حصل عليها فريدمان Friedman وزملاؤه [2] عن الانتقالات المحرّضة بين تراكبات الحالات العالية الإثارة من منظومة سكويد مماثلة، تمثل تقدماً مهماً في تحديد مدى صلاحية نظرية الكم.

الشكل 2– نحو حساب كمومي. مخطط مكروي إلكتروني للجهاز الذي استعمله فان درفال [1] لمراقبة الظواهر الكمومية الجهرية.

هل هذا هو نهاية النقاش؟ إنه يحذف بعض الاعتراضات المترددة حول قدرة ميكانيك الكم في حساب خواص المنظومات، الحاوية عدداً كبيراً من المكونات، بدقة. إن هذا ليس اهتماماً فلسفياً فحسب، إذ يمكن لأحد التطبيقات العملية المخادعة للظاهرة الكمومية الجهرية أن يكمن في الاحتسابات الكمومية. إن الحواسيب الكمومية تستطيع كمونياً أن تنجز بشكل كبير احتسابات متوازية بتناول جميع مكونات تراكبات الحالات في وقت واحد. تثبت تجارب فان درفال وزملائه [1] وفريدمان وزملائه [2] أن التقانة تبدأ في إنجاز البنى المطلوبة عندما تقوم مجموعة دارات النواقل الفائقة الجهرية وميكانيك الكم بتقديم الآلات الحسابية الضرورية من أجل تصميم المكونات وتقييمها.

ورغم هذه التحسينات المثيرة للإعجاب، فإن السؤال الأساسي عن حتمية الوصف الكمومي للظواهر الجهرية لم يُحل بعد. إحدى النتائج المهمة هي "الورطة الكمومية" . اكتشفت أولى توريطات هذه الظاهرة الغريبة في تجربة ذهنية عام 1935 [3]. يحصل التوريط الكمومي عندما تقتسم منظومتان حالة كمومية عادية . تقتسم مثل هاتين المنظومتين أيضاً مصيراً واحداً، حتى وإن أصبحتا من الناحية الفيزيائية منفصلتين تماماً. إن نتائج القياس التي تعطيها إحداهما سوف تقرر نتائج القياسات المستقبلية للأخرى.

يحصل التطور المناسب في حالة التوريط، أو على الأصح لأية حالة كمومية، بدون أي تشوه أساسي؛ فقط عندما تُعزل المنظومة عن أي جهاز قياس أو عن أية عناصر مبددة في المحيط. ومع أن فان درفال وزملاءه لم يعالجوا الورطة الكمومية بهذا الشكل، فإن تقييمهم لتأثير قياس السكويد على المنظومة الكمومية الجهرية يعدُّ خطوة أولى مهمة نحو إدراك وفهم الحالة المتورطة الجهرية. تقع الورطة الكمومية في صلب مخططات الشيفرة الكمومية [4] والنقل الكمومي عن بعد [5]. يبدو من الممكن تصديق أن ما كان وهماً في الماضي يوشك أن يصبح تقانة المستقبل.

المراجع REFERENCES

[1] C.van der Wal et al., Science 290, 773 (2000).

[2] J. R. Friedman et al., Nature 406, 43 (2000).

[3] A.Einstein, B. podolsky, N. rosen, phys. Rev. 47, 777 (1935).

[4] A. K. Ekert, Phys. Rev. Lett. 67, 661 (1991).

[5] C. H. Bennett et al., phys. Rev. Lett. 70, 1895 (1993).■

5– مبدّل جزيئي قلاّب*

تدخل المبدلات في صلب الإلكترونيات، وبشكل تصميمها حدّاً لحجم الدارات المتكاملة. وبتسخير علم الكيمياء، تمكن الباحثون من تقليص هذه المشكلة إلى سوية جزيئية.

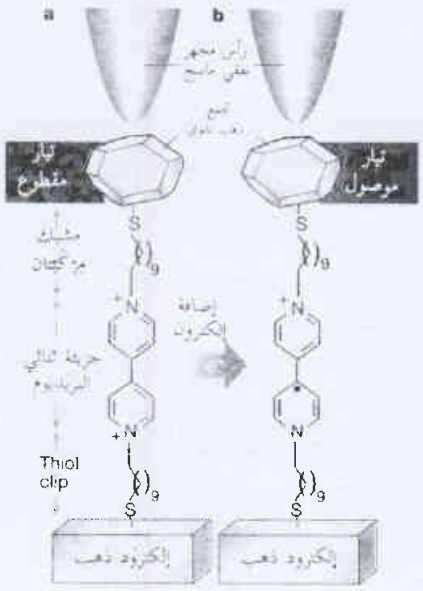
سعياً وراء الحصول على نبائط إلكترونية أصغر، يحاول الكثير من علماء التقانة النانوية ممارسة تحكم كيميائي بمركّباتهم، وإدخال وظائف جزيئية إلى تقانتهم من شأنها أن تؤدي إلى أنماط جديدة من النبائط الإلكترونية. وقد خطا شيفرين Schiffrin وزملاؤه الخطوة الأولى نحو اصطناع مبدلات جزيئية قابلة للعكس وإدراجها في دارة إلكترونية بسيطة.

بتفكيك أية نبيطة إلكترونية مكروية رقمية، تُلاحَظ المبدلات الإلكترونية الأساسية المعروفة بالترانزستورات والديودات، وهنالك أيضاً عناصر أخرى من الدارة أكثر تعقيداً مثل القلابات flip-flops أو العاكسات inverters أو قادحات شميت Schmitt triggers، وجميعها تنشأ من التبديلات المختلفة لهذه الأجزاء المكونة للنبيطة. على سبيل المثال، عندما يُجمع ترانزستوران معاً لتشكيل قادح شميت، فإنهما يُحدِثا دارة تغيّر ما بين حالتي الوصل ON والقطع OFF، ولا يتم ذلك إلاّ عندما تتجاوز فولطية الدخل قيمة معينة. وهكذا يعيّن قادح شميت بتة مفردة لمعلومة ثنائية (0 أو 1). وبدورها تتحد قادحات شميت والدارات القلابة لتشكل دارة متكاملة أكثر تعقيداً.

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

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

أما شيفرين وزملاؤه فإنهم يبدلون في منظومتهم ناقلية جزيئتهم ما بين حالتي الوصل والقطع من خلال تغيير حالة أكسدتها: إذ أن عدد الإلكترونات المرافق للذرّة يحدّد حالة أكسدتها، وبعض الجزيئات العضوية تحتوي على مركز "إرجاع وأكسدة Redox" تتم فيه عمليتا الإرجاع (إضافة إلكترونات) والأكسدة (انتزاع إلكترونات) بصورة فورية وعكوسية. إذا وضعت هذه الجزيئات العضوية مطبّقة على شكل شطيرة عضوية بين تماسات كهربائية فإنها تستطيع تحمّل تيارات كبيرة نسبياً. ويكون لها ذلك من خلال "عبور نفقي تجاوبي"، وهي ظاهرة تحدث عندما تتراكب سويات طاقة إلكترونات الجزيئة مع سويات طاقة إلكترونات المعدن التي هي على تماس معه. وهذا التراكب يبدو أنه يحدث على الأغلب في الجزيئات التي تسهل أكسدتها أو إرجاعها.



الشكل 1- مبدّل إلكتروني يعمل بتغيير الحالة الكيميائية للجزيئة. في تجربة شيفرين وزملائه [1]، تُربط زمرة ثنائي البريديوم (bipy) إلى إلكترود ذهب وتجمع ذهب نانوي بسلسلة من "مشابك" المؤكبتان. استُخدم رأس مجهر نفقي ماسح لتسجيل التيار المتدفق عبر المبدّل الجزيئي. في a، تكون جزيئة ثنائي البريديوم في حالة التأكسد $bipy^{2+}$ ولا يمرّ أي تيار. يمكن حقن إلكترونات إلى جزيئة ثنائي البريديوم من خلال تطبيق فولطية مناسبة عبر رأس المجهر النفقي الماسح b عندما يُضاف إلكترون، تُرجع جزيئة ثنائي البريديوم إلى $bipy^{\bullet+}$ ويتدفق تيار كبير. مقاس هذا المبدّل الجزيئي أقل من 10 نانومتر.

يبّن شيفرين وزملاؤه [1] الآن أنه يمكن حدوث عملية مماثلة في منظومة أصغر بكثير. وقد بيّنوا سابقاً [3] أن طبقة من جزيئة عضوية، تحوي زمرة ثنائي البريديوم (bipy) الموضوعة على شكل شطيرة بين إلكترود من الذهب وجسيمات نانوية من الذهب، بإمكانها أن تكسب بسهولة إلكتروناً وتخضع لعملية إرجاع من كاتيون $bipy^{2+}$ إلى جذر أيون $bipy^{\bullet+}$. في أحدث تجربة لهم، ربطوا نهايتي جزيئة ثنائي بريديوم "بمشبك" من المؤكبتان القلوي alkanethiol. ارتبط مؤكبتان thiol واحد بالكترود الذهب وتلامس مؤكبتان آخر بتجمع نانوي من الذهب nanocluster قطره 6 نانومتر. (الشكل 1). استخدم القائمون على التجربة رأس مجهر نفقي ماسح لتسجيل الخواص الكهربائية للجسيمات النانوية بصورة فردية، فأظهرت نتائجهم بوضوح كيف أن تغيير حالة الأكسدة والإرجاع لجزيئات ثنائي البريديوم يمكن أن يتحكّم بعبور الإلكترون بين تماسّي الذهب. بعبارة أخرى، تسلك الجزيئات سلوك مبدّل جزيئي. ويرى المبتكرون أن "نبيطهم الجزيئية" تقابل ما لا يزيد عن 60 جزيئة عضوية، وتحتاج من أجل عملها إلى أقل من 30 إلكتروناً.

تماثل طريقة عمل هذه النبيطة الجزيئية الجديدة الوظيفة الأساسية لقادح شميت. عندما تكون الجزيئة في حالة الإرجاع $bipy^{\bullet+}$، تبدي التيارات الكبيرة نسبياً، المتدفقة عبر التجمع النانوي - الجزيئة - الإلكترود، خصائص عبور نفقي تجاوبي. (الشكل 1). لكن عندما تُطبّق عتبة فولطية على إلكترود الذهب يتناقص التيار النفقي بصورة ملحوظة. وتقابل العتبة الفولطية أكسدة ثنائي البريديوم $bipy^{\bullet+}$ إلى $bipy^{2+}$.

أوجد شيفرين وزملاؤه مبدّلاً كهركيميائياً يحدّد حالته الكمون اللازم لإرجاع الجزيئة بإلكترون واحد. من الأهمية بمكان التنويه إلى أن كمون العتبة للتبديل بين حالتي القطع والوصل ON/OFF يجب أن يكون قابلاً للتوليف على مدى واسع، ويتم ذلك ببساطة عبر اختيار جزيئات يمكنها بسهولة الانعكاس إلى حالات أكسدة مختلفة بوضوح. لكن هل سيتم صنع دارات إلكترونية نانوية متكاملة وقابلة للتبديل بالأكسدة والإرجاع؟ يبدو أن الجواب هو قطعاً لا، لأن قادح شميت "الجزيئي" سيعمل بصورة بطيئة جداً وكسبه (تضخيم الإشارة) لا يكفي لأن يكون مفيداً.

رغم ذلك، هنالك تطبيقات ممكنة للنبائط الإلكترونية النانوية القابلة للتبديل بالإرجاع والأكسدة، التي لا يكون فيها الكسب كبيراً [2,4]. على سبيل المثال، المحسّات الكيميائية ، المرتكزة على نمط تجمعات الذهب النانوية ذات الربائط المتغيرة الذي شرحه شيفرين وزملاؤه، بإمكانها نظرياً كشف جزيئات مفردة أو تفاعلات كيميائية مفردة [4]. إضافة إلى ذلك، جرى تصميم أشكال جديدة لذواكر ودارات منطقية حاسوبية بالاعتماد على بُنى جزيئية قابلة للتبديل بالإرجاع والأكسدة.

تُضاف المنظومة التي تحدث عنها شيفرين وزملاؤه إلى قائمة النبائط الإلكترونية النانوية القابلة للتبديل كهركيميائياً أو كيميائياً، الآخذة بالاتساع السريع: ففي مطلع العام 2000، بيّن هيث Heath وزملاؤه [5] أن مقاومة طبقة أحادية من الكاتينانات catenanes يمكن أن تتبدّل عكوسياً بمراتب متعددة من المقادير مستخدِمة آلية تبديل محرضة كهركيميائياً. كما بيّن كولينز Collins وزملاؤه [6] أن الخواص الكهربائية لأنابيب الكربون النانوية يمكن تغييرها كيميائياً من خلال غمسها ببعض أنواع الغازات. وقبل هذه الدراسات، أظهر عمل فريقنا أنه يمكن التحكم بطاقات العبور النفقي لإلكترون وحيد في تجمعات ذهب نانوية فردية، وذلك من خلال إضافة بروتونات إلى الربائط الحبيسة على سطح التجمّع [7].

ولعل أهم حصيلة لهذه الدراسات تتمثل في معرفة جوهرية أفضل للعلاقات الأساسية بين البنية والوظيفة الإلكترونية في البنى ذات المقياس النانوي. قد لا تضم النبائط الإلكترونية المستقبلية قلابات أو أية دارات أخرى من تلك التي نعرفها اليوم. ومع استكشاف الخواص الكهربائية للإلكترونيات النانوية الجزيئية المتكاملة، يصبح من المؤكد أن الخواص الإلكترونية الجديدة وتطبيقاتها ستظهر في السنوات القادمة.

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

المراجع REFERENCES

[1] Gittins, D. I., Bethell, D., Schiffrin, D. J. & Nichols, R. J. Nature 408, 67-69 (2000).

[2] Tao, N. J. Phys. Rev. Lett. 76, 4066-4069 (1996).

[3] Gittins, D. I. et al. Adv. Mater. 11, 737-740 (1999).

[4] Brousseau, L. C. III, Zhao, Q., Shultz, D. A. & Feldheim, D. L. J. Am. Chem. Soc. 120, 7645-7646 (1998).

[5] Collier, C. P. et al. Science 289, 1172-1175 (2000).

[6] Collins, P. G. et al. Science 287, 1801-1804 (2000).

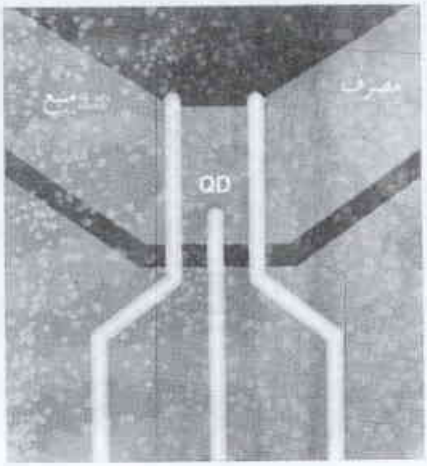
[7] Feldheim, D. L. & Keating, C. D. Chem. Soc. Rev. 27, 1-12 (1998).■

6- النقاط الكمومية بمثابة شوائب كوندو قابلة للتوليف*

تُمكّن التحسينات التجريبية الحديثة في الفيزياء نصف الجهرية (الميزوسكوبية) من إعادة اختبار ظواهر متنوعة ممتعة، دُرِست على مدى سنوات عديدة في المنظومات الجرمية.

يمتاز هذا الاختبار عن الاختبارات السابقة بأنه أكثر تفصيلاً وأقدر على التحكم. ولقد أدى ذلك إلى رؤى جديدة تنم عن بصيرة رائعة في الخواص الأساسية للمواد الصلبة، مثل أثر كوندو من أجل الشوائب المغنطيسية في المعادن. ففي درجات حرارة منخفضة، تسعى إلكترونات النقل البعيدة عن مواقعها إلى تعويض أو "حجب" screen سبينات إلكترونات النقل المتمركزة في أماكنها. يحدث هذا الحجب من خلال تعالقات الأجسام العديدة الدقيقة، التي دُرِست دراسة واسعة [1] منذ أن ناقشها كوندو لأول مرة في عام 1964. ينتج عن هذه التعالقات شذوذات في المقاومية، والطواعية، وخواص أخرى عديدة للسبائك المغنطيسية الجرمية. ولقد شوهدت مؤخراً بصمات لهذه التعالقات في النقل الإلكتروني عبر النقط الكمومية quantum dots (QDs) (انظر الشكل 1) التي أُنشِئت عن قصد من أجل أن تسلك سلوك "شوائب كوندو القابلة للتوليف" [2-6]. لقد سجل فيل وآخرون [7]، ولو بطريقة غير مباشرة، أول مشاهدة لحجب شبه كامل للسبين الموضعي لنقطة كمومية كهذه .

تُفهم أوجه الشبه بين الشوائب المغنطيسية والنقط الكمومية بصورة جيدة بدلالة نموذج أندرسون (AM) المدروس كثيراً، الذي يصف حالة إلكترونية متموضعة (ستدعى سوية d) مقرونة إلى عصابة من إلكترونات غير متموضعة (انظر الشكل 2). إذا كانت الشروط بحيث تحتوي السوية d على إلكترون واحد، فإن هذا الأخير يسلك سلوك شائبة مغنطيسية لها سبين 1/2. لكن هذا السبين لا يبقى مع هبوط درجة الحرارة على نحو اعتباطي. بل بدلاً من ذلك، ومع انخفاض درجة الحرارة T إلى ما دون قيمة عبور معينة، نسميها درجة حرارة كوندو T_K، تشرع انتقالات فعلية مترابطة بين السوية d وعصابة النقل "بحجب" سبين السوية d. والنتيجة المذهلة هي أن كثافة حالات الشوائب تفرز ما يدعى تجاوب كوندو، وهي قمة حادة بالقرب من الكمون الكيميائي للأسلاك (انظر الشكل 2). يبلغ تجاوب كوندو حده الأعظمي، الذي يدعى "النهاية التكاملية" unitarity limit، عندما يكون التابع الموجي للحالة الأساسية أحادية سبين spin singlet (له سبين يساوي الصفر)، وهذا يعني أن السبين الموضعي محجوب كلياً.



الشكل 1- تحقيق تجريبي لنقطة كمومية (QD). النقطة الكمومية حفنة صغيرة من شحنة تحتوي على عدد معرّف تماماً من الإلكترونات، وتُصنع نموذجياً بوضع بوابات معدنية (بالأصفر) على منطقة نصف ناقلة والتي تسلك سلوك غاز إلكتروني ثنائي البعد (بالأحمر).

منذ عام 1988، قام عدد من النظريين [8-11] بدراسات لتحقيق نموذج أندرسون (AM)، مستخدمين نقطة كمومية (QD) مقرونة إلى سلكين. وقد أشارت تلك الدراسات إلى أنه من أجل نقطة كمومية صغيرة جداً ذات فاصل كبير بما يكفي في سوية الطاقة، يمكن أن يرافق سوية الطاقة غير الفارغة العليا، السوية d في نموذج أندرسون. إذا كان عدد إلكترونات النقطة الكمومية وِتراً (فردياً) فإن هذه السوية ستحتوي على إلكترون وحيد، لذا فمن المتوقع أن تحاكي هذه النقطة الكمومية شائبةً ذات سبين مغنطيسي 1/2، ينبغي أن يُحجَب سبينها من أجل $T \ll T_K$. إن المناقلة التفاضلية للنقطة الكمومية كتابع لفولطية الانحياز بين المنبع والمصرف G(V) ستعكس، على وجه التقريب، كثافة حالات النقطة الكمومية، وعليه، فإن انبثاق (نشوء) تجاوب كوندو في نقطة كمومية يُتوقع له أن يسبب قمة حادة في G(V) ذات انحياز معدوم.

كان غولد هيبر-غوردون وآخرون Gold-haber-Gordon et al. [3,2] أول من حقق مشاهدة مباشرة لتجاوب كوندو في عام 1998.

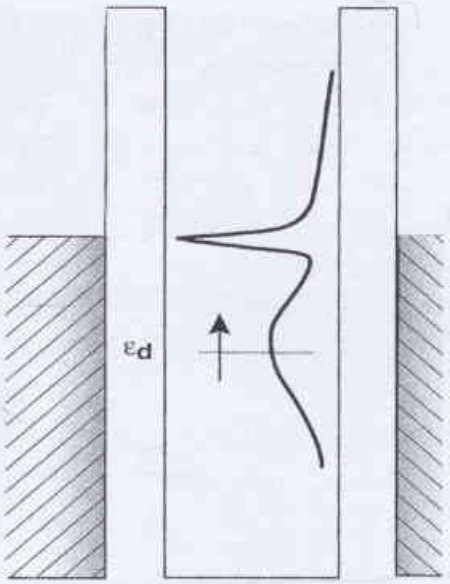
كان مفتاح النجاح هو جعل النقطة الكمومية صغيرة ما أمكن، واقترانها بالأسلاك قوياً إلى حد ما، وبذلك يمكن الوصول إلى درجات حرارة كوندو تبلغ K 1. ولقد تأكدت نتائجهم منذ ذلك الوقت وتوسعت على يد مجموعات أخرى [6,4]، مثبتين، بصورة مقنعة، أن نقطة كمومية أُحسن إنشاؤها تؤلف بالفعل "شائبة كوندو قابلة للتوليف" اصطناعية. فهي قابلة للتوليف لأنه يمكن توليف وسطائها، من خلال البوابات المعدنية التي تعرّف النقطة الكمومية، على خلاف ما يجري

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol.289, 22 september 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

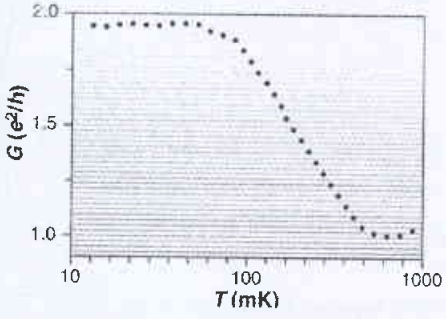
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لوسطاء الشوائب المغنطيسية الحقيقية. إن هذه الميّزة المغرية تسمح باختبار تنبؤات عديدة قديمة العهد لنموذج أندرسون، وبتفصيل لم يسبق له مثيل.

وبهذا الصدد، فإن النقطة الكمومية التي درسها فان درفايل وآخرون [7] تؤدي دورها جيداً: فمناقلتها تبدي تجاوب كوندو (انظر الشكل 3) ارتفاعه الأعظمي قريب جداً من النهاية التكاملية المتوقعة، أي $2e^2/h$، وهذه تعادل حجباً كاملاً تقريباً للسبين الموضعي. إن السبب البدهي الذي يجعل هذا الحجب ينتج مثلَ هذا التعزيز الشديد للمناقلة هو أن التابع الموجي للحالة الأساسية الأحادية هو انضمام مترابط لحالات متموضعة على النقطة الكمومية وحالات غير متموضعة في السلكين. إضافة إلى ذلك، فإن الدراسة تؤكد بصورة رائعة التنبؤات القائلة بأن $\log(T_K)$ ينبغي أن يعتمد على طاقة السوية d بعلاقة تربيعية، وبأنه على المناقلة أن تكون تابعاً عاماً لـ T/T_K.



الشكل 2– حجب فعال. مخطط طاقة لنقطة كمومية QD كثافة الحالات فيها (الخط المنقط) لها تجاوب جسيم وحيد عريض عند طاقة السوية الموضعية ε_d، وتجاوب كوندو الحاد عند الكمون الكيميائي للأسلاك.



الشكل 3– نحو النهاية التكاملية. تبعية ارتفاع القمة في G(V) لدرجة الحرارة، وهي تبلغ الإشباع بالقرب من النهاية التكاملية لـ $2e^2/h$ لنقطة فان در فايل الكمومية.

على أية حال، يجب أن لا نتوقع من المعطيات التجريبية أن تُظهر اتفاقاً كمياً تاماً مع التنبؤات القائمة على نموذج أندرسون، لأن هذا الأخير، ولكونه يحتوي على سوية متموضعة واحدة فقط، يستولي بسهولة على كل خصائص النقطة الكمومية الحقيقية، التي لها سويات عديدة. إن التحدي الآن هو أن نوسع فهمنا لنماذج من نوع نموذج أندرسون في اتجاهات جديدة.

إن الأبحاث التي جرت حديثاً وتلك الجارية حالياً تتناول بالدراسة والتمحيص التأثيرات الناتجة من الحالات اللاتوازنية التي تسببها فولطية الانحياز المحدودة، وتأثيرات التبعية للزمن التي يسببها حقل مسوق متناوب AC driving field أو تغيرات طارئة (فجائية) تحدث في وسطاء المنظومة، والنقل المترابط طورياً عبر شائبة كوندو قابلة للتوليف، وتأثير سويات إضافية في النقطة الكمومية، أو في النقطتين الكموميتين، أو النقاط الأكثر من نقاط كوندو المقرونة. والكثير من تأثيرات كوندو الغريبة التي قد تنشأ عندما تُولّف، على سبيل المثال، سويتان مداريتان كي تصبحا متنكستين (منطبقتين) degenerate باستخدام حقل مغنطيسي.

لأول مرة تتقدم التجربة على النظرية بسنوات، وعلى العديد من هذه الجبهات، التي كانت منذ عهد ليس بالبعيد بعيدة المنال وعصيّة على التجربة. لقد أُعيد تنشيط الحقل بمجيء شوائب كوندو الاصطناعية والقابلة للتوليف.

المراجع REFERENCES

[1] A. C. Hewson, The Kondo Problem to Heavy Fermions (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1993).

[2] D. Goldhaber-Gordon et al., Nature 391, 156 (1998).

[3] D. Goldhaber-Gordon et al., Phys. Rev. Lett. 81, 5225 (1998).

[4] S. M. Cronenwett, T. H. Oosterkamp, L. Kouwenhoven, Science 281, 540 (1998).

[5] J. Schmid et al., Physica B 256, 182 (1998).

[6] F. Simmel et al., Phys. Rev. Lett. 83, 804 (1999).

[7] W. G. van der Wiel et al., Science 289, 2105 (2000).

[8] L. I. Glazman and M. E. Raikh, JETP Lett. 47, 452 (1998).

[9] T. K. Ng and P. A. Lee, Phys. Rev. Lett. 61, 1768 (1988).

[10] Y. Meir, N. S. Wingreen, P. A. Lee, Phys. Rev. Lett. 66, 3048 (1991).

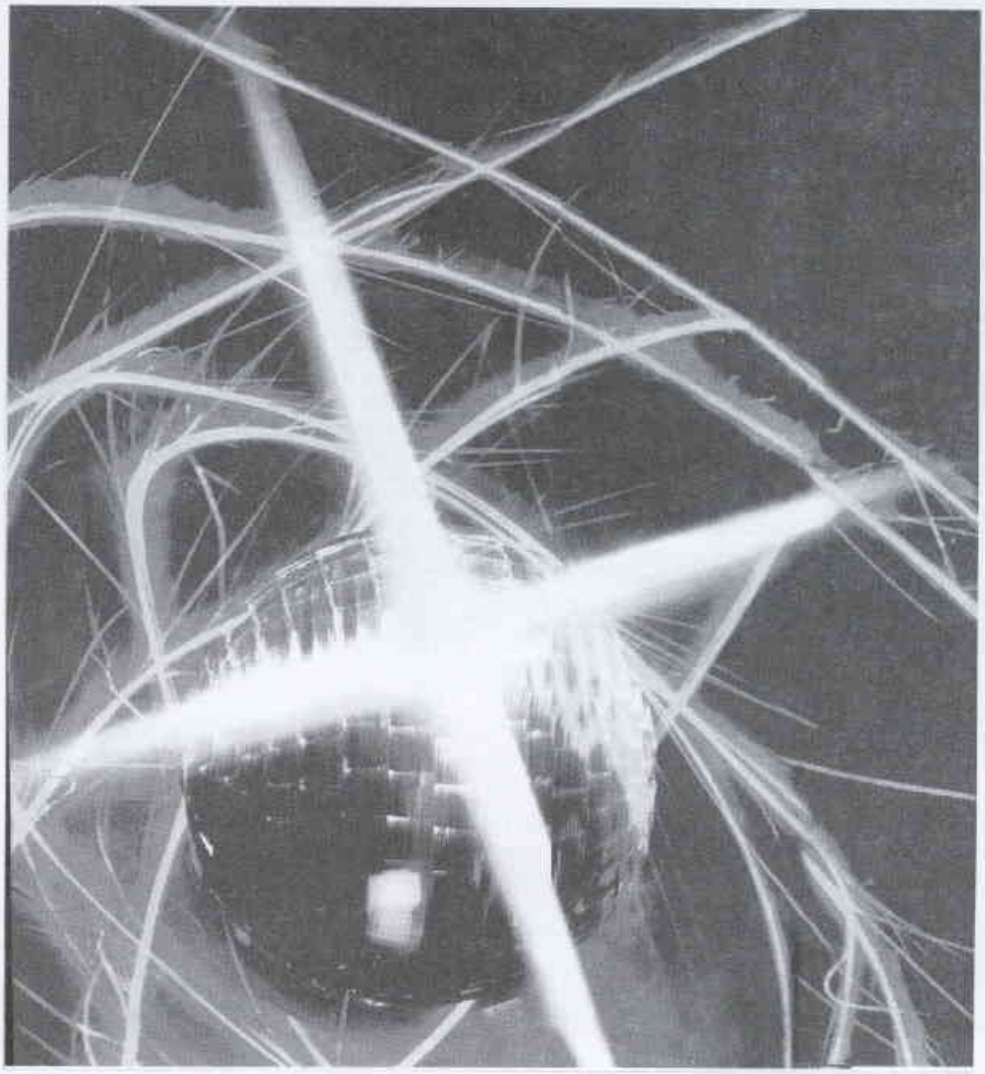
[11] _____, Phys. Rev. Lett. 70, 2601 (1993).■

7- هل الإلكترون قابل للانقسام*

يدّعي ماريس، وهو الوحيد من الباحثين، أنه يستطيع أن يقسم الإلكترون إلى قسمين، فإذا كان هذا صحيحاً فإن ذلك يعني موت واندثار الفيزياء الكمومية. ولا أحد يعرف ماذا يجب أن نستخدم بدلاً عن النظرية الكمومية – هذا ما يتحرى عنه ماركوس تشاون.

* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 14 October 2000. ترجمة هيئة التحرير –هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



حتى هذا الوقت لم يتحقق أي إنسان من أن ذلك قد حدث فعلاً. فمنذ أكثر من ثلاثين عاماً قام الباحثون في مينيسوتا بفعلٍ لا يمكن تصوُّره فحطّموا الإلكترون غير القابل للانقسام إلى شظايا. وهذه، على الأقل، هي الفكرة التي نادى بها الفيزيائي البريطاني همفري ماريس H. Maris، والتي لم يستطع أي إنسان أن يبرهن على عدم صحتها حتى الآن. يقول ماريس المقيم في جامعة رود آيلند "تسلك شظايا الإلكترون مقابل جميع أغراضها وغاياتها سلوك جسيمات منفصلة تماماً، وأُطلقُ عليها اسم الإلكترينوات".

لنتريث لحظة ونفكر بما يقول ماريس. الإلكترون هو أخف الجسيمات تحت الذرّية وأحد أكثرها شهرة بأنه جسيم أولي من غير ريب. وفي الحقيقة إن الإلكترون، ومنذ اكتشافه قبل مائة وثلاثة أعوام، لم يقم أي دليل على أنه قابل للانقسام. إنه التجسيد المعاصر لذرّة ديمقريطس Democritus غير القابلة للانقسام.

ولهذا فإن الدعوى بقابلية الإلكترونات للانقسام ليست أقل من مفاجأة مذهلة أُلقيت في عالم الفيزياء. يقول غاري إهاس G. Ihas من جامعة فلوريدا "إذا كان ما قاله همفري ماريس صحيحاً، فهذا يعني جائزة نوبل. يعتقد فيليب أندرسون Ph. Anderson من جامعة برنستون والحائز على جائزة نوبل أن ماريس على خطأ، ولكنه يعترف بأنه لا يعرف السبب بوضوح.

لا يملك ماريس دليلاً حاسماً على فرضيته، ولكنه نشر في أوائل هذا العام بحثاً وضع فيه فرضيته على أساس نظري متين، ودعم ذلك بدليل من تجارب ماضية. إنه يجري الآن تجاربه الخاصة محاولاً تقسيم الإلكترون.

وسواء نجح ماريس أو لم ينجح فيمكن أن يجد خللاً كبيراً في إحدى الدعائم الأساسية في الفيزياء الحديثة. يقول بيتر ماك كلنتوك P. Mc Clintock من جامعة لانكاستر "لقد نجح همفري ماريس في كشف صدع أو خلل أساسي في هيكل الفيزياء الكمومية".

تتمركز هذه الهرطقة الغريبة حول تابع الموجة للإلكترون، الكيان الرياضياتي الذي، حسب النظرية الكمومية، يحتوي على كل ما يخص الإلكترون والذي من الممكن أن نعرفه. ومن بين الأشياء الأخرى، يصف تابع الموجة للإلكترون احتمال إيجاده في أي موضع محدّد.

إن تابع الموجة للإلكترون المحصور، ولنقل بتجويف كروي، هو وصف ثلاثي الأبعاد للكيفية التي يتحرك فيها موقع الإلكترون في الفراغ.

يكون شكل تابع الموجة في حالة الطاقة الأدنى كروياً. وتعطي سوية الطاقة الأعلى لتابع الموجة شكل الدمبل. يقول ماريس " لقد قادني أثناء التفكير بهذه الحالة إلى نتيجة مفادها أن من الممكن للإلكترون أن ينقسم إلى قسمين. فإذا أمكن للدمبل أن يمتط ويتضيق، فهل من المعقول أن ينقسم بسهولة؟

ماريس خبير في الهليوم السائل، المادة التي تهيىء للفيزيائيين الفرصة التامة لاختبار هذه الفكرة بسبب أن الإلكترونات فيها يمكن أن توجد بشكل مستقل وتلقائي. وعندما تُطلق الإلكترونات الصادرة من منبع مشع في داخل دَنٍّ من الهليوم، فإن التأثرات المتكررة مع إلكترونات الهليوم تُبطئها حتى تميل في حركتها إلى التوقف. لا تعمل الإلكترونات الدخيلة مع ذلك على ربط نفسها مع ذرّات الهليوم كإلكترون ثالث. ويؤكد على ذلك مبدأ الاستبعاد لباولي لأنه يمنع أكثر من إلكترونين من المشاركة في نفس الحالة الكمومية. وبوجود ذرّات الهليوم التي تشغل الإلكترونات فيها حالة الطاقة الأخفض – الطاقة الدنيا – كلية، فإن الإلكترون المتطفل الذي

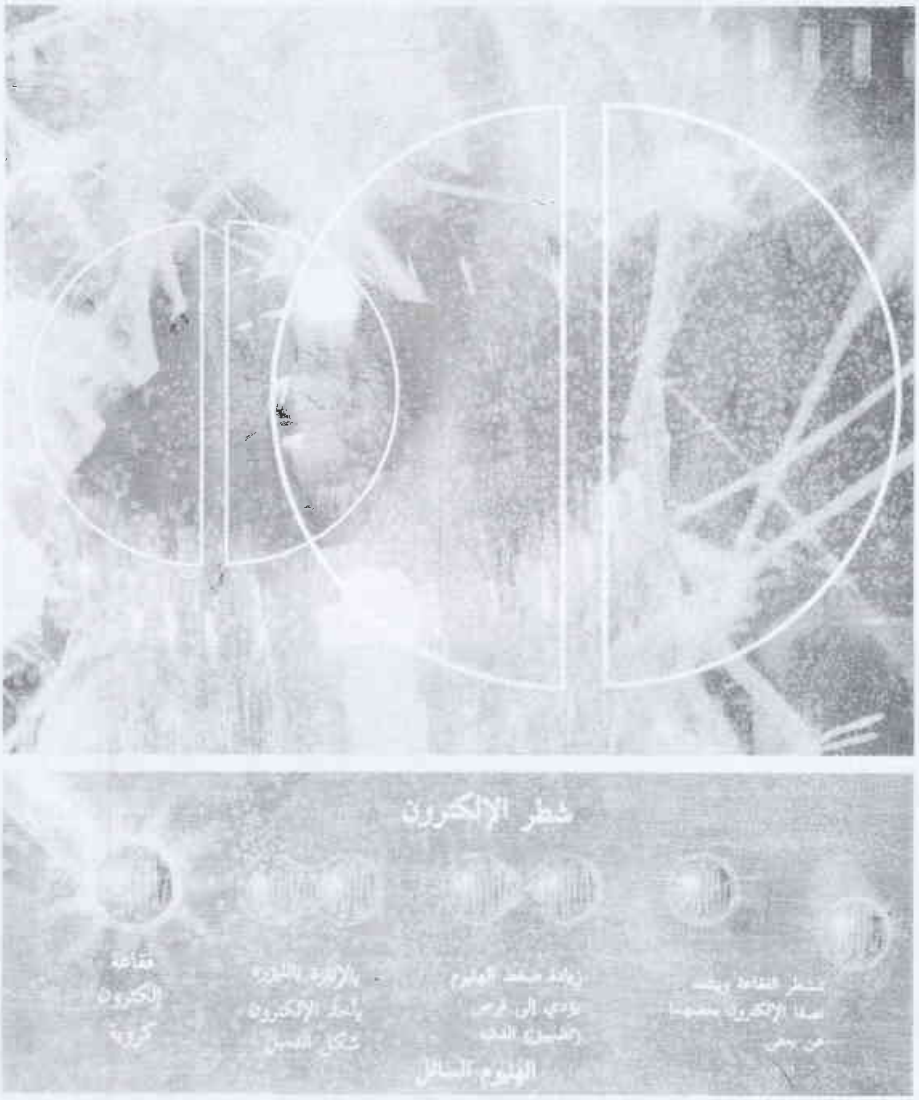
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لا يملك طاقة زائدة لا يجد مناصاً إلا بالاستقرار في الفراغ الكائن بين الذرّات. وهناك يوسع فقاعة فراغ حول نفسه تدعى فقاعة الإلكترون.

لا تتشكل فقاعات الإلكترون إلاّ في نوع معين من السائل، وهو الذي تكون فيه قوى فان درفالس التجاذبية بين الذرّات ضعيفة إلى حد تسمح للإلكترون أن يدفعها بعيداً بعضها عن بعض. الحقيقة أن هنالك مادتين ملائمتين لذلك وهما الهليوم السائل والهدروجين السائل. ففي درجات الحرارة المنخفضة للهليوم، تبعد فقاعات الإلكترون أكثر من 700 ذرّة هليوم مولّدة بذلك تجويفاً يبلغ مقطعه حوالي 38 أنغستروم (3.8 نانومتر). تتحكم في داخل هذا التجويف قواعد الميكانيك الكمومي مؤكّدة بأن الإلكترون يمكن أن يشغل فقط سلسلة محدودة من حالات الطاقة.

لمسة خفيفة

عمل ماريس على تحقيق إمكانية إدخال إلكترون الفقاعة إلى الدمبل وهو في حالته المثارة وذلك بإنارة الهليوم بضوء طول موجته 10 مكرومتر. ويمكن تأمين مثل هذا الضوء بسهولة من ليزر ثنائي أكسيد الكربون.



