عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

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

العدد السادس والسبعون السنة السادسة عشرة تشرين الثاني–كانون الأول 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

☐ بلّورات غرافيت متعدّدة السطوح . . . . . ي. غوغوتس وآخرون. 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ اليورانيوم: من الخامات إلى المركّزات. . . . . .ك. أ. غري. . . . . 12.
ترجمة الدكتور سعد الدين خرفان

☐ ركوب موجة شبكة المورثة p53 . . . . . .ب. فوغلشتاين وآخرون. 20
ترجمة هيئة التحرير

☐ ترانزستور أثر الحقل المصدر للضوء . . . . . ج. هـ. سكون وآخرون. 27
ترجمة هيئة التحرير

☐ إثبات تجريبي لقرينة انكسار سالبة . . . . . د. أ. شيلبي وآخرون. 31
ترجمة هيئة التحرير

☐ الدارات المتكاملة . . . . . ج. موليز. 35
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

☐ القصة الكاملة لـ C_{60}. . . . . 42.
☐ التحدي الأخير لنظرية الكم. . . . . 43.
☐ مشاهدة نفق ذرّي . . . . . 49.
☐ تحطم النوى خلال المرآة . . . . . 50.
☐ رؤية موسعة للبلوتونيوم. . . . . 52.
☐ حقبة جديدة من أجل الإلكترونيات الكمومية . . . . . 53.
☐ مصنع أيونات شامل. . . . . 55.

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

☐ المحاكي الدينامي لمفاعل منسر . . . . . .د. إبراهيم خميس وآخرون. 62
☐ تحديد معامل انعكاسية مرايا المجاوب المركبة في ليزر الحالة الصلبة . . . . د. محمد سوقية وآخرون 67
☐ عدم توازن نظائر اليورانيوم في بعض المياه الجوفية في سورية. . . . . د. عبد الرحمن عبد الهادي وآخرون 73
☐ فصل التكنيسيوم -99m عن الموليبدينوم -99 باستعمال أغشية . . . . . د. توفيق ياسين 74
سائلة مدعمة من كيروسين -TOPO
☐ مساهمات الثورون في قياسات الرادون في البيئة . . . . . د. رياض شويكاني، س. ا. دوراني. 78
☐ التغيرات في إنتاج الغاز الحيوي نتيجةً لنسب مختلفة. . . . . .د. محمد راتب المصري. 80
من بعض المخلفات الحيوانية والنباتية
☐ زلزال بيروت في 9 تموز عام 551م، منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط. .رياض الدراوشة وآخرون 83

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ النمذجة الرياضية لليزر CO_2 النبضي الهجين (ضغط عال–ضغط منخفض) . . . . . د. بشار عبد الغني، مصطفى حمادي 92

☐ تحديد النسبة الآيزوميرية للنظير Nb-95 الناتج من انشطار نواة الثوريوم -232 بنترونات المفاعل . . . . . د. أسامة الحسنية، د. محمد غفر، نعمان سلمان 93

☐ تأثير نوعية وتركيز الأملاح المعدنية على منحني النقطة العكرة للمستخلص $C_{12}EO_6$ . . . . . د. موسى الإبراهيم 95

☐ إمكانية استعمال الكواشف البلاستيكية CR-39 لكشف الأمواج فوق البنفسجية وتقديرها . . . . . د. رياض شويكاني، غسان رجا، عبد المنعم صواف 96

☐ معايرة كربونات وبيكربونات الأمونيوم والأمونيا باستخدام مقياس الكمون . . . . . د. جمال سطاس، د. سعد الدين خرفان، وليد رفول 98

☐ توجيه التناسل، وتشخيص الحمل، وتتبع طبيعة إفراز هرمون البروجسترون في الماعز الشامي . . . . . د. محمد ربيع المرستاني، د. معتز زرقاوي، د. محمد فاضل وردة 99

☐ تأثير رطوبة التربة والسماد البوتاسي على تكوين العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في الحمص (Cicer arietinum L.) والفول (Vicia faba L.) . . . . . د. فواز كردعلي، فريد العين، محمد الشماع 100

كتب حديثة مختارة

☐ البنى اللامتجانسة الكمومية: الإلكترونيات المكروية والإلكترونيات الضوئية . . . . . (تأليف: ف. ف. ميتين وآخرون) (عرض وتحليل: و. إ. بورود) 104

☐ الفرن السحري: البحث عن أصول الذرات . . . . . (تأليف: م. تشاون) (عرض وتحليل: هـ. آ. بيث) 105

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 116

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

بلّورات غرافيت متعدّدة السطوح*

يوري غوغوتس، جوزيف ليبيرا، نيكولاي كلاشنكوف
جامعة إلينوي - شيكاغو - الولايات المتحدة الأمريكية
ماساهيرو يوسيمورا
معهد طوكيو للتقانة - يوكوهاما - اليابان