ويعطي الإلكترون، في مثل هذه الحالة ووفق حسابات موريس، معظم قوته إلى طرفي الدمبل. وقد أدرك ماريس بأن هذه القوة كافية لجعل جدار الفقاعة يهتز بعنف. يقول ماريس "لقد كانت القوة التي مارسها الإلكترون كافية لتطويل الفقاعة بحيث شكلت عنقاً رقيقاً. فإذا كان الضغط في السائل كبيراً بما يكفي، فإن هنالك إمكانية في تضييق العنق مما يجعل الفقاعة تنشطر فعلاً إلى قسمين.

يبدو أن هذه الأصوات لا ضرر منها عند هذا الحد، ولكن مقتضياتها مربكة. فإذا انشطرت الفقاعة فإن نصف تابع موجة الإلكترون سيُحجز في كل من الفقاعتين البنتين (انظر الشكل). ولما كان تابع الموجة هو جوهر الإلكترون، فسينقسم الإلكترون إلى قسمين. وهكذا أصبح ما لا يمكن قسمه قابلاً للانقسام.

خطط ماريس لاختبار هذه الفكرة في المختبر ولكنه قرّر أولاً البحث في الأدبيّات عمّا إذا كان أحدهم قد قام بمثل هذه التجربة التي تدور في خلده. وبسرعة وجد ما كان يبحث عنه، ففي أواخر الستينيات درس جان نورثباي J. Northby ومايك ساندرز M. Sanders من جامعة مينيسوتا سرعة فقاعات الإلكترون المتحركة في حقل كهربائي في الهليوم السائل. لقد قاسا التيار الكهربائي المتدفق عندما تحركت الفقاعات، ثم قاما بإنارة الهليوم بالضوء. توقّع الباحثان أن ذلك سيؤدي إلى زيادة التيار. وعلّلا ذلك بأن الضوء سيقوم بقذف بعض الإلكترونات من الفقاعات وبالتالي ستيز في الهليوم معزّزة بذلك التيار. وهذا بالفعل ما لاحظاه.

ولكن كما أدرك الفيزيائيون منذ ذلك الحين فإن هذا الاستنتاج قد أصابه الخلل. يقول ماريس "إننا نعلم الآن أن الإلكترونات المقذوفة تشكل فقاعات إلكترونية جديدة، ولذلك يجب أن لا يزداد التيار". وعلى أية حال، هذا ما حدث بصورة لايمكن تفسيرها. لقد أجرى الباحثون عامي 1990 و1992 التجربة نفسها في مختبرات بل - نيوجرسي، وحصلوا على نفس النتيجة. وربما منذ ذلك الحين لم يُقدَّم أي تفسير لذلك.

يرى ماريس أن الضوء يعزّز الإلكترونات من الحالة الأساسية إلى الحالة المثارة للدمبل بدلاً من أن يقذف هذه الإلكترونات، وبهذا تنشطر الفقاعات الإلكترونية. يقول ماريس: "لقد كانت هنالك فقاعات أكثر ولكونها أصغر فهذا يجعلها تتحرك أكثر. وبالرغم من أن الشحنة الكلية في المنظومة بقيت كما هي لم تتغير، فإن الفقاعات الأصغر تشعر بأنها أقل انجرافاً في الهليوم، وبالتالي تتحرك بشكل

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

أسرع. ويبين ماريس أن ذلك سيؤدي بالنتيجة إلى ازدياد التيار".

يعتقد ماريس أن لديه دليلاً آخر لدعم تفسيره. لقد أظهر نورثباي وساندرز أن ازدياد التيار يحدث ما دون الدرجة 1.7 كلفن، وهي بالضبط الدرجة التي تحددها نظرية ماريس بأن التأثير يجب أن يحدث عندها. ووفق حساباته فإن الفقاعات يجب أن تنشطر إلى أجزاء دون الدرجة الحرجة 1.7 كلفن فقط. إن العامل الحرج هو اللزوجة. يقول ماريس أنه إذا كانت اللزوجة عالية جداً، فإن السائل يسلك سلوك دبس السكر إذ يقاوم تطاول الفقاعة ويعصرها فتعود إلى الشكل الكروي. يصبح الهليوم دون الدرجة 2.19 كلفن مائعاً فائقاً. وعند تبريده تبدأ لزوجته بالاختفاء. وقد حسب ماريس أنه بحوالي الدرجة 1.7 كلفن يصبح السائل زلقاً إلى حد لا يستطيع معه أن يوقف انقسام الفقاعات.

لقد درست تجارب أخرى حركية الإلكترونات بطريقة أكثر دقة. وتتضمن ما قام به غاري إيهاس G. Ihas ومايك ساندرز في جامعة متشغان عام 1971 وفان إيدن V. Eden وماك كلنتوك في جامعة لانكستر عام 1984. لقد أحدث هؤلاء الفيزيائيون انفجاراً قصيراً في حوالي مليون فقاعة جرى توقيتها بدقة عند تحركها ضمن سائل الهليوم في حقل كهربائي. ولما كانت الفقاعات قد وُلدت معاً فيجب عليها أن تعبر الخط النهائي معاً. ومن المدهش في هذه التجارب أن معظم الفقاعات وصلت في ثلاث مجموعات منفصلة.

ويبدو تفسير ماريس للمرة الثانية سهلاً. فخلافاً للإلكترونات في تجربة مينيسوتا، جرى توليد هذه الإلكترونات بانفراغ كهربائي، أي بصعقة منمنمة من البرق. لقد ولّد هذا الأمر ضوءاً، ويقول ماريس إن بعضاً من هذا الضوء عزّز الإلكترونات في داخل الفقاعات إلى الحالة المثارة مسبّباً انقسامها، وانقسامها ثانية. ولذلك كان توقيت زمن الوصول بشحنات كاملة أو بنصف شحنة أو بربع شحنة هو الذي جمّع معظم التيار.

لم يكن ماك كلنتوك مقتنعاً بما يقوله ماريس، ولكنه اعترف بأنه لا يوجد شخص آخر قدّم تفسيراً معقولاً. ويسلّم بأن فكرة الإلكترينو تقدم شيئاً ممكناً سابقاً لأوانه.

كان ماريس مدركاً تماماً للضجة التي ستثيرها أفكاره. لقد أمضى سنوات عديدة يعمل على صياغة التفاصيل حول انشطار فقاعة إلكترون ويجمع الأدلة التجريبية بدون إعلام أي إنسان بما كان يفكّر به. ويعترف بأنه "أمضى وقتاً ليعتاد على الفكرة ويستخلص الشجاعة لإعلانها". ويتابع "أنه في شهر حزيران من هذا العام صمم أن يعرضها على الملأ". لقد عرض ما قام به في المؤتمر الذي عُقد في مينيابولس عن الموائع والأجسام الصلبة الكمومية، ومن ثَمّ نشر ذلك في مجلة Journal of Low Temperature Physics، العدد 120، الصفحة 173.

فكّر منظمو المؤتمر أن عمل ماريس مهمٌ لدرجة أنهم منحوه ساعتين إضافيتين ليحاضر بهما. وفي النهاية تقدم أكثر من مئة متسائل عن كل مظهر من النظرية. يقول ماك كلينتوك "كان رد فعلي الأول الشك اللامتناهي كما هو الحال مع الأشخاص الآخرين". ومع ذلك كان ماريس يملك الإجابة على كل شيء. ويقرّ ماك كلينتوك بأنه فكّر جلياً وطويلاً بجميع جوانب الموضوع.

لقد تشجع ماريس بتجاوب أنداده معه، ويصرح بأنه كان خائفاً من أن يجد أحدهم مَثْلَبَةً، ولكن ما جلب له الراحة أنه ما من أحد رفض الفكرة عند طرحها.

ومع ذلك، لم يكن الخبراء في النظرية الكمومية مرتاحين تماماً. يقول أنطوني ليغيت A. Leggett من جامعة إلينوي في إربانا - شامبين "إن فكرة انشطار الإلكترون إلى شظايا تحمل أجزاء الشحنة شيء متعارض كلية مع نظرية الحقل الكمومي". ويقبل بأن من الممكن أن يكون هنالك شيء غير صحيح في نظرية الحقل الكمومي. ويقول "على أية حال، إن إعطاءها النجاح الغامر لتفسير العالم أمر غير مقبول إطلاقاً".

من الممكن في النظرية الكمومية أن يكون هنالك "حالات تراكب" غريبة، حيث يوجد الإلكترون بكليته في كلتا الفقاعتين إلى أن يجبره قياس ما على أن يكون في إحدى الفقاعتين أو في الفقاعة الأخرى. ولكن يؤكد ليغيت قائلاً "لا يمكن اعتبار حالات تملك نصف إلكترون في كل منها". من المستحيل حل معادلات الميكانيك الكمومي بشيء آخر غير إلكترون كامل الشحنة. إن صيغ الإلكتروديناميك الكمومي، وهي المنطقة من الفيزياء التي تتعامل مع سلوك وخواص الإلكترونات، لا تسمح بنصف إلكترون أو أي جزء منه.

ويوافق على ذلك دافيد برتشارد D. Pritchard من معهد التقانة في ماساشوستس بقوله: "إذا كان الإلكترون ينشطر وتستطيع أن تقيس شحنة تجزئية، فإن هذا يتحدى الميكانيك الكمومي المعياري وكذلك فيزياء الطاقة العالية. إن فكرة أن الإلكترون هو جسيم نقطي بدون بنية وجدت وأسست في الطاقات العالية جداً.

قياسات نصفية

وكما هو الحال مع ليغيت وبرتشارد، كان معظم الفيزيائيين يعتقدون بأن دعوة ماريس ستكبوا مع أول حاجز يعترضها بالرغم من أنهم لم يحدّدوا ذلك بدقة. كان شكّهم في هذا الأمر مفهوماً. فإذا كان ما ينادي به ماريس صحيحاً فإن هذا يعني خطأ النظرية الكمومية، ولا أحد يملك أدنى فكرة عن استبدال دعوة ماريس بالنظرية الكمومية.

إن كون دعوة ماريس صحيحة يستوجب على كل حال بعض النتائج الإيجابية. يتأمل ماريس بناء نبيطة يكون فيها فاصل في تجويف لقسمة تابع موجة الإلكترون. ويدّعي بأن هذا يمكن أن يؤدي إلى دارات تستخدم خواص الجسيمات التي تحمل أجزاء الشحنة. ويمكن للإلكترونات التي تملك نصف الكتلة أو نصف الشحنة أن تعطي الإلكترونيات بعداً جديداً متكاملاً. وعندها سيكون هنالك إمكانية وجود نوع جديد من الكيمياء. فيمكنك مثلاً إخراج فقاعة إلكترون من السائل ثم ربط شظية الإلكترون بذرّة واستخراج كيمياء جديدة بإلكترونات جزئية. فهل لمثل هذا أن يحدث؟ يقول ماريس إنه لا يعرف.

إن شظايا الإلكترون، التي كانت في أصلها جزءاً من الإلكترون نفسه، يمكنها حتى أن تتشابك باشتراكها بوصلة تخاطرية غريبة. لقد نجح الفيزيائيون الكموميون مسبقاً في تحقيق هذا الأمر مع الفوتونات. واستخدموا جسيمات الضوء المتشابكة هذه لإنجاز عمل فذٍّ مثل النقل

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

النظري عن بعد والحسابات الكمومية الأولية. يمكن أن تضيف الشحنة الجزئية وتراً جديداً إلى قوسهم.

ومع ذلك فإن أكثر العواقب صعوبة على الفهم من تقسيم الإلكترون ستقع على عاتق الفيزياء النظرية. إن دعوة ماريس الواقعية هي فقط أنه يمكن للتابع الموجي للإلكترون أن ينقسم ويعطي إلكتروناً جزئياً محاكياً له. لم يكن لدى ماريس أو لغيره أية فكرة عن هذا الأمر. يبدو أن فرضية ماريس تود أن تلقي بكل ما نعرفه عن النظرية الكمومية إلى الفوضى والإرباك. ويعتقد، على أقل تقدير، أن عمله يتحدى الفيزيائيين أن يكونوا واضحين ودقيقين في كل ما يعنونه عن الكيان الغامض والمشوش الذي يصف المنظومات الكمومية. ويقول "على الناس أن يفكّروا جيداً ويشحذوا عقولهم بتابع الموجة، ومن الأمور الأكثر أهمية لهم هو أن عليهم الإجابة على السؤال: ماهو تابع الموجة؟ هل هو شيء حقيقي أو أنه مجرد شيء رياضياتي ملائم".

كان الفيزيائيون على قناعة بأن تابع الموجة هو نبيطة رياضياتية ذات نتائج يمكن رؤيتها. ولكن ماريس يعتقد بأن الوقت قد حان كي توضع الفكرة على أرض الواقع. ويقول بأنه، من أجل فقاعات الإلكترون في الهليوم، فإن حجم الفقاعة يحدّد بمدى الجزء من تابع الموجة الذي يُستبقى في داخل الفقاعة. وإذا لم يكن هنالك أي جزء من تابع الموجة داخل الفقاعة، فإنها ستتلاشى. ويتابع بأن هذا يجعل تابع الموجة يبدو شيئاً ملموساً.

ومع ذلك يبقى ماريس في الواقع تجريبياً. وبما أن الفيزيائيين النظريين ليس لديهم شيء يقولونه عن عشرات ألوف الأسئلة التي يسألها، فإنه يعتقد أن الإجابة لا تكتمل حتى نحصل على دليل آخر، وهذا يعني إجراء تجارب أكثر. يبحث ماريس وآخرون حالياً عن ذلك الدليل. ويقول ماريس مسبقاً بأن تجاربه مشجعة.

يؤكد ماريس أيضاً أنه لن ينزعج إذا لم تثبت صحة فكرته في آخر الأمر. ويبدو في جداله حول مفاجأته الغريبة أنه قرر أن يكون على الخطوط الجانبية متمتعاً بالإرباك الناشيء عن فكرته. ويقول "إن ما خرجت به من هذا الأمر هو هذا الإرباك الفضولي، وإني أريد للناس أن يفكّروا. وسأكون سعيداً إذا كنت مخطئاً تماماً ولكني سأكون عندئذ قد جعلت كثيراً من الناس يفكّرون". ■

8- القمر*

إنّه الجرم السماوي الأكثر دراسة، دُرس في البداية من بُعد قبل أن يُدرس، منذ 30 سنة، من على سطحه مباشرة. ورغم ذلك فإنّ هذا المختبر لعلم القياس، يطرح مشكلات كبيرة على علماء الفلك تتعلق بأصله ومداره وتركيبه. وستبدأ قريباً حقبة جديدة من الاستكشاف مع إرسال أجهزة سبر يابانية وأوربية إلى القمر.

كيف تشكّل القمر؟

لم يلقَ هذا التساؤل جواباً يقنع جميع علماء الكواكب حتى ولو كان هناك اتفاق على أنّ تشكّل القمر كان معاصراً لتشكّل الكرة الأرضية بفارق بضع عشرات ملايين السنين تقريباً. فقد وُضعت أربع فرضيات وكلّها اصطدمت باعتراضات. يمكن أن يكون القمر، كما تصوّره جورج هوارد داروين G. H. Darwin، ابن تشارلز عام 1878، قد نشأ من قطعة من معطف الكرة الأرضية، حتى ولو لم يمثّل المحيط الهادىء الندبة التي تدل على هذا الانفصال. إذ ربّما يكون القمر قد تشكّل نتيجة قذف الكرة الأرضية الفتية، التي كانت ما تزال في حالة انصهار، بأجزاء من طلائع الكواكب اقتلعت من معطفها مواد غذّت قرصاً من المادة كان يدور في مدار حول الكرة الأرضية، وتنامت هذه المواد مع بعضها لتكوين قمرنا. يفرض هذا السيناريو دوراناً سريعاً جداً للكرة الأرضية (خمس ساعات)، وهذا ما استبعدته غالبية علماء الفلك. والسيناريو الثاني هو أنّ القمر كان قد تشكّل، نتيجة تنامي كويكبات صغيرة، منذ 4.55 بليون سنة، في الوقت نفسه الذي تشكّلت فيه الكرة الأرضية وفي المنطقة نفسها من المنظومة الشمسية. إذا كانت هذه الفرضية صحيحة، يجب أن تكون كثافة القمر مساوية لكثافة الكرة الأرضية (5.5 غ/سم^3)، بينما هي (3.36 غ/سم^3). والفكرة الثالثة تفترض أنّ الكرة الأرضية تمكّنت من أسر القمر الذي ربما تشكّل على مسافة أكثر بعداً منها في المنظومة الشمسية قبل أن يقترب إلى مسافة مناسبة تجعله يدور حول الأرض وبعد أن تكون سرعته قد تناقصت باصطدامه مع جسم آخر. وهذا يشبه كثيراً سيناريو مناسباً عند وجود إمكانية لأن يكون مدار القمر على شكل قَطْع ناقص متطاول وليس على شكل دائرة كاملة تقريباً كما تلاحظ في الوقت الحاضر. أمّا الفرضية المتبقية التي يدعمها علماء الكواكب فهي الفرضية الكارثية، حتى ولو كانت تشبه فرضية داروين. وتنص على أنّ جسماً يبلغ حجمه من ضعف إلى ثلاثة أضعاف حجم المريخ ربّما ضرب الكرة الأرضية الفتية التي كانت ما تزال حارة، فشكّلت أجزاء من هذين الجرمين قرصاً من الأغبرة في الجوار البعيد من الأرض أدّى إلى تكوين القمر في زمن قصير جداً بحسب عمليات محاكاة رقمية.

وفيما بعد، بين ما قبل 4.52 بليون سنة -وهو الزمن المحتمل لتكوّنه- وما قبل 3.9 بليون سنة من الآن، أدى تبرّده ومن ثم القذف النيزكي الشديد الذي تعرض له، إلى إحداث تغير عميق في بنيته، مكوناً فوهات ومنخفضات صدم متعددة على سطحه أعطت القمر تضاريسه الحالية. وبين ما قبل 3.96 بليون سنة وما قبل 3.16 بليون سنة انسكبت حمم بازلتية في المنخفضات الواسعة ناجمة عن انصهار المعطف وشكّلت "البحار"، وهي هذه الامتدادات الواسعة ذات اللون القاتم التي نشاهدها على سطح القمر. ومنذ ذلك الحين لم يعكّر صفو مشهد هذا الكوكب إلاّ بضعة نيازك نادرة واثنا عشر رجلاً من رجال الفضاء.

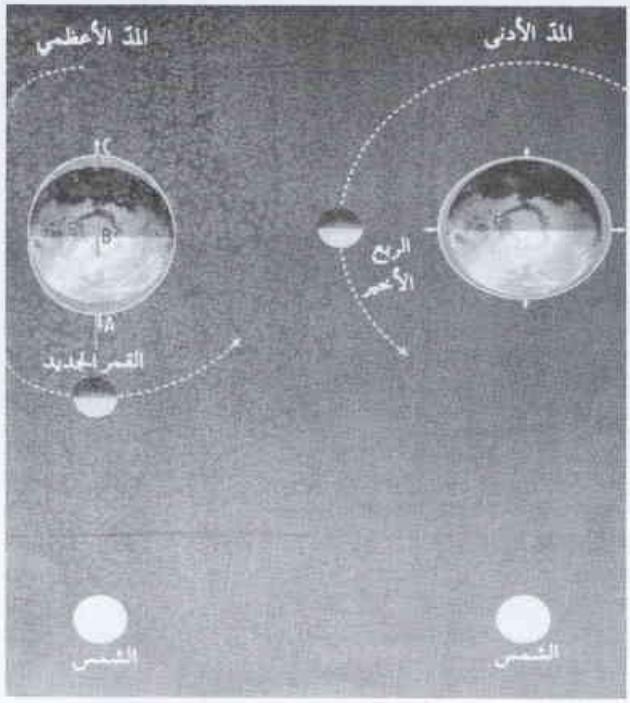
ممَّ يتركب القمر؟

جلب رجال الفضاء الاثنا عشر الذين وطئوا سطح القمر خلال رحلات أبولو عند عودتهم إلى الأرض، 382 كغ من صخور القمر، حيث

* نشر هذا الخبر في مجلة *La Recherche*, Vol.334, Septembre 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

منح العلماء 12% منها (وجزء صغير للمتاحف أو إهداء لرؤساء بعض الحكومات). أمّا ما تبقّى فقد حفظ بكل حرص في المركز الفضائي في هوستون (الولايات المتحدة) بانتظار تقنيات تحليل جديدة. تحوي هذه الصخور السطحية التنغستين واليورانيوم والكوبالت والحديد والكروم مثل ما تحوي قشرة الأرض ومُهلها magma. أمّا الصخران غير المعروفين على الكرة الأرضية فهما بيروكسفيرّوئيت pyroxferroite وأرمالكوليت armalcolite (نسبة إلى arm و al و col الأحرف الأولى من أسماء رواد الفضاء في مركبة أبّولو 11 أرمسترونغ وألدرين وكولينز، و ite التي تعني الصخر). أتاحت دراسة انتشار الموجات الزلزالية، كما هو الحال لدى دراسة الكرة الأرضية، التحري عن البنية الداخلية للقمر. فقد تم بفضل مقاييس صغيرة للزلازل وضعها روّاد الفضاء، تسجيل زلازل القمر حتى تشرين الأول 1977. يرجع سبب بعض هذه الزلازل إلى الإنسان مثل سقوط الطابق الأخير من صاروخ ساتورن V على أرض القمر وانفجار ثماني شحنات في وادي طوروس - ليترو Taurus-Littrow بغية محاكاة الصدمات النيزكية أو الصدم المخطط له للمركبة القمرية لأبّولو 17.



الشكل 1- *المد والجزر:* يجذب القمر النقطة A بقوة أكبر من قوة جذبه لمركز الكرة الأرضية B، وهذه الأخيرة تنجذب بقوة أكبر من قوة انجذاب النقطة c (الأسهم الحمر). يُترجم الجذب القمري، بالنسبة إلى جملة مرجعية ترتبط بمركز الكرة الأرضية (الأسهم البيض)، بقوتين متعاكستين لهما الشدة نفسها وتؤديان إلى انتفاخ الجانبين المتقابلين من الكرة الأرضية في الوقت نفسه.
بعد أكثر من 12 ساعة بقليل تكون الأرض قد دارت حول نفسها نصف دورة، وعندها تحصل عملية المد اليومية الثانية. عندما تراصف القمر والشمس على خط واحد تقريباً مع الأرض، تضاف عمليتا المد الناجمتان عن القمر والشمس إلى بعضهما البعض ويحصل المد الأعظمي. وتكون هذه الظاهرة على أشدها عندما يكون القمر تقريباً في نفس مستوي دائرة الكسوف (بجوار الاعتدال الربيعي). وبالمقابل عندما يكون القمر في ربعه الأول أو الأخير يكون المد الشمسي القمري في شدته الدنيا.

يغطي سطح القمر طبقة من الريغوليت، وهو غبار يتراوح قدّه ما بين قدّ حبات الرمل وبين قطع صخرية يبلغ قدّها المتر، تصل ثخانته على الأراضي المرتفعة نحو عشرة أمتار وعلى الأراضي المنخفضة (البحار) نحو خمسة أمتار. يغطي هذا الريغوليت قشرة بازلتية تبلغ ثخانتها نحو 20- 60 كم، تعلو معطفاً ثخانته نحو 1000 كم. تحت هذا المعطف تتضاءل الموجات الزلزالية بشدة مما يوحي بوجود نواة رخوة أو منصهرة جزئياً تتراوح ثخانتها من بين 300 و 700 كم ودرجة حرارتها 1100 °C. وربّما تكمن في المركز نواة معدنية قطرها بضعة كيلومترات وتمثّل 2% من الكتلة الإجمالية للقمر.

هل يمتلك القمر غلافاً جوياً؟

اتخذ خطأً لمدة طويلة، الإكليل الشمسي الذي يرى بالعين المجرّدة عند كسوف الشمس الكلّي فقط، على أنه غلاف جوي للقمر. لايمتلك قمرنا غلافاً جوياً أو أنه يمتلك قليلاً منه غير ذي أهمية (الضغط 10^{-12} باسكال).

لماذا؟ لأنّ تسارع الثقالة على سطحه ضعيف جداً (1.624م/ثا^2 بالمقارنة مع 9.783 م/ثا^2 بالنسبة إلى الكرة الأرضية). ولكي ينفلت جسم ما عن القمر يجب أن تكون سرعته الدنيا 2.38 كم/ثا بينما هي على سطح الأرض 11.18 كم/ثا، وفي درجة حرارة 100 °C، وهي تقريباً أعلى درجة حرارة على سطح القمر، يقترب الهدروجين الجزيئي من هذه القيمة (2.16 كم/ثا)، ولذلك فإنه ينفلت بسهولة. أمّا الجزيئات الأثقل (مثل الماء والنتروجين والأكسجين وثنائي أكسيد الكربون فتبلغ سرعتها المتوسطة نحو 500 م/ثا، ولكن أثناء عمليات التصادم تكون حركتها أسرع بكثير. والقمر الذي كان مائعاً وحاراً جداً عند تشكله وكان يُقذف بدون توقف بالمقذوفات بين الكوكبية لم يتمكن من الاحتفاظ بهذه المركّبات الطيارة. ومع ذلك هناك مصادر أخرى تستمر في تغذية القمر بالغازات. فالرياح الشمسية تجلب بصورة مستمرة ما تحمله من نوى الهدروجين والهليوم والعناصر الأخرى الأكثر وزناً. وتطلق الصخور القمرية غازاتها بتأثير حرارةالشمس وتتحوّل أيضاً المعادن المشعّة فينجم الهليوم عن تفكك اليورانيوم والثوريوم ويعطي البوتاسيوم 40 الأرغون. وتؤدي التقلبات الحرارية اليومية إلى تطوير كثافة هذا الغلاف الجوّي المنظّم بدون توقّف (من 500 000 ذرة/سم^3 في الليل إلى بضع عشرات الملايين في النهار). كما كشفت بعثتا أبّولو 15 و 16 وجود النيون وثنائي أكسيد الكربون والنتروجين والميتان. ومجموع هذه الغازات هو بكمية قليلة جداً لدرجة أنه يمكن حجزها على الكرة الأرضية عند سوية سطح البحر في مكعب حجمه 0.1م^3. ويجب أن تُضاف إليها الأغبرة المعلقة التي يُحتمل أنها كانت سبب ملاحظة روّاد الفضاء لمركبة أبولو 17 خطوطاً مضيئة في سماء القمر السوداء قبل شروق الشمس مباشرة.

ما هي تأثيرات القمر على الكرة الأرضية؟

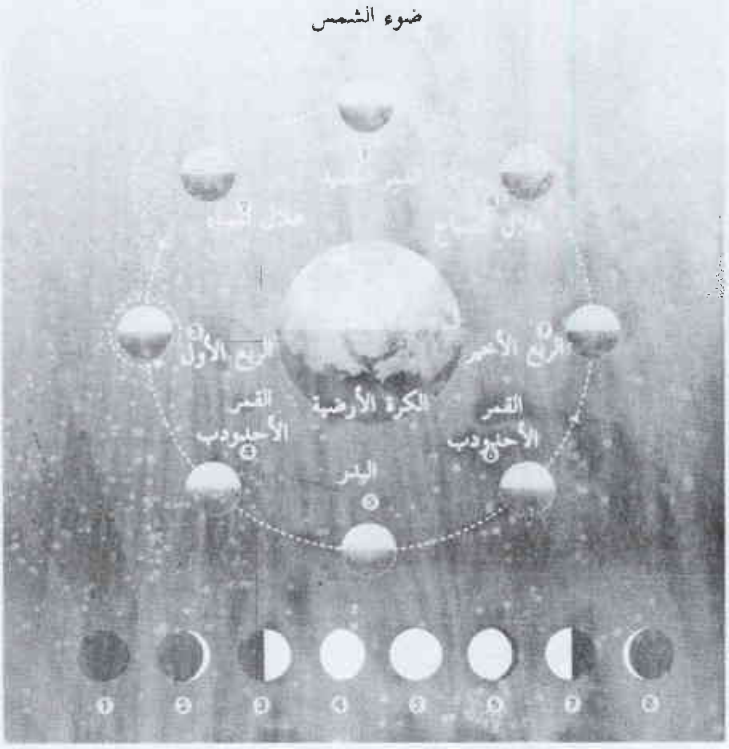
هل يبيّض البدر الغسيل؟ هل يُقدّم فرصة أكبر لحدوث الولادات؟ هل يسرّع ضوء القمر نمو الشعر والنبات؟ إنّ التأثيرات الوحيدة المؤكّدة والمدروسة والمحسوبة هي حوادث المدّ والجزر التي تحصل على كوكبنا. فقد عزا غاليله خطأً هذه الحركات المحيطية إلى دوران الأرض فقط. أمّا

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

نيوتن فقد بيّن أنّ ذلك ناجم عن فرق في الجذب الثاقلي للقمر وإلى حدّ ما للشمس. تنتفخ المنطقتان المتقابلتان بالنسبة إلى مركز الكرة الأرضية، اللتان تقعان على خط الكرة الأرضية – القمر. وبحسب دوران كوكبنا حول نفسه ودوران القمر حوله، ينزاح هذان الانتفاخان فيحدثان مدّين وجزرين في اليوم يبدّدان بالاحتكاك 75% من طاقتيهما على الشواطىء وعلى قعر المحيطات أيضاً، حيث يمكنهما أن يلعبا دوراً مهماً في التيارات البحرية وبالتالي في المناخ. إن أعلى مدّ يوجد في خليج فندي Fundy في كندا، حيث يصل إلى 17 متراً (15.5 متراً في مون سان ميشيل في فرنسة). وتتعرض القشرة الأرضية والغلاف الجوي إلى نمط التشوه نفسه محرضاً بذلك تغيّراً في شكل الأرض الصلبة من مرتبة 40 سنتيمتراً. وهذا أمر لايمكن إهماله بالنسبة إلى تجارب الفيزياء العالية الدقة. فوجيء بهذه الظاهرة فيزيائيو المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات (سيرن CERN) في جينف. فعندما تُضاف قوة جاذبية الشمس إلى قوة جاذبية القمر أثناء ولادة القمر وعند كونه بدراً وتؤديان إلى إحداث المدّ والجزر الأعظميين تظهر البيانات التي يجري تحليلها عند تصادم الجسيمات، تغيرات صغيرة لطول مسرّعهم.

لماذا يعرض علينا القمر الوجه نفسه؟

كان بلوتارك Plutarque قد لاحظ ذلك في القرن الثاني الميلادي. إن مدة دوره حول نفسه (اليوم القمري) تساوي مدة دوره (السنة القمرية) حول الكرة الأرضية (27.32 يوماً). فقد بيّن العالم الفرنسي لاغرانج Lagrange عام 1764 أنّ هذه الحقيقة الجديرة بالذكر كانت نتيجة عمليات المدّ والجزر التي تؤثر فيها الكرة الأرضية على القمر. فالكرة الأرضية بجذبها الأقوى لوجه القمر المرئي أكثر من جذبها لوجهه الخلفي أبطأت تدريجياً زمن اليوم القمري للوصول إلى هذه النقطة من التوازن حيث يساوي طول اليوم القمري طولَ السنة القمرية. ومع ذلك نلاحظ من سطح الكرة الأرضية أكثر من نصف سطح القمر وهذا ما لاحظه غاليله منذ العام 1609 بمنظاره الجديد. وفيما عدا التفاوتات الصغيرة في دوران القمر على نفسه، التي توقعها نيوتن واكتشفها فيما بعد فريدريك بيسّل Bessel عام 1839، هناك تأثيرات من طبيعة فيزيائية أو هندسية تكمن في أصل هذه التمايلات. فمع مداره اللامتمركز يتحرّك القمر بسرعة أكبر عند حضيضه périgée منه عند أوجه apogée. وهكذا تكون سرعته المدارية أحياناً أعلى وأحياناً أدنى من سرعة دورانه على نفسه التي هي ثابتة. وبهذا يستطيع المراقب أن يرى القمر على أكثر من 180 درجة من خطوط الطول. وبالإضافة إلى ذلك، إنّ محور القمر مائل، يمكننا إذن أن نرى أيضاً الجانب الآخر من القطبين أثناء الفصول القمرية. وأخيراً هناك تأثير اختلاف المنظر parallaxe وسببه أنّ المراقب لايكون على الإطلاق في مركز الأرض. فعند شروق القمر يمكنه أن يرى ما بعد حافة القمر الشرقية وأن يرى عند مغيب القمر أبعد قليلاً من الحافة الغربية. ومع كل هذه التأثيرات المتراكمة يكشف لنا القمر ما يقرب من 59% من سطحه.



الشكل 2–*أطوار القمر:* لايبث القمر ضوءاً خاصاً به وإنّما يعكس 7% من أشعة الشمس. فهو يدور حول الكرة الرضية كاشفاً بالتدريج عن وجهه من الهلال الرفيع حتى البدر ومن ثم مخفياً له بالتدريج حتى الهلال الجديد. أثناء دوران القمر حول الكرة الأرضية (في 27.32 يوم) تدور المنظومة الكرة الأرضية – القمر حول الشمس. يجب إذن أن يستغرق رجوع الكرة الأرضية والقمر والشمس إلى الوضعية نفسها، وقتاً أكبر (29.530588 يوم)، يدعى الشهر القمري lunaison. وهذه المدة هي أصل الكلمات شهر، "mois وشهري، mensuel وطمسي menstruel" عندما كان يظن أنّ الدورة الطمسية لدى النساء كانت ترتبط بالقمر "lune" (كلمة مشتقة من "Lucina" آلهة الخصوبة عند الرومان).

هل القمر مجرّد حجر ضخم خامل؟

لاتوجد في معطف القمر حركات تكتونية ولاحركات حمل حرارية، وعليه فإن القمر هو جسم جاسيء جداً وهذا ما لاحظه رواد أبولو 12 الأمريكيون عندما هبطت مركبتهم على سطح القمر وأدّت إلى اهتزاز أرضه لمدة 50 دقيقة. أمّا الهزات الضعيفة التي يتعرّض لها القمر مع ذلك بصورة منتظمة، فتنجم عن الصدمات النيزكية (75–150 صدمة في السنة) وعن عمليات تمدّد أرضه وتقلصها، المرتبطة باختلاف درجات الحرارة (173°C- في الظل و 117°C+ في الشمس)، وأخيراً تنجم عن الاهتزازات النادرة العميقة (سجّل 37 اهتزازاً في تسع سنوات). وبالإضافة إلى ذلك سجلت مقاييس الزلازل القمرية زلازل ضعيفة في كل مرة يكون فيها القمر في حضيضه حيث تكون الجاذبية الأرضية في أقوى شدتها. هذا وتظهر أيضاً أحداث عابرة transitoires (أو ما يسمّى بالظواهر القمرية العابرة Lunar Transient Phenomena LTP)، كما تظهر تغيّرات في اللون واللمعان لم يُعرف سببها بالضبط، ربّما تكون مرتبطة بتفلور تربة القمر بتأثير الرياح الشمسية أو بالأغبرة المعلّقة المنتشرة بواسطة الغازات المنطلقة أو نتيجة سقوط النيازك أو الزلازل القمرية. إنّ هذه الأحداث هي التي جعلت وليم هرشل W. Herschell عام 1787

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

يخمّن بأنها اندفاعات بركانية. فَهْرس النمساوي كارل مولر K. Müller عام 1927 نحو 174 ظاهرة قمرية عابرة تاريخية بينما أحصت الناسا NASA عام 1980 أكثر من 1500 ظاهرة عابرة.

أمّا فيما يتعلق بالمغنطيسية على القمر، فإنّ استخدام البوصلات لايجدي لتحديد الاتجاه عليه. ذلك لأنّ شدة الحقل المغنطيسي على القمر أقل بألف مرة من شدة الحقل المغنطيسي الأرضي وهذا ما يؤكد عدم وجود نواة كبيرة بصورة كافية لإنتاج مفعول الدينمو (المولد) كما هي الحال على كوكبنا. بيّنت بعض الصخور التي جلبتها بعثات أبولو والتي يعود عمرها إلى 3 مليارات سنة وجود مغنطيسية قابلة للقياس، وتوحي بوجود حقل مغنطيسي أشد بعشر مرات في ذلك الزمن. والشذوذات المحلّية في الوقت الحاضر هي أقوى من الحقل الكلي حيث يمكن أن يرتبط منشؤها مع تموضع أحواض الصدم الضخمة، كما يوحي ذلك الرسم الخرائطي الإجمالي الذي وضعته حديثاً مقاييس المغنطيسية المحمولة على المسبار الأمريكي "لونار بروسبكتور Lunar Prospector.

هل نعرف تماماً مدار القمر؟

إنه الجرم الذي نعرف حركته تماماً. يتضمن حل معادلات حركته، الذي أجراه العالم الإنكليزي براون Brown بين العامين 1901 و 1908 وتم تحسينه منذ ذلك الحين، سلسلة مؤلفة من أكثر من 37000 معامل. هناك أبحاث جارية الآن بغية وضع نظرية تحليلية تحوي أكثر من 000 100 حدّ termes. ومع مكملات عددية مناسبة، تعطي هذه النظرية موضع ساتلنا (القمر) بتقريب السنتيمتر، بينما يبلغ بعده المتوسط عن الأرض 403 384 كم، وتقارب سرعته الكيلومتر في الثانية. وهذه الدقة ضرورية لتلبي جودة القياسات التي ينجزها الرمي الليزري والتي هي في الوقت الحاضر أقل من السنتيمتر. وكان كل من أولر Euler (1753) و دولوني Delaunay (1860) قد تصدّا للمشكلة الرئيسة. وكانت تقاويمهما الفلكية تعتبر أنّ الكرة الأرضية والقمر والشمس تشكل منظومة معزولة. ولإضفاء مزيد من الدقة على هذه التوقعات، كان عليهما الأخذ بالحسبان لكل الاضطرابات التي تُبعد القمر عن مداره الإهليلجي البسيط حول الكرة الأرضية. في المقام الأول، المسافة بين القمر والشمس ليست ثابتة وبالتالي جاذبيتها التثاقلية له غير ثابتة. ويجب أن نضيف التوزّع غير المتساوي للكتل على القمر، وميل مداره عن دائرة الكسوف الذي يتغير بين أربع درجات و 58 دقيقة (°4'58) وخمس درجات و 19 دقيقة (°5'19)، ودوران حضيض القمر في 8.85 سنة ودوران خط العقدتين ligne des noeuds (تقاطع بين المستوى المداري للقمر ودائرة الكسوف) في 18,61 سنة. وتتدخّل أيضاً الكواكب الأخرى من المنظومة الشمسية وكل واحد من هذه الكواكب تبعاً لكتلته وبُعده. أضف إلى ذلك أنّ الكرة الأرضية ليست كرة كاملة إذ أنّ انتفاخها الاستوائي وميل محورها (°23'26) على مدارها يغيّران بصورة محسوسة الشكل الإهليلجي المثالي لمدارالقمر.

فيما عدا النظرية يأتي التحسين في التقاويم من العواكس الليزرية الموضوعة على القمر أثناء البعثتين الفضائيتين لونا وأبولو. يقيس الليزر Terre-Lune (الأرض – القمر) المقام في مركز الدراسات والأبحاث الجيوديناميةوالفلكية CERGA على هضبة كالرن بالقرب من غراس، المسافة بتقريب قدره 3 سم بعد الأخذ بالحسبان للتقلبات الجوية وتكتونية الصفائح الأرضية وعدم انتظام دوران القمر والأرض. توضّح هذه القياسات تزايداً تدريجياً قدره 3.8 سم/سنة لنصف المحور الكبير للقمر. وهذا المفعول الذي يدعى بالأزلي séculaire تظهر أيضاً عندما نقارن الحسابات مع مراقبات الخسوفات التاريخية. يرتبط هذا الابتعاد للقمر، الذي توقعه إدموند هالـه E. Halley منذ 1695، بحركات المدّ والجزر. وكما أبطأت الأرض دوران القمر حول نفسه حتى التزامن، استطاع أيضاً القمر (وفي مدى أقل الشمس) كبح دوران الأرض حول نفسها (0.002 ثانية /قرن). بيّن تحليل الأرصفة المرجانية التي يبلغ عمرها 500 مليون سنة أنّ مدة اليوم آنذاك كانت 22 ساعة. ومن أجل الحفاظ على طاقة المنظومة أرض – قمر تعوّضت إطالة اليوم الأرضي بابتعاد تدريجي لساتلنا. إلى أين؟ إنّنا لانعرف.

هل يوجد ماء، هل توجد حياة على القمر؟

افترض تحليل بيانات رادار المسبار الأمريكي كليمانتاين (1994) أنّ جليد الماء يمكن أن يوجد بكميات قليلة جداً في قعر بعض الفوهات القطبية غير المنارة بالشمس. وبصورة مستقلة كشف المسبار لونار بروسبكتور (1998) الذي كان يطير على ارتفاع منخفض فوق القطبين، عن وجود الهدروجين فيهما. فهل يكون مصدر هذا العنصر من آثار المياه التي تركتها المذنّبات أو النيازك التي تحطّمت على القمر، أو أنها تتعلق بانغراز أيونات الهدروجين المنقولة بالرياح الشمسية في الريغوليت القمري؟ للتحقّق من ذلك تمت تضحية المسبار لونار بروسبكتور يوم 31 تموز من عام 1999 وعلى مذبح فوهة غير مسماة من قبل أُعطي لها بعد ذلك اسم شوميكر، تقع بالقرب من القطب الجنوبي للقمر. كان من المفترض أن تندفع من اصطدامه مع التربة "المتجمدة" سحابة من الهدروكسيل (OH) حيث يمكن كشف إصدارها في مجال الأشعة فوق البنفسجية. حصل الاصطدام بالفعل ولكن لم يستطع أي مراقب أرضي أن يرى أي شيء، وبقيت المشكلة قائمة. أمّا بالنسبة للحياة، فقد كان هناك أمل عندما وجد رائدا أبولو 12، كونراد Conrad وبين Bean، عقدية streptocoque على المسبار الآلي القديم سورفيور Surveyor 3. ولقد اكتُشف أنّ هذه البكتريا أفلتت من التعقيم، وكان هذا هو الاستنفار الوحيد. لاتوجد حياة على القمر. ومع ذلك فإنّ الكثيرين من هؤلاء الذين اعتقدوا بذلك مثل سيرانو دو برجراك وهرتشل وفلاماريون وجول فيرن وحتى هذا الأخير الضليع بالاعتبارات العلمية في عهده، اعتقد باحتمال وجود الحياة فقط على الجانب الخفي من القمر، المكان المحتمل بحسب رأيه لوجود غلاف جوي قمري. حتى الأمريكي ويليم بكرينغ أطلق عام 1924 فكرة وجود غطاء نباتي وحشرات قمرية بعد أن رأى الظواهر القمرية العارضة (العابرة) LTP. إنّنا مدينون للقمر، إن لم يكن بظهور الحياة على سطح الأرض، على الأقل بحماية هذه الحياة. إنّ وجود القمر قد جنّب محور دوران الأرض من أن ينقلب بصورة كاملة مثل ما حدث لكوكبي الزهرة والمريخ، مؤدياً إلى حدوث فصول حدّية قاسية، تضرّ بالحفاظ على الحياة.

هل نعود ثانية إلى القمر، ولماذا؟

بعد برنامج أبولو، توقفت خطوة الإنسان الأولى وقفزة الإنسانية الكبيرة في أوج اندفاعهما. ولكن استمرت حتى عام 1976 ثلاث

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

مركبات لونا السوفييتية، ومركبة إكسبلورر الأمريكية، في إجراء الأبحاث. غير أنّ أصحاب القرار العلميين والسياسيين أصبحوا غير مهتمين بالقمر. وكان يجب أن ننتظر المركبة اليابانية موسس Muses- A (HITEN) في عام 1990 والمركبتين الأمريكيتين كلمنتاين Clementine في عام 1994 ثم لونار بروسبكتر Lunar Prospector في عام 1998، حتى يتم إطلاق دراسة أكثر تعمقاً لساتلنا القمر وتصور الإقامة عليه لمدة طويلة. ولا يخلو الأمر من بعض الأفكار، حتى وإن كانت أقرب إلى الأحلام والخيال العلمي، أكثر من كونها مشاريع معدَّة وموافَق عليها من قبل الوكالات الفضائية. فمثلاً يمكن استخلاص الأكسجين المحتوى في الصخور من أجل تنفس البشر ويمكن أن يستخدم مع الفسفور والبوتاسيوم في تصنيع وقود (propergols) الصواريخ القمرية. ويمكن أن تتيح جاذبية ساتلنا الضعيفة استخدام القمر كمرحّلة لتأمين الانتقال بين الكواكب الأخرى من المنظومة الشمسية. ويمكن من جهة أخرى إقامة حقول ضخمة من الخلايا الكهرضوئية على القمر التي يمكن أن تبث طاقتها إلى الكرة الأرضية عبر الإشعاع الكهرمغنطيسي.

أمّا بالنسبة لعلماء الفلك، فيشعرون أنهم منجذبون أكثر فأكثر نحو الوجه الخفي من القمر. إذ يرغبون بإقامة مقاربيهم عليه بعيداً عن الضجيج الراديوي الدخيل والضوء الأرضي المبهر وبدون غلاف جوي مضطرب. لقد حدّد بالفعل عالم الفلك الفرنسي جان هيدمان Jean Heidman، الذي توفي في شهر تموز الماضي والذي كان الداعم الأول لبرنامج ستي Seti للتنصت خارج الكرة الأرضية، مكان موقع مقرابه الراديوي المستقبلي في فوهة ساها Saha cratère.

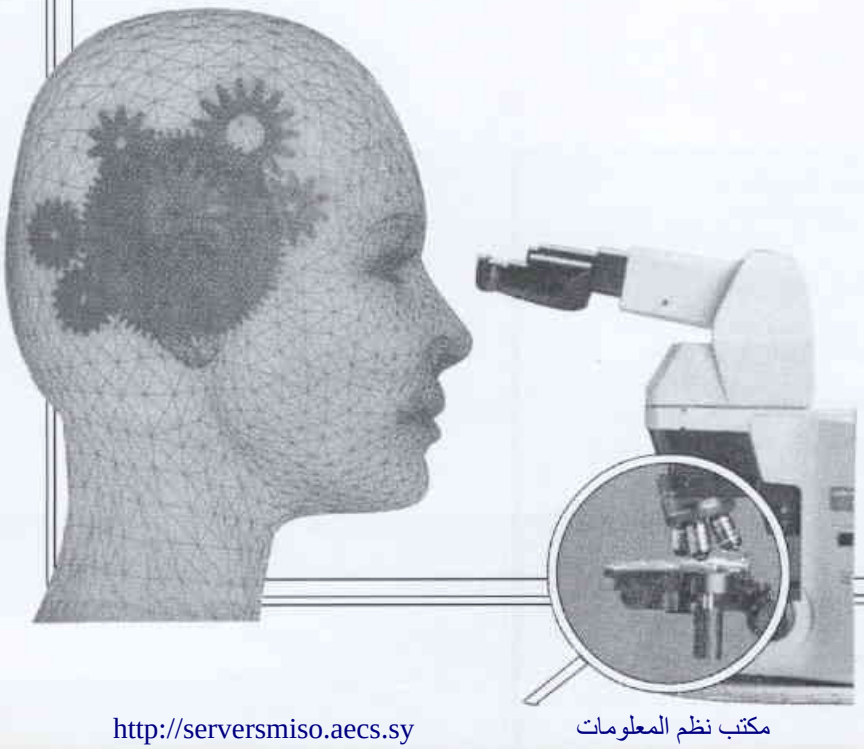
يبدو، بعد الاطلاع على المشاريع الواقعية التي تم تمويلها والموافقة عليها، أنّ العلماء الذين سيتابعون الأعمال الآن لن يكونوا من الأمريكيين أو من الروس بل هم من الأوربيين أو حتى من اليابانيين. يمثل سمارت Smart-1، الذي كلّف 84 مليون أورو، أول حجر أساس لبرنامج ضخم من الاختبارات التقانية لوكالة الفضاء الأوربية. سيستعمل سمارت في تشرين الأول 2002 الدفع الأيوني من أجل وضعه في مدار حول القمر، وبعد ذلك سينشّط مطيافه تحت الأحمر وآلة تصويره المنمنمة ذات الميز العالي. وبعد سنة سيلحق به المسبار الياباني لونار Lunar- A المجهّز بآلة تصوير تقوم بالتصوير بالإضاءة المماسيّة، والذي سيرسل من مداره خارقات pénétrateurs التي هي أسهم حقيقية ستخترق تربة القمر وستدرس البنية الداخلية للقمر وذلك بقياسات زلزالية القمر وتدفقه الحراري. أمّا المسبار الياباني الضخم سيلين Selen (Selenological engineering explorer) الذي يزن 4 أطنان، سيشتمل في العام 2004 على مركبتين قمريتين modules: مركبة قمرية مدارية ومركبة قمرية للهبوط الذاتي على القمر.

ويمكن أن تشهد السنة الأخيرة المذكورة تجسيداً لدور وكالة الفضاء اليابانية القيادي في استكشاف القمر.■

☆ ★ ☆

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

ورقات البحوث



تعديل التصميم النتروني لمفاعل البحث السوري (منسر)*

د. إبراهيم خميس، د. قاسم خطاب
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

جرى في هـذه الورقة عرض لكيفية تحسين أداء مفاعل البحث السوري (منسر) عن طريق زيادة فائض التفاعلية للمفاعل بمقدار 2 mk. كما اقتُرحت إجراءات تشغيلية جديدة للمفاعل المعدَّل. حُسِبَ وقيس معامل التفاعلية لدرجة الحرارة وتطابقت النتائج الحسابية والقياسية بشكل جيد. لقد عزَّز التعديل النتروني المقترح من قيمة هامش الإغلاق للمفاعل المعدَّل.

الكلمات المفتاحية: مفاعل بحث، منسر، سورية، تعديل، تصميم نتروني، معامل تفاعلية، مهدىء.

مقدمة

طُوِّر مفاعل البحث السوري (منسر) وصنع في معهد الطاقة النووية الصيني. يُعَدُّ هذا المفاعل من نوع البركة منخفض الطاقة ودرجة الحرارة [1].

أما الأغراض الرئيسية للمفاعل فهي: التدريب والتحليل بالتنشيط النتروني. يحتوي قلب المفاعل على اليورانيوم المغنى (89.97 w%) ومهدىء من الماء العادي، وعواكس من البريليوم. يمتلك المفاعل خمسة مواقع تشعيع داخلية وخمسة مواقع تشعيع خارجية في داخل العاكس الحلقي للمفاعل وحوله. يبلغ التدفق النتروني في موقع التشعيع الداخلي $1x10^{12}$ n/cm^2.s عند الاستطاعة 30 kW. يتوضع قلب المفاعل داخل وأسفل خزان أسطواني مليء بالماء معلق في بركة المفاعل. يتمتع مفاعل منسر بصفة الأمان الذاتي لتميزه بالصفات التالية:

- فائض تفاعلية لا يزيد عن 4 mk.
- كبر وسلبية معامل التفاعلية لدرجة حرارة المهدىء (0.1 mk/°C، في مجال درجة الحرارة 20-45 °C).
- وصغر الكتلة الحرجة للمفاعل (أقل من 1 kg من U^{235}).

تتحكم هذه الميزات بالقيمة الأعظمية للطاقة التي يصل إليها المفاعل بعد حادثة ما وتؤمن سلامة وأمان المفاعل تحت كافة أنواع الحوادث المحتملة فيه.

يتعلق الأداء التشغيلي للمفاعل بصفات الأمان الذاتي له وتعتبر مسألة المحافظة على زمن تشغيلي يومي للمفاعل يتجاوز الساعتين والنصف تحت التدفق الاسمي للمفاعل مسألة مثيرة للاهتمام. لا نستطيع بمفاعل البحث منسر العمل تحت التدفق الاسمي للمفاعل بزمن يتجاوز الساعتين والنصف يومياً. لذلك، زُوِّد المفاعل بعاكس علوي يتألف من مجموعة رقائق من البريليوم. تُضاف هذه الرقائق إلى المفاعل كل سنتين تقريباً لتعدِّل من قيمة فائض التفاعلية المستهلك خلال التشغيل، ويستعيد المفاعل بذلك قدرته على العمل للمدة المذكورة تحت التدفق الاسمي للمفاعل.

يستطيع المفاعل منسر أن يعمل لزمن أطول إذا زادت قيمة فائض التفاعلية للمفاعل، إلا أن الزيادة يجب أن لا تتم بشكل اعتباطي للمحافظة على ظروف التشغيل الآمن للمفاعل. تم في هذه الورقة اقتراح خطة لزيادة الزمن التشغيلي لمفاعل البحث (منسر) عن طريق الزيادة المنظمة لفائض التفاعلية للمفاعل مع المحافظة على القيمة الكلية لفائض التفاعلية المتوفر في القلب. وبذلك، يستطيع المفاعل أن يعمل لزمن أطول.

يتحقق التعديل المقترح لزيادة فائض التفاعلية الكلي المتوفر في القلب عن طريق إضافة قيم متساوية من التفاعلية الموجبة والسالبة للمفاعل. لذلك، ستضاف رقاقة من العاكس العلوي بتفاعلية موجبة قدرها 2mk، وستعدَّل بإضافة ماصّ من الكادميوم إلى أحد مواقع التشعيع الداخلية للمفاعل بتفاعلية سالبة قدرها 2mk. عند تشغيل المفاعل فترة من الزمن وارتفاع درجة حرارته واستهلاك تفاعلية بقيمة 2mk، يبدأ المشغِّل بسحب الكادميوم من موقع التشعيع الداخلي للمفاعل. وبذلك، يبقى القلب حاوياً على تفاعلية قيمتها 4mk للتشغيل تُوازِن التفاعلية السالبة التي ستنشأ عن التسمم بالكزينون، واحتراق الوقود، والزيادة في درجة حرارة القلب.

الطريقة

تمت الحسابات النترونية للنموذج النتروني للمفاعل لحالتين قبل وبعد التعديل المقترح لقلب المفاعل باستخدام نموذج نتروني مفصَّل ثلاثي الأبعاد [2]، وكذلك الكود CITATION [3] والكود WIMSD [4]. يستخدم النموذج النتروني كل المكونات الداخلية والخارجية للقلب. لقد قسم المفاعل، اعتماداً على مبدأ مصونية الحجم [5]، إلى خلية عملاقة استخدمت مكتبة المعطيات للكود WIMSD الذي يحتوي على 69

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 36, No. 2, pp. 91-96, 2000 البريطانية.

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

مجموعة طاقية. اختزلت المجموعات الطاقيةال 69 إلى أربع مجموعات طاقية حدودها العليا هي: 10 MeV، 0.82 MeV، 5.530 keV و0.625eV. يمثل الجدول 1 و الجدول 2 توزع التدفق النتروني قبل وبعد التعديل. تحسب هامش الإغلاق للمفاعل قبل وبعد التعديل وقورن مع هامش الإغلاق الوارد في تقرير الأمان للمفاعل. كما أظهرت الحسابات زيادة هامش الإغلاق للمفاعل بعد التعديل المقترح (الجدول 3).

إن قلب مفاعل منسر حساس جداً للتغير في درجة حرارة المهدىء. لذلك، يؤدي أي تغير في درجة حرارة المهدىء إلى تغير كبير في التفاعلية. بما أن مفاعل منسر مفاعل عالي الإغناء، فيمكن إهمال معامل التفاعلية لدرجة الحرارة للوقود. تم حساب وقياس معامل التفاعلية لدرجة الحرارة للمهدىء في المفاعل منسر، حيث تم إنقاص كثافة المهدىء بشكل منتظم وتوليد ثوابت المجموعات من أجل كثافات متعددة للمهدىء. تم

الجدول 1- متوسط التدفق النتروني في بعض مكوّنات المفاعل قبل التعديل.

مكونات المفاعل	المجموعة 1	المجموعة 2	المجموعة 3	المجموعة 4
قلب المفاعل	8.982×10^{11}	9.694×10^{11}	8.471×10^{11}	9.137×10^{11}
العاكس الحلقي	1.863×10^{11}	3.603×10^{11}	3.799×10^{11}	9.384×10^{11}
مواقع التشعيع الداخلية	1.967×10^{11}	4.195×10^{11}	4.685×10^{11}	1.000×10^{12}
العاكس السفلي	2.332×10^{11}	3.788×10^{11}	3.821×10^{11}	1.145×10^{12}
مواقع التشعيع الخارجية	3.248×10^{10}	7.265×10^{10}	1.020×10^{11}	6.882×10^{11}
أسفل صينية العاكس العلوي	3.168×10^{11}	3.401×10^{11}	3.561×10^{11}	1.252×10^{12}
وعاء المفاعل حول القلب	7.214×10^{9}	1.049×10^{10}	1.590×10^{10}	1.556×10^{11}

الجدول 2- متوسط التدفق النتروني في بعض مكوّنات المفاعل بعد التعديل.

مكونات المفاعل	المجموعة 1	المجموعة 2	المجموعة 3	المجموعة 4
قلب المفاعل	9.197×10^{11}	9.931×10^{11}	8.681×10^{11}	9.335×10^{11}
العاكس الحلقي	1.913×10^{11}	3.675×10^{11}	3.887×10^{11}	9.345×10^{11}
مواقع التشعيع الداخلية	2.144×10^{11}	4.571×10^{11}	4.797×10^{11}	1.000×10^{12}
العاكس السفلي	2.381×10^{11}	3.876×10^{11}	3.911×10^{11}	1.171×10^{12}
مواقع التشعيع الخارجية	3.321×10^{10}	7.427×10^{10}	1.112×10^{11}	6.989×10^{11}
أسفل صينية العاكس العلوي	3.331×10^{11}	3.649×10^{11}	3.741×10^{11}	1.246×10^{12}
وعاء المفاعل حول القلب	7.363×10^{9}	1.072×10^{10}	1.624×10^{10}	1.581×10^{11}

الجدول 3- فائض التفاعلية وهامش الإغلاق.

	محسوبة (غير معدلة)	هامش الإغلاق (غير معدلة)	هامش الإغلاق *(معدلة)
فائض التفاعلية (mk) قبل التعديل	5.078	- 0.7776	- 2.35
فائض التفاعلية (mk) بعد التعديل	4.720	-1.0491	-2.63

* مع وجود منظمات التفاعلية (بمردود تفاعلية 1.58 mk - worth).

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

الحصول على نسبة التناقص في كثافة المهدىء وغنى تفاعلية درجة الحرارة منسوبةً إلى كثافة المهدىء $998.5936\ kg/m^3$ عند 20 °C.

يبين الجدول 4 نتائج حساب معامل التفاعلية لدرجة الحرارة من أجل كثافات متعددة للمهدىء. نستطيع من أجل هذه النتائج استنباط العلاقة بين معامل التفاعلية لدرجة الحرارة ودرجة الحرارة التي تُعطى بالشكل التالي:

$$\alpha(T) = -0.2008 + 0.00278xT$$

حيث: $\alpha(T) = [mk/^\circ C]$ هي معامل التفاعلية لدرجة الحرارة.

و $T = [^\circ C]$ هي متوسط درجة حرارة القلب.

هذا العمل استخدام جهاز آخر يسحب ويتحكم بحركة الكادميوم الماص المشابه لآلية تحريك قضيب التحكم. بلغت قيمة معامل التفاعلية لدرجة الحرارة القيم المحسوبة والمقيسة التالية:

$-0.1005\ mk/^\circ C$ و $-0.1060\ mk/^\circ C$ في المجال 20-30 °C

تزداد القيم الحسابية لمعامل درجة الحرارة بازدياد درجة الحرارة (انظر إلى الجدول 4).

توصيات

يتوجب دراسة النموذج المعدَّل المقترح للمفاعل بشكل كامل ومفصل للتحقق من كافة اعتبارات الأمان للمفاعل المعدل، كالتحقق من

الجدول 4– حساب معامل التفاعلية لمهدىء مفاعل منسر.

معامل التفاعلية لدرجة حرارة المهدىء	فائض تفاعلية القلب ** (mk)	مقدار التغير في فائض التفاعلية (mk)	معدل تناقص كثافة المهدىء * (%)	مجال درجة حرارة المهدىء (°C)
-0.1005	4.017	-1.0047	0.3012	20-30
-0.2198	2.824	-2.1977	0.6593	30-40
-0.3582	1.439	-3.5821	1.0745	40-50

* نسبة لكثافة المهدىء المرجعية وهي $998.5936\ kg\text{-}m^{-3}$ عند درجة حرارة 20 مئوية.

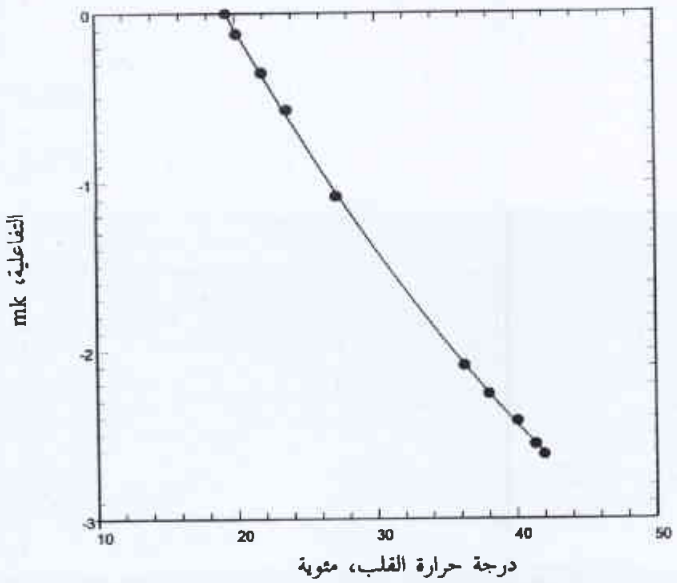
** نسبة لفائض التفاعلية المرجعي وقيمته 5.0217 mk.

قيس أيضاً معامل لدرجة الحرارة وذلك بتشغيل المفاعل لعدة ساعات ابتداءً من قيمة منخفضة لاستطاعة المفاعل وانتهاءً بالاستطاعة الاسمية للمفاعل. حسبت درجة حرارة القلب كقيمة متوسطة لدرجة حرارة الدخول والخروج من القلب. حسب فائض التفاعلية في القلب من منحني معايرة قضيب التحكم.

يمثل الشكل 1 النتائج القياسية كتابع لدرجة حرارة القلب.

النتائج والمناقشة

يبين الجدول 1 والجدول 2 توزع التدفق النتروني قبل وبعد التعديل المقترح للمفاعل. نلاحظ من خلال النتائج أن الشكل المعدَّل للمفاعل يتمتع بنفس التوزع النتروني تقريباً للمفاعل قبل التعديل، بالإضافة إلى احتوائه على فائض تفاعلية أعلى. وبالتالي فإن زمن تشغيل المفاعل المعدَّل سيكون أطول. يبين الجدول 3 هامش الإغلاق قبل وبعد التعديل. نلاحظ الزيادة في هامش الإغلاق للمفاعل في الحالة المعدَّلة. تختلف إجراءات تشغيل المفاعل المعدَّل عن إجراءات التشغيل العادية للمفاعل. فيشغَّل المفاعل أولاً بسحب قضيب التحكم للوصول إلى الطاقة الاسمية إلى أن يستهلك ارتفاع درجة حرارة المهدىء حوالي 2mk. يبدأ المشغِّل بعد ذلك بسحب الكادميوم الماصّ من موقع التشعيع الداخلي للمفاعل. سيتطلب الإجراءات التشغيلية الجديدة للنموذج المعدَّل والقيام بكافة الحسابات الحرارية لإثبات إمكانية استثمار المفاعل المعدَّل بشكل آمن.



الشكل 1– التفاعلية مقابل درجة الحرارة الوسطية للقلب.

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

REFERENCES المراجع

[1] CIAE (1993) Safety Analysis Report for the Syrian Miniature Neutron Source Reactor.

[2] Khamis I. and Khattab K. (1999) Lowering the enrichment of the Syrian miniature neutron source reactor, Annals of Nuclear Energy 26,1031-1036, U.K.

[3] Fowler T.B, Vondy D.R, and Cunningham G.W. (1971) Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION. ORNL-TM-2496, Rev. 2, July.

[4] Askew J.R, Fayer F.J. and Kemshell P.B. (1966). A General Description of Lattice Code WIMSD. Journal of the British Nuclear Energy Society.

[5] Lamarsh J.R. (1966) Introduction to Nuclear Reactor Theory. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA.■

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

إنتاج ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم بطريقة تسلسلية في الطور الغازي وتحديدها بمطيافية ما تحت الأحمر*

د. محمد درغام زيدان، د. عبد الوهاب علاف
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

ابتُكِرت طريقة جديدة لإنتاج جزيئات VOX_3 – حيث F=X، Cl، Br، I – بطريقة تسلسلية باستخدام ثلاثي كلور أوكسي فاناديوم $VOCl_3$ كمادة أولية وإمرار بخارها على فلور الصوديوم NaF عند درجة حرارة 375°C وبروم البوتاسيوم KBr عند درجة حرارة 700°C ويود البوتاسيوم KI عند درجة حرارة 550°C لإنتاج VOF_3، $VOBr_3$، VOI_3 على الترتيب. حُدِّدت الحزم العائدة للمركّبات الناتجة بأخذ طيف تحت الأحمر لأبخرتها. تظهر الأطياف المأخوذة عند دقة فصل منخفضة بمطيافية تحت الأحمر بتحولات فوريه والمنشورة للمرة الأولى حزم امتصاص قوية ذات بنية PQR متمركزة عند 1025, 1030, 1035, 1058 cm^{-1}، تعزى للنمط $\nu_1(a_1)$ العائد للامتطاطية V=O في الجزيئات VOF_3، $VOBr_3$، VOI_3 على الترتيب.

الكلمات المفتاحية: الطور الغازي، مطيافية ما تحت الأحمر، إنتاج تسلسلي، ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم.

مقدمة

تُحضَّر مركّبات ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم من الأكاسيد عادة، وعملياً لا تعد هذه المركبات شائعة. يكون ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم على الأغلب في حالة الأكسدة 4 أو 5، حيث نلاحظ أن الهاليدات الحاوية على الفاناديوم بعدد الأكسدة 5 مركبات ثابتة، مثل VOX_3 و VO_2X حيث X = هالوجين. بينما في حالة الأكسدة 4 فإن هذه المركّبات تكون غير ثابتة؛ تتحلمه بقوة لتعطي الأكاسيد الخماسية المائية.

لُخِصت الخواص الفيزيائية والكيميائية لـ VOX_3 و VO_2X، VOX_2 من قبل غرينوود وإيرنشو Greenwood و Earnshaw [1].

يمكن اعتبار هاليدات أوكسي الفاناديوم ذات تناسق من النمط C_{3v} إذا ما قورنت مع هاليدات الفسفوريل POX_3 [2]. وبذلك يجب أن تكون هناك ستة أنماط اهتزازية فعّالة جميعها في مجال رامان و IR، ثلاثة منها متناسقة بشكل تام وتعود للقسيمات a_1، أما الثلاثة الباقية فهي اهتزازات متوالدة تعود للقسيمات e. وتظهر الأنماط الثلاثة الأولى في الطيف على شكل حزم امتصاص متوازية، في حين تكون الثلاثة الباقية على شكل حزم متعامدة.

سجّل سليغ Selig وكلاسن Claassen طيف ما تحت الأحمر لبخار VOF_3 وفسّر الجزيء والحزم الست الملاحظة باعتبار أن له تناسق من النمط C_{3v} [3]. وكذلك سجّل ميلر Miller طيف تحت الأحمر لـ $VOCl_3$ في الحالة السائلة، أما أوزين Ozin فسجّل طيف رامان لـ $VOCl_3$ في الطور الغازي [4، 5]، وسجّل طيف IR لـ $VOBr_3$ في الحالة السائلة في المجال من 75 cm^{-1} إلى 3000 cm^{-1} [6].

كما نُشِرت طريقة الإنتاج التسلسلي في الطور الغازي لجزيئات POX_3 المشابهة حيث F=X، Cl، Br، I ودراسة هذه الجزيئات بمطيافية تحت الأحمر [2]. واستمراراً لملاحظاتنا السابقة وبحثنا الجديد حول ثلاثي هالوجين أوكسي الأنتموان $SbOX_3$ [7] تعرض هذه الورقة الإنتاج التسلسلي لمركّبات ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم VOX_3 حيث F=X، Cl، Br، I. بالإضافة إلى الدراسة الطيفية بمطيافية تحت الأحمر لهذه الجزيئات في الطور الغازي والتي لم يسبق دراستها أو نشرها من قبل. تتم العملية باستخدام VOX_3 كمادة أساسية وإرسال بخارها فوق فلور الصوديوم NaF، بروم البوتاسيوم KBr، يود البوتاسيوم KI لإنتاج VOF_3، $VOBr_3$، VOI_3 على الترتيب. ومن الجدير بالذكر أنه ليس هناك أي معلومات تجريبية أو طيفية متوفرة حول مركب VOI_3، ويمكن اعتبار النتائج الواردة في هذا التقرير كأول محاولة لاكتشاف هذا الجزيء وتفسيره.

القسم التجريبي

إن الخطوة الأولى للعمل هي إيجاد أفضل الشروط من خلال دراسة ثلاثي كلور أوكسي الفاناديوم $VOCl_3$ من أجل تحضير VOF_3، $VOBr_3$، VOI_3 بدءاً منه كما وضع ثلاثي كلور أوكسي الفاناديوم $VOCl_3$ المستخدم بنقاوة 99.9% من Fluka تحت التفريغ لإزالة الغازات المنحلة فيه عبر مصيدة من الآزوت السائل. تتضمن العملية تسخين $VOCl_3$ بواسطة شريط تسخين حتى حوالي 40°C للحصول على ضغط بخار كافٍ، ثم يُرسل البخار عبر خط التفريغ إلى خلية تحت الأحمر المزودة بنافذتي KBr. أما الشروط الأخرى فهي: تدفق سريع، قوة فصل

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Spectrochimica Acta Part A*, 2000.

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

$2\ cm^{-1}$، ضغط حوالي 0.5 torr، حيث يظهر لون $VOCl_3$ الأصفر في خلية الـ IR.

إن التفاعلات الأساسية للاصطناع هي كما يلي:

$$VOCl_{3(g)} + 3NaF_{(s)} \xrightarrow{375°C} 3NaCl_{(g)} + VOF_{3(g)}$$
$$VOCl_{3(g)} + 3KBr_{(s)} \xrightarrow{700°C} 3KCl_{(g)} + VOBr_{3(g)}$$
$$VOCl_{3(g)} + 3KI_{(s)} \xrightarrow{550°C} 3KCl_{(g)} + VOI_{3(g)}$$

كانت جميع الأملاح الحاوية على الهالوجين المستخدمة في هذه التجارب من Aldrich بنقاوة 99.9%. وإن ألوان منتجات التفاعلات السابقة من الأعلى إلى الأسفل هي: أصفر - أحمر غامق - زهري على الترتيب.

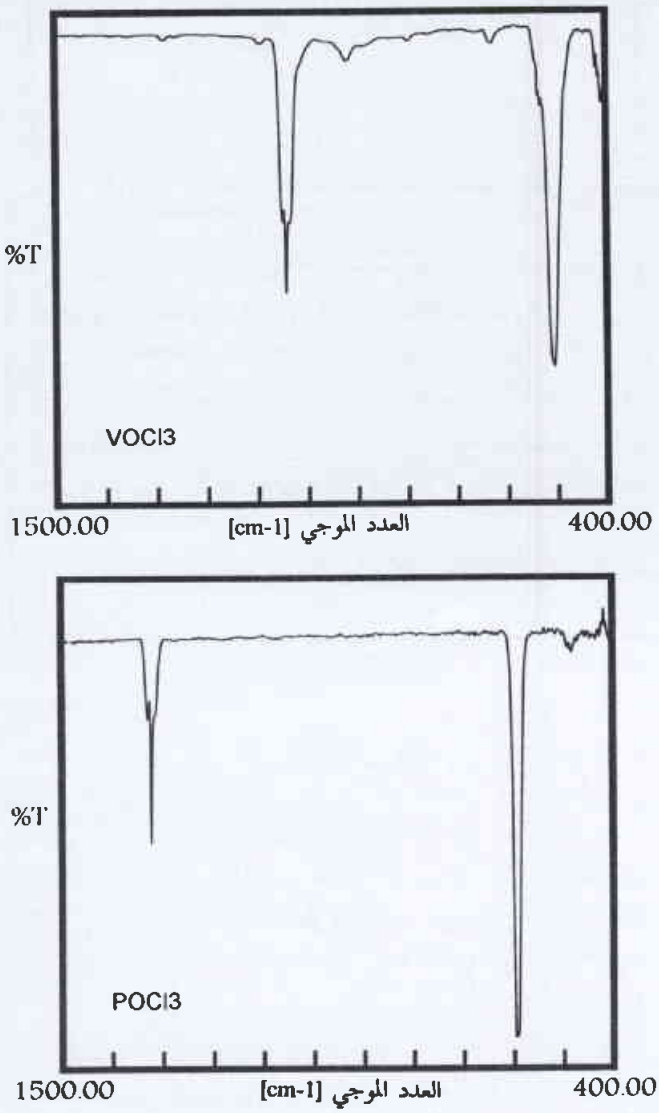
تُرسل نواتج التفاعلات السابقة إلى خلية تحت الأحمر بطول 15 cm مزودة بنافذتي KBr، وقد طُبِّق نظام التجربة نفسه المستخدم في العمل السابق [2]. وإن المسافة بين فرن التسخين وخلية الـ IR حوالي 3 cm. فُرِّغت الخلية عبر مصيدة من الآزوت السائل بواسطة مضخة دوّارة (R V8, Edwards) باستطاعة $8.5\ m^3/hour$. سُجل طيف IR بواسطة مطياف JASCO 300E FTIR بقوة فصل $2\ cm^{-1}$، أما في حالة VOI_3 فقد أُجريت التجربة بقوة فصل $2\ cm^{-1}$ بهدف تحليل بنية الحزمة العائدة لـ V=O.

النتائج والمناقشة

في الشكل 1 يمثل الطيف الأعلى طيف ما تحت الأحمر لـ $VOCl_3$، أما الطيف الأسفل فيوضح طيف ما تحت الأحمر لـ $POCl_3$. يمثل الطيف الأعلى نتيجة تسخين $VOCl_3$ بشريط تسخين حتى درجة حرارة 40°C من أجل الحصول على ضغط بخار كافي لإرسال البخار في خلية الـ IR نلاحظ ثلاث حزم قوية في مجال المطياف المستخدم $400\text{-}4000\ cm^{-1}$ متمركزة عند $1035, 505, 408\ cm^{-1}$ تمثل حزمة الامتصاص الأولى المتمركزة عند $1035\ cm^{-1}$ النمط $\nu_1(a_1)$ للامتطاطية V=O لجزيء $VOCl_3$، وتظهر بنية PQR نموذجية برأس Q قوي. أما حزمة الامتصاص الثانية المتمركزة عند $505\ cm^{-1}$ فتمثل النمط $\nu_4(e)$ للجزيء $VOCl_3$. والحزمة الأخيرة المتمركزة عند $408\ cm^{-1}$ فتعود للامتطاطية VCl_3 للنمط $\nu_2(a_1)$ المظلة في جزيء $VOCl_3$.

هذه النتائج مطابقة للحزم المتمركزة عند $408, 505, 1035\ cm^{-1}$ بالترتيب المقاسة في مطيافية رامان [5]. كما عرض الطيف الأسفل لجزيء $POCl_3$ للمقارنة فقط، حيث نلاحظ بنية مطابقة للنمط $\nu_1(a_1)$ العائد للامتطاطية في جزيء $POCl_3$ [2] متمركزة عند $1312.9\ cm^{-1}$ أما الحزمة الثانية عند $590\ cm^{-1}$ فهي تعود للنمط $\nu_4(e)$ الأساسي في جزيء $POCl_3$.

يظهر الشكل 2 ثلاثة أطياف جديدة A، C، D في المجال من $400\text{-}1200\ cm^{-1}$. حيث يمثل الطيف B المادة الأساسية $VOCl_3$، أما الطيف A فهو نتيجة إرسال غاز $VOCl_3$ فوق NaF المسخن حتى 375°C، حيث يوضح الطيف الحزم الثلاث المميزة لجزيء



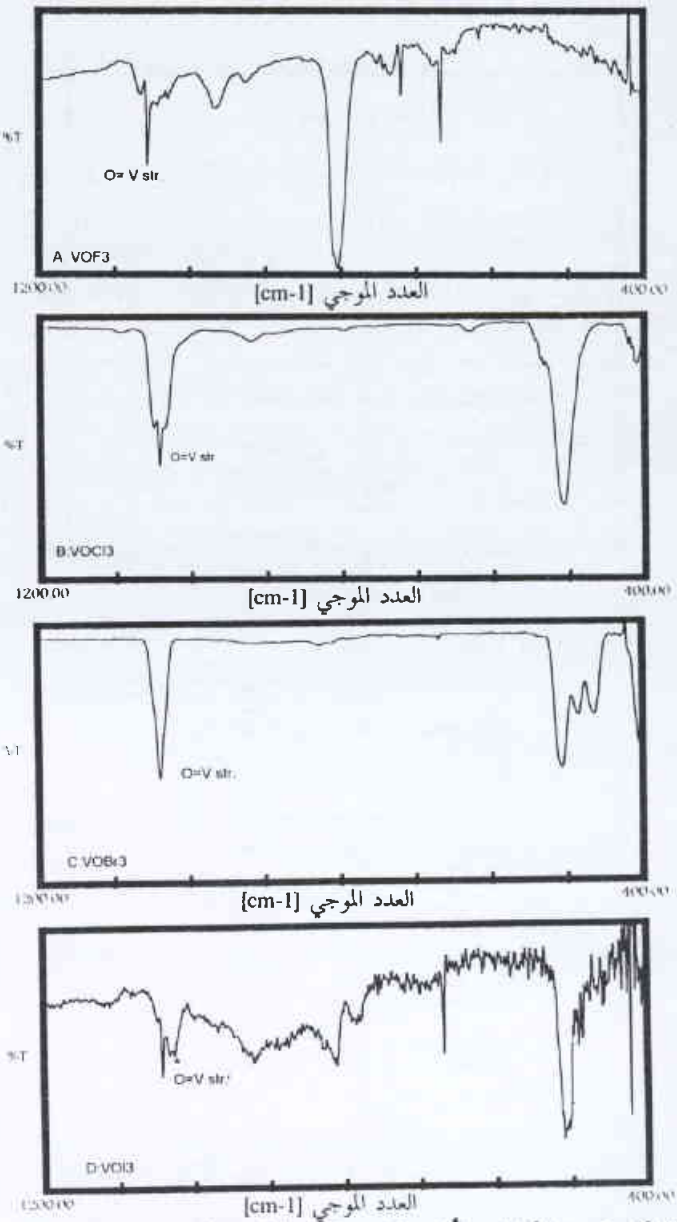
الشكل 1- طيف ما تحت الأحمر لـ $VOCl_3$ في الطور الغازي (الأعلى).
طيف ما تحت الأحمر لـ $POCl_3$ في الطور الغازي (الأسفل).