ملخص

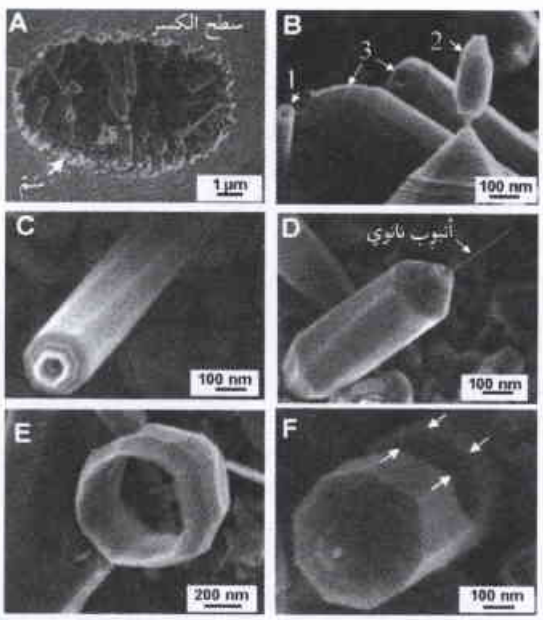
اكتُشفت بُنى متعدّدة السطوح نانوية الحجم ومكروية لها أشكال الإبر والقضبان والحلقات والبراميل والأهرامات المضاعفة الرأس، أُطلق عليها اسم بلّورات غرافيت متعدّدة السطوح (GPCs). وقد وُجِدت هذه البُنى في مسام الكربون الزجاجي. تحوي قلوب هذه البلّورات أنابيب نانوية ووجوه الغرافيت، وتستطيع أن تبدي تناظراً محورياً معقداً من سبع أو تسع طيّات أو أكثر. ورغم أن بعض هذه البلّورات عبارة عن أنابيب نانوية ضخمة الاتساع شعاعياً، فإن مطيافية رامان ومجهريات الإلكترون النافذ تُبيّن أن درجة اكتمالها أعلى من الأنابيب النانوية المتعدّدة الجدران التي لها الحجم نفسه. يصل المقطع العرضي لهذه البلّورات إلى مكرومتر واحد، ويصل طولها إلى خمسة مكرومترات، ويحتمل أن تُنمّى إلى حجوم أكبر من ذلك. تبيّن النتائج الأولية أن لهذه البلّورات ناقلية كهربائية عالية، ولها متانة وثبات كيميائي عالٍ أيضاً.

الكلمات المفتاحية: غرافين، غرافيت، أنبوب نانوي، متعدّد السطوح، مسام.

تمثل شعرات الغرافيت وأنابيب الكربون النانوية أشكالاً غير عادية للكربون القائم على تشويه صفائح الغرافيت. يُشكل الغرافيت المعروف بلّورات سداسية شبيهة بالصفائح مع وجود ربط ضعيف جداً بين طبقات الغرافين. تقدّم شعرات الغرافيت، التي تلتف فيها صفائح الغرافين على شكل لفيفة [1]، صورةً تجاه ما يقابلها من مظهر ألياف الكربون. أثبت اكتشاف أنابيب الكربون النانوية [2] إمكانية تصنيع بلّورات قوية من الغرافيت مؤلفة من الأنابيب المغلقة المتمحورة المزاحمة لموقع الشعرات باعتبارها أكثر المواد المعروفة متانة [3-9].

يصف الباحثون شكلاً آخر من فتيلة قوية قائمة على أساس من الغرافيت، ولكن لها بنية مختلفة عمّا نُشر سابقاً. لقد وجدوا هذا الشكل في مسام مادة الكربون العادية التي حجمها من مرتبة المكرومتر وهي الكربون الزجاجي (GC). لقد نُشر في السابق عن بعض الجسيمات في مسام الكربون الزجاجي، ولكن نوعية الصور المنشورة [10] لم تسمح بتحليل شكلها وبنيتها. اقترحت أطياف رامان تشكّل كربون غرافيتي في مسام الكربون الزجاجي [11]. ووجد الباحثون وحلّلوا بُنى كربون متعدّدة السطوح في مسام الكربون الزجاجي GL-200 الذي صنعته شركة توبو تانسو T. Tanso في اليابان [12].