VOF_3 الملاحظة ضمن مجال المطياف المستخدم والمتمركزة عند $1058, 806, 722\ cm^{-1}$، حيث يطابق هذا الطيف التوقعات كافة.

إن الحزمتين المتمركزتين عند $722,1058\ cm^{-1}$ تحوي كلتاهما رأساً حاداً من النمط Q يميز الحزم المتوازية. وبشكل مشابه فإن الحزمة عند $806\ cm^{-1}$ يمكن أن يُشار إليها بأنها من النمط العمودي أو حزمة الجزيئة (e) لأنها لا تحوي الرأس الحاد Q. وبذلك يمكننا الإشارة إلى الحزمة الأولى عند $1058\ cm^{-1}$ على أنها $\nu_1(a_1)$ للرابطة V=O للجزيء VOF_3.

هذه النتيجة تتوافق مع التوقع، حيث تنزاح الحزمة إلى قيم تواتر أعلى عندما يحل الفلور محل الكلور في جزيء $VOCl_3$، لتكوين VOF_3 بشكل مشابه لما سبق وأجريناه في جزيء POX_3 [2]. أما الحزمة الثانية عند $806\ cm^{-1}$ فهي تشير إلى النمط $\nu_4(e)$ للرابطة V-F لجزيء VOF_3. والعصابة الثالثة عند $722\ cm^{-1}$ فهي تشير إلى النمط $\nu_2(a_1)$ للمظلة VF_3

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



الشكل 2– يمثل أطياف مرئيات ثلاثي هاليدات أوكسي الفاناديوم VOX_3 حيث X = F, Cl, Br, I وذلك ضمن المجال من cm^{-1} (400-1200).

في جزيء VOF_3، وتملك هذه العصابة بنية من النمط PQR كما هو متوقع. أما العصابة الأخيرة في الطيف عند $673\ cm^{-1}$ فتشير إلى حزمة تراكبية $2\nu_6(e)+\nu_3(a_1)$ لجزيء VOF_3.

إن نتائجنا الأخيرة في مطيافية الـ IR على توافق كبير مع النتائج المأخوذة سابقاً في الطور الغازي (3) بعد تحضير VOF_3 بطريقة Trevorrow باستخدام V_2O_3/HF [8]، حيث تظهر الحزم الملاحظة عند $721.5, 806, 1057.8\ cm^{-1}$ على الترتيب [3]. نلاحظ أن التواترات الملاحظة مطابقة لتلك المسجلة من قبل باستخدام طريقتين مختلفتين في التحضير.

بعد أن تأكدنا من تحضير VOF_3 بهذه الطريقة الجديدة كانت الخطوة اللاحقة هي تحضير $VOBr_3$ وتسجيل طيف IR له في الطور الغازي. يمثل الطيف C في الشكل (2) نتيجة إرسال غاز $VOCl_3$ فوق بروم البوتاسيوم KBr المسخن حتى الدرجة 700°C. يلاحظ وجود حزمتي امتصاص جديدتين ضمن مجال المطياف المستخدم عند $1030\ cm^{-1}$ و 400. تمثل الحزمة الأولى عند $1030\ cm^{-1}$ العائد للنمط الامتطاطي V = O في جزيء $VOBr_3$. وهذه النتيجة تتلاءم مع ما هو متوقع؛ وهو انزياح الحزمة إلى تواتر أخفض عندما يحل البروم محل الكلور في جزيء $VOCl_3$ ليكوّن $VOBr_3$ ومرة جديدة تظهر الحزمة بنية من النمط PQR ذات رأس Q حاد جداً. إن الحزمة الثانية عند $400\ cm^{-1}$ تشير إلى النمط $\nu_4(e)$ في جزيء $VOBr_3$. أما الحزمة الثالثة في الطيف فتعود إلى المادة الأساسية $VOCl_3$.

سجلّ ميلر وبيير طيف ما تحت الأحمر IR لجزيء $VOBr_3$ في الحالة السائلة [6]، وبذلك يمكننا مقارنة نتائجنا المأخوذة في الطور الغازي مع طيف IR المأخوذ لـ $VOBr_3$ السائل، المصنّع بطريقة أخرى على الشكل التالي:

$$V_2O_5 + 2H_2 \xrightarrow{500°C} V_2O_3 + 2H_2O$$

$$V_2O_3 + 3Br_2 + C \xrightarrow{200°C} 2VOBr_3^- + CO$$

انزاحت الحزمة العائدة للامتطاطية V = O في الطور الغازي مقارنة مع طيف $VOBr_3$ السائل بحوالي $5\ cm^{-1}$، وهذا مبرر كفرق بين طريقتي التحضير. إن الخطوة الأخيرة، الموضحة في الطيف D (الشكل 2) والذي هو نتيجة إرسال بخار $VOCl_3$ فوق يود البوتاسيوم KI المسخن إلى الدرجة 550°C، أظهرت أن طيف الـ IR المأخوذ هنا لمركب VOI_3 يُسجل للمرة الأولى، كما أنه ليس هناك أي معلومات تجريبية طيفية خاصة بجزيء VOI_3، لذلك يُحلل الطيف بالاعتماد على جزيئات شبيهة مدروسة سابقاً. ومن الجدير بالذكر أن تحضير VOI_3 النقي يعد عملية صعبة جداً بسبب سهولة تصعّد اليود عند تعرض KI لدرجات حرارة عالية جداً. ورغم ذلك فإن معظم الحزم العائدة للجزيء VOI_3 ظهرت في الطيف. تتوضع هذه الحزمة على الطرف اليميني للحزمة العائدة لجزيء VOI_3 وتتمركز عند $1025\ cm^{-1}$، وهي تعود للنمط $\nu_1(a_1)$ للرابطة V = O في جزيء VOI_3. إن للعصابة الملاحظة بنية من النمط PR، وقد أُجريت هذه التجربة عند قدرة فصل $1\ cm^{-1}$ بهدف فصل الحزمة المذكورة وسهولة تفسيرها. يمكن مشاهدة البنية PR في الطيف D (الشكل 2). ونلاحظ عدم ظهور الرأس Q في هذا الجزيء، وبذلك يجب تسجيل الطيف المأخوذ عند درجة فصل عالية مما قد يوضح بنية الحزمة أكثر. ومن الواضح أنه في بعض مراحل التفاعل هناك إمكانية لتكوّن $VOCl_2I$ و $VOClI_2$ قبل تكوّن VOI_3، وهذا ربما يفسر بعض الحزم الأخرى الموجودة في الطيف D، وبذلك يمكننا القول بإمكانية أن نعزو باقي الحزم في الطيف إلى وجود شوائب، والتي وجِدَت من $VOCl_3$، يُظهر الشكل 3 النمط $\nu_1(a_1)$ للرابطة V = O في جزيء VOX_3 حيث F = X، Cl، Br، I وذلك في مجال من $900\text{-}1200\ cm^{-1}$. ويجب التدقيق على أن الطرف الأيسر من الطيف (3) يُعزى كله إلى النمط $\nu_1(a_1)$ في الجزيء $VOCl_3$.

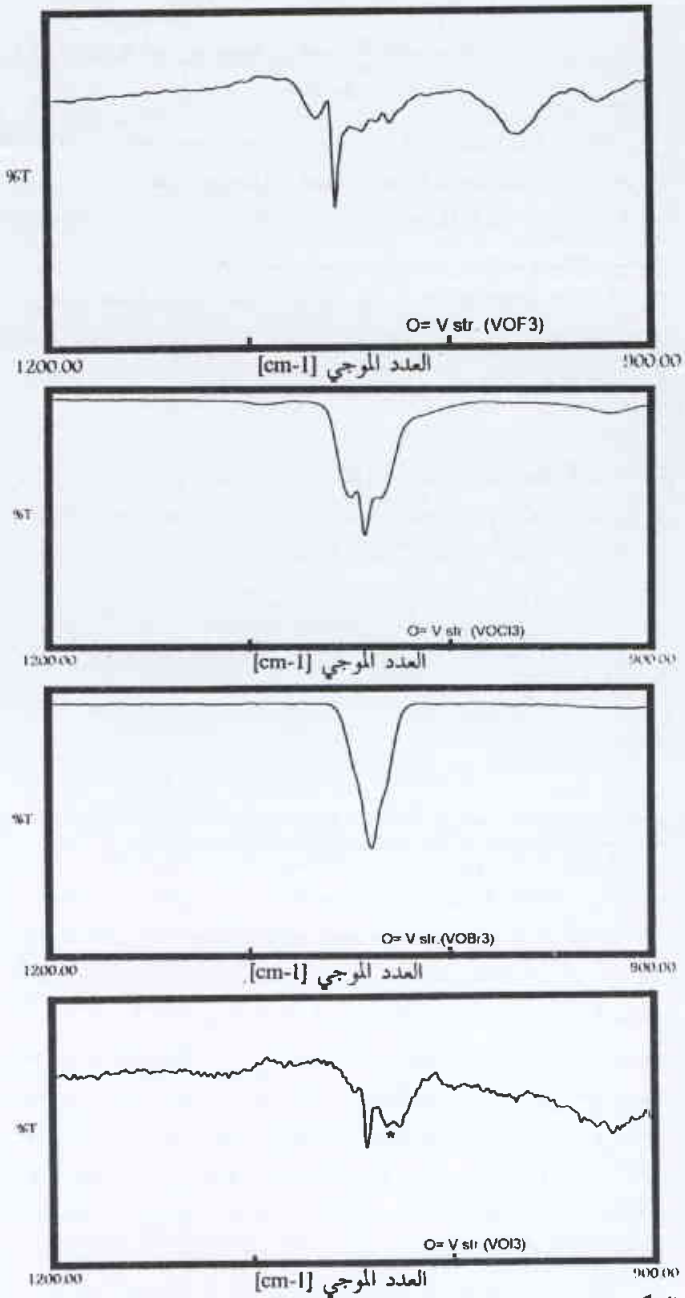
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

والسائل لكلٍ من الجزيئين VOF_3، $VOBr_3$ على الترتيب في الجدول 1، متضمنة القيم النظرية والقيم المحسوبة بطريقة بول و دايجاكسترا Poul و Dijakstra [9] للفصل P-R لـ VOX_3 $\nu_1(a_1)$ حيث X=F، Cl، Br، I.

الجدول 1- يتضمن التواترات المأخوذة كافة لـ VOF_3 المحددة في الطور الغازي بواسطة مطيافية IR في مقارنة مع القيم المأخوذة في الطورين الغازي والسائل لكلٍ من الجزيئين VOF_3، $VOBr_3$ على الترتيب، متضمنةً القيم النظرية والقيم المحسوبة بطريقة بول ودايجاكسترا للفصل P-R لـ VOX_3 $\nu_1(a_1)$ حيث X=F, Cl, Br, I.

الجزيء	النمط	الوصف	الملاحظة		الفصل P-R	
			النتائج الأخرى ذات الصلة	هذا العمل بالإضافة بطريقة تسلسلية في الطور الغازي	الملاحظة	المحسوبة
VOF_3	1	a_1 (O=V str.)	1057.8 (3)	1058	19.0	18.3
	4	e(V-F str.)	806	806		
	2	a_1 VF_3 umbrella	721.5	722		
	3	a_1 FVO def.	237.8	-		
	5	e(O=VF_3 rock)	308	-		
	6	e(VF_3 def.)	204.3	-		
$VOCl_3$	1	a_1 (O=V str.)	1035 (5)	1035	16.0	15.7
	4	e(V-Cl str.)	504	505		
	2	a_1 VCl_3 umbrella	408	408		
	3	a_1 ClVO def.	165	-		
	5	e(O=VCl_3 rock)	249	-		
	6	e(VCl_3 def.)	129	-		
$VOBr_3$	1	a_1 (O=V str.)	1025 (6)	1030	12.1	12.0
	4	e(V-Br str.)	400	400		
	2	a_1 VBr_3 umbrella	271	-		
	3	a_1 BrVO def.	120	-		
	5	e(O=VBr_3 rock)	212	-		
	6	e(VBr_3 def.)	83	-		
VOI_3	1	a_1 (O=V str.)	-	1025	6.0	5.3
	4	e(V-I str.)	-	-		
	2	a_1 VI_3 umbrella	-	-		
	3	a_1 IVO def.	-	-		
	5	e(O=VI_3 rock)	-	-		
	6	e(VI_3 def.)	-	-		

نستنتج مما سبق أن هذا البحث قد أُنجز لأول مرة متضمناً عمليات تحضير المركّبات VOX_3 في الطور الغازي بطريقة تسلسلية، وكذلك تحديد هويتها بتقنية FTIR بتسجيل أطياف لأبخرة هذه المركّبات. وبشكل عام فإن معلوماتنا التجريبية كافة توافق التوقعات على نحو مُرضٍ حسب ما استُنتِج. وقد قورنت نتائج الأبحاث السابقة المعنية بأطياف الـ IR لجزيئي VOF_3، $VOBr_3$ السائل، وكانت نتائجنا متوافقة بشكل جيد مع كل هذه الأعمال.



الشكل 3- يظهر الحزم العائدة للنمط $\nu_1(a_1)$ للإمتطاطية V=O في جزيئات VOX_3 حيث X=F, Cl, Br, I وذلك ضمن المجال cm^{-1} 1200-900.

سردت التواترات كافة المأخوذة لـ VOF_3 المحددة في الطور الغازي بواسطة مطيافية IR في مقارنة مع القيم المأخوذة في الطورين الغازي

المراجع REFERENCES

[1] N. N. Greenwood and A. Earnshaw, Chemistry of the Elements, lst ed. Pergamon Press, Oxford, (1989).

[2] A. W. Allaf, Spectrochimica Acta, Part A 54, 921, (1998).

[3] H. Selig and H. H. Claassen, J. Chem. Phys., 44, 1404, (1966).

[4] F. A. Miller and L. R. Cousins, J. Chem. Phys., 26, 329 (1957)

[5] G. A. Ozin and D. J. Reynolds, J. R. Soc. Chem. Commun., 884, (1969).

[6] F. A. Miller and W. K. Baer, Spectrochimica Acta, Part A. 17, 112, (1961).

[7] A. W. Allaf and Z. Ajji, Spectrochimica Acta, Part A in press, (2000).

[8] L. E. Trevorrow, J. Phys. Chem., 62, 362, (1958).

[9] W. A. Seth Paul and G. Dijkstra, Spectrochimica Acta, Part A 23, 2861, (1967).■

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

تأثير أشعة غاما على تنشيط كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات الحمّص (Cicer arietinum L.) المسمَّد بمستويات مختلفة من كبريتات الأمونيوم*

د. فواز كرد علي – محمد الشماع – زهير الأيوبي
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

أُجريت تجربة أصص في ظروف مناخية طبيعية لدراسة تأثير جرعات منخفضة من أشعة غاما (0، 5، 10 و 20 غراي) على أداء نبات الحمّص الشتوي بوجود مستويات متزايدة من كبريتات الأمونيوم الموسوم (0, 20، 50 و 100 كغ N/هـ). أدى تشعيع البذور قبل زراعتها بأشعة غاما إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة للنباتات (حتى 36%) وفي الآزوت الكلي (حتى 45%). كان الأثر التشيطي للتشعيع أكثر وضوحاً عند إضافة السماد الأمونياكي (NH_4^+-N). أدى التشعيع إلى زيادة في كمية الآزوت المثبت بنسب تراوحت بين 8 وحتى 61% وذلك بحسب الجرعة المستعملة والمعدل السمادي المضاف. كانت الجرعة 10 غراي مثالية من أجل تحسين كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. إن إضافة المستويات المرتفعة من السماد الأمونياكي (NH_4^+-N) سببت انخفاضاً ملحوظاً في نسب وكميات الآزوت المثبت، غير أن التشعيع بالجرعة 10 غراي أدى إلى خفض الأثر السلبي لسماد كبريتات الأمونيوم على تثبيت الآزوت الجوي. لذلك يُنصح بتشعيع بذور الحمّص بالجرعة 10 غراي قبل زراعتها في تربة عالية المحتوى بالآزوت المعدني بهدف تقليص التأثير السلبي على تثبيت الآزوت الجوي.

الكلمات المفتاحية: تثبيت الآزوت الجوي، آزوت معدني، جرعة منخفضة، تشعيع بأشعة غاما، النتروجين– 15.

المقدمة

إن تشعيع البذور قبل زراعتها بجرعات منخفضة من أشعة غاما هو إجراء زراعي يهدف إلى زيادة إنتاج المحاصيل الزراعية كمّاً ونوعيةً [1]. لوحظ في العديد من الأبحاث أن التشعيع يؤدي إلى تنشيط إنبات البذور وتحسين نمو وتطور النباتات [5,4,3,2]. ومازالت الآلية الفعلية لهذا التأثير غير واضحة جيداً. وقد فسر بعض الباحثين أن الأشعة المؤينة تسبب تغيرات في الخواص الفيزيائية والكيميائية لبروتوبلاسما المادة الحية مؤدية بالتالي إلى تنشيط بعض العمليات الفيزيولوجية وتفاعلات البناء ذات الصلة [8,7,6].

استُعملت تقانة تشعيع بذور النباتات البقولية بجرعات منخفضة من أشعة غاما في العديد من الأبحاث التي أظهرت تحسناً في نمو وتطور النباتات وتنشيطاً في كفاءة تشكل العقد الجذرية والآزوت الكلي في كلٍ من فول الصويا [9] وفستق العبيد [10]، في حين لا تتوافر أية بيانات حول تأثير الجرعات المنخفضة من أشعة غاما على تثبيت الآزوت الجوي في نبات الحمّص المتمتع بكفاءة تثبيتية عالية والذي يعد من المحاصيل البقولية الاقتصادية الهامة في العديد من بلدان العالم [11].

يؤثر الآزوت المعدني على العلاقة التعايشية بين الريزوبيا والنبات البقولي من خلال تأثيره على كلٍ من التعقد وتثبيت الآزوت الجوي [14,13,12]. فزيادة الآزوت المعدني تسبب انخفاضاً في تثبيت الآزوت الجوي. وقد تكون تقانة تشعيع بذور الحمّص قبل زراعتها بجرعات منخفضة من أشعة غاما ذات فائدة عندما يراد زراعة هذا النوع النباتي في ترب عالية المحتوى بالآزوت المعدني.

يعالج هذا التقرير نتائج تجربة أصص استعملت فيها تقنية التخفيف النظيري للآزوت ^{15}N [15]. لتقييم أثر التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما وبوجود معدلات مختلفة من سماد NH_4^+-N، على تثبيت الآزوت الجوي في الحمّص المزروع في تربة عالية المحتوى بسلالات طبيعية من الريزوبيوم.

المواد والطرائق

جُمعت التربة لإجراء تجربة الأصص هذه من منطقة جلين الواقعة في جنوب سورية (E 59° 35 N 42° 32) ذات المواصفات التالية: Ec 0.22؛ pH 8.5؛ المادة العضوية 0.43%؛ الفسفور المتاح 22.8 µg g-1؛ N 0.09%. ومن رتبة vertisol [16]. كان الحمّص المحصول السابق المزروع في هذه التربة، وقد تبين في دراسة سابقة [11] أن هذه التربة عالية المحتوى بسلالات طبيعية من الريزوبيوم نظراً لملاحظة كثافة مرتفعة من العقد المتشكلة طبيعياً على جذور نبات الحمّص. استعمل في هذه الدراسة الصنف ILC482، تركي المنشأ وذو مواصفات إنتاجية مرتفعة ويتأقلم على نطاق واسع في ظروف مختلفة. تم اختيار أوزان متماثلة من البذور (0.34 غرام/بذرة) لتجنب الاختلافات التي قد تنجم

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Commun. Soil Sci.Plant Anal., 31 (5&6) 2000.

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

عن حجم البذور. بلغ وزن التربة في كل أصيص 10 كغ، وتمت زراعة أربع بذور في كل أصيص.

تم تشعيع البذور، قبل يوم واحد من الزراعة، بأشعة غاما من المصدر (Gammator-M-Series ^{137}Cs USA) باستعمال الجرعات التالية: 0، 5، 10 و 20 غراي (D0، D5، D10، D20، على التوالي) بمعدل جرعة مقدارها 7.9 غراي في الدقيقة. أضيف سماد الأمونيوم الموسوم بمعدل 0، 20، 50 و 100 كغ N/هـ بنسب إغناء مقدارها 2 و 4 و 10.07% ذرة ^{15}N على التوالي. وبلغت كميات الآزوت المضافة فعلياً للأصص 0، 7.7، 19.2، و 38.4 مع N لكل 1 كغ/تربة (N0، N20، N50، و N100 على التوالي). استعمل الطراز الوراثي PM 233 من الحمّص (نبات غير مثبت للآزوت الجوي) بصفة نبات مرجعي لتقدير تثبيت الآزوت الجوي بتوظيف طريقة التمديد النظيري [15]، حيث عوملت هذه النباتات بمعاملات التسميد الآزوتي نفسها التي عوملت بها النباتات المثبتة من الحمّص. وضعت النباتات ضمن ظروف مناخية طبيعية ورتبت وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأربعة مكررات. بلغ عدد الأصص 48 أصيصاً للحمّص المثبت و 16 أصيصاً للحمّص غير المثبت. تم الحفاظ على رطوبة التربة خلال التجربة عند 70% من السعة الحقلية. تم استخدام 16 أصيصاً من النباتات المثبتة لإحصاء عدد العقد الجذرية بعد 77 يوماً من الزراعة. حُصدت جميع النباتات عند وصولها إلى مرحلة النضج الفيزيولوجي (134 يوماً بعد الإنبات) لتقدير إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي ونسب ^{15}N وعدد القرون. جُفّفت العينات النباتية بدرجة حرارة 70 °C لمدة ثلاثة أيام. تم تقدير الآزوت باستخدام طريقة كلداهل. وحددت نسب $^{15}N/^{14}N$ بجهاز المطياف الضوئي (Jasco- 150, Japan). خضعت البيانات إلى تحليل التباين ANOVA، وحسب أقل فرق معنوي بين المتوسطات، على مستوى ثقة $P < 0.05$.

النتائج

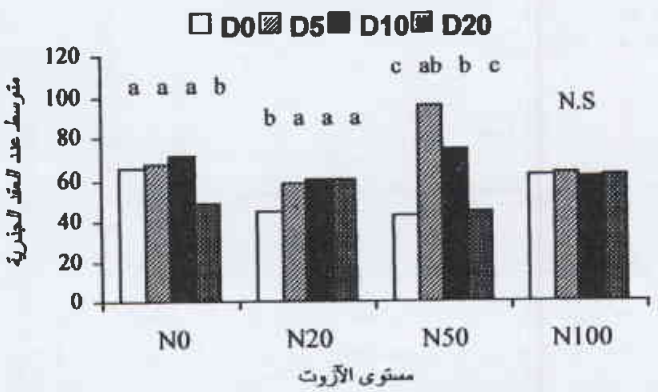
عدد العقد الجذرية

يُظهر الشكل 1 عدد العقد المتشكلة على النظام الجذري للنباتات في مرحلة النمو الخضري (77 يوماً بعد الزراعة). أدى تشعيع بذور الحمّص قبل الزراعة بالجرعات 5 و 10 غراي عند المستوى السمادي N20 و N50 إلى زيادة معنوية في عدد العقد الجذرية مقارنة بالشاهد. من ناحية أخرى، لم تسبب إضافة السماد الآزوتي تثبيطاً في تشكل العقد الجذرية بالمقارنة مع الشاهد غير المسمد، ماعدا المعاملتين D0N20 و D0N50 اللتين أظهرتا انخفاضاً طفيفاً في عدد العقد الجذرية. غير أنه لوحظ في بعض الحالات تنشيط في تشكل العقد الجذرية، نتيجة التشعيع بالجرعتين 5 و 10 غراي في المعاملة N50 (الشكل 1).

إنتاج المادة الجافة

أدى التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما إلى تأثير معنوي $P < 0.05$ على إنتاج المادة الجافة باستثناء المعاملة D10N0. ازداد إنتاج المادة الجافة في النباتات معنوياً نتيجة التشعيع بالجرعتين 5 و 10 غراي، وأظهرت النتائج قيماً ثابتة عموماً نتيجة التشعيع بالجرعة 20 غراي (الجدول 1). لوحظ أعلى إنتاج من المادة الجافة في المعاملة D10N50

الجرعة الإشعاعية (غراي)



الشكل 1- متوسط عدد العقد الجذرية المتشكلة على جذور نباتات الحمّص (بعد 77 يوماً من الإنبات) وذلك بعد تشعيع البذور بجرعات منخفضة من أشعة غاما وبوجود مستويات مختلفة من سلفات الأمونيوم. الأعمدة المشار إليها بأحرف مختلفة داخل كل معاملة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 5% NS غير معنوي.

الجدول 1- تأثير تشعيع بذور الحمّص قبل الزراعة بجرعات منخفضة من أشعة غاما على إنتاج المادة الجافة (غ/أصيص) بوجود مستويات مختلفة من كبريتات الأمونيوم.

الجرعة (D)	معدلات السماد الآزوتي N0	N20	N50	N100
0	63.9A,b	58.0B,b	51.8C,c	62.7AB,b
5	70.6A,a	66.5A,a	65.1A,ab	66.3A,ab
10	64.7A,b	68.1A,a	70.3A,a	71.7A,a
20	60.3AB,b	58.6AB,b	53.3B,b	62.8A,b

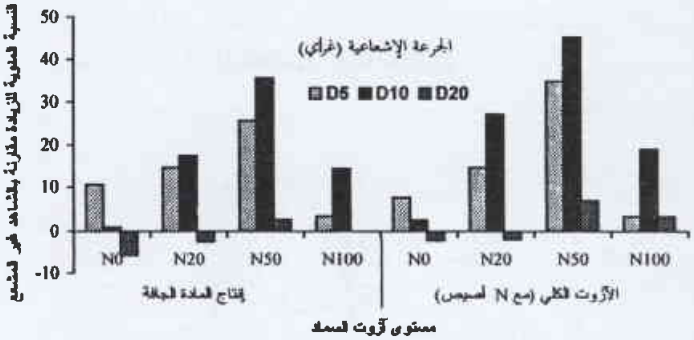
المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05. الأحرف الصغيرة (مقارنة عمودية)، الأحرف الكبيرة (مقارنة أفقية).

حيث ازدادت القيم من 51.8 إلى 70.3 غرام/أصيص، أي بنسبة مقدارها 36%. بلغت النسب المئوية في زيادة إنتاج المادة الجافة نتيجة التشعيع بالجرعة 5 غراي 11، 15، 26 و 6%، في حين بلغت القيم 1، 17، 36، و 14% نتيجة التشعيع بالجرعة 10 غراي، وذلك في المعاملات السمادية N0، N20، N50 و N100 على التوالي (الشكل 2). لم تؤدِ إضافة الأسمدة الآزوتية إلى أي تغير جوهري في إنتاج المادة الجافة في كل معاملة من معاملات التشعيع، ولا سيما عند استخدام الجرعتين 5 و 10 غراي.

الآزوت الكلي

كان مخطط نتائج كميات الآزوت مشابهاً نسبياً لمخطط إنتاج المادة الجافة، ويتضح من الجدول 2 أن تشعيع البذور بالجرعة 10 غراي أدى إلى زيادة في كميات الآزوت الكلي في المعاملات المسمدة. كما لوحظت زيادة معنوية في المعاملتين N20 و N50 فقط نتيجة التشعيع بالجرعة 5 غراي. من ناحية أخرى لم يُلاحظ فرق معنوي بين معاملة الشاهد والمعاملة 20 غراي. بلغت النسب المئوية في زيادة كمية الآزوت الكلي

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



الشكل 2– النسب المئوية لزيادة إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي في الحمّص نتيجة التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما بالمقارنة مع الشاهد غير المشعع.

نتيجة التشعيع بالجرعة 5 غراي 8، 15، 35 و 4%، في حين بلغت القيم 3، 27، 45 و 19% نتيجة التشعيع بالجرعة 10 غراي، وذلك في

الجدول 2– تأثير تشعيع بذور الحمّص قبل الزراعة بجرعات منخفضة من أشعة غاما على كمية الآزوت الكلي (مغ/أصيص) بوجود مستويات مختلفة من كبريتات الأمونيوم.

	معدلات السماد الآزوتي			
الجرعة (D)	N0	N20	N50	N100
0	1018.6A,a	873.0B,b	743.4B,c	871.1B,b
5	1096.4A,a	1000.9AB,a	1002.2AB,ab	901.8 B,ab
10	1046.1A,a	1110.4A,a	1080.4A,a	1035.9A,a
20	996.4A,a	854.7AB, b	794.9B,bc	901.3AB,ab

المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05 الأحرف الصغيرة (مقارنة عمودية)، الأحرف الكبيرة (مقارنة أفقية).

المعاملات السمادية N0، N20، N50 و N100 على التوالي.

مصادر آزوت النبات

يبين الجدول 3 النسب المئوية للآزوت الناجم عن المصادر المختلفة المتاحة. تأثرت النسب المئوية للآزوت المثبت Ndfa% معنوياً $P<0.05$ بجرعات التشعيع المستخدمة وبالمعدلات المضافة من السماد الآزوتي. أدت الإضافة المتزايدة من السماد الآزوتي إلى انخفاض معنوي في Ndfa%. انخفضت كفاءة تثبيت الآزوت الجوي من 73% إلى 49% في المعاملة D0N100. غير أن تشعيع بذور الحمّص بالجرعة 10 غراي قبل الزراعة رفع معنوياً Ndfa% بوجود مستويات مختلفة من السماد الآزوتي ولاسيما في المعاملة N100 (من 49% إلى 58%).

وكما هو الحال في نتائج المادة الجافة والآزوت الكلي، لم يؤدِ التشعيع بالجرعة 20 غراي إلى أي تغير جوهري في نسب Ndfa% مقارنة بالشاهد. مع العلم أن النسب كانت أكثر ارتفاعاً في المعاملات المشععة بالجرعة 10 غراي من تلك المشععة بالجرعة 20 غراي.

الجدول 3– تأثير تشعيع بذور الحمّص قبل الزراعة بجرعات منخفضة من أشعة غاما على النسب المئوية للآزوت المثبت (Ndfa%) والمتص من التربة (Ndfa%) ومن السماد (Ndff%) بوجود مستويات مختلفة من كبريتات الأمونيوم.

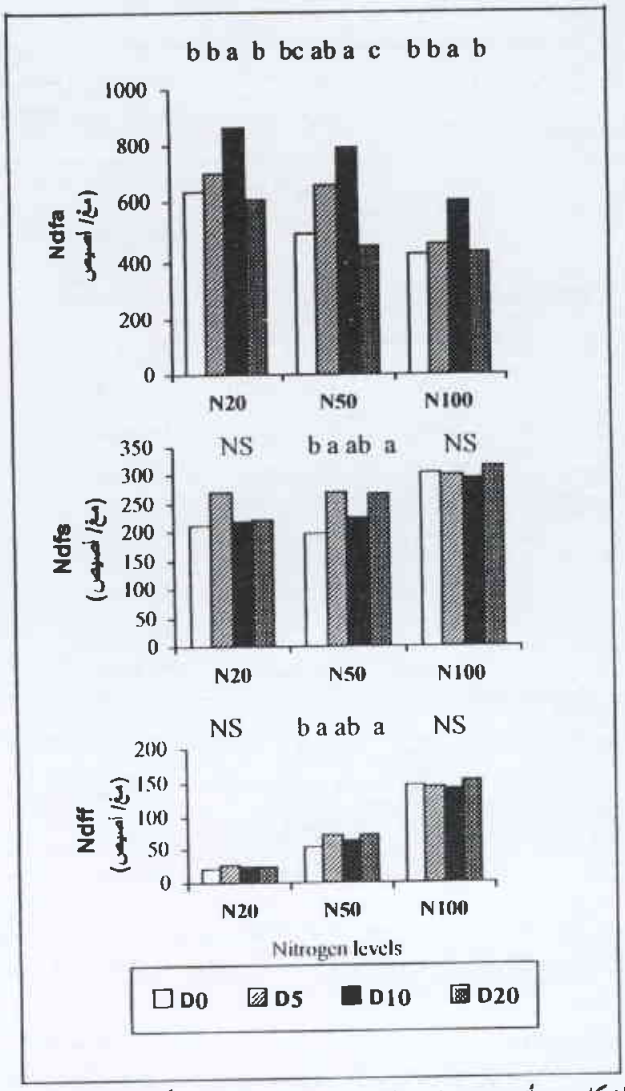
%Ndfa	معدلات السماد الآزوتي		
الجرعة (D)	N20	N50	N100
0	73.3A,a	66.2A,a	49.1B,b
5	69.9A,a	65.4A,ab	51.0B,ab
10	78.5A,a	73.0A,a	57.9B,a
20	71.2A,a	57.2B,b	48.2C,b
%Ndfs			
0	24.2B,a	26.9B,b	34.4A,a
5	27.3B,a	27.2B,ab	33.2A,ab
10	19.5B,a	21.3AB,b	28.5A,b
20	26.2B,a	33.7A,a	35.1A,a
%Ndff			
0	2.5C,a	7.2B,b	16.4A,a
5	2.8C,a	7.4B,ab	15.8A,ab
10	2.0C,a	5.7B,b	13.6A,b
20	2.7C,a	9.1B,a	16.7A,a

المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05 الأحرف الصغيرة (مقارنة عمودية)، الأحرف الكبيرة (مقارنة أفقية).

ازدادت النسب المئوية للآزوت الممتصة من التربة Ndfs% ومن السماد Ndff% نتيجة إضافة الأسمدة الآزوتية. ولم يلاحظ أي تغير جوهري نتيجة التشعيع.

أدت الإضافة المتزايدة للأسمدة الآزوتية إلى انخفاض معنوي في كميات الآزوت المثبتة في النباتات، وإلى ارتفاع في كميات الآزوت الممتصة من السماد (الشكل 3). انخفضت كمية الآزوت المثبت من 642 إلى 423 مغ N/أصيص نتيجة إضافة معدل مرتفع من السماد الآزوتي (N100). غير أن التشعيع بالجرعة 10 غراي ساهم في رفع كمية الآزوت المثبت إلى 601 مغ N/أصيص (D10N100) مقارنة مع الشاهد (D0N100). ويُظهر الشكل 4 النسب المئوية للزيادة في كميات الآزوت المثبت نتيجة تشعيع بذور الحمّص قبل زراعتها بجرعات منخفضة من أشعة غاما. ويُلاحظ من هذا الشكل أن الجرعة 10 غراي أعطت أفضل نتيجة (61 و 42%) وذلك في المعاملتين N50 و N100 على التوالي. وكان تأثير الجرعة 5 غراي أفضل من تأثير الجرعة 20 غراي، حيث أظهرت هذه الأخيرة نتائج غير مشجعة. من ناحية أخرى تم الحصول على تأثير معنوي للتشعيع على كميات الآزوت الممتصة من التربة ومن السماد في المعاملة N50 فقط (الشكل 3).

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



الشكل 3– تأثير تشعيع بذور الحمّص بجرعات منخفضة من أشعة غاما على كميات الآزوت المثبت (Ndfa) والممتص من التربة (Ndfs) ومن السماد (Ndff) بوجود مستويات مختلفة من سلفات الأمونيوم. الأعمدة المشار إليها بأحرف مختلفة داخل كل معاملة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 5% NS غير معنوي.

عدد القرون

يعكس عدد القرون الكفاءة الإنتاجية للبذور المتشكلة في النباتات. بيّنت النتائج المدونة في الجدول 4 أن التشعيع بالجرعة 5 غراي أدى إلى زيادة في عدد القرون مقارنة مع الشاهد غير المشعع، وذلك في المعاملات السمادية كافة. وأدى التشعيع بالجرعة 10 غراي إلى زيادة معنوية في عدد القرون المتشكلة في المعاملتين N20 و N50، ولم يلاحظ تغير معنوي في عدد القرون نتيجة التشعيع بالجرعة 20 غراي في المعاملات السمادية كافة.

المناقشة

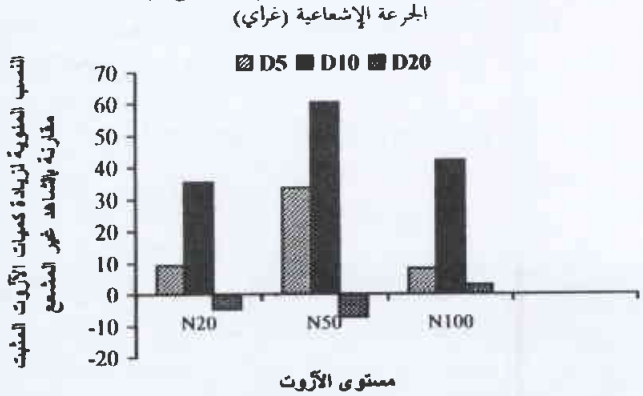
من الواضح أن للجرعات المنخفضة من أشعة غاما آثاراً تحفيزية على إنبات البذور ونمو النبات وبالتالي على زيادة إنتاج العديد من الأنواع النباتية [1, 4, 17]. أعطت هذه الدراسة معلومات إضافية عن الأثر التنشيطي للجرعات المنخفضة من أشعة غاما على تثبيت الآزوت الجوي في نبات الحمّص؛ بوجود مستويات متزايدة من سماد كبريتات الأمونيوم الموسوم.

الجدول 4– تأثير تشعيع بذور الحمّص قبل الزراعة بجرعات منخفضة من أشعة غاما على عدد القرون المتشكلة في كل أصيص بوجود مستويات مختلفة من كبريتات الأمونيوم.

الجرعة (D)	معدلات السماد الآزوتي			
	N0	N20	N50	N100
0	95A,b	75B,b	73B,b	90AB,bc
5	120A,a	112A,a	110A,a	109A,a
10	90A,b	99A,a	103A,a	104A,ab
20	81A,b	75A,b	69A,b	72A,c

المتوسطات المشار إليها بأحرف متشابهة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05
الأحرف الصغيرة (مقارنة عمودية)، الأحرف الكبيرة (مقارنة أفقية).

أدى تشعيع بذور الحمّص قبل زراعتها بالجرعة 10 غراي إلى تحفيز جوهري في نسب وكميات الآزوت الجوي المثبت، وقد يرجع السبب في ذلك إلى التبكير في تشكل العقد الجذرية في النباتات التي عوملت بذورها قبل الزراعة بالأشعة، حيث لوحظ أن عدد العقد الجذرية التي أحصيت في مرحلة النمو الخضري (77 يوماً بعد الإنبات) كان مرتفعاً في النباتات التي شعّعت بذورها بالجرعتين 5 و 10 غراي والمسمدة بالمعدلين N20 و N50 من سماد كبريتات الأمونيوم (الشكل 1).



الشكل 4– النسب المئوية لزيادة كمية الآزوت المثبت في الحمّص نتيجة تشعيع البذور بجرعات منخفضة من أشعة غاما وذلك مقارنة بالشاهد غير المشعع.

بيّنت دراسات سابقة أن التشعيع بجرعات مرتفعة من أشعة غاما ذو أثر سلبي أو معدوم على نمو عدد من الأنواع النباتية [1]. وهذا يتفق مع نتائج هذه الدراسة التي بيّنت عدم تأثر إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي وتثبيت الآزوت الجوي في النباتات التي عوملت بذورها بالجرعة 20 غراي مقارنة مع الشاهد.

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

يؤدي الآزوت المعدني إلى رفع أو خفض كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في النباتات البقولية وذلك تبعاً لعوامل عديدة أهمها المعدّل المضاف. تسبب زيادة الآزوت المعدني، غالباً، انخفاضاً في تشكل العقد الجذرية وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي [18]. وأظهرت هذه الدراسة انخفاضاً حاداً في تثبيت الآزوت الجوي نتيجة الإضافة المتزايدة من كبريتات الأمونيوم، في حين لم يتأثر عدد العقد الجذرية بهذه الإضافة، مشيراً بذلك إلى أن أثر NH_4^+ لا يكمن في خطوات الإصابة بالريزوبيوم ولكنه يكمن في خفض نشاط أنزيم النتروجيناز، مما أدى إلى زيادة قدرة النبات على امتصاص الآزوت من المصادر الأخرى كالتربة والسماد. بيّنت دراسات أخرى [19] الأثر التثبيطي للنترات على تشكل العقد الجذرية في نبات الحمّص، في حين لم تتأثر آلية تثبيت الآزوت الجوي بحد ذاتها نتيجة هذه الإضافة. لذلك يمكن الاستنتاج أن شكل السماد الآزوتي المضاف له أهمية كبيرة من حيث تأثيره على التعقد وعلى تثبيت الآزوت الجوي في الحمّص. قد يعود غياب الأثر السلبي لإضافة الأمونيوم على تشكل العقد الجذرية، الملاحظ في هذه الدراسة، إلى بطء تحول NH_4^+ إلى NO_3^-. وقد يكون سبب الأثر السلبي لـ NH_4^+ على تثبيت الآزوت الجوي ناجم عن ارتفاع حدة المنافسة على منتجات التمثيل الضوئي بين NH_4^+ الممتص من السماد مقارنة مع NH_3 الناتج من العملية التثبيتية للآزوت الجوي في البكتريودات المتواجدة داخل العقد الجذرية. أدى تشعيع البذور قبل الزراعة بالجرعة 10 غراي، سواء في المعاملة N50 أو N100، إلى زيادة في إنتاج المادة الجافة، وترافق هذا الأثر مع زيادة في تثبيت الآزوت الجوي. ومن المعروف أن زيادة المادة الجافة تعكس زيادة في تراكم منتجات التمثيل الضوئي. وقد أظهرت الدراسات أن التشعيع يسبب تكثيفاً لمنتجات التمثيل الضوئي [1]. كما تبيّن أن التشعيع أدى إلى زيادة في تركيز الكلوروفيل II في الأوراق، وزيادة إنتاج المادة الجافة في نبات الذرة [7]. وبناءً على المعطيات السابقة يمكن الإيحاء إلى أن ارتفاع إنتاج المادة الجافة يمكن أن يخفض من حدة المنافسة بين NH_4^+ السماد و NH_3 الناجم عن العملية التثبيتية.

وهذا ما يفسر الزيادة الملحوظة في كفاءة تثبيت الآزوت الجوي للنباتات المعاملة بذورها بالجرعة 10 غراي، بوجود مستوى مرتفع من السماد الآزوتي. على أية حال من الضروري إجراء دراسات لاحقة حول تأثير الجرعات المنخفضة من أشعة غاما على العلاقة الكائنة بين عمليتي التركيب الضوئي وتثبيت الآزوت الجوي.

كان الأثر التنشيطي للجرعات المنخفضة أكثر وضوحاً في النباتات المسمدة مقارنة مع النباتات غير المسمدة (الشكل 2). ومن ذلك يمكن الاستنتاج أن التغيرات في الأثر التنشيطي للأشعة لا يعتمد فقط على الجرعة المستخدمة، بل يمكن أن يعتمد على عوامل بيئية واسعة [4] بما فيها مستوى الآزوت في التربة.

الاستنتاجات

تبيّن من هذه الدراسة أن الجرعة 10 غراي هي الجرعة المثالية لتشعيع بذور الحمّص قبل الزراعة. كان الأثر التنشيطي للجرعات المنخفضة أكثر وضوحاً في النباتات غير المسمدة، ويعد تنشيط عملية تثبيت الآزوت الجوي من بين التغيرات الفيزيولوجية التي تسببه عملية التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما، حتى بوجود مستوى مرتفع من الآزوت المعدني في التربة (100 كغ N/هـ). لذلك قد يستفاد من هذه التقنية عند زراعة الحمّص أو نباتات بقولية أخرى في ترب عالية المحتوى بالآزوت المعدني بهدف الحفاظ على كفاءة تثبيتية عالية من الآزوت الجوي.

المراجع

REFERENCES

[1] Berezina, N. M. and D. A. Kaushaskii, 1989. Presowing irradiation of plant seeds. A.M Kuzin (Editor). Oxonian press Pvt. Ltd., New Delhi. pp 287.

[2] Al-Oudat, M. 1990. Effect of low dose gamma irradiation on onion yield: large scale application. Annals of Biology. 6: 173-174.

[3] Al-Safadi, B. and P. W. Simon, 1996. Gamma irradiation-induced variation in carrots (Daucus carota L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 599-603.

[4] Fowler, D. B. and K. F. MacQueen, 1972. Effect of low doses of gamma radiation on yield and other agronomic characters of spring wheat (Triticum aestivum). Radiation Botany. 12: 349-353.

[5] Maherchandani, N. 1975. Effect of gamma radiation on the dormant seed of Avena Fatua L. Radiation Botany 15: 439-443.

[6] Al-Safadi, B. and P. W. Simon, 1990. The effect of gamma irradiation on the growth and cytology of carrot (Daucus carota L.) tissue culture. Environ. Exp. Bot. 30: 361-371.

[7] Bakr, A. M., N. E. Ashour, S. Z. El-Basyouni, and A. M. Sayed, 1976. Response of the photosynthetic apparatus of corn (Zea mays) to presowing seed treatment with gamma rays and ammonium molybdate. Environ. Expt. Bot. 16: 217-222.

[8] Kurobane, I., H. Yamaguchi,. C. Sander and A. Nilan, 1979. The effect of gamma irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activity in barley seeds. Environ. Exp. Bot. 19: 75-84.

[9] Ragab, M. A. and F. A. Mohamed, 1983. Nutrient content of soyabean plants as influenced by pre planting gamma radiation. Egypt. Soc. Of Crop Sci. 1st conf. Of Agron. 427-433.

[10] Mohamed, F. A., S. M. Hefni and G. M. Maghraby, 1988. The effect of pre planting gamma radiation on peanut

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

plant. Proc. 2nd Conf. Agric. Develop. Res., Ain Shams Univ., Vol. IV, 130-142.

[11] Kurdali, F. 1996. Nitrogen and phosphorus assimilation, mobilization and partitioning in rainfed chickpea (Cicer arietinum L.). Field Crop Research. 47: 81-92.

[12] Imsande, J. 1986. Inhibition of nodule development in soybean by nitrate or reduced nitrogen. J. Exp. Bot. 37: 348-355.

[13] Jessop, R. S., S. J. Hetherington, and E. H. Hoult, 1984. The effect of soil nitrate on the growth, nodulation and nitrogen fixation of chickpea (Cicer arietinum). Plant Soil 82: 205-214.

[14] Streeter, J. 1988. Inhibition of legume nodule formation and N_2-fixation by nitrate. Crit. Rev. Plant Sci. 7: 1-23.

[15] Fried, M. and Middelboe, V, 1977. Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. Plant Soil. 47: 713-715.

[16] Arslan, A. and F. Kurdali, 1996. Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semi-arid conditions. II. Water use efficiency and root distribution. Plant Soil. 183: 149-160.

[17] Simon, J. and S. Bhattachariya, 1977. The present status and Future prospect of radiation stimulation in crop plants. Budapest, Hungary, pp. 148.

[18] Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher Plants. Second edition. Academic press limited. London NW1 7DX; pp.889.

[19] Sawhny, V., Amarjit, and R. Singh, 1985. Effect of applied nitrate on growth and N_2-Fixation in Cicer arietinum L. Plant Soil. 86: 233-240.■

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

تأثير أشعة غاما على إنتاج درينات البطاطا في الزجاج*

د. بسام الصفدي، زهير الأيوبي، دانا جودت
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 دمشق - سورية

ملخص

دُرس تأثير عاملي التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما والصنف في إنتاج درينات البطاطا في الزجاج in vitro. زُرعت أجزاء عقدية خالية من الفيروسات، من ثلاثة أصناف من البطاطا، في بيئات محرّضة على إنتاج الدرينات وشعّعت بأشعة غاما بجرعات 2.5 و 5 و 10 و 15 غراي. كان الصنف دياموند هو الأفضل في إنتاج الدرينات؛ تلاه الصنفان دراجا وسبونتا. أدّى التشعيع بجرعة 2.5 غراي إلى زيادة معنوية في عدد الدرينات (38% زيادة عن الشاهد). لم يتأثر وزن الدرينات معنوياً بالتشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما. وكانت درينات الصنف دراجا هي الأكبر حجماً؛ تلتها درينات الصنفين دياموند و سبونتا. وقد شابهت الدرينات في شكلها الدرنات الكبيرة، حيث كانت درينات الصنف سبونتا متطاولة في حين كانت درينات الصنفين دياموند ودراجا كروية. لقد كان حجم الدرينات أساسياً في إنتاشها في الحي in vivo. يمكن استخدام الدرينات التي يزيد قطرها عن 5 مم (وزنها 250 مغ) في الحصول على درينات خارج الزجاج. وعلى اعتبار أن جرعة 2.5 غراي هي جرعة منخفضة لذا يمكن استخدامها في تحفيز الحصول على درينات دون الخوف من حصول تغيرات وراثية في الأصناف المستخدمة.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، درينة، بنزيل أدينين، كينيتين، بطاطا.

مقدمة

تعد البطاطا من محاصيل الخضار الأكثر أهمية في العالم. تتكاثر البطاطا خضرياً (بالدرنات والدرينات)، وهي الطريقة الوحيدة الشائعة اقتصادياً حيث تستخدم طريقة الإكثار البذري فقط في برامج التربية التقليدية. تسبب طرائق الإكثار الخضري التقليدية مشاكل عديدة لا بد من التغلب عليها للحصول على تقاوي جيدة خالية من الأمراض. ويعتبر الإكثار في الزجاج الطريقة المثلى للحصول على تقاوي سليمة خالية من الإصابات المرضية والفيروسية. تتضمن العوامل التي تؤثر على إنتاج الدرينات في الزجاج منظمات النمو ونوعية الإضاءة والفترة الضوئية والحرارة. دُرس تأثير منظمات النمو في إنتاج الدرينات بشكل معمق من قبل العديد من الباحثين، فقد درس باندارا وتانينو [1] تأثيرات منظمي النمو، الكينيتين Kinetin و باكلوبترازول Paclobutrazol، على إنتاج الدرينات تحت ظروف البيت الزجاجي. واكتشف الباحثان أن الـ باكلوبترازول ضاعف من عدد الدرينات المنتجة في حين لم يكن للكينيتين أي تأثير على عدد أو وزن الدرينات. من جهة أخرى، حفّز ياماموتو و ناكاتا [2] إنتاج الدرينات في الزجاج باستعمال بنزيل أدينين (BA) و2-Chloroethyltrimethylammonium (CCC). تم أيضاً دراسة دور السكروز في تشكيل الدرينات في الزجاج، فقد وجد خوري وموريي [3, 4] أن مستوى عالياً من السكروز (8%) كان مفيداً في زيادة عدد وحجم الدرينات.

كذلك حفّز غارنر وبلاك [5] على تشكيل الدرينات في الزجاج بتعديل مستوى السكروز وبدون استعمال منظمات نمو، أما العوامل الأخرى المؤثرة على إنتاج الدرينات في الزجاج فتشمل صنف البطاطا [6] والجزء النباتي [3, 4] ونوعية الإضاءة [7] والحرارة [8,9].

ذكر العديد من الباحثين أن جرعات منخفضة من الأشعة تحفّز على نمو النباتات في الحي [10, 11, 12, 13] وفي الزجاج in vitro [14, 15, 16]. ومع هذا، ليست هناك أية دراسة على تأثير جرعات منخفضة من الأشعة على إنتاج الدرينات في الزجاج.

لهذا هدفت الدراسة الحالية إلى دراسة الآثار التحفيزية لجرعات منخفضة من أشعة غاما على إنتاج الدرينات في الزجاج.

المواد والطرائق

المادة النباتية

تم الحصول على ثلاثة أصناف من البطاطا عن طريق المؤسسة العامة لإكثار البذار وهي: سبونتا - دراجا - دياموند.

البيئة

استُخدمت بيئة MS الأساسية [17] مع 8% آغار و 6مغ/ لتر BAP و6 مغ/ لتر Kinetin و 60 غ سكروز وضُبطت درجة الحموضة pH على 5.8. تم اختيار هذه البيئة من عدة بيئات لتراكيز مختلفة من

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2000.

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

السيتوكنينات والسكروز جرى اختبارها في مخبرنا لإنتاج الدرنات في الزجاج.

الزراعة النسيجية

عُقّمت درنات من البطاطا تحت ظروف عقيمة باستخدام 5% هيبوكلوريد الصوديوم لمدة 10 دقائق. غُسلت الدرنات بعد ذلك ثلاث مرات بالماء المقطر والمعقم ثم قطعت البراعم مع جزء من الدرنة بحجم 1 سم^3 تقريباً وزُرعت في تورب معقم ضمن مرطبانات زجاجية. وضعت المرطبانات تحت ظروف حرارة 24 درجة مئوية وإضاءة 16 ساعة وتركت لتنمو. بعد ثلاثة أسابيع من النمو قُطعت البراعم وأُزيل المريستيم القمي وزُرع في أنابيب حاوية على بيئة MS الأساسية بدون هرمونات وتحت ظروف النمو السابقة. تُركت المريستيمات لكي تتطور إلى سويقات ومن ثم إلى نباتات. تم إكثار هذه النباتات من الأصناف الثلاثة حتى أصبح عدد النباتات كافياً للبدء بالتجربة، حيث استُزرعت أجزاء عقدية محتوية على برعم واحد في أطباق بتري قياس 9 سم (5 أجزاء في كل طبق) وحضنت كما سبق.

جرعات التشعيع

تم تشعيع أجزاء عقدية محتوية على برعم واحد بعد أسبوع من استزراعها في أطباق بتري بجرعات 2.5 و5 و10 و15 غراي من أشعة غاما إضافة للشاهد، بهدف دراسة الأثر المنشط للجرعات المنخفضة على تشكل الدرنات.

إنتاج الدرنات

بعد ستة أسابيع من الاستزراع نُقلت النباتات إلى مرطبانات سعة نصف لتر حاوية على 50 مل من البيئة السابقة نفسها. بعد ذلك بأربعة أسابيع جُمعت الدرنات وقيس قطرها ووزنها ثم وضعت في أوعية مغلقة وحُفظت بدرجة حرارة 5°C لمدة 8 أسابيع. أُخذت درنات من المعاملة الإشعاعية الأفضل (الجرعة 2.5 غراي) والشاهد وصُنفت حسب وزنها إلى مجموعتين (أكبر أو أصغر من 250 مغ). زُرعت هذه الدرنات في أصص حاوية على مادة التورب لاختبار مقدرتها على الإنبات ومعرفة فيما إذا كان هناك تأثير للتشعيع ولحجم الدرنات على مقدرتها على الإنبات. أُجريت التجربة ثلاث مرات للتأكد من النتائج التي كانت متشابهة، أما النتائج المعروضة هنا فهي من التجربة الأخيرة.

التحاليل الإحصائية

استُخدم تصميم القطاعات الكاملة العشوائية بأربعة مكررات. أُجريت تحاليل التباين ANOVA وأقل فرق معنوي Fisher's PLSD على مستوى معنوية 0.01 باستخدام البرنامج الإحصائي Super ANOVA [18].

النتائج

عدد الدرنات

بدأت الدرنات بالظهور على النباتات بعد 3-4 أسابيع من الزراعة. وقد شابهت الدرنات في شكلها الدرنات الكبيرة، حيث كانت درنات السبونتا متطاولة في حين كانت درنات الديامونت والدراجا كروية.

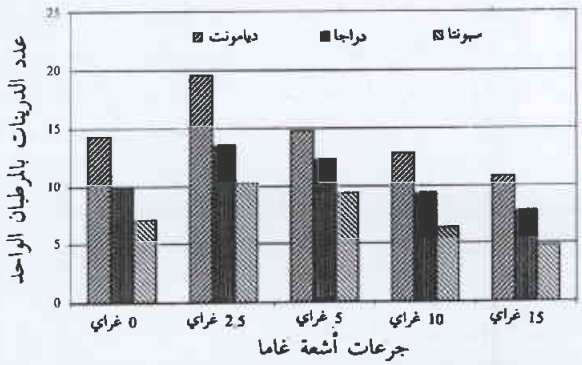
أظهر تحليل التباين وجود تأثير معنوي للتشعيع على عدد الدرنات المنتجة في الزجاج (الجدول 1). حفّز التشعيع بجرعة 2.5 غراي على تشكيل الدرنات في الأصناف الثلاثة، وكان الفارق معنوياً ($p<0.01$) بين المعاملة الإشعاعية 2.5 غراي والمعاملات الأخرى (الشكل 1) حيث ازداد عدد الدرنات (متوسط الأصناف الثلاثة) بنسبة 38% بعد 10 أسابيع من الزراعة. أما الجرعتان 10 و15 غراي فقد خفضتا عدد الدرنات بشكل معنوي مقارنة مع الشاهد، حيث وصل عدد الدرنات إلى 75% من الشاهد عند الجرعة 15 غراي.

الجدول 1- تحليل التباين لتأثير عاملي الصنف وجرعة التشعيع في إنتاج درنات البطاطا في الزجاج (على مستوى معنوية 0.01).

المصدر	درجات الحرية	مربع المتوسطات	قيمة F	قيمة P
الصنف	2	239.117	162.419	<0001
الجرعة	4	78.267	53.162	<0001
الصنف × الجرعة	8	2.679	1.82	0.0982
الباقي	45	1.472		

بيّنت هذه التجربة وجود تأثير معنوي لعامل الصنف في تشكيل درنات البطاطا (الجدول 1) حيث تباينت الأصناف الثلاثة معنوياً ($p<0.01$) في عدد الدرنات المتشكلة. كان الصنف ديامونت هو الأفضل إنتاجيةً والصنف سبونتا الأقل إنتاجيةً. وكان متوسط عدد الدرنات في المرطبان الواحد بعد 10 أسابيع من الزراعة 19.5 و15.25 و13 في أصناف ديامونت ودراجا وسبونتا على التوالي (الشكل 1).

أظهرت هذه التجربة عدم وجود تأثر interaction بين عاملي الصنف والتشعيع (الجدول 1) حيث سلكت الأصناف كافة منحىً واحداً في جميع معاملات التشعيع (الشكل 1).



الشكل 1- تأثيرات التشعيع بأشعة غاما على عدد الدرنات المنتجة في الزجاج لأصناف البطاطا الثلاثة بعد عشرة أسابيع من الزراعة.

وزن الدرنات

لقد كان تأثير الصنف المستخدم في هذه التجربة على وزن الدرنات معنوياً (الجدول 2). وكان أعلى وزن للدرنات في الصنف

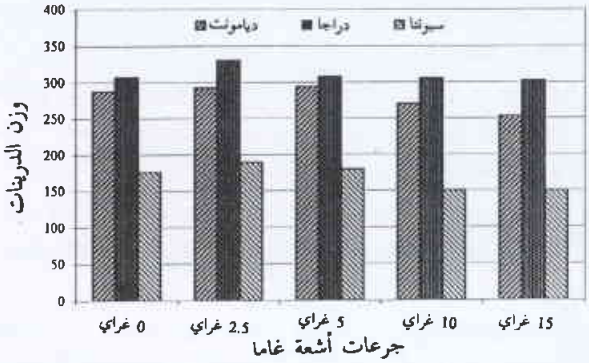
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

دراجا (311 مغ) والأدنى في الصنف سبونتا (169 مغ). من جهة ثانية لم يكن هناك تأثير معنوي للتشعيع على وزن الدرينات (الجدول 2)، حيث لم تلاحظ أية زيادة في الوزن نتيجة التشعيع وبأية جرعة (الشكل 2).

الجدول 2- تحليل التباين لتأثير عاملي الصنف وجرعة التشعيع في وزن درينات البطاطا المنتجة في الزجاج (على مستوى معنوية 0.01).

المصدر	درجات الحرية	مربع المتوسطات	قيمة F	قيمة P≤
الصنف	2	111272.173	7.47	0.0016
الجرعة	4	2437.938	0.164	0.9557
الصنف × الجرعة	8	298.875	0.02	>9999
الباقي	45	14895.52		

تباينت النسبة المئوية للدرينات ذات الوزن الأعلى من 250 مغ من صنف إلى آخر، فعلى سبيل المثال، كانت في الصنف دراجا 65% في حين بلغت 60% في الصنف دياموند و 25% فقط في الصنف سبونتا.



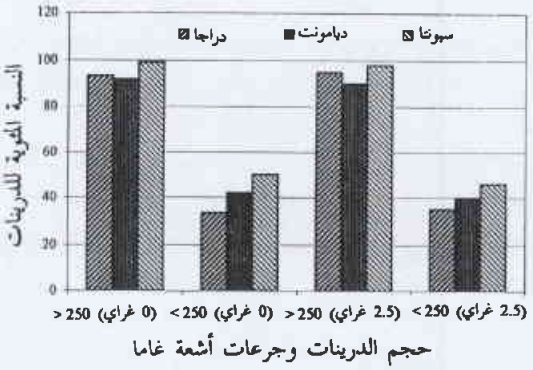
الشكل 2- تأثيرات التشعيع بأشعة غاما على وزن الدرينات المنتجة في الزجاج لأصناف البطاطا الثلاثة بعد عشرة أسابيع من الزراعة.

مقدرة الدرينات على الإنبات

بما أن المعاملة 2.5 غراي كانت الأفضل لإنتاج الدرينات في الزجاج في الأصناف المدروسة كافة فقد تمت مقارنة الدرينات الناتجة منها مع درينات الشاهد في مقدرتها على الإنبات (الإنتاش). وقد بيّنت النتائج أن التشعيع بجرعة 2.5 غراي لم يؤثر على مقدرة الدرينات على الإنبات بالمقارنة مع درينات الشاهد، إلاّ أن حجم الدرينات لعب دوراً حيوياً في مقدرتها على الإنبات، فعلى سبيل المثال نبت أكثر من 90% من الدرينات البالغ وزنها أكثر من 250 مغ في الأصناف الثلاثة بعد ثلاثة أسابيع من الزراعة، في حين نبت أقل من 50% من الدرينات البالغ وزنها أقل من 250 مغ (الشكل 3).

المناقشة

إن التحكم بتشكل الدرينات في البطاطا عملية معقدة يلعب فيها العديد من العوامل، مثل: الصنف والهرمونات النباتية والسكروز ونوعية



الشكل 3- تأثيرات حجم الدرينات وجرعة التشعيع بأشعة غاما على مقدرة إنبات الدرينات لأصناف البطاطا الثلاثة بعد ثلاثة أسابيع من الزراعة.

الإضاءة والحرارة دوراً كبيراً. ولقد درس الباحثون الكثير من العوامل المؤثرة في إنتاج الدرينات، سواء في الحي أو في الزجاج. وتنفرد دراستنا الحالية بدراسة تأثير الجرعات المنخفضة من أشعة غاما على تشكيل الدرينات في الزجاج.

لقد كان تأثير العامل الوراثي (الصنف) في دراستنا معنوياً، حيث تباينت الأصناف الثلاثة في مقدرتها على إنتاج درينات، فقد أنتج الصنف دياموند وسطياً ضعف ما أنتجه الصنف سبونتا وجاء الصنف دراجا في المرتبة الثانية. يتوافق هذا التباين في مقدرة أصناف البطاطا على إنتاج درينات مع النتائج التي حصل عليها عدد من الباحثين [4، 6، 19]، فعلى سبيل المثال، درس أهلواليا [6] خمسة عشر صنفاً مختلفاًمن البطاطا تباينت في مقدرتها على تشكيل الدرينات وأنتج الصنف Bintije خمسة أضعاف ما أنتجته أصناف أخرى.

إن استعمال مستوى عالٍ من السكروز في تجربتنا (60 غرام/ ليتر) قد يكون أدى إلى زيادة معنوية في عدد الدرينات (رغم أن دور السكروز لم يُدرس بشكل معمق في تجربتنا)، حيث اقترح بيرل وآخرون [20] أن التركيز العالي من السكروز يحرض على تشكيل درينات البطاطا. وحصل خوري وموريي [3] على نتائج مماثلة وعزا الباحثان هذه الزيادة في عدد الدرينات إلى زيادة مستوى الضغط التناضحي (الأسموزي) وبالتالي التحريض على تشكيل الدرينات.

إن تأثير جرعات منخفضة من أشعة غاما في تحفيز نمو النباتات (سواء النامية في الزجاج أو في الظروف الطبيعية) معروف منذ الاستعمال الأول لأشعة X(23) [21, 22,] وقد تضمن الأثر التحفيزي زيادة في وزن الثمار الباكورية في البندورة [20] وزيادة في إنتاش بذور الشوفان Avena fatua L[11] وزيادة في نمو نباتات الخيار Cucumis sativus [12] وزيادة في إنتاش البذور ووزن جذور الجزر Daucus carota L [13].

كذلك دُرست التأثيرات التحفيزية للجرعات المنخفضة من أشعة غاما في المزارع النسيجية. فعلى سبيل المثال، لوحظت زيادة في نمو الكالوس في الفاصولياء بعد التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما [14]، كما لاحظ ديجاني وبكهولز [15] زيادة في تجديد النباتات من مزارع التبغ

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

النسيجية. حفّزت الجرعات المنخفضة من أشعة غاما أيضاً نمو المزارع النسيجية وتجديد النباتات في الجزر [16].

إن تأثير أشعة غاما في التحفيز على تشكيل درينات البطاطا في الزجاج (التي شوهدت في هذه الدراسة) لم تُدرس سابقاً. حيث أثّر التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما إيجابياً على تشكيل الدرينات، إذ ازداد متوسط عدد الدرينات بنسبة 38% مقارنة مع الشاهد عند الجرعة 2.5 غراي.

على الرغم من الزيادة المعنوية في عدد الدرينات نتيجة التشعيع بجرعات منخفضة من أشعة غاما، فإن ذلك لم يترافق بزيادة في وزن الدرينات. ومع هذا، ونظراً لأن الزيادة في عدد الدرينات نتيجة التشعيع لم تؤثر في قابلية الدرينات على الإنبات، فإن التشعيع بجرعات منخفضة يمكن أن يكون مفيداً جداً في إنتاج درينات البطاطا في الزجاج.

الاستنتاجات

يمكن استخدام جرعات منخفضة من أشعة غاما بهدف تحسين إنتاج درينات البطاطا في الزجاج بحوالي 38%. وبما أن التشعيع يؤدي إلى زيادة عدد الدرينات دون تخفيض وزنها فيمكن أن يؤدي هذا إلى تحسين إنتاج الدرينات. تُقدَّر تكلفة إنتاج درينات لمرطبان واحد في دراستنا (بما في ذلك الزجاجيات والبيئة والتشعيع) بأقل من دولار أمريكي واحد. وبما أن جرعة 2.5 غراي منخفضة فمن المستبعد أن تؤدي إلى تغيرات وراثية غير مرغوبة في الأصناف المستخدمة.

يمكن استعمال الدرينات التي يزيد وزنها عن 250 مغ للحصول على درينات أكبر في البيت الزجاجي. أما الدرينات الأصغر فيمكن استعمالها مجدداً كمادة نباتية للحصول على المزيد من الدرينات في الزجاج كما اقترح خوري وموريي [4].

المراجع

REFERENCES

[1] Bandara PMS & Tanino KK (1995) Paclobutrazol enhances minituber production in Norland potatoes. Plant Growth Regulation (USA) 14:151-155.

[2] Yamamoto T & Nakata K (1997) Effects of CCC and BA on the formation of potato tuber in vitro. Japanese J. Crop Sci. 66:663-668.

[3] Khuri S & Moorby J (1995) Investigation into the role of sucrose in potato cv. Estima microtuber production in vitro. Ann. Bot. 75:295-303.

[4] Khuri S & Moorby J (1996) Nodal segments or microtubers as explants for in vitro microtuber production of potato. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 45:215-222.

[5] Garner N & Blake J (1989) The induction development of potato microtubers in vitro on media free of growth regulating substances. Ann. Bot. 63:663-674.

[6] Ahloowalia BS (1994) Minitubers for seed potato production. Farm and Food. 4:4-6.

[7] Pelacho AM & Mingo-Castel AM (1991) Effects of photoperiod on Kinetin-induced tuberization of isolated potato stolons cultured in vitro. Am. Potato. J. 86:533-541.

[8] Menzel CM (1980) Tuberization potato at high temperature: response to gibberellin and growth inhibitors. Ann. Bot. 46:256-265.

[9] Akita M & Takayama S (1994) Induction and development of potato tubers in a jar fermentor. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 36: 177- 182.

[10] Maherchandani N (1975) Effects of gamma radiation the dormant seeds of Avena fatua. Radiat. Bot. 15:439-443.

[11] Kuzin AM, Vagabova ME, Vilenchik M M & Gogvadze VG (1986) Stimulation of plant growth by exposure to low-level gamma radiation and magnetic field, and their possible mechanism of action. Env. Exp. Bot. 26:163-167.

[12] Al- Safadi B & Simon BW (1995) Gamma Irradiation - induced Variation in Carrots (Daucus carota L) J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121:5-603.

[13] Bajaj YPS (1970) Effect of gamma-irradiation on growth, RNA, protein and nitrogen contents of bean callus cultures. Ann. Bot. 34:1089-1096.

[14] Degani N & Pickholz D (1973) Direct and indirect effect of gamma irradiation on the differentiation of tobacco culture. Radiat. Bot. 13:381-383.

[15] Al Safadi B & Simon PW (1990) The effect of gamma Irradiation on the growth and Cytology of Carrot (Daucus Carota L) Tissue Culture. Env. Exp. Bot. 30:361-371.

[16] Murashige T & Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15:473-497.

[17] Super ANOVA (1994) Abacus concepts corporation. USA.

[18] Hoque MI, Mila NB, Khan MS & Sarker RH (1996) Shoot regeneration and in vitro microtuber formation in potato (Solanum tuberosum L) Bangladesh J. Bot. 25:87-93.

[19] Sidark GH and Suess A (1973) Effects of low doses of gamma irradiation on the growth and yield of two cultivars of tomato. Radiat. Bot 3:54-63.

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

[20] Perl A, Aviv D, Willmitzer L & Galun E (1991) In vitro tuberization in transgenic potatoes harboring B-Glucuronidase linked to a Patatin promoter-Effects of sucrose levels and photoperiods. Plant Sci. 73:87-95.

[21] Shull C A & Mitchell JW (1933) Stimulate effects of X-rays on plant growth. Plant Physiol. 8:287-296.

[22] Kuzin AM (1955) The utilization of ionizing radiation in agriculture. In (proc. Intern. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy). 12:149-156. New York.

[23] Sax K (1963) The stimulation of growth by irradiation Radiat. Bot 3:179-186.■

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

مقاطع إشعاعية تبين نمط تشتت اليورانيوم قرب رواسب الكريتاسي الفسفاتية في حوض وادي قصر الحلاّبات، وسط سورية*

د. يوسف جبيلي، محمد الهلال، غسان رجا، أحمد العلي
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرى تنفيذ مسح إشعاعي فوق الرواسب الحطامية المجاورة لتوضعات الكريتاسي العلوي الفسفاتية في حوض وادي قصر الحلابات بوسط سورية. هدف العمل إلى التنقيب عن اليورانيوم وتحديد نمط تشتته في المنطقة استناداً إلى دراسات جيولوجية ومسوح إشعاعية أرضية بمطيافية غاما مترافقة مع قياسات لإصدار غاز الرادون بالتربة. أعطت هذه التقانات نتائج متشابهة من حيث الدلالة، إذ أدت إلى التحديد المكاني الدقيق للتشكيلات الفسفاتية المشعة في الحوض وبيّنت أن تشتّت اليورانيوم يتم انطلاقاً من صخور فسفات الكريتاسي العلوي، وقد حدث ذلك بتأثير تجوية ميكانيكية مع تحريك كيميائي جزئي لليورانيوم بواسطة المياه السطحية. وقد قدرت الكمية التي تمت بعثرتها من التركيز الأصلي لليورانيوم الموجود في رواسب الفسفات الكريتاسية بما يعادل ثلث المحتوى تقريباً. كما تبين أن السيادة لعوامل التشتت كانت أساساً للتعرية والنقل الميكانيكي. إلاّ أن وجود بعض البقع الصفراء من التمعدنات الثانوية السطحية لليورانيوم هو دليل على أن التجوية الكيميائية قد أسهمت ولو بشكلٍ بسيط في إزاحة وغسل كمية محدودة من محتوى اليورانيوم على هيئة محاليل خرجت من الرواسب بتأثير المياه المؤكسدة مُشكّلة تلك الفلزات الثانوية السطحية.

الكلمات المفتاحية: حوض وادي قصر الحلاّبات، يورانيوم، مسح إشعاعي، استكشاف، كواشف البولي كاربونيت، إصدار الرادون، تشتت.

مقدمة

نُفّذ مسح إشعاعي جوي أولي في سورية عام 1959 بقصد استكشاف اليورانيوم دون أن يكون مصحوباً بقدرة على تحديد المواقع، الأمر الذي أفقده أية فائدة عملية. وقد تلا ذلك القيام بأعمال مسح جيولوجي لوضع الخرائط من قبل خبراء سوفييت، كانت مصحوبة بتحريات عن مصادر بعض الخامات الاقتصادية أو المعدنية. وكنتيجة لتلك الأعمال سجلت بعض الشذوذات الإشعاعية في البادية السورية. إلاّ أن البرنامج الأكثر شمولاً وفعّالية للتنقيب عن اليورانيوم تمثّل في المسح الإشعاعي الجوي الذي أداره جبيلي من هيئة الطاقة الذرّية السورية بمساعدة البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة والوكالة الدولية للطاقة الذرّية وهو المشروع SYR / 86/005 [1، 2] وقد اشتمل المشروع على ثلاث مراحل هي:

1- مرحلة مسح إشعاعي جوي

2- تحريات وأعمال أرضية تكميلية

3- متابعة تفصيلية لاحقة لمناطق الشذوذات

وهذه المرحلة الأخيرة لاتزال مستمرة، وهي تتناول بعض الأماكن التي دلت عليها نتائج المسح الإشعاعي الجوي والأعمال الجيولوجية الأخرى. وقد تمثلت مجموعة تلك النتائج بوضع خرائط إشعاعية محلية ذات نوعية جيدة مع تقييم مبدئي لاحتمالات وجود اليورانيوم في كل من البادية السورية، وبادية الرصافة، والإقليم التدمري بما فيه منطقة الدراسة الحالية.

وعلى الرغم من أن المسح الجوي لم يسفر عن مؤشرات قوية لوجود توضعات يورانيوم مؤكدة أو محتملة، إلاّ أن الخرائط الناتجة عن المسح قد حددت مجموعة مناطق كأهداف للتحريات الأرضية اللاحقة. يمثل العمل الحالي نتائج عمل استخدمت فيه مجموعة تقانات لاستكشاف اليورانيوم مثل قياسات الرادون بالطريقة الفعّالة النشطة وبالطريقة التراكمية. إضافة إلى مطيافية غاما والمسح الجيوكيميائي.

إن عنصر الرادون من النواتج الغازية المباشرة للتفكك الإشعاعي للراديوم والذي هو بدوره ناتج عن سلسلة التفكك الإشعاعي لليورانيوم. وإن تركيز الرادون وحركيته في التربة والصخور والمياه تعتمد على عوامل متعددة مثل أنواع الصخور ومحتواها من العناصر المشعة، وكذلك محتوى توزع السوائل، والرطوبة وتركيز الراديوم فيها والمسامّية وحجم الحبات والنفوذية ومدى نضج التربة، بالإضافة إلى تأثيرات العوامل الخارجية [6,5,4,3]. وبالرغم من أن الرادون موجود بكميات ضئيلة ندرة تقريباً في كل مكان، فإنه يبدي تراكيز واضحة الارتفاع فوق التشكيلات الجيولوجية الحاوية على اليورانيوم مثل صخور الفسفات. ونظراً لتمتعه بالخاصية الإشعاعية وعلاقته الأصلية باليورانيوم، فإن من الممكن كشف

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Explor. Mining Geol.*, Vol.7, No. 4, 1998.

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

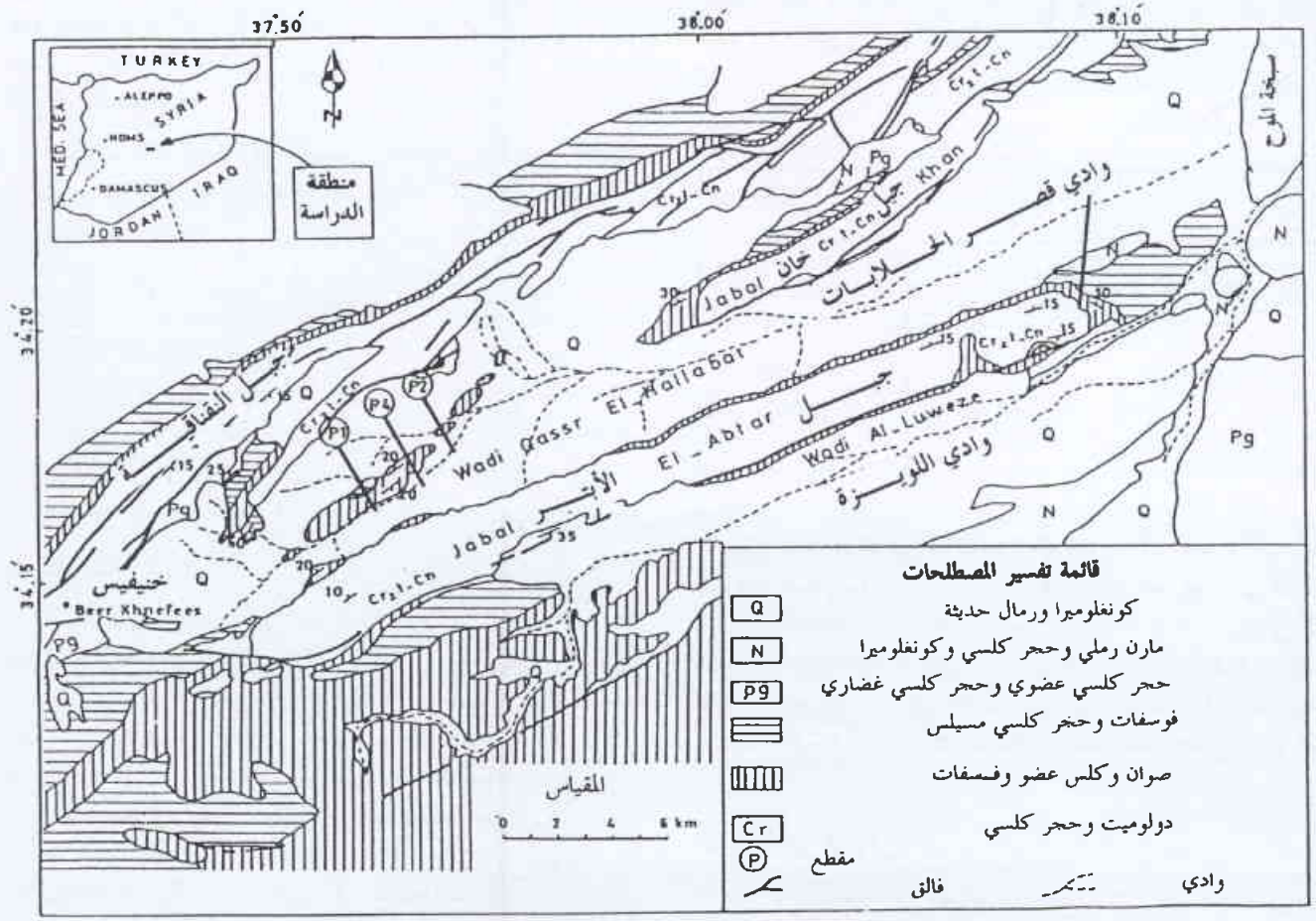
تراكيزه الضعيفة. وهذا يوفر القاعدة للاستخدام الواسع والمكثّف للرادون كمؤشر جيوكيميائي في مختلف برامج ومشاريع التنقيب عن اليورانيوم في جميع أنحاء العالم [7،8،9]. بالإضافة إلى ذلك فإن استخدام مطيافية غاما يعتبر خطوة أساسية في أي برنامج للتنقيب عن اليورانيوم لأنها تسمح بالتحديد الفوري والمباشر لمصادره موضحة الشذوذ في الجزء العلوي من قشرة الأرض باعتباره العنصر الأب أو الأصل [10،11]. والغاية من هذا العمل هي استكشاف اليورانيوم وتحديد أنماط توزعه محلياً بعد إخراجه من الرواسب والصخور الرسوبية ذات السماكات المعتبرة المجاورة للتكشفات الصخرية الفسفاتية الحاوية على تراكيز مرتفعة من اليورانيوم في حوض وادي قصر الحلابات من وسط سورية (الشكل 1).

الجيولوجيا العامة للمنطقة

تمثل منطقة الدراسة حوضاً متطاولاً يمتد لمسافة 40 كم باتجاه شمال شرق - جنوب غرب. وهو محاط من جهة الجنوب والجنوب الشرقي بجبل الأبتر، ومن جهة الشمال والغرب والشمال الغربي بسلسلة جبال خان والنقناقية (الشكل 1). أما طبوغرافية المنطقة فهي بشكل عام مسطح مع بعض البروزات المتدحرجة على السطح وبعض الوديان التي حفرت مجراها على شكل حرف U أهمها يعرف محلياً باسم وادي قصر الحلابات. ويعتبر هذا الموقع لمنطقة الدراسة مثالياً لتجمع نواتج التجوية والتعرية سواء الفيزيائية أو الكيميائية التي تصيب خامات فسفات التدمرية الاقتصادية التي تستخرج منجمياً من توضعات خنيفيس والأبتر. وهذا الوادي ينشأ من السفوح الجنوبية الغربية لجبل الأبتر وامتداده في جبل خنيفيس ولا يفيض بالماء إلاّ بُعيد موسم الأمطار القصير نسبياً حيث يحمل سوائل وفتات تكشفات الرسوبيات المحيطة بمجراه ويتجه بها نحو سبخة الموح التي تقع في منطقة أخفض طبوغرافياً. وتتمثل جيولوجية الحوض بلحقيات سيلية مع رمال وطمي وحصيات إضافة إلى رواسب كونغلوميراتية من عمر النيوجين. كما تنتشر التشكيلات الفسفاتية الحاوية على اليورانيوم والعائدة للكريتاسي العلوي بشكل واسع على أطراف الحوض وفي بعض التلال المنتشرة في وسط مسار الوادي. أما الوحدات الصخرية الرئيسية فتتكون من صخور كربوناتية كلسية مع مارن وصوان وفسفات. وقد أظهر المسح الإشعاعي الجوي الحالي وجود مجموعة بقع شاذة إشعاعياً تمثلت على الأرض بسويات فسفاتية أمكن تحديدها بدقة سواء في منطقة الدراسة أو خارجها نحو البادية السورية [12،13].

تقنيات القياس

جرى المسح الإشعاعي على طول ثلاثة بروفيلات P1، P2، P3 بالإضافة إلى بروفيل جيوكيميائي P4 تقطع الاتجاه العام لوادي قصر الحلابات (الشكل 1). تم تحديد محطات القياس ومواقع جمع العينات



الشكل 1- خريطة جيولوجية لحوض وادي قصر الحلابات (أعدنا رسمها بعد بونيكاروف 1966) تبين مواقع المقاطع الإشعاعية P3، P2، P1 ومقطع جيوكيمياء التربة P4.

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

على طول هذه البروفيلات بدءاً من التكشفات الفسفاتية مروراً باتجاه التوضعات السطحية الحديثة المجاورة. تبين الأشكال 4، 3، 2 التركيب الصخري الموافق لمواقع العينات على امتداد بروفيلات القياس. وللحصول على وثوقية عالية، تم تطبيق عدة تقنيات استكشاف في هذا المسح حيث استخدمت قياسات رادون التربة وذلك بالاعتماد على كل من الطرائق التراكمية غير المباشرة والطرائق الفعّالة المباشرة، بالإضافة إلى استخدام المسح الجيوكيميائي ومطيافية أشعة غاما. تم تنفيذ حُفَر خاصة (بقطر 7 سم وعمق 50 سم) في كل محطة قياس، وعلى مختلف البروفيلات. وثُبّت أنبوب بلاستيكي خاص داخل كل حفرة وذلك لمنع انهيار التربة داخل الحفرة وخفض دور التأثيرات المباشرة للمتغيرات المناخية المختلفة على محطات القياس، الأمر الذي يساعد أيضاً على تعريض الأفلام لجسيمات ألفا المتولدة مباشرة عن تفكك غاز الرادون من التربة [14, 8].

طريقة تنميش الأثر

اعتمدت الطريقة السلبية لقياسات الرادون التراكمية في غاز التربة والمستخدمة في هذا العمل على استخدام كواشف البولي كربونيت. ثبتت رقاقة من الكاشف بمقياس 2.7 cm × 2.7 cm . داخل غطاء الأنبوب البلاستيكي الموجود ضمن كل حفرة قياس. تركت هذه الكواشف في مواقع القياس لمدة أربعة أسابيع [15]، إذ تعتبر فترة التعرض هذه كافية للحصول على قراءة تمثل المعدل الوسطي لتركيز الرادون في التربة خلال فترة طويلة نسبياً. بعد ذلك تم جمع الكواشف من الحقل من أجل عمليات التنميش الكهركيميائي في المخبر بغية تحديد كثافة آثار جسيمات ألفا لكل كاشف.

أخضعت كواشف PC للتنميش الكيميائي متبوعاً بالتنميش الكهركيميائي وذلك باستخدام إجراءات مثالية كتلك التي نشرت من قبل [16]. بعد الانتهاء من عملية التنميش غسلت الكواشف في كحول وماء مقطر دافيء ثم جففت وتم تعداد الآثار في كل كاشف وذلك باستخدام مجهر ضوئي. ثم قدرت كثافة الآثار وحولت إلى أثر في الملمتر المربع ($tracks/mm^2$). تتناسب كثافة الأثر الناتجة التي تم الحصول عليها من الكواشف المطوّرة مباشرة مع وسطيّ تركيز الرادون في التربة خلال فترة التعرض. جرت المعايرة كما ورد في [16]. ولأهمية التغير الفصلي لغاز الرادون في التربة يجب فقط مقارنة القياسات التي نفذت في نفس الوقت أو يجب استخدام قياسات لفترة طويلة [17].

طريقة انبثاق الرّادون

نفذت قياسات الرّادون في غاز التربة وفق الطريقة المباشرة الفعّالة باستخدام مواقع القياسات نفسها التي استخدمت في طريقة تنميش الأثر السابقة. اعتمدت هذه الطريقة على استخدام نظام مسبر التربة الصلب مع تجهيزات تفريغ الهواء المحمولة يدوياً. ويسمح هذا النظام بالتحديد المباشر لغاز الرادون في التربة حقلياً وبشكل سريع وناجح. حيث يتم جمع غاز التربة داخل حجيرة ومضان مفرّغة ومطلية من الداخل بكبريت الزنك المنشّط بالفضة (Type 110 A Pylon Canada) ZnS (Ag) وذلك من خلال إدخال المسبر إلى حفرة القياس، ثم يتم فتح صمام المسبر ببطء حتى تصل الجملة إلى حالة توازن في الضغط مع الوسط الخارجي. توضع بعد ذلك خلية الومضان في العدّاد الكاشف للرادون (Radon Detector RDA-200, Scintrex, Canada) ليجري قياس نشاط ألفا لمدة خمس دقائق ثم تحول القراءة إلى قيم عدة في الدقيقة (cpm) ومن ثم إلى بيكوكوري في اللتر (pCi/l). تمت معايرة العدّاد عدة مرات خلال عملية المسح باستخدام خلية اختبار معيارية تحتوي على منبع من الراديوم-226 بنشاط معلوم. أكدت المعايرة أن قراءات العدّاد تقع ضمن مجال الكشف المقبول، وبالتالي فإن نتائج قياسات الطريقة الفعّالة يمكن أن تعطي تقديرات صحيحة حول تركيز الرّادون في التربة في المنطقة الممسوحة.

مسح أشعة غاما

تم سبر نشاط مطيافية أشعة غاما باستخدام مطياف حقلي محمول من النمط (GRS-500 Differential Gamma-Ray Spectrometer, Scintrex). اشتقت ثوابت المعايرة لهذا الجهاز فوق وسائد اختبار ومعايرة قياسية موجودة في مدينة أوتاوا وأونتاريو في كندا وكراند جنكشين في كولورادو بالولايات المتحدة. قيست الخلفية الطبيعية للإشعاع فوق وسط مائي كبير في بحيرة شقرا شمال منطقة الدراسة. كما تمت معايرات حقلية يومية باستخدام منبع ^{133}Ba.اعتُمِد زمن العدّ لمدة عشر دقائق مع تثبيت الجهاز بالوضع الصحيح بالنسبة لسطح التضاريس الأرضية عند كل محطة قياس من مواقع جمع العينات. يقيس المطياف النشاط الإشعاعي، (عَدّة في الثانية CPS)، من خلال أربع نوافذ طاقية حيث تمثل النافذة الأولى العدّ الكلي لنشاط غاما TC، إضافةً إلى وجود ثلاث نوافذ طاقيّة أخرى لكل من البوتاسيوم واليورانيوم والثوريوم، وذلك كما هو مبيّن في الجدول التالي:

نوافذ طاقة غاما	المجال الطاقي للنافذة (MeV)	الطاقة والنظير المقيس
العد الكلي	0.40-2.79	
البوتاسيوم	1.38-1.56	1.46 ^{40}K
اليورانيوم	1.66-1.86	1.76 ^{214}Bi
الثوريوم	2.44-2.77	2.61 ^{208}Tl

بيّن المسح الإشعاعي لمطيافية أشعة غاما أن قيم العدّ الكلي وقيم اليورانيوم المكافيء (eU) أظهرت اختلافات هامة تعبّر عن تغاير النشاط الإشعاعي للمنطقة وأكدت أنه انعكاس أساسي لمحتوى اليورانيوم في كل موقع من مواقع القياس. وعلى الرغم من أن اليورانيوم المكافيء يستخدم عادةً بدلاً من التعداد الكلي، إلاّ أنه ومن أجل المقارنة مع قياسات نشاط الرادون الكلي فقد اعتمد التعداد الكلي لنشاط أشعة غاما فقط في هذه الدراسة ممثلاً بعَدّة في الثانية (CPS).

المسح الجيوكيميائي

تمّ جمع 12 عينة جيوكيميائية من مواقع مختارة على امتداد البروفيل P4، بحيث مثلت تلك العينات مختلف الوحدات الجيولوجية المتكشفة

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

في منطقة الدراسة وكذلك التربة الناتجة عن تجوية الصخور (الشكل 5). يقطع البروفيل الجيوكيميائي الوادي من الجنوب الشرقي إلى الشمال الغربي عبر الصخور الفسفاتية والرسوبيات اللحقية الحديثة المجاورة، وذلك بهدف تقصّي نمط تشتت اليورانيوم وعناصر الأثر الأخرى على طول البروفيل. جففت كافة العينات بالهواء ثم نخلت وحلل الجزء ذو الحجم الحبي الأقل من 80 mesh وذلك من أجل تحديد محتوى العينات من عناصر اليورانيوم Sr، Co، Cr، Ni، Zn، Cu، وقد دونت كافة نتائج التحاليل الجيوكيميائية في الجدول 1.

تراوحت قيم الرادون من 4 Tracks/mm^2 إلى 105 Tracks/mm^2 ومن 27pCi/l إلى 1851pCi/l وبلغت قيم أشعة غاما العدّ الكلي 20 CPS فوق التوضعات الرباعية الحديثة وأكثر من 500 CPS فوق التكشفات الفسفاتية. أظهرت المقارنة بين تراكيز الرّادون في غاز التربة ونشاط أشعة غاما في المنطقة الممسوحة ترابطاً جيداً. كما توافقت مواقع التكشفات الفسفاتية مع توزع الهالة السطحية لليورانيوم الثانوي المتشتت في منطقة الدراسة. وبالمقارنة، فقد انسجمت القيم العالية للرادون ونشاط غاما ونتائج المسح الجيوكيميائي بشكل ملحوظ مع منتجات تجوية

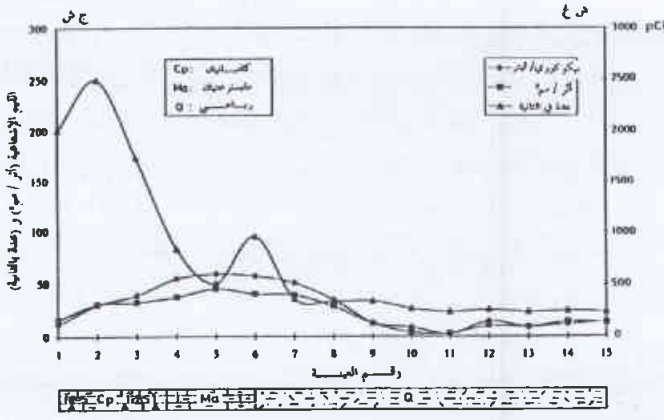
الجدول 1– نتائج تحاليل جيوكيمياء التربة في وادي قصر الحلابات.

رمز العينة ورقمها	Co (ppm)	Cu (ppm)	Sr (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Zn (ppm)	U (ppm)	P %
SH_1	55.4	26.4	732	71.4	53.6	163.6	36.8	1.24
SH_2	45.8	14.1	1375	260.5	26.8	117.5	134	9.03
SH_3	51.6	25.5	635.4	82.9	87.3	187.2	23.6	1.53
SH_4	51.3	21.0	799.8	87.2	66.6	124.1	44	0.28
SH_5	50.4	29.2	117.6	90.6	55.4	170.0	6.3	0.75
SH_6	55.2	27.0	401	70.2	90.3	121.6	8.4	1.04
SH_7	47.2	22.9	475.8	56.6	51.0	114.8	4.8	0.21
SH_8	52.6	23.3	356.5	76.4	63.6	123.6	6.3	0.44
SH_9	54.5	24.3	599.6	58.4	53.0	104.7	3.2	0.19
SH_{10}	57.5	19.1	351.0	41.1	77.6	78.8	2.2	0.15
SH_{11}	59.9	25.9	399.0	69.8	77.0	92.2	3	0.07
SH_{12}	55.5	28.2	458	26.8	73.4	118.1	3.4	0.19
الخطأ النسبي %	± 7	± 5	± 9	± 5	± 9	± 1.5	± 1.0	± 0.09

النتائج والمناقشة

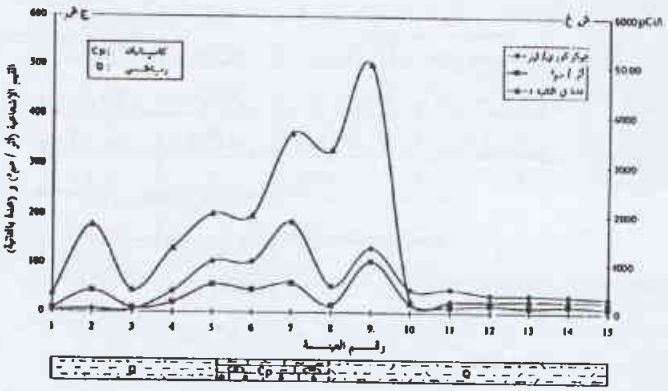
كما ذكر سابقاً، تمّ تنفيذ المسوحات الإشعاعية على امتداد البروفيلات P1 و P2 و P3 بالإضافة إلى البروفيل الجيوكيميائي P4. تتجه كافة هذه البروفيلات بشكل متقاطع مع الامتداد العام لحوض وادي قصر الحلابات كما هو مبين في الشكل 1 . إن التركيب الصخري متماثل على الأغلب في جميع البروفيلات والتي تبدأ من الجهة الشرقية حيث الرسوبيات اللحقية المتوضعة بالقرب من التكشّفات الفسفاتية، وتمتد غرباً باتجاه الرسوبيات الرباعية الحديثة والتي تغطي التشكيلات الفسفاتية. تبيّن الأشكال 2 و 3 و 4 نتائج المسوحات الإشعاعية للبروفيلات P1 و P2 وP3 على التوالي. كما ويظهر الشكل 5 النتائج الجيوكيميائية المتعلّقة بنموذج تشتت اليورانيوم وبعض عناصر الأثر مثل Ni و Cr وSr وذلك على امتداد البروفيل الرابع P4.

الصخور الفسفاتية والتي لا تزال تحوي كمية لابأس بها من اليورانيوم. ولكن لا يبدو أن مسار تشتت قيم النشاط الإشعاعي قد امتد إلى مسافات

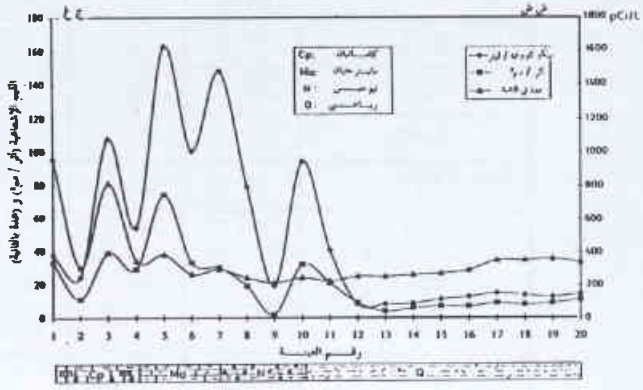


الشكل 2– تغاير القيم الإشعاعية للرادون ومطيافية غاما على طول المقطع P1.

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



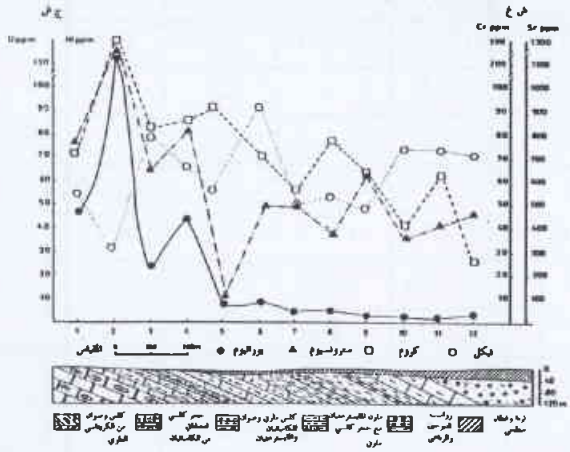
الشكل 3- تغاير القيم الإشعاعية للرادون ومطيافية غاما على طول المقطع P2.



الشكل 4- تغاير القيم الإشعاعية للرادون ومطيافية غاما على طول المقطع P3.

بعيدة نسبياً عن الفسفات، لذلك لم نلاحظ وجود هالة كبيرة لتشتت اليورانيوم في المنطقة. يمكن أن يعزى التناقص الملحوظ للمتغيرات المذكورة أعلاه فوق التوضعات الرباعية الحديثة إلى عدم توفر البيئة الرسوبية المرجعة الملائمة والضرورية لترسيب وحفظ اليورانيوم المرتشح من الصخور الفسفاتية. بمعنى آخر، يعتقد أنه عبر الزمن الجيولوجي كانت الظروف الجيوكيميائية المؤكسدة هي المسيطرة والسائدة في بيئات الترسيب بالمنطقة. تبين الظروف الجيولوجية الحالية في المنطقة أن كتلاً كبيرة من المجلوبات واللحقيات السطحية ونواتج الحت والتعرية قد نقلت بواسطة أنظمة الجريان السطحي من التكشفات الصخرية بالمناطق المرتفعة إلى المناطق المنخفضة. أدى تطور نواتج هذه التجوية إلى تشكل سماكات كبيرة من الرسوبيات الحديثة ورسوبيات لحقية في الحوض المجاور لمنطقة الدراسة والمعروف باسم سبخة الموح، الأمر الذي يسمح بالافتراض بأن نظام الجريان السطحي في المنطقة كان نشيطاً في الماضي بما يكفي لحمل اليورانيوم المنحل من صخور المصدر الفسفاتية إلى أحواض الترسيب المجاورة. لذلك، نرى ضرورة المتابعة في التحري واستكشاف اليورانيوم باستخدام تقانات تحت سطحية مناسبة مثل القياسات البئرية والهيدروجيوكيميائية.

وبالاعتماد على هذه النتائج يمكن القول أن عناصر اليورانيوم والسترونسيوم - وبدرجة أقل الكروم - تبدي إغناء واضحاً في الجوار القريب للتكشفات الفسفاتية، في حين تبدو الاستجابات الجيوكيميائية للعناصر Ni, Co, Cu, Zn ضعيفة للغاية معطيةً فقط قيم الخلفية الطبيعية في مواقع أخذ العينات. أظهر التوزع المكاني لليورانيوم وبعض العناصر المرافقة له مثل Cr و Sr بعض التغيرات الملحوظة. يمكن أن تعزى بعض التراكيز العالية لليورانيوم والسترونسيوم الموجودة في التوضعات اللحقية في الوادي، أعلى التكشفات الفسفاتية، إلى عملية إغناء اليورانيوم الناتجة عن عمليات التحطيم الميكانيكي خلال عملية تجوية هذه الصخور والتي تؤدي إلى تحرير كمية كبيرة من المحتويات اليورانية الأصلية. بمقارنة نتائج اليورانيوم في عينات الغطاء اللحقي المذكور مع محتوى يورانيوم معلوم جيداً في رسوبيات وصخور مشابهة في مكان ما في المنطقة [12,11]. أصبح ممكناً في هذا العمل تقدير نسبة الجزء المنتقل من اليورانيوم على أنه ضمن مجال 26% إلى 32% من محتوى اليورانيوم الكلي لصخور المصدر والذي تشتت فعلياً في الرسوبيات الحديثة المجاورة. إن توزع وتشتت اليورانيوم التقريبي بمنطقة الدراسة هو انعكاس مباشر للجفاف



الشكل 5- توزع قيم اليورانيوم و Sr وCr و Ni على طول مقطع جيوكيمياء التربة P4.

الإقليمي وهو معامل جيوكيميائي هام. علاوة على ذلك، فإن الإمكانية المحدودة لهجرة المحاليل الغنية باليورانيوم والمرتشحة للأسفل يجب أن لا تستثنى كلياً، حيث أظهرت دراسات سابقة بمناطق مجاورة مثل وادي أم جرن وحوض الدو شذوذات عديدة لليورانيوم في عينات المياه الجوفية وفي رسوبيات الوديان. يبدو أن مثل شذوذات اليورانيوم الهيدروجيوكيميائية هذه والمترافقة مع عناصر Sr، As، Sc، Ba و V تشكلت أصلاً من المياه المارة خلال الصخور الفسفاتية المتكشفة بكثرة على جوانب الجبال التدمرية [18, 12].

إن جزءاً من البروفيل بين 10 أمتار و 300 متر هو غني نسبياً باليورانيوم (الشكل 5)، وبدرجة أقل بالسترونسيوم مع نقطة شذوذ للكروم (260 ppm)، الأمر الذي يمكن أن يعكس تجوية الصخور الفسفاتية العائدة إلى عمر الكريتاسي الأعلى في المنطقة. وعلى العكس فقد أظهرت عناصر

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

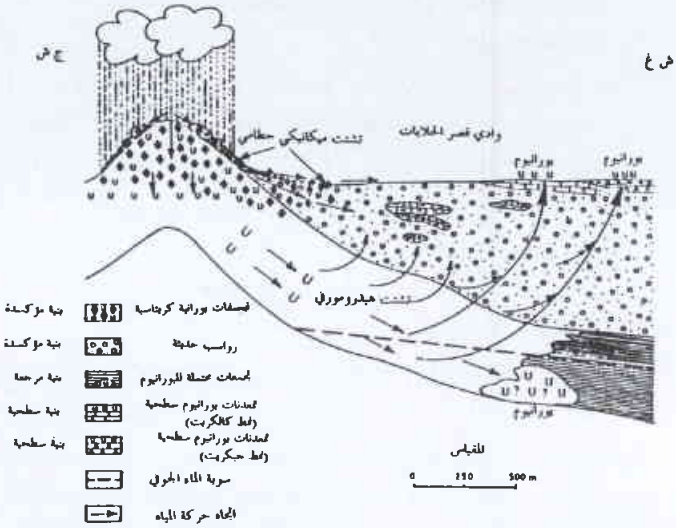
الجدول 2- مصفوفة الارتباط بين العناصر.

العنصر	Co ppm	Cu ppm	Sr ppm	Cr ppm	Ni ppm	Zn ppm	U ppm	P %
Co ppm	1.00	0.43	- 0.48	- 0.63	0.64	- 0.34	- 0.58	- 0.58
Cu ppm	0.43	1.00	- 0.71	- 0.66	0.49	0.42	- 0.71	- 0.66
Sr ppm	- 0.48	- 0.71	1.00	0.78	- 0.56	0.01	0.92	0.82
Cr ppm	- 0.63	- 0.66	0.78	1.00	- 0.65	0.10	0.93	0.96
Ni ppm	0.64	0.49	- 0.56	- 0.65	1.00	0.01	- 0.63	- 0.61
Zn ppm	- 0.34	0.42	0.01	0.10	0.01	1.00	0.10	0.08
U ppm	- 0.58	- 0.71	0.92	0.94	- 0.63	0.10	1.00	0.94
P %	- 0.58	- 0.66	0.82	0.96	- 0.61	0.08	0.94	1.00

النيكل والكوبالت والنحاس نضوباً في المناطق المجاورة القريبة للتكشّفات الفسفاتية.

تبيّن مصفوفة الترابط (الجدول 2) ترابطاً إيجابياً وهاماً لليورانيوم مع الفسفور والكروم والسترونسيوم وترابطاً سلبياً مع النيكل والكوبالت والنحاس، كما تبين عدم وجود أي ترابط لليورانيوم مع الزنك. لوحظت في مواقع أخرى من العالم تراكيز عالية لليوارنيوم مع عناصر أخرى مثل P، Ba، V، Cr، Cu، Zn [19]. وباختصار تشير التحاليل الجيوكيميائية بوضوح أن جزءاً كبيراً من اليورانيوم قد انتقل من بيئته الأساسية في الصخور الفسفاتية وتحرك إلى بيئات مؤكسدة ثانوية، حيث اتحد مع الرسوبيات الحديثة والغطاء الصخري. تتطلب التمعدنات اليورانية الناجية عبر الزمن الجيولوجي بيئات مناسبة، حيث تسمح الشروط الجيوكيميائية والجيولوجية بتركيز التمعدنات وحفظها من التجوية والحت، وبحيث تتراكم في العمق بعيداً عن التماس مع الأكسجين الحر. واعتماداً على تفسيرنا فإن مصير اليورانيوم المنحل في المنطقة هو إما:

- تشتت المحاليل الحاملة لليورانيوم بشكل واسع تحت ظروف أكسدة سطحية حالت دون أي إعادة تراكم وحفظ لليورانيوم باستثناء بعض النقاط المتفرقة لتمعدنات من اليورانيوم الأصفر الثانوي على امتداد الشقوق والفواصل الصخرية أو كقشور تطورت على التجاويف الكارستية للصخور الحديدية الحصية gypsiferous خلال عمليات التبخر السائدة في المنطقة (أو باحتمال أقل).
- هجرة نحو الأسفل للمحاليل الحاملة لليورانيوم والمرتشحة لعمق أدنى من سطح الحت حيث يمكن أن يترسب اليورانيوم ويحفظ في مناطق تماس المحاليل مع جبهات ترسيب فاصلة مؤكسدة / مرجعة مناسبة لاقتناص اليورانيوم وترسيبه من محاليله. إذ من الممكن أن تعطي مثل هذه الحواجز الجيوكيميائية المفضلة إغناءً عالياً لليورانيوم في العمق كما هو موضح في الشكل 6.



الشكل 6- نموذج مقترح لنمط تشتت اليورانيوم من صخور الفسفات اليورانية.

الاستنتاجات

تقود النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة للاستنتاجات التالية:

1- دلت المسوحات الجيوكيميائية ومطيافية أشعة غاما المدعومة بقياسات الرادون أن جزءاً من محتوى اليورانيوم في الصخور الفسفاتية قد تشتت وانتقل إلى خارج هذه الصخور وبالتالي اندمج مع الرسوبيات الحطامية الحديثة المجاورة. وفقاً لتوزع قيم اليورانيوم على طول البروفيل الجيوكيميائي فقد قدّر بأن حوالي ثلث محتوى اليورانيوم الكلي الموجود أصلاً في التشكيلات الفسفاتية قد انتقل بشكل رئيسي بواسطة التجوية الميكانيكية. ولكن، ورغم ظروف الجفاف فإن وجود فلزات يورانيوم ثانوية تشير إلى احتمال حدوث تشتت ثانوي وبسيط لليورانيوم ضمن محاليل خلال الفترات الممطرة.

2- على الرغم من انتقال كمية من يورانيوم الصخور الأصلية، فإن تراكيز اليورانيوم المتبقية ضمن الصخور الفسفاتية الأم تبدو كافية لإعطاء قيم نشاط إشعاعي شاذة تفيد في استكشاف التوضعات الفسفاتية الهامة اقتصادياً في المنطقة، حيث كان ممكناً خلال المسح بأشعة غاما كشف طبقات فسفاتية رقيقة تصل إلى 2سم.

3- ساعدت بيئة الجفاف والأكسدة على تشتيت جزء من محتوى اليورانيوم الأصلي من الصخور الفسفاتية الكريتاسية ونقله إلى

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

الرسوبيات الحديثة المجاورة، وذلك بواسطة التجوية الميكانيكية بشكل رئيسي.

4- أبدت طريقة الرادون التراكمية الطويلة المدى وثوقية وحساسية أكثر من تقنيات الرادون الآنية الأخرى في الاستدلال وتحديد الترسبات الغنية باليورانيوم في منطقة الدراسة.

REFERENCES المراجع

[1] Jubeli, Y. (1988): Final Report on Uranium Exploration in Syria. Unpubl. internal report, The Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, pp.91 (In English)

[2] Tauchid, M. and Jubeli, Y. (1991): Uranium Exploration in Syria. SYR/86/005, Terminal Report, International Atomic Energy Agency.

[3] Tanner A.B. (1964): Radon migration in the ground- A review. The Natural Radiation Environment, (Adams, J.A.S., Lowder, W.M., eds.), Univ. Chicago Press, Chicago, pp. 161-184.

[4] Barretto P.M.C., Clark R.B. and Adams A.S. (1972): Physical characteristics of radon-222 emanation for rocks, soil and minerals: Its relation to temperature and alpha dose. The Natural Radiation Environment II, Vol.2, Symposium Proceedings, Houston, Texas, Aug. 7-11, 71, pp. 731-740.

[5] Monnin M. (1989): Physical basis for radon emission and measurements techniques. Proceedings of the International Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection, Environmental Radioactivity and Earth Sciences (Tommasino L., Furlan G., Khan H. and Monnin M., eds.) ICTP, Trieste, Italy, April 3-14, 1989, pp. 199-221.

[6] Hakl J., Hunyadi I. and Varhegyi A. (1995): The study of sunsurface radon transport dynamics based on monitoring in caves. Gas Geochemistry, (Claude Dubois, eds.), Science Reviews. Northood, pp. 391-398.

[7] Dyck W. (1975): Geochemistry applied to uranium exploration. Uranium Exploration. 75. Geol. Surv. Can., pp. 33-47.

[8] Gingrich J.E. and Fisher J. C. (1976): Uranium exploration using the track-etchmethod. Exploration for Uranium Ore Deposits, Symposium proceedings, STI/PUB 434, IAEA, Vienna, pp. 213-227.

[9] Al-Hilal M., Kattaa B. and Mouty M. (1997): Uranium exploration using alpha sensitive plastic film technique in the Ad-Daww basin (Central Syria). Proceedings of 3rd ICRGG, edited by Virk H.S., Guru Nanak Dev University, Amritsar, India, pp. 62-68.

[10] Adams J.A. S. and Fryey G.E. (1964): Portable gamma-ray spectro for field determination of thorium, uranium and potassium. The Natural Radiation Environment, Univ. Chicago, Chicago. pp. 577-596.

[11] Jubeli, Y, Aissa, M and Al-Hent R (1997): Merging Airborne and Carborne Radiometric Data for Surveying the Deir Az-Zor Area, Syria. Appl. Radiat. Isot. Vol. 48, No. 5, pp. 667-675.

[12] Jubeli Y. (1986): Multielement geochemical reconnaissance for uranium in the Palmyrides region, central Syria. Unpubl. Ph.D.Thesis, pp. 503, Imperial College, University of London, UK.

[13] Kazmin, V. (1964): Map of Mineral Resources in Syria, scale: 1:1000.000, V.O. Technoexport. Minestry of Industry, Damascus, Syria.

[14] Gingrich J.E. (1984): Radon as geochemical exploration tool. Journal of Geochemical Exploration, 21, pp. 19-39.

[15] Beck L.S. and Gingrich J.E. (1976): Track etch orientation in the Cluff Lake area, Northon Saskatchewan. CIM Bulletin, May 1976, pp. 104-109.

[16] Othman I., Hushari M., Raja G. and Alsawaf A. (1996): Radon in Syria houses. J.Radiol. Prot. Vol. 16, No. 1, pp. 45-50.

[17] Rose, W.A. Hutter,A. R. and Washington, J. W. (1990): Sampling variability of radon in soil gases. Journal of Geochemical Exploration, 38, p. 173-191.

[18] Hale M. and Jubeli Y. (1985): Multielement drainage reconnaissance of the Ad Daww region, central Syria. Prospecting in areas of desert terrain., The Institution of Mining and Metallurgy.

[19] Sadig, A.A., Ahmed, Y.M., Charbonneau, B.W and Lecheminant, G.M. (1998): The Uroradiometric anomaly: Uranifer phosphate in a tectonic breccia (Nuta Mountains, Kordafan Procince, Sudan). In Uranium. 4. P. 351-363.■

☆ ★ ☆

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

التقارير العلمية

تأثير معاملات نبضة الملء على قمة DLTS في عينات InP:Zn عالية التطعيم*

د. رامي درويش، د. بسام المعصراني
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير وسطاء المطيافية الانتقالية للسويات العميقة Deep Level Transient Spectroscopy، التي تدعى اختصاراً DLTS، على مميزات العيوب العميقة وذلك من خلال دراسة تأثير معاملات نبضة الملء على المقادير التي تحدد هذه الميزات (درجة حرارة القمة وارتفاعها). من أجل ذلك درس تأثير كل من الانحياز العكسي وعرض النبضة ومطالها ودورها على قمّتَي عيبين محدثين بالتشعيع بالإلكترونات في عينات من فسفيد الأنديوم العالية التطعيم يدعيان $H4_P$ و H5. يتميز العيب الأول بأنه سريع جداً (زمن أسره لحوامل الشحنات الحرة قصير جداً، من مرتبة المكروثانية). أما العيب الثاني فهو بطيء (زمن الأسر طويل، من مرتبة المِلّي ثانية). لقد بيّنت دراستنا هذه أن كلاً من هذه المعاملات يؤثر بشكل واضح على درجة حرارة القمة وارتفاعها وعرضها عند منتصف الارتفاع أي على مميزات العيب المستخلصة منها. تبين لنا أن هذا التأثير يكون أكبر بالنسبة للعيوب السريعة منه للعيوب البطيئة. تم تفسير النتائج باستخدام نموذج لملء العيوب أكثر دقة من النموذج المستخدم عادة والذي يعتبر أن عملية ملء العيوب تتبع سلوكاً أُسياً بدلالة عرض النبضة المطبقة فقط. يأخذ النموذج المستخدم هنا بعين الاعتبار وجود منطقتين، إحداهما تملأ العيوب فيها بصورة أُسيّة (سريعة) والثانية بصورة غير أُسيّة. يؤثر الحقل الكهربائي الداخلي على معدل إصدار العيوب لحاملات الشحنة مما يجعل درجة حرارة ارتفاع قمة DLTS تتأثر بكل معامل من معاملات النبضة المطبقة.

سمح لنا تحليل النتائج التجريبية بإيجاد طريقة عملية لتقدير معدلات الأسر للعيوب في العينات العالية التطعيم وتحديد الشروط المثلى لقياس مميزات العيوب في هذه العيّنات.

الكلمات المفتاحية: المطيافية الانتقالية للسويات العميقة، المصائد، معدل الإصدار

مقدمة

تتأثر خواص أنصاف النواقل، الكهربائية منها والضوئية، بصورة كبيرة بالعيوب البلّورية الموجودة فيها. وغالباً ما تكون هذه العيوب ذات سويات طاقية عميقة في العصابة المحظورة وتقوم بدور مصائد لحوامل الشحنة. وفي عام 1974 ابتكرت طريقة DLTS التي اتصفت بالحساسية الكبيرة مقارنة مع الطرائق الكهربائية والضوئية وغيرها من الطرائق التي كانت متبعة. تعتمد هذه الطريقة على قياس تغير وُسعيّة وصلة p-n، أو وصلة شوتكي، الموجودة تحت تأثير انحياز عكسي بعد تطبيق نبضة كهربائية في الاتجاه الأمامي. ينتج تغير الوسعيّة هذا عن إصدار المصائد لحوامل الشحنة التي تكون قد اقتنصتها أثناء النبضة. يرتبط هذا التغير بمعدل الإصدار الذي يعتمد بدوره على درجة الحرارة. وقد استخدمت هذه الطريقة بصورة واسعة لدراسة العيوب في مختلف أنصاف النواقل، ولم يكن يؤخذ في الاعتبار عادة أن وسطاء النبضة المطبقة (قيمة الانحياز العكسي، مطال النبضة وعرضها وتواترها) تؤثر على مميزات العيوب (تركيزها وطاقة تنشيطها ومقطع الأسر الفعّال لها) المستنتجة من درجة حرارة وارتفاع قمم طيف DLTS. وقد تبين أن هذا صحيح إلى حد بعيد في حالة أنصاف النواقل ذات درجة التطعيم المنخفضة لكنه غير صحيح في حالة العينات العالية التطعيم.

بيّن التحليل التفصيلي لحركية ملء العيوب أن استخدام نبضات عريضة بصورة كافية يؤدي إلى ملء المصائد الواقعة بعيداً عن السطح ضمن منطقة الشحنة الفراغية حيث تتناقص كثافة الحوامل الحرة مع العمق كتابع غوص مما يجعل معدل الملء بطيئاً (لا أُسياً) مقارنة بمعدل الملء (الأُسي) في المنطقة المعتدلة. كما تبيّن أيضاً أن الجزء المملوء يعتمد ليس على عرض النبضة فقط وإنما على مطالها أيضاً. يتأثر معدل إصدار المصائد للحوامل الحرة بالحقل الكهربائي الموضعي الذي توجد فيه المصائد فيزداد وفق أثر فرنكل - بول، أو العبور النفقي بمساعدة الفوتونات أو العبور النفقي الصرف. وبما أن الحقل الكهربائي الموضعي هو نتيجة الانحياز العكسي المطبق والكمون الذاتي بين المنطقتين n و p، فإن ازدياد معدل الإصدار يكون أشد بالنسبة للمصائد الواقعة في منطقة الشحنة الفراغية. وهو يؤثر على مميزات طيف DLTS فتتراوح بازدياده درجة حرارة القمم ويزداد عرضها عند منتصف الارتفاع (FWHM) ويتغير ارتفاعها. ولذلك كان من الضروري معرفة كيف تؤثر معاملات نبضة الملء على مميزات قمم DLTS لكي تُحدَّد الشروط التجريبية الملائمة لاستخلاص المعلومات الصحيحة حول مميزات العيوب من طيف DLTS في العينات العالية درجة التطعيم.

* تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

النتائج والمناقشة

بينت دراستنا التي أجريت على قمتي العيبين $H4_F$ و H5 في عينات فسفيد الأنديوم المشوب بالزنك ($1.2 \times 10^{17} cm^{-3}$) أن لكل من معاملات نبضة الملء (الكمون العكسي V_0 والمطال ΔV والعرض t_p والتواتر f) تأثيره على مميزات قمم DLTS. وقد حلّلنا هذه النتائج بناء على أن هذه التأثيرات هي نتيجة لازدياد معدل الإصدار بتأثير الحقل الكهربائي آخذين بعين الاعتبار الحركية اللاأسية لأسر الحوامل، ووجدنا توافقاً جيداً بين نتائج القياس وما ينتظر من التحليل المشار إليه. وقد تبين بصورة عامة أن تأثر القمة العائدة إلى عيب سريع ($H4_F$) بوسطاء نبضة الملء أكبر كثيراً من تأثر قمة العيب البطيء (H5).

وقد أتاح لنا هذا التحليل تحديد الشروط التجريبية الملائمة لاستخلاص مميزات العيوب (تركيزها وطاقة تنشيطها ومقطعها العرضي للأسر) بصورة صحيحة من طيف DLTS في العينات العالية درجة التطعيم. ووجدنا أنه لابد من أن يكون مطال النبضة ΔV صغيراً وأن يكون الانحياز العكسي V_0 صغيراً أيضاً (وأن يكون $\Delta V \ll V_0$) وأن يكون تواتر النبضات f كبيراً وعرضها صغيراً إذا أردنا تحديد طاقة التنشيط بصورة دقيقة، وهذا ما أتاح لنا تفسير الاختلافات في النتائج المنشورة في الدوريات العلمية حول تحديد هذه القيمة بالنسبة للعيب $H4_F$. كما وجدنا طريقة جديدة (ما زالت بحاجة لمزيد من الدراسة لتأكيدها) لتعيين زمن الأسر، وهو المقدار الذي لا يتم تقديره عادة إلا بصعوبة وفي حدود واسعة من الارتياب.■

تأثير درجة الحرارة على توازن الأطوار للجمل شبه الثلاثية*

د. موسى الإبراهيم
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تبين النتائج الحاصلة أهمية الأثر التعاوني للمستخلص الأيوني دوديسيل سلفات الصوديوم (SDS) مع المستخلص غير الأيوني هكسا إيتيلين غليكول مونو - ن -دوديسيل إيتر ($C_{12}EO_6$) في الجملة المدروسة الحاوية على $H_2O/C_{10}H_{22}$، حيث توضح النتائج أن ازدياد تركيز SDS بالنسبة لـ $C_{12}EO_6$ في الجملة $H_2O/C_{10}H_{22}$، يؤدي إلى انزياح منحني الانحلالية ومنحني النقطة العكرة ودرجة حرارة انعكاس الطور نحو درجات الحرارة الأعلى مع ازدياد انحلالية الديكان. وتزداد كذلك الصفة الهدروفيلية للجملة المدروسة نتيجة تشكل ميسيل مختلط (mixed micelle) من $C_{12}EO_6$ و SDS.

الكلمات المفتاحية: مستخلص غير أيوني، مستخلص أيوني، مستحلب مكروي، متمخلب، نقطة عكرة، درجة حرارة انعكاس الطور، منحني الانحلالية، ميسيل.

مقدمة

إن إضافة كمية قليلة من مستخلص أيوني إلى مستخلص غير أيوني تؤدي بصورة عامة إلى ارتفاع النقطة العكرة، حيث تعتبر هذه الحالة ضرورية من أجل تغيير انتظام جزيئات المستخلص غير الأيوني في الميسيل micelle. كان موضوع تأثير المستخلص الأيوني على منحني الانحلالية والنقاط العكرة لجمل بركازة مستخلص غير أيوني، الهدف الأساسي لعدد لا بأس به من النشرات. فمن وجهة نظر عامة، يعتمد كلٌ من منحني الانحلالية ومنحني النقطة العكرة بشكل أساسي على العنصر وتركيز المستخلص الأيوني المضاف، وبالطبع يكون منحني الانحلالية ومنحني النقاط العكرة حساسين أيضاً لطبيعة المستخلص غير الأيوني المستخدم وتركيزه. تمثل درجة حرارة انعكاس الطور (PIT) phase inversion temperature، درجة الحرارة التي ينقلب فيها المستحلب المكروي microemulsion من نوع (مادة عضوية/ماء) إلى نوع (ماء/مادة عضوية)، وينشأ عن ذلك انعكاس انحلالية المستخلص بالنسبة للماء (مادة عضوية). ارتكز موضوع العمل على دراسة تأثير درجة الحرارة وتركيز المستخلص الأيوني دوديسيل سلفات الصوديوم (SDS) على جمل شبه ثلاثية والتي تحوي المستخلص غير الأيوني هكسا إيتيلين غليكول مونو -ن - دوديسيل إيتر، وما يمكن أن يترافق في التأثير على منحني النقطة العكرة ومنحني الانحلالية ودرجة حرارة انعكاس الطور.

نتائج ومناقشة

يشير مخطط أطوار الجملة $H_2O/C_{10}H_{22}$ الذي يحوي ($C_{12}EO_6$+0%SDS) بتركيز 8 % في الماء، إلى منحنيات الانحلالية والنقاط العكرة ودرجة حرارة انعكاس الطور، حيث تعتبر نقاط هذه المنحنيات نتائج تجريبية تشير إلى كيفية تطور منحنيات الانحلالية والنقطة العكرة. إن محلول الميسيل الذي يحوي في داخله الديكان يطلق عليه اسم طور المستحلب المكروي. تتألف المنطقة التي تقع تحت منحني

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

انحلالية الديكان من طورين، حيث يكون طور الديكان في حالة توازن مع طور الميسيل الذي يحوي في داخله الديكان. إن المنطقة التي تقع بين منحني الانحلالية ومنحني النقطة العكرة، تتألف من طور ميسيلي وحيد يحتوي في داخله الديكان، حيث تكون بنية الميسيل عبارة عن كرة والرؤوس القطبية للمستخلص $C_{12}EO_6$ إلى الخارج من البنية ومنحلة في الماء، أما الرؤوس اللاقطبية تكون إلى الداخل من البنية ومنحلة في الديكان. يلتقي منحني الانحلالية مع منحني النقطة العكرة في نقطة PIT التي تشير إلى الانحلال الأعظمي للديكان. اعتباراً من نقطة PIT، ينعكس المستحلب المكروي، حيث تصبح الرؤوس اللاقطبية إلى الخارج من البنية (منحلة في الديكان) والرؤوس القطبية إلى الداخل من البنية (منحلة في الماء)، (أي انعكاس انحلالية $C_{12}EO_6$ بالنسبة للماء/ ديكان). يعدّ منحني النقطة العكرة تابعاً لدرجة الحرارة، حيث تشير المنطقة التي تقع أعلى هذا المنحني إلى أن المستخلص $C_{12}EO_6$ لم يعد منحلاً بشكل كافٍ في الماء، فتصبح هذه المنطقة مؤلفة من طورين في حالة توازن: أحدهما طور $C_{12}EO_6$ والآخر طور الماء. يلعب منحني النقطة العكرة دوراً مهماً جداً في عمليات استخلاص الأيونات المعدنية. إذ يكون تعقيد هذه الأيونات ذا مردود عالٍ جداً على أطراف هذا المنحني، لذلك يفضل أثناء عمليات الاستخلاص سائل - سائل أن يجرى العمل بالقرب منه.

إن ازدياد تركيز المستخلص الأيوني SDS في الجملة المعتبرة، يؤدي إلى انزياح منحني الانحلالية وPIT نحو درجات الحرارة الأعلى. وهذا يشير إلى ازدياد انحلال الديكان في محلول المستخلص ($C_{12}EO_6$+SDS) المائي. إن المنطقة الواقعة تحت منحني الانحلالية مؤلفة من طورين في حالة توازن، هما طور الديكان وطور الميسيل المختلط الذي يحوي في داخله الديكان. تشير PIT إلى الانحلال الأعظمي للديكان، حيث يزداد هذا الانحلال بازدياد تركيز SDS المضاف. أما منحني النقطة العكرة فإنه يزداد امتداداً وانزياحاً نحو درجات الحرارة الأعلى لدى زيادة تركيز SDS في الجمل المدروسة. يعود ذلك إلى تشكل ميسيل مختلط يؤدي إلى ازدياد الصفات المحبة للماء (الهدروفيلية) لمحلول المستخلص حتى بلوغ منحني النقطة العكرة. أما المنطقة الموجودة إلى الأعلى من المنحني فإن الصفات الهدروفيلية تصبح ضعيفة، وبالتالي يؤدي ذلك إلى ضعف انحلالية $C_{12}EO_6$+SDS في الماء. إن انزياح النقطة العكرة بوجود SDS، ناشىء من تغير انتظام جزيئات المستخلص غير الأيوني $C_{12}EO_6$ في الميسيل، وبشكل خاص تؤدي الشحنات المحمولة من قبل الميسيل المختلط إلى نشوء تنافر بين هذه الميسيلات، مما يسمح باختفاء قوى التجاذب المسؤولة عن تغير الطور. وبالنتيجة يؤدي وجود SDS مع $C_{12}EO_6$ إلى تخفيض التجاذب الفعّال بين الميسيلات وتكون تلك الظاهرة هي السائدة عند زيادة تركيز SDS.■

دراسة المركبات العطرية في الكيروسين التجاري السوري وتعيين هويتها★

د. عادل حرفوش، عدنان عودة
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرى في هذا العمل عزل الفصائل الهدروكربونية (ألكانات، أوليفينات وعطريات) المكونة لأنواع الكيروسين التجاري السوري (كيروسين عادي، كيروسين منزلي، كيروسين طائرات وزيت النفط). وتم تعيين نسب بعض هذه الفصائل في كل من أنواع الكيروسين الأربعة باستعمال تقنية الكروماتوغرافيا سائل - صلب. كما جرى تحليل وفصل المكونات الجزيئية لهذه الفصائل باستعمال تقنية الكروماتوغرافيا الغازية، تمهيداً لتنفيذ التحاليل باستعمال تقنية GC-MS لاحقاً وتحديد هوية المركبات إفرادياً.

الكلمات المفتاحية: الكيروسين التجاري السوري، الفصائل الهدروكربونية، العطريات، الكروماتوغرافيا سائل-صلب، الكروماتوغرافيا الغازية

مقدمة

يشتمل البترول الخام الواحد على عدد كبير من المركبات الكيميائية، وتختلف أنواع البترول الخام بشكل كبير من حيث نسب المركبات المكونة لكل منها. يمكن الحصول على قطفات تقليدية مختلفة: كالغاز الطبيعي وإيتر البترول والنفتا الخفيفة والبنزين الطبيعي والكيروسين والمازوت وزيوت التشحيم والإسفلت أو فحم النفط لدى إخضاع البترول الخام إلى عملية تقطير مجزأة وذلك تبعاً لمجال درجات الحرارة المعتمدة في الحصول على كل قطفة.

ما يزال تحليل جميع مكونات النفط الخام أمراً خارج الإمكانات في غالب الأحيان. غير أن التقطير المجزأ يبسط مهمة التحليل [1]، كما أن تطور الكروماتوغرافيا يسمح بفصل مكونات القطفة الواحدة وفق القطبية. ومع ذلك لم تتمكن الكروماتوغرافيا ولا التقطير المجزأ من إحداث فصل

★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

تام لجميع مكونات البترول. فالقطفات الناتجة تحتاج دائماً إلى توصيف جزيئي [3,2]، وهو ما سعينا إليه في بحثنا هذا من خلال البدء بالكيروسين الناتج عن النفط الخام السوري. يعود السبب المباشر في تنفيذ هذا العمل إلى أننا تعرضنا في بحث سابق إلى موضوع الكيروسين التجاري السوري تحديداً، وبيّنا الدور السلبي للعطريات وضرورة إزالتها عند استعمال الكيروسين كممدد في عمليات استخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور التجاري السوري، كما حددنا المواصفات الفيزيائية لهذا الكيروسين [4]. وعلى هامش البحث نفسه جرى أيضاً تطوير طريقة جديدة لقياس التركيز الإجمالي للعطريات في الكيروسين التجاري السوري باستعمال تقنية مطيافية فوق البنفسجي [5]. وانطلاقاً من المعلومات المتاحة والاتصالات مع العاملين في وزارة النفط وفي مصفاتي النفط في حمص وبانياس تبين أن الكيروسين التجاري السوري لم يدرس سابقاً من حيث مكوناته الجزيئية، مثله مثل غيره من القطفات الناتجة في مصفاتي حمص وبانياس.

تستخدم طرائق تحليلية عدة من أجل تحديد التركيب الجزيئي في القطفة الواحدة، إذ غالباً ما تسمح تقنية الكروماتوغرافيا الغازية GC بقياس إفرادي للمكونات الحاوية على أقل من ثمان ذرّات كربون. ويسمح ربط تقنية GC مع مطياف الكتلة (GC-MS) بتحليل غالبية المركبات عادة.

النتائج والمناقشة

استعملنا في هذا العمل مزيجاً من النفط الخام الخفيف (من حقول دير الزور) والثقيل (من حقول الجبسة والرميلان). يمزج هذان المصدران عادةً وفق نسب محددة مسبقاً لتغذية خطوط الإنتاج، وتنتج المصفاة أربعة أنواع مختلفة من الكيروسين:

1- كيروسين الطائرات.

2- كيروسين مهدرج للاستعمال المنزلي

3- كيروسين عادي

4- كيروسين زيت النفط White Spirit

تم أخذ 10 لترات من كل نوع وحفظت في أوعية من البولي إيتيلين محكمة الإغلاق. نقلت العينات الأربع إلى قسم الكيمياء في الهيئة، من أجل تحديد بعض المواصفات لكل منها وقياس النسبة المئوية الحجمية للعطريات وعزل الفصائل الهدروكربونية المكونة لكل منها (أوليفينات، عطريات ومشبعة) وفق طريقة الاختبار المرجعية الأمريكية [6]، إذ حددت النسب المئوية الحجمية وفق ما يلي:

$$\%\ \text{Vol. العطريات} = La/L*100$$

$$\%\ \text{Vol. الأوليفينات} = Lo/L*100$$

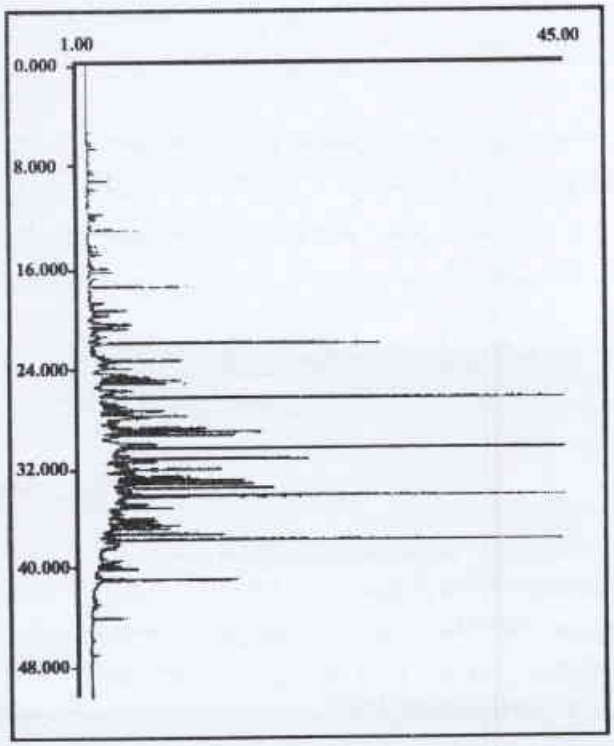
$$\%\ \text{Vol. المشبعة} = Ls/L*100$$

حيث La: طول منطقة العطريات بالـ مم، Lo: طول منطقة الأوليفينات بالـ مم، Ls: طول منطقة المركبات المشبعة بالـ مم و $L = La + Lo + Ls$. أدرجت نتائج الحساب في الجدول 1 علماً أن مجال الخطأ هو ± 0.5 %.

الجدول 1- تراكيز الفصائل الهدروكربونية في أنواع الكيروسين المدروسة.

نوع الكيروسين	نسبة الفصيل الهدروكربوني % حجماً		
	عطريات	أوليفينات	ألكانات
كيروسين منزلي	15.3	7.4	77.3
كيروسين عادي	10.5	11.0	79.3
كيروسين طائرات	12.8	-	-
زيت النفط White Spirit	18.0	-	-

نظراً لضآلة الكميات المعزولة وفق هذه الطريقة، فقد قمنا بتصميم وتنفيذ عمود ادمصاص زجاجي وفق أبعاد أكبر، متناسبة مع العمود الزجاجي المستعمل في طريقة الـ ASTM. استعملنا هذا العمود المصنع محلياً لفصل العطريات الموجودة في أنواع الكيروسين الأربعة. لم تكن الغاية من تصنيع هذا العمود فصل كميات أكبر من العطريات فقط، بل الحصول على عطريات نقية أيضاً، خالية من أي تداخل مع المركبات التي تسبقها أو التي تليها أثناء الفصل. وقد تمت عملية تجميع كميات مناسبة من العطريات وفق ما يلي: بعد حقن كمية معلومة من العينة في العمود المرجعي، حسب طريقة الـ ASTM، وبعد إعادة التجربة لتجميع عدة قطفات من العطريات، نمرر هذه العطريات في العمود الثاني (التحضيري) المصمم من قبلنا وذلك لإزالة أي تداخل مع العطريات (سواء من الأوليفينات أو من الألكانات، أو المذيب) وبهذه الطريقة نحصل على عطريات نقية خالية من أي تداخل. وبنفس الطريقة حصلنا على الأوليفينات والمركبات المشبعة نقية وخالية من التداخل. أعيدت العمليات مع الأنواع الأربعة للكيروسين. وهكذا، تم فصل /12/ مجموعة من المركبات الهدروكربونية.



الشكل 1- مخطط GC للمركبات العطرية في الكيروسين العادي.

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

جـرى استعمـال جهاز الكروماتوغرافيا الغازية الموجود في القسم (Pye Unicam 4500) وفق شروط تحليلية محددة، ويظهر الشكل 1 مخططاً كروماتوغرافياً لإجمالي المركبات العطرية في الكيروسين العادي، وذلك كمثال على المخططات الناتجة في هذا العمل.

سيتم لاحقاً استكمال العمل التجريبي باستعمال تقنية GC-MS. حيث ستسمح هذه التقنية بتحديد هوية جميع، أو غالبية المركبات، في كل من المخططين المرافقين وغيرهما (مخططات بقية الفصائل الهدروكربونية في أنواع الكيروسين المختلفة) أو في المخططات المتعلقة بالمركبات العطرية على الأقل.

المراجع

REFERENCES

[1] B. J. Mair, Z. Ronen, E. J. Eisenbraun and A. G. Horodysky, Science 154, 1339 (1966).

[2] L. R. Snyder, Anal. Chem. 41,1084 (1969).

[3] D. M. Jewell and co-workers, Anal. Chem.44, 1391 (1972).

[4] A. Harfoush and H. Shleiwit, Determination of Total Aromatics in Kerosene by UV Spectroscopy, Petroleum Chemistry, Vol. 39, N2, pp. 111-113, 1999.

[5] A. Harfoush, The Characterization and Effects of Syrian Kerosene on Uranium Extraction from Syrian Commercial Phosphoric Acid, Solvent Extraction Research and Development, Japan, Vol. 6, 12-23, 1999.

[6] ASTM D-13198-83, American Society for Testing and Materials, Pheladelphia, USA.■

دراسة محتوى مياه الصرف الصحي من العناصر الثقيلة*

د. صلاح الدين تكريتي، عبير القائد

قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تمت دراسة محتوى العناصر الثقيلة في مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق خلال فترات زمنية مختلفة. وقد أظهرت النتائج أن تركيز معظم العناصر المدروسة أقل من الحدود القياسية (المعيارية) لبعض البلدان. كما بيّنت النتائج إمكانية مراقبة نوعية المياه الواردة بالإضافة إلى آلية عمل المحطة. وتبين أن بعض العناصر الثقيلة والتي تعتبر من الملوّثات الضارة مثل الرصاص والزئبق والكادميوم ذات تركيز قليل جداً، مما يدل على أن عمل المحطة جيد.

الكلمات المفتاحية: العناصر الثقيلة، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، الامتصاص الذرّي، مطيافية اللهب.

مقدمة

الماء نعمة من نعم الله على كافة الأحياء من إنسان وحيوان ونبات، ويجب التوقف عندها لنعلم أنها مادة عجيبة لها دور هام جداً في حياة كل كائن حي: "وجعلنا من الماء كل شيءٍ حيّ أفلا يؤمنون". فالماء سرّ الحياة لجميع الكائنات الحيّة ولا يُعرف قَدْره إلا عند فقده، وبدون الماء يموت الإنسان وينفق الحيوان ويهلك النبات.

يُشكّل الماء الطريق الأوفر حظاً لنقل الأمراض وانتشار العدوى، ففي كل يوم يموت عشرة آلاف طفل من مرض الزحار diarrhea بسبب تلوث المياه بأنواع الجراثيم (ESCHERICHIA, SALMONELLA). إضافة إلى ذلك فإن 80 % من البشر في الدول النامية معرضين للماء الملوث والمسبب لأمراض فتاكة (الكوليرا، الحمة التيفية، الزحار، أمراض الكبد).

لا تدخل الملوّثات جسم الإنسان عن طريق الشراب فقط، ولكن عن طريق النباتات وكذلك اللحوم بما فيها الأسماك خاصة وأن هناك دولاً عديدة تسمح بسقي وتسميد النباتات بمياه المجاري، وتربية الأسماك والقواقع في مناطق صب مياه الصرف الصحي في البحار أو الأنهر وتغذية الحيوانات بما تفرزه هذه المياه من مخلفات عضوية مليئة بالطفيليات. إن هذه الصورة القاتمة لإمكانية تسرب المرض عبر المياه توجب على الدول الاهتمام بتوفير مياه نظيفة، وتفرض عليها بالتالي، إعادة استخدام مياه الصرف (الصناعي والصحي) بعد التنقية والمعالجة لنحافظ بذلك على ما تبقى لنا من مياه في مصادرها الطبيعية.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية أنجزت في قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

إن وجود كميات كبيرة ومتنوعة من العناصر الثقيلة في مياه الصرف الصحي أمرٌ طبيعيّ، ولا يجوز طرحها في أي مكان دون مراقبة. كما أن إعادة استخدام هذه المياه لأعمال الري يتطلب:

- تحديد العناصر الثقيلة وتركيزها.
- تحليل الترب الزراعية ومعرفة تركيز العناصر الثقيلة فيها.
- معالجة هذه المياه أو على الأقل وضع مخطط لإمكانية تقليل انتقال بعض من هذه العناصر ذات الأثر السمي إلى المزروعات أو الآبار الجوفية لمنع التلوث.

على هذا الأساس قام القطر بإنجاز هام وهو تشغيل محطة مياه معالجة الصرف الصحي وذلك لإعادة استخدام هذه المياه في مجال الزراعة لتقليل نسبة هدر المياه الصالحة للشرب وكذلك مراقبة الملوثات خاصة العناصر الثقيلة، الموجودة في مياه الصرف، التي كانت سابقاً تستخدم كما هي بدون معالجة.

الإجراءات العملية

أخذ العينات

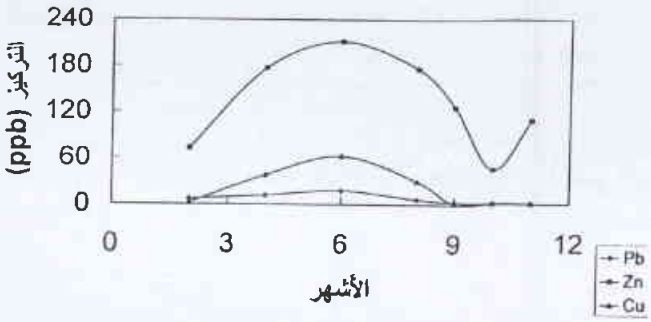
تؤخذ عملياً ثلاث عينات في اليوم من المياه وتمزج مع بعضها لتشكل عينة متجانسة لعمل المحطة في اليوم (مدخل ومخرج كلٌ على حدة). وقمنا بدورنا بأخذ العينات المعدَّة للدراسة من هذه العينات اليومية. سُجِّلت درجة حرارة العينة ودرجة الحموضة (pH) في موقع المحطة، ثم قيست درجة الحرارة ودرجة الحموضة في المخبر أيضاً لمعرفة الفرق. ووُضِعت وضع العينة بعد إضافة حمض الآزوت بمعدل 5 ml/l، في وعاء بلاستيكي، لمنع أي امتزاز للعناصر على سطح الحاوية الزجاجية وفق الطرائق المعيارية. وعندما تصل العينة إلى المخبر تجرى عليها عملية ترشيح للحصول على عينة صافية وغير حاوية على أي شائبة. وغالباً ما يتم ترشيح مياه المدخل عدة مرات متتابعة باستخدام ورق ترشيح من نوع Whatman 11 cm بالإضافة إلى التثفيل والفلترة. أما عينة مياه المخرج فتُجرى عليها عملية ترشيح ومن ثم فلترة بورق 0.22 µm وهذه الإجراءات متبعة طبقاً للمرجع السابق. تقسم العينة إلى عدة أقسام حيث يؤخذ قسم منها كعينة مرجعية وتحفظ في البرّاد وترسل الأقسام الأخرى إلى مخابر الهيئة المختلفة (مخبر البولوغرافي بقسم الوقاية ومخبر الامتصاص الذرّي بقسم الكيمياء ومخبر كيمياء التربة بقسم الزراعة) للتحليل، بواقع واحد لتر لكل مخبر. ويأتي اعتمادنا في التحاليل على عدة مخابر لدقة القياسات والمقارنة.

القياسات التحليلية

تستخدم عادة الطرائق التقليدية والمتوفرة مثل: الامتصاص الذرّي وطريقة اللهب والتحليل الكهربائي والترسيب بالتعقيد والتقنيات الطيفية مثل UV و IR في تحديد تركيز العناصر الملوثة.

النتائج

يبين الشكل 1- تغيرات تركيز العناصر الثقيلة (Pb,Zn,Cu) مع تغير أشهر السنة، حيث يلاحظ أنه خلال فترة بداية الصيف كان هناك زيادة واضحة في تركيز هذه العناصر. وبعد ذلك بدأ التركيز يتناقص حتى الشهر العاشر. غير أن تركيز الزنك أظهر زيادة ملحوظة في بداية الشهر الحادي عشر وربما يعود ذلك إلى الكمية البسيطة من المطر التي هطلت في بعض مناطق دمشق (الزبلطاني، العباسيين، القابون، برزة). أما بالنسبة إلى بقية العناصر الثقيلة مثل الكادميوم والحديد والمنغنيز و...، فإن تغيرات التركيز لم تكن محسوسة خلال فترة القياس ويبين الجدول 1 القيم الناتجة ضمن مجال التركيز الملاحظ دون تدوين نسبة الأخطاء.



الشكل 1- تركيز العناصر الثقيلة في مياه الصرف الصحي.

الجدول 1- يبين تغيرات تركيز العناصر الثقيلة في عينات مياه الصرف الصحي خلال أشهر السنة.

العنصر	التركيز
Cr	0.1-0.5
Fe	0.2-0.5
Mn	0.1-0.5
Si	2.0-2.5
Ni	0.2-0.5
Ti	1.8-2.0
Cd	0.00025
Al	1.1-2.0

ويبين الشكل 2- تغيرات تركيز العناصر القلوية (Na,K) مع تغير أشهر السنة. حيث يلاحظ من الشكل أن تركيز العناصر المذكورة في زيادة مستمرة حتى بداية الشتاء.

كما يبين الشكل 3- تغيرات تركيز العناصر القلوية الترابية (Mg,Ca) مع تغير أشهر السنة. حيث يلاحظ من الشكل أن تركيز العناصر المذكورة في زيادة مستمرة حتى بداية الشتاء.

المناقشة

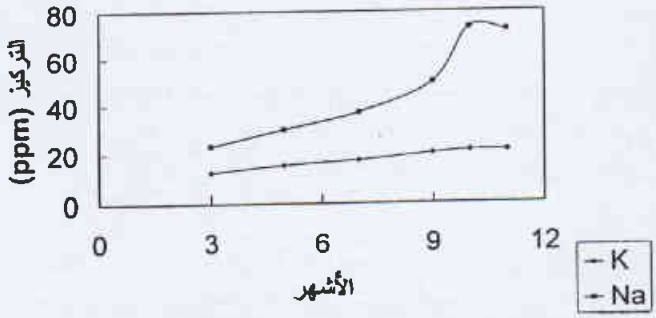
تمت مقارنة تركيز العناصر الثقيلة في مياه الصرف الصحي لمحطة معالجة المياه في مدينة دمشق مع القيم المعيارية العالمية من خلال جداول القيم المعيارية المرافقة، التي تبين القيم العظمى لتركيز العناصر الثقيلة

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

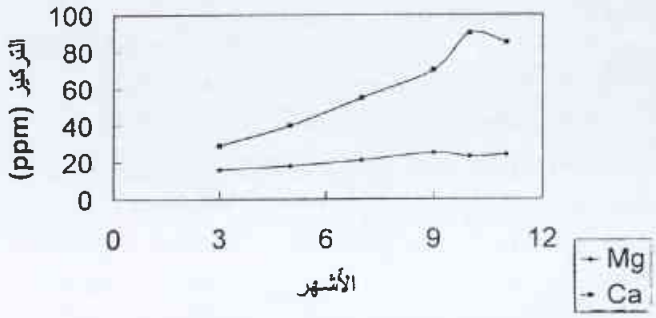
الجدول 2- مقارنة تركيز العناصر الثقيلة بين مياه الشرب ومياه الصرف الصحي.

العنصر	مياه الشرب	مياه الصرف الصحي
Cr	0.1 ± 0.05	0.1 ± 0.05
Fe	0.7 ± 0.1	0.2 - 0.5
Mn	0.5 ± 0.05	0.1 - 0.5
Si	0.1 ± 0.01	2.0 - 2.5
Ni	0.1 ± 0.01	0.2 - 0.5
Ti	0.05 ± 0.001	1.8 - 2.0
Cd (ppb)	0.25 ± 0.05	0.25
Al	0.7 ± 0.02	1.1 - 2.0
Na	37 ± 2	74 ± 5
K	3.5 ± 0.5	14 ± 1
Ca	60 ± 5	45 ± 2
Mg	23 ± 3	19 ± 2
Pb (ppb)	1 ± 0.5	12 ± 2
Zn (ppb)	54 ± 4	210 ± 18
Cu (ppb)	10 ± 3	63 ± 5

المقترحة في مياه سقاية النباتات، حيث يلاحظ أن محتوى مياه الصرف في سورية يقع ضمن المجال المسموح به إن لم يكن أقل لبعض العناصر، وكذلك الأمر فيما إذا تمت مقارنة قيم العناصر الثقيلة مع العناصر الموجودة في بعض الترب الزراعية. كما أن مقارنة العناصر الثقيلة في مياه الشرب ومياه الصرف الصحي (الجدول 2) تشير إلى تقارب قيم التراكيز في الحالتين، وهذا يعطي الضوء الأخضر لاستخدام هذه المياه في مجال ري المزروعات بغية الإقلال من استخدام مياه الشرب.■



الشكل 2- تركيز العناصر القلوية في مياه الصرف الصحي.



الشكل 3- تركيز العناصر القلوية الترابية في مياه الصرف الصحي.

دراسة سويات الضجيج في مدينة حلب*

د. محمد العودات، د. يوسف سلماني
قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرت قياسات سويات الضجيج الداخلي والخارجي في مواقع مختلفة من مدينة حلب، تختلف بعضها عن بعض بالنشاطات البشرية. وجرت القياسات بمعدل 225 قياساً في الموقع الواحد ومن الساعة السابعة صباحاً وحتى التاسعة مساءً.

أوضحت الدراسة أن سويات الضجيج كانت أعلى من الحد المسموح به بمعدلات تراوحت بين 13 و 20 ديسيبل -A في المناطق السكنية وبين 11 و 15 ديسيبل -A في المناطق السكنية التجارية، ووصلت إلى 12 ديسيبل -A في المناطق التجارية. كما كانت سويات الضجيج الداخلي أعلى من الحد المسموح به بمعدل تراوح بين 4.3 و 34 ديسيبل -A في البيوت السكنية وبين 10 و 26 ديسيبل -A في المستشفيات.

أوضحت هذه الدراسة أنه لا بد من اتخاذ إجراءات لخفض سويات الضجيج وخاصة في المناطق السكنية ومناطق المستشفيات.

الكلمات المفتاحية: سويات الضجيج - التلوث الضوضائي - ديسيبل - حلب.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية أنجزت في قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

يعد الضجيج واحدة من المشكلات البيئية ذات التأثيرات السلبية على صحة الإنسان، ويؤدي في حالة التعرض الطويل والشديد لسويات معينة، إلى الإعياء السمعي وربما نقص في حاسة السمع، إضافة إلى تأثيرات فيزيولوجية ينتج عنها اضطرابات في الجهاز القلبي الوعائي كانقباض الأوعية الدموية المحيطية، وتغير انتظام النبض، وارتفاع في ضغط الدم، إضافة إلى اضطرابات في الجهاز الهضمي والجلد.

هدفت الدراسة إلى قياس سويات الضجيج الداخلي والخارجي في مواقع مختلفة من مدينة حلب، تختلف عن بعضها البعض بالنشاطات البشرية، وتضمنت:

- تحديد سويات الضجيج الخارجي في الشوارع العامة في عدد من المواقع (13 موقعاً) تختلف عن بعضها البعض بحركة وسائط النقل والنشاطات التجارية والصناعية. وتشمل مواقع سكنية، ومواقع سكنية تجارية، ومواقع تجارية وأخرى يغلب عليها النشاط الصناعي.
- تحديد سويات الضجيج الداخلي في مواقع سكنية ومستشفيات ومؤسسات حكومية (19 موقعاً)، حيث جرت القياسات خارج هذه المنشآت وداخلها.

جرت قياسات سويات الضجيج بوساطة جهاز Sound Level meter من الطراز 2219، صناعة شركة Brueland Kiaer الدانمركية. ويقيس هذا الجهاز تواترات الصوت مرتّبة في سُلّمين:A و C، ويعتبر السلّم A هو الأكثر قرباً لما تسمعه الأذن البشرية. وأقل مستوى يتحسسه الجهاز هو 35 ديسيبل -A وأعلى مستوى هو 130 ديسيبل -A. هذا وجرت القياسات كافة ابتداءً من الساعة السابعة صباحاً وحتى الساعة 21 مساءً، وبمعدل 225 قياساً في اليوم في كل موقع. وقد روعي عند إجراء القياسات تأثير أبواق السيارات وجلبة مرور السيارات والحافلات، والإقلاع السريع للسيارات وغيرها من العوامل التي تُحدث زيادة مفاجئة (نتوءات) في سويات الضجيج، كما روعي أثناء القياسات، التي جرت على ارتفاع 120–130 سم فوق سطح الأرض، أن يكون مكان القياس بعيداً عن أي تركيب عاكس للصوت، باستثناء سطح الأرض أو واجهة البناء الذي قيس الضجيج بجانبه.

أوضحت نتائج الدراسة أن سويات الضجيج الخارجي كانت أعلى من الحدود المسموح بها بمعدل تراوح بين 13 و 20 ديسيبل -A في المناطق السكنية وبين 11 و 15 ديسيبل -A في المناطق السكنية التجارية، وبين 8 و 12 ديسيبل -A في المواقع التجارية. أما في مثلث الميدان الذي يغلب عليه النشاط الصناعي، فكان متوسط سوية الضجيج أعلى من الحد المسموح به بـ 12 ديسيبل -A.

والأمر نفسه كان بالنسبة للضجيج الداخلي، سواء في البيوت السكنية أو في المستشفيات، إذ كانت سوياته أعلى من الحد المسموح به بين 4.3 و 31 ديسيبل -A في البيوت السكنية وبين 10 و 26 ديسيبل -A في المستشفيات.

وأوضحت الدراسة، أيضاً، الاختلافات الكبيرة في شدة الضجيج بين لحظة وأخرى، حيث وصلت الفروقات في بعض الأحيان إلى 28 –30 ديسيبل -A وهذا يعود إلى النتوءات الصوتية المفاجئة الناتجة من أبواق السيارات والدراجات النارية والشاحنات والحافلات الكبيرة وغيرها.

بينت الدراسة أن سويات الضجيج في المناطق المدروسة كانت في الفترة المسائية (بين الساعة 20 و 21)، التي تعتبرها دول كثيرة تابعة للفترة الليلية، مرتفعة، حيث بلغ متوسطها خارج المنازل للمناطق كافة 72.4 ديسيبل -A.

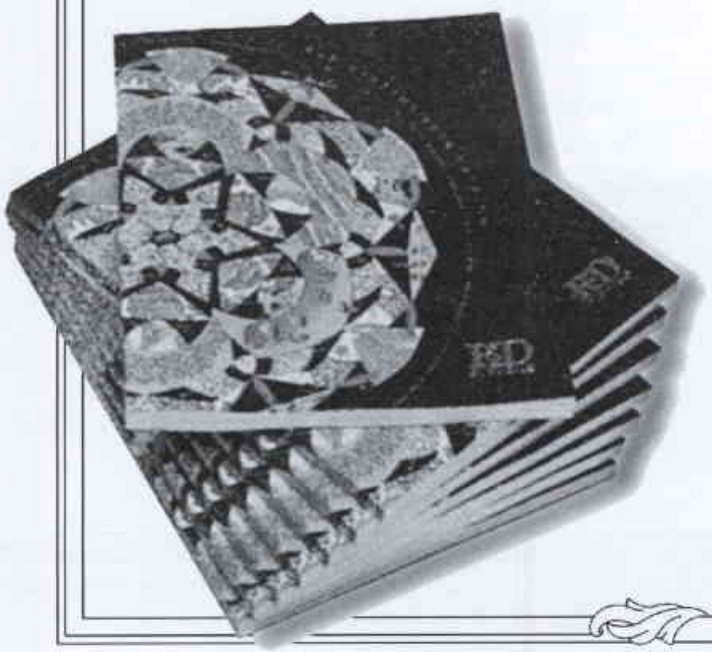
وإذا اعتبرت الفترة بين الساعة 20 و 21 فترة ليلية (خاصة في الشتاء) فإن متوسط سوية الضجيج الخارجي كان أعلى من الحدود المسموح بها بمعدل تراوح بين 24.5 و 31.2 ديسيبل -A في المناطق السكنية وبين 19 و 23 ديسيبل -A في المناطق التجارية – السكنية ونحو 16.1 ديسيبل -A في المناطق التي يغلب عليها النشاط الصناعي.

تشير معطيات هذه الدراسة إلى الحاجة الماسة لاتخاذ الإجراءات المختلفة لخفض سويات الضجيج في مواقع مختلفة من المدينة، وربما من أهم هذه الإجراءات، تطبيق القوانين التي تحول دون استعمال أبواق السيارات بعد الساعة الرابعة مساءً، ومعالجة الضجيج الصادر عن الدراجات النارية والسيارات الشاحنة وغيرها، كما لابد من اتخاذ الإجراءات المختلفة لخفض سويات الضجيج في محيط مستشفى الحياة على وجه الخصوص.■

☆ ★ ☆

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

كتب حديثة مختارة



1- التناظر الجزيئي وعلم الأطياف ★

Molecular Symmetry and Spectroscopy

تأليف: فيليب ر. بنكر، برجنسن
عرض وتحليل: ك. جونفن★★

ينظر أحياناً إلى علم الأطياف الجزيئي على أنه حقل ناضج للعلوم يطرح القليل من المفاجآت الحقيقية. مع ذلك تمّ مؤخراً تحقيق بعض المكتشفات الرائعة في هذا الحقل (والتي منها الكربون -60 أو مايدعى بجزيء بكمنستر فلّرين Buckminsterfullerene الذي يعد مثالاً بارزاً لهذه المكتشفات).

وقد كتب فيليب بنكر و برجنسن مؤلّفهما "التناظر الجزيئي وعلم الأطياف" بهدف تغطية الاستخدام اليومي من قبل المتخصصين في علم الأطياف، وهم يواجهون المشاكل النموذجية لهذا الحقل والتي تتمثل في كيفية تصنيف سويات الطاقة الكمومية الناجمة عن حركات معقدة للإلكترونات والنوى في جزيء ما، وفي كيفية التنبؤ بالتواترات والشدات للانتقال الضوئي الذي يحدث فيما بين تلك السويات والتي بواسطتها يجري عادة كشف وتحديد هوية المنظومات الجزيئية.

هذا، وقد تدربت أجيال من المتخصصين في علم الجزيئات عبر الاستخدام المكثف للمرجع الشهير بعنوان: " الأطياف الجزيئية والبنية الجزيئية لمؤلفه الراحل غرهارد هرزبرغ G. Herzberg، والذي ظهر بأجزائه الثلاثة في الأعوام 1939، و1945، و1966، على التوالي [والتي قام هرزبرغ نفسه بإعادة نشرها في طبعة جديدة في مطلع هذا العقد. وقد قدمت هذه المؤلفات الكلاسيكية نظرة شاملة وعامة للحقل الخاص بعلم الأطياف الجزيئي كما كان عليه الحال في الوقت الذي كتبت فيه هذه المؤلفات.

عمل بنكر، وهو نظري متخصص في علم الأطياف، لسنوات عديدة لدى المعهد الذي قام بتأسيسه هرزبرغ في مدينة أوتاوا بكندا. أما جنسن، الذي يعمل حالياً لدى وبرتال - Wuppertal في ألمانيا، فهو معروف بإسهاماته الخاصة بنظرية الاهتزازات كبيرة السعة في منظومات لينة (جزيئات لاصلبة). وتبعاً لما يعكسه العنوان، فقد كانت الطبعة الأولى للمؤلفَين، أضيق من مؤلف هرزبرغ، مركزة على نظرية الزمر وتطبيقاتها في مسائل طيفية . لكن، الطبعة الثانية كانت موسعة بشكل كبير لتصبح كتيباً جامعاً لعلم الأطياف المعاصر يشكل مرجعاً ضرورياً حديثاً مكمّلاً ومرحّباً به، ولو أنه لايعوّض بشكل كامل عن مؤلفات هرزبرغ.

وسوف يجد القارىء المهتم فصولاً تعالج بالتفصيل مواضيع مختلفة نذكر منها على سبيل المثال الاهتزازات النظامية والدوّارات الصلبة، الحركات النووية ذات السعة الكبيرة التي تحدث في منظومات لينة، فصل بورن - أوبنهايمر لحركتي الجسيمات الثقيلة والخفيفة (النوى والإلكترونات على التوالي) وانهيارها في بعض الحالات، وأثر جان- تللر Jahn - Teller وعلاقته "بطور بّري الهندسي" Berry geometrical phase. كذلك يقدم المؤلفان وصفاً موجزاً وواضحاً لحسابات البنية الكيميائية الكمومية (مع إعطاء شرح للأسس الفيزيائية وراء بعض المصطلحات الاختصارية الغامضة التي يتداولها عادةً المتخصصون في الكيمياء الكمومية) وكانا يتطرقان، حتى، إلى إعطاء لمحة سريعة عن نظرية التصادم كما هي مطبقة على حالات تتضمن سحباً إلكترونية منتشرة مكانياً يطلق عليها اسم حالات ريدبرغ. ولم يناقش الكتاب، بشكل عام، عمليات التشظي والأطياف المستمرة.

ومن الواضح أن المؤلفَين لم يكونا في وضع يسمح لهما بمناقشة كل موضوع بالعمق ذاته، لكنهما عمدا إلى تكملة كل فصل بحواشٍ بيليوغرافية كتبت بعناية فائقة. وتتضمن هذه الحواشي مراجع تخص كتباً أخرى ومقالات تاريخية مفتاحية، إضافة إلى مقالات أخرى حديثة ذات علاقة بالموضوع وتعكس الحالة الراهنة للفن. وقد جرى وضع كل مرجع في منظوره المناسب بوساطة تعليقات وانتقادات واعية. ومثل هذه الحواشي البيليوغرافية كفيلة بأن تجعل الكتاب جديراً بالاقتناء من قِبل أي فرد نشط في مجال علم الأطياف.

ولايزال موضوع التناظر الجزيئي يحتل مكاناً بارزاً في الطبعة الحالية للكتاب. يناقش المؤلفان استخدام زمرة التناظر الجزيئي التي أدخلت لأول مرة من قبل كريستوفر لونغويت - هيغنز وجون هوغن. وتتألف عناصر زمرة التناظر الجزيئي المذكورة من تباديل جسيمات متطابقة، وبخاصة النوى. واعتمدت معظم الكتب الأقدم على استخدام مجموعات نقطية تتألف من العمليات التناظرية لجزيئات ذات تناظرات بنيوية شبيهة بمستويات الانعكاس ومحاور التناظر. وكما يشير المؤلفان، تُعدّ زمرة التناظر الجزيئي أكثر جوهرية لأنها تعتمد حقيقة، أن الجسيمات المتماثلة لا يمكن تمييز أي منها عن غيره، ولاتتطلب من الجزيء أن يمتلك بنية هندسية محددة في أي من الأزمنة. وقد ثبت فيما بعد أن هذا النهج هو المثمر بشكل خاص بل يعد أمراً حيوياً من أجل التطورات الجديدة في علم الأطياف المعاصر حيث أجريت دراسات لتجميعات مفككة من الذرات أو الجزيئات (جزيئات عنقودية ضعيفة الترابط) التي تبدي حركات اهتزازية كبيرة السعة ولها هندسة بنيوية تتغير باستمرار.

وقد بذل المؤلفان بنكر وجنسن جهداً تربوياً كبيراً لجعل مواضيع معروفة بصعوبتها تسهل على القارىء. فكل فصل يحتوي على مسائل داخلة في النص يعقبها مباشرة الحل. وعولجت التطورات الأساسية بتفصيل وافٍ مع كتابة كاملة للخطوات البينية، وهذا يسهل الأمر على القادم الجديد بحيث يمكنه أن يرى كيف تصنع الأشياء، ولو أنني شعرت في بعض الأحيان، أن التفصيل المذكور كان مفرطاً لدرجة جعلت من الصعب تتبع الخيط الأساسي لموضوع الجدل أو الحوار.

★ By Ph. R. Bunker and P. Jensen. NRC Research, Ottawa, Canada, 1998.
★★ كريستيان جونفن: جامعة باريس - جنوب، أورسي - فرنسة.
- العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, September 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

كُتِبَ المؤلَّف بأسلوب سهل وعصري، بحيث يتيح الاطلاع ليس فقط على ما سبق إنجازه بل يبين لنا أيضاً السبب وراء اتباع طريق محددة دون أخرى، وكذلك الصعوبات التي تمت مواجهتها عبر الطريق المتبعة. وكل فصل في الكتاب جرى افتتاحه بمستخلص واختتامه بموجز؛ كما كانت المراجع العديدة المترافقة مفيدة للغاية. وتضمن الفهرس، إلى جانب مادته المألوفة، رموزاً كيميائية هامة إضافة إلى مراجع تخص العديد من الجزيئات الإفرادية.

وفي الختام لابد لي أن أقول بأن هذا الكتاب مثير للاعجاب، ويُعدّ مساهمة هامة في حقل يعاني أصلاً من الافتقار إلى كتب مرجعية تعالج مواضيعها بعمق. وكما هو حال مؤلفات هرزبرغ، سيكون لهذا الكتاب أعظم الفائدة لأغراض يومية وعملية، كما سيقوم مقام كتاب جامعي تمهيدي لأولئك المهتمين جدياً والوافدين حديثاً إلى هذا الحقل.■

2- البيولوجيا في الفيزياء: هل الحياة مادة؟ ★

Biology in Physics: Is Life Matter?

تأليف: ك. بوغدانوف

عرض وتحليل: ر. جونز**

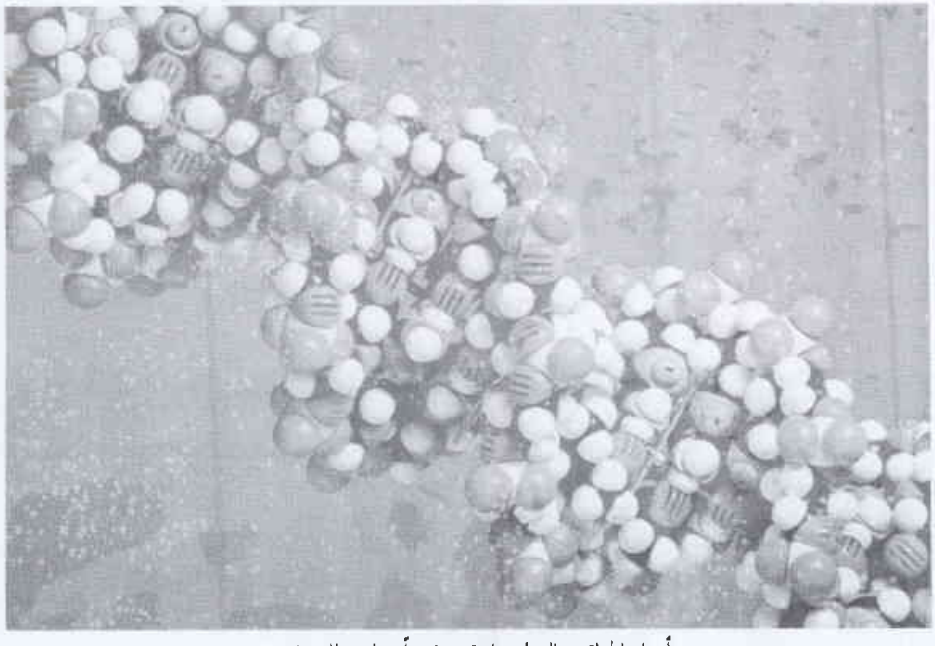
أصبحت البحوث في الفروع العلمية البينية رائجة هذه الأيام، ولا يوجد من بين هذه الفروع البينية أكثر رواجاً مما هو بين الفيزياء والبيولوجيا. ولكن في الوقت الذي تكون فيه مادة الموضوع محدَّدة بشكل جيد نسبياً - كما هي الحال في الفيزياء الكيميائية أو فيزياء المواد، فإن مثل هذا التوافق والانسجام لا نجده فيما يتعلق بمكوّنات الفيزياء البيولوجية، كما أننا لا نجد برنامج بحث واسعاً لاتّباعه.

حتى الاسم مشكوك فيه: "فالفيزياء البيولوجية" خيار واحد، ولكن هذا الاسم سبق أن استُخدِم لشيء مختلف قليلاً، وهو فرع مزدهر من فروع الكيمياء الحيوية، له شركات مهنية ومجلات موجودة من قَبل. والفيزياء البيولوجية بهذا المعنى هي أقرب ما تكون إلى البيولوجيين الذين يستخدمون الفيزياء، منها إلى الفيزيائيين الذين يحلّون المشاكل في البيولوجيا.

ولإعطاء معنىً لما سبق، يتأمل المرء أحياناً العبارة الثقيلة "الفيزياء المستوحاة بيولوجياً"، التي تقترح علينا كيف يجب أن ننفذ نشاطات كهذه، أي بالنظر إلى البيولوجيا والسعي إلى الاستلهام منها، ولكن رغم أن دراسة كهذه تُعيد الفيزياء إلى مقعد القيادة، فإنه من الصعب أن تحدِّد برنامج بحث مترابطاً.

إن الادعاء الذي قدّمه كونستانتين بوغدانوف K. Bogdanov في كتاب "البيولوجيا في الفيزياء" هو أن هذا الكتاب "يغطي جميع النقاط المهمة في الفيزياء البيولوجية الحديثة". ومع ذلك أعتقد أن هذا أبعد ما يكون عن الحقيقة. فبدلاً من ذلك، يجب على المرء أن ينظر إلى الكتاب على أنه سلسلة من النوادر، تروي كل واحدة منها قصة تطبيق نوعي واحد للفيزياء في البيولوجيا. وتتصف هذه المقاربة بأنها غير منتظمة الترتيب، ولكن الكِتَاب، مع ذلك، يثير الإعجاب والاهتمام. وعلى إحدى الصفحات هناك وصف للخفافيش ، وكيف تجوب المكان مستعينة بآلية التوجه بالصدى. في حين نتابع في صفحات قليلة لاحقة حساب رتبة المقدار لتفسير كيف يستطيع لاعب الكاراتيه أن يكسر لوحاً صلباً بيده.

تميل المعلومات أحياناً نحو نوع من الوقائع المهمة، والمفيدة فقط من أجل الأشخاص غريبي الأطوار ممن يرتادون الحانات على وجه الخصوص، كما تعلّمنا، على سبيل المثال، كيف أن الرومان نصحوا باستخدام الأسماك المولّدة للكهرباء لعلاج النقرس. ومع ذلك، بالرغم من أسلوب الكتابة المرِح والجذاب وكذلك العلم البسيط نسبياً، فإن هناك مراجع



أسرار الحياة - البيولوجيا تقدم فرصاً عظيمة للفيزياء.

★ By Konstantin Bogdanov 2000 Academic Press 237.

** ر. جونز: رئيس قسم الفيزياء - جامعة بِرْمِنغهام - المملكة المتحدة.

- العرض والتحليل عن مجلة *Physics World*, June 2000. ترجمة مكتب الترجمة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

حديثة وشاملة إلى حدٍّ ما بحيث يستطيع المرء متابعة موضوع مهم بشكل خاص بمزيد من العمق.

وينحاز المؤلف انحيازاً واضحاً نحو الميكانيك الحيوي وعلم وظائف الأعضاء أكثر من الفيزياء الحيوية الجزيئية. وبلغة الأسلوب والتغطية النقدية، هناك ما يذكّرني بكتب عالِم الحيوان ستيفن فوغِل S. Vogel، وعلى وجه الخصوص بكتابه "نبائط الحياة Life's Devices" (Princeton, University Press, 1989)، الذي يغطي الكثير من الخلفية نفسها ضمن سوية مماثلة.

والمختلِف في هذا الكتاب "Biology In Physics" هو تغطيته الواسعة للفيزياء التي تشكل الأساس في كيفية عمل الأحاسيس. وهناك مواد جديدة في الفيزياء السمعية ومقطع يستحق القراءة يصف الفيزياء البصرية التي تتناول أوجه الاختلاف أو الشبه بين عيون الفقاريات والحشرات والرخويات. وفي أواخر الكتاب يوجد مقطع قصير - ولكنه ممتع - يصف كيف تساعد المغنطيسيةُ الحيوانات في إدراك الاتجاهات.

إن الفرع الذي اعتمد عليه المؤلف من الفيزياء، هو علم الميكانيك التقليدي الواسع وعلم تحريك الموائع - أكثر من اهتمامه بالميكانيك الإحصائي وميكانيك الكم، مع أن هناك أيضاً تنويهاً بسيطاً إلى الجزيئات. وهذا يقود إلى غياب كامل للعديد من القضايا البيولوجية المهمة التي يدرسها الفيزيائيون في وقتنا الحاضر؛ فمثلاً لا نجد أية إشارة إلى انثناء البروتينات أو تسلسل الدنا DNA أو تموّج الأغشية.

أضف إلى ذلك أن الكتاب ككل تنقصه المناقشة، مع أن هناك مساحة محدَّدة بصورة غير واضحة تماماً لتطبيق نظرية المنظومات والعلم اللاخطي في البيولوجيا. وعلى سبيل المثال، تجد فكرتا التعقيد والتنظيم الذاتي تطبيقاتٍ تجريبية في مجالات البيولوجيا، متنوعة مثل تطور الأنواع، وسير المعلومات الحسية، والتكوّن التشكلي. بالطبع هذه الأفكار لا تزال ناقصة التشكل - لا بل غير مهيّأة تماماً. ولما كانت حتماً مثيرة للجدل، فإن غيابها عن الكتاب يجعلنا نشعر بأن المؤلف فاتته فرصة تبنّي بعض الأفكار المهمة حقاً في البيولوجيا.

ومن ناحية أخرى، لا بدّ أن نلاحظ أنه ما من بيولوجي يواجه أي مشكلة فيما يخصّ هذا الكتاب. وتوجد بالتأكيد مزيّة في توظيف هذه المجالات من البيولوجيا، التي تستطيع الفيزياء أن تضع فيها مساهمة لا شك ولا جدال فيها. ولكن الجهد الإبداعي، الذي من شأنه تقديم تطورات كبيرة في الحيّز المشترك للفيزياء والبيولوجيا، سيأتي فقط من هذه المجالات حيث تكون الهوة الفلسفية بين الفيزيائيين والبيولوجيين أعمق، وهذه هي المجالات التي يتساءل البيولوجيون فيها عما إذا كان لدى الفيزيائيين أي شيء يقدمونه للموضوع، وكذلك حيث يتساءل الفيزيائيون عما إذا كان البيولوجيون مقصرين تماماً في فهم الموضوع. على كل حال، هذه المناقشات ستنتظر إلى أن يأتي مؤلف آخر.

لقد استمتعتُ حقاً بقراءة هذا الكتاب، ومع ذلك لست متأكداً تماماً إلى من هو موجّه. فأولئك الذين يدرّسون الفيزياء لغير المتخرجين سيجدون تطبيقات مهمة بعض الشيء لموضوعات مثل الميكانيك والبصريات، اللذين يبرهنان على إمكانية تطبيق الفيزياء على نطاق واسع. وطبعاً يجب أن يشجع الكتاب الفيزيائيين على الاعتقاد بأن هناك مكاناً لطريقة تفكيرهم في البيولوجيا، وهذا بحدّ ذاته إنجاز كبير حتى وإن أُغفلت بعض الموضوعات الأكبر.■

☆ ★ ☆

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 (إنكليزي-عربي) Dictionary of Trchnical Terms in the Field of Atomic Energy (طبعة جديدة موسعة)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25

STUDY OF HEAVY METALS CONTENT IN WASTEWATER PRODUCED FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT*

S. TAKRITI, A. AL-KAID
Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The concentration of heavy metals existed in sewage wastewater has been investigated as a function of time. The results showed that the concentration of heavy metals studied is lower than the limit of the neighbour states.

The results illustrated that we can control the nature of the inlet water and the work of the Damascus plant.

It is found that the concentration of some heavy metals (Pb, Cd and Hg), that are very pollutant, is very low. This means that we can reuse treated wastewater for irrigation.

Key Words

heavy elements, treatment of sewage wastewater plants, atomic absorption, flame spectroscopy.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria.

STUDY OF NOISE LEVEL POLLUTION IN ALEPPO CITY*

M. AL-AOUDAT, Y. MESLMANI
Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Indoor and outdoor sound levels were measured in different sites of Aleppo city, using sound level meter type 2219 (Brueland Kiaer company, Denmark).

The results show that the outdoor sound levels were higher than WHO (World Health Organization) standard by 13-20 dB, 11-15 dB and 12 dB in residential, commercial, and commercial - industrial sites respectively.

Indoor sound levels also were higher than WHO standards by 4.3 to 31 dB in the houses and between 10-26 and dB inside the hospitals.

The study shows that the authorities administration must take all necessary procedures to reduce the sound levels, especially in residential region and in the regions surrounding the hospitals.

Key Words

sound level, noise pollution, decibel, Aleppo, indoor and outdoor sound levels.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

☆ ★ ☆

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

THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE PHASES EQUILIBRIUM OF THE QUASI-TERNARY SYSTEMS*

M. ALIBRAHIM

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

ABSTRACT

The obtained results show the importance of the synergetic effect of an ionic extractant Dodecyl Sulphate Sodium (SDS) with an nonionic extractant Hexa-ethylene glycol mono - n - dodecyl ether ($C_{12}EO_6$) in the studied system, which contains H_2O / $C_{10}H_{22}$. The increase of the SDS concentration relative to $C_{12}EO_6$ in H_2O /$C_{10}H_{22}$ system, leads to the displacement of the solubility curve, cloud point curve, and phase inversion temperature toward high temperature with the increasing of the Decane solubility. The hydrophilic characteristic of the studied system, increases as a result of the formation of mixed micelle ($C_{12}EO_6$ and SDS).

Key Words

nonionic extractant, ionic extractant, microemulsion, amphiphile, cloud point, phase inversion temperature, solublisation curve, micelle.

* A short report on a laboratory scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

IDENTIFICATION OF AROMATIC COMPOUNDS IN SYRIAN COMMERCIAL KEROSENE*

A. HARFOUSH, A. ODEH

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

ABSTRACT

In this work, isolation of the hydrocarbon classes (alkanes, olefins and aromatics) was performed for the different types of Syrian commercial kerosene (normal kerosene, home used kerosene, kerosene for jet and white spirit). Ratio of some classes has been determined in the different types of kerosene using solid-liquid chromatography technique and isolated classes have been analyzed by GC technique in order to determine the necessary experimental conditions to be followed later for the identification of components using GC-MS technique.

Key Words

Syrian commercial kerosene, hydrocarbon classes, aromatics, solid-liquid chromatography, gas chromatography.

* A short report on scientific research achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ground surveys (using radon emanometry, track etching, gamma-ray survey and geochemistry) gave silmilar results, outlining the locations of the radioactive phosphatic formations in the basin, and indicating the dispersion pattern of uranium in the clastic sediments in the surrounding area. The dispersal of uranium from upper Cretaceous phosphatic formation occurs by mechanical weathering and chemical leaching by oxidizing surface waters. A rough estimate is that about one-third of the original uranium content of the Cretaceous sediments has been dispersed. Mechanical erosion is responsible for the main part of this released uranium, which now occurs in Recent sediments. However, the occurrences of spotty secondary U mineralization indicates that another small part of the available uranium must have been chemically leached out by the prevailing oxidizing waters, forming minor surficial minerals.

Key Words

qasser Al-Hallabat basin, Uranium, radiometric survey, exploration, poly-carbonate detectors (PC), radon emanometry, dispersion.

* This paper appeared in *Explor. Mining Geol.*, Vol. 7, No. 4, 1998.

REPORTS

EFFECT OF FILL-PULSE PARAMETERS ON DEEP-LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY PEAKS IN HIGHLY-DOPED P-TYPE INP*

R. DARWICH AND B. MASSARANI

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

ABSTRACT

The effect of different fill-pulse parameters on the characteristics of deep-level transient spectroscopy (DLTS) peaks has been studied in the example of the hole traps $H4_F$ and H5 in electron-irradiated highly-doped p-type InP. It is shown that the saturation peak height, the temperature of the peak maximum and its full width at half maximum (FWHM) depend on the applied reverse bias, the pulse amplitude, its frequency and duration. Our results show that the origin of this dependence is the electric field presented in the space charge region (SCR). The experimental results are analyzed in terms of the effect of the electric field on the refilled traps in the SCR. The appropriate experimental conditions for the correct extraction of information from the DLTS spectrum are defined.

Key Words

deep level, transient spectroscopy, traps, emission rate.

* A short report on a scientific research achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

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

the negative effect of ammonia-N fertilizer on N_2-fixation. Therefore, we recommend irradiating chickpea seeds with a 10 Gy dose before planting in soil containing high levels of mineral nitrogen to reduce its negative effect on N_2-fixation.

Key Words

N_2-fixation, mineral nitrogen, low dose, gamma ray irradiation, ^{15}N.

★ This paper appeared in *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 31 (5&6) 2000.

THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON POTATO MICROTUBER PRODUCTION IN VITRO★

B. AL-SAFADI, Z. AYYOUBI & D. JAWDAT

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

ABSTRACT

The effects of low doses of gamma irradiation and potato (Solanum tuberosum L.) cultivar on the production of microtubers in vitro were investigated. Nodal segments from virus free explants of three potato cultivars (cv.) were placed on tuberization inducing medium and irradiated with 4 doses of gamma radiation (2.5, 5, 10, 15 Gy). Cv. Diamant produced the highest number of microtubers followed by Draga and Spunta. Irradiation of the explants with 2.5 Gy of gamma radiation led to a significant increase in the number of microtubers (38% increase over the control). Average weight of microtubers was not significantly influenced by low doses of gamma irradiation. Draga microtubers were the largest followed by Diamant and Spunta. Microtubers resembled mature tubers in shape (Spunta was oval and Draga and Diamant were spherical). Size of microtubers was crucial for sprouting in vivo. It is suggested that only microtubers larger than 5 mm in diameter (250 mg) be used to produce minitubers in vivo. Since 2.5 Gy is a low irradiation dose, it can be used to enhance tuberization in vitro without fear of genetic changes in the used cultivars.

Key Words

gamma irradiation, microtuber, 6-benzlaminopurine, kinetin, potato.

★ This paper appeared in *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 61, 2000.

RADIOMETRIC PROFILES OF URANIUM DISPERSAL PATTERN ADJACENT TO CRETACEOUS PHOSPHATIC SEDIMENTS IN WADI QASSER AL-HALLABAT BASIN, CENTRAL SYRIA★

Y. JUBELI, M. AL-HILAL, G. RAJJA, A. AL-ALI

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

ABSTRACT

A radiometric survey was carried out over clastic sediments in the immediate vicinity of some phosphatic sediments of Cretaceous age in the Wadi Qasser Al-Hallabat basin of central Syria. The objective was to explore for uranium and to define its dispersion pattern. This was based on ground radiometric surveys and geological studies. All

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

measured and calculated reactivity effects was obtained. Safety margin for the modified case has been slightly enhanced.

Key Words

Research reactor, MNSR, Syria, modification, neutronics design, reactivity coefficient, moderator.

* This paper appeared in *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 36, No. 2, pp. 91-96, 2000.

THE GAS-PHASE ON-LINE PRODUCTION OF VANADIUM OXYTRIHALIDES, VOX_3 AND THEIR IDENTIFICATION BY INFRARED SPECTROSCOPY*

M. D. ZIDAN, A.W. ALLAF

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

ABSTRACT

A new route has been devised, leading to the production of VOX_3 molecules where X = F, Br and I by an on-line process using vanadium oxytrichloride, $VOCl_3$ as a starting compound passed over the following heated salts NaF, KBr and KI at 375, 700 and 550°C, respectively. The products have been characterized by the IR spectra of their vapors. The low resolution gas phase on-line Fourier transform infrared spectra reported for the first time show strong bands with PQR type structure, centered at 1058,1035, 1030 and 1025 cm^{-1} assigned to the $\nu_1(a_1)$, the O = V stretching fundamental mode of VOF_3, $VOCl_3$, $VOBr_3$, and VOI_3, respectively.

Key Words

gas-phase, infrared spectra, on-line production, vanadium oxytrihalides.

* This paper appeared in *Spectrochimica Acta Part A*, 2000.

STIMULATION OF N_2 -FIXATION IN CHICKPEA BY GAMMA IRRADIATION AS AFFECTED BY DIFFERENT LEVELS OF AMMONIUM SULFATE FERTILIZER*

F. KURDALI, M. AL-SHAMMA, AND Z. AYYOUBI

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

ABSTRACT

A pot experiment was conducted under natural climatic conditions to study the effect of low doses of gamma irradiation (0, 5, 10, and 20 Gy) on the performance of winter chickpea (Cicer arietinum L.) in the presence of increased supply of ^{15}N labeled ammonium sulfate (0, 20, 50, and 100 kg N ha^{-1}). Presowing seed irradiation produced a significant increase in dry matter production (up to 36%) and total nitrogen yield (up to 45%). The stimulative effect of irradiation was more pronounced with the application of NH_4^+-N fertilizer. Seed irradiation increased the amount of N_2-fixation by 8-61% depending on the dose and level of NH_4^+-N fertilizer rate. A 10 Gy was found to be the optimal irradiation dose for enhancing N_2-fixation. High levels of NH_4^+-N decreased the percentage and the amount of N_2-fixation, but did not affect nodule formation. However, the presowing 10 Gy irradiation dose reduced

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

CONTROLLING NANOTUBE GROWTH*

H. DAI
Stanford University, Stanford, USA

ABSTRACT

By gaining control over the growth of nanotubes, researchers have created tiny molecular wires, shed light on their properties and produced novel nanoscale devices.

Key Words

multiwall carbon nanotubes, single - wall carbon nanotubes, chemical vapor deposition (CVD), controlled growth, atomic force microscope (AFM), electrical conductance, nanotube chemical sensors, palladium - nanotube sensors.

* This article appeared in *Physics World*, June 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

INDUSTRY SIZES UP NANOTUBES*

W. A DE HEER
the School of Physics, Georgia Institute of Technology, USA
R. MARTEL
the Nanoscale Science and Technology Group, NY, USA

ABSTRACT

Industry has begun to take notice of the unique properties of carbon nanotubes, but many technological hurdles need to be overcome before large - scale applications reach the market.

Key Words

field emission lamps, field emission transistor, nanotube devices, flat - panel display.

* This article appeared in *Physics World*, June 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

NEUTRONICS-DESIGN MODIFICATION OF THE SYRIAN MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR*

I. KHAMIS, K. KHATTAB
Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

An investigation to improve performance of the MNSR is presented. Modification of the available excess reactivity of the core through the addition of 2 mk reactivity is suggested. New operating procedure of the reactor is devised. Measured and calculated effect of temperature reactivity coefficient was evaluated. Good agreement between

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

CARBON NANOTUBES ROLL ON*

ABSTRACT

The remarkable properties of carbon nanotubes may allow them to play a crucial role in the relentless drive towards miniaturization at the nanometre scale.

*This article appeared in *Physics World*, June 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

SINGLE - WALL CARBON NANOTUBES*

PAUL MCEUEN

Lawrence Berkeley National Laboratory, and Department of Physics, University of California at Berkeley, USA

ABSTRACT

Nanotubes are ideal systems for studying the transport of electrons in one dimension, and have commercial potential as nanoscale wires, transistors and sensors.

Key Words

carbon nanotube, graphen, transistor, Coulomb oscillations, 1-D conductor, Luttinger liquid, applications.

*This article appeared in *Physics World*, June 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

MULTIWALL CARBON NANOTUBES*

C. SCHÖNENBERGER

in the Institut für Physik, Universität Basel, Switzerland

L. FORRÓ

in the Institut de Génie Atomique, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland

ABSTRACT

The unique mechanical and electronic properties of multiwall nanotubes are proving to be a rich source of new physics and could also lead to new applications in materials and devices.

Key Words

single - wall nanotubes, multiwall nanotubes, graphite, field emission, applications.

*This article appeared in *Physics World*, June 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

☐ THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON POTATO MICROTUBER PRODUCTION . . . . . B. AL-SAFADI, Z. AYYOUBI, D. JAWDAT 67

☐ RADIOMETRIC PROFILES OF URANIUM DISPERSAL PATTERN ADJACENT TO CRETACEOUS PHOSPHATIC SEDIMENTS IN WADI QASSER AL-HALLABAT BASIN, CENTRAL SYRIA . . . . . Y. JUBELI, M. AL-HILAL, A. AL-ALI, G. RAJJA . . . 72

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ EFFECT OF FILL-PULSE PARAMETERS ON DEEP-LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY PEAKS IN HIGHLY-DOPED P-TYPE INP . . . . . R. DARWICH, B. MASSARANI 81

☐ THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE PHASES EQUILIBRIUM OF THE QUASI-TERNARY SYSTEMS . . . . . M. ALIBRAHIM 82

☐ IDENTIFICATION OF AROMATIC COMPOUNDS IN SYRIAN COMMERCIAL KEROSENE . . . . . A. HARFOUSH, A. ODEH 83

☐ STUDY OF HEAVY METALS CONTENT IN WASTEWATER PRODUCED FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT . . . . . S. TAKRITI, A. AL-KAID . . . 85

☐ STUDY OF NOISE LEVEL POLLUTION IN ALEPPO CITY . . . . . M. AL-AOUDAT, Y. MESLMANI 87

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ MOLECULAR SYMMETRY AND SPECTROSCOPY . . . . . BY: P. R. BUNKER. and PER JENSEN BY: C. JUNGEN 90

☐ BIOLOGY IN PHYSICS: IS LIFE MATTER? . . . . . BY: K. BOGDANOV BY: R. JONES 91

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 100

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ CARBON NANOTUBES ROLL ON 7

☐ SINGLE - WALL CARBON NANOTUBES ..... P. MCEUEN 9

☐ MULTIWALL CARBON NANOTUBES ..... C. SCHÖNENBERGER, L. FORRÓ 15

☐ CONTROLLING NANOTUBE GROWTH ..... H. DAI 21

☐ INDUSTRY SIZES UP NANOTUBES ..... W. A DE HEER, R. MARTEL 27

NEWS

☐ NANO LENSES ..... *NEW SCIENTIST* 34

☐ THE HEAT IS ON IT'S MAKE OR BREAK TIME FOR THE DREAM OF NEVER-ENDING FUSION POWER ..... *NEW SCIENTIST* 35

☐ BEYOND PLATONIC MOLECULES ..... *SCIENCE* 36

☐ SCHRÖDINGER'S CAT IS OUT OF THE HAT ..... *SCIENCE* 38

☐ FLIPPING A MOLECULAR SWITCH ..... *NATURE* 39

☐ QUANTUM DOTS AS TUNABLE KONDO IMPURITIES ..... *SCIENCE* 41

☐ DOUBLE OR QUIT ..... *NEW SCIENTIST* 42

☐ THE MOON ..... *LA RECHERCHE* 46

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ NEUTRONICS-DESIGN MODIFICATION OF THE SYRIAN MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR ..... I. KHAMIS, K. KHATTAB 53

☐ THE GAS-PHASE ON-LINE PRODUCTION OF VANADIUM OXYTRIHALIDES, VOX_3 AND THEIR IDENTIFICATION BY INFRARED SPECTROSCOPY ..... M. D. ZIDAN, A.W. ALLAF 57

☐ STIMULATION OF N_2 -FIXATION IN CHICKPEA BY GAMMA IRRADIATION AS AFFECTED BY DIFFERENT LEVELS OF AMMONIUM SULFATE FERTILIZER ..... F. KURDALI, M. AL-SHAMMA, Z. AYYOUBI 61

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° 72 16th Year MARCH/APRIL 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