يُظهر كسر الكربون الزجاجي GL-200 مساماً على طول سطح الكسر (الشكل 1A). تحتوي جميع المسام أشكال بلّورات فريدة (الشكل 1) تتألف من كربون نقي وتملك سطوحاً قاعدية بينية الربط تشكّل فيما بينها زوايا ثابتة. يمكن أن نصف هذه الأجسام بأنها متعدّد سطوح غرافيتي. لقد جرى التأكد من بنيتها الغرافيتية المنتظمة بدراستها



الشكل 1- مجهريات الإلكترون الماسح (SEMs) لبلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح وجدت في مسام الكربون الزجاجي. (A) سطح الكسر يبيّن أنابيب الكربون النانوية وبلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح نامية في السمّ. (B) أنبوب نانوي (1)، مخروط مضاعف (2)، قضبان مكروية (3)، وهي بُنى تقليدية. (C) قضيب ملتوٍ بمقطع عرضي سباعي السطوح. (D) بلّورات غرافيت متعدّدة السطوح ملتوية مع أنبوب نانوي ناتيء. (E) حلقة سطيحية يمكن أن تكون قد تشكلت من تقوّم بنية مخروطية كما هو ظاهر في الشكل (2A). (F) قضيب ملتوٍ له ثلمة ناتجة من تقاطع بلّورة غرافيت متعدّدة السطوح مع بلّورة أخرى آتية من جانب آخر من السمّ والتي قد أزيحت عند انكسار السمّ. تبيّن الأسهم حواف التقاطع.

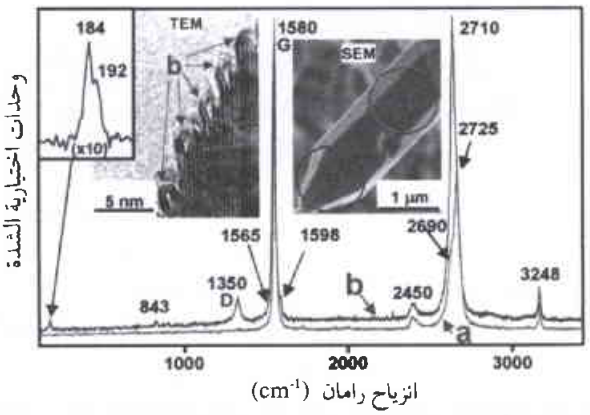
* نشر هذا المقال في *Science*, Vol 290, 13 October 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

بواسطة مجهريات الإلكترون النافذ TEM (الشكل 2). يبلغ قطر البلّورة 1 مكرومتر وطولها 5 مكرومتر. لاحظ الباحثون أنابيب كربون نانوية متعدّدة السطوح يبلغ مقطعها العرضي من 5 إلى 100 نانومتر (الشكل B,1 وD)، وقضباناً نانوية أو شعرات لها مقاطع عرضية ثابتة (الشكل 1C) أو متغيرة (الشكل B,1 وD) يبلغ مقدارها من 100 إلى 1000 نانومتر، وحلقات كربونية سطيحية (الشكل 1E). يمكن أن يكون لها زوايا بينية السطح مختلفة، وكان عدد السطيحيات الملاحظة يتراوح من 7 إلى 14. يملك بعضها بنية لولبية (الشكل C,1 وD) في حين كان بعضها الآخر محورياً تماماً (الشكل 2A). يبيّن تحليل مجهريات الإلكترون النافذ للمقطع العرضي أن لبلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح شكلاً بلّورياً منتظماً بوجوه متساوية (الشكل 2B) عند قياسها بدقة تصل إلى 1%. لوحظت تناظرات من سبع طيّات (الشكل 1C) وتسع طيّات (الأشكال 1F و 2A) وتناظرات أكثر تعقيداً.

ينتهي كثير من البلّورات على شكل قضيب أو برميل يابرة ناتئة (الأشكال 1D و 2A) تظهر كأنها أنبوب نانوي متعدّد الجدران (الشكل 2C)، عادة ما يبلغ قطر قلبه من حوالي 5 إلى 20 نانومتر ويكون له رأس مخروطي أو على شكل قبة أو نصف سوار. أظهرت بعض الإبر بواسطة مجهريات الإلكترون النافذ أهداباً متغايرة اللاتوازن ولامتناظرة، وهذا ما يتعارض مع نمط الأنبوب الأسطواني ويؤكد الهندسة المتعدّدة السطوح. لقد اقتُرح أن التضلع المتعدّد للأنابيب النانوية يجب أن يحصل عندما يبدأ الحجم بالكبر [2,13]. على أية حال، يبيّن الشكل المنتظم لـ GPCs أن طي أسطوانات الكربون لم يكن عشوائياً ولكنه يتبع مبادىء بلّورية معينة (زوايا ثابتة و/أو عدد من السطيحيات). لقد وُصفت كبسولات نصف سوارية نامية على قلوب الأنبوب النانوي [4]، وبنية الـ GPC مشابهة. ومع ذلك، لم يُعلم مسبقاً عن العدد الهائل جداً من طبقات الكربون المنتظمة التي قد يصل عددها إلى 1500 طبقة (الشكل 2D) والتي نمت على قلب الأنبوب النانوي مما أدى إلى بنى معقّدة متناظرة المحور. تقوم بُنى بلّورات GPCs على التناظر الجزيئي لقلوب أنابيبها النانوية التي تُعرف بأنها تملك بنية محور لولب متغيرة [5].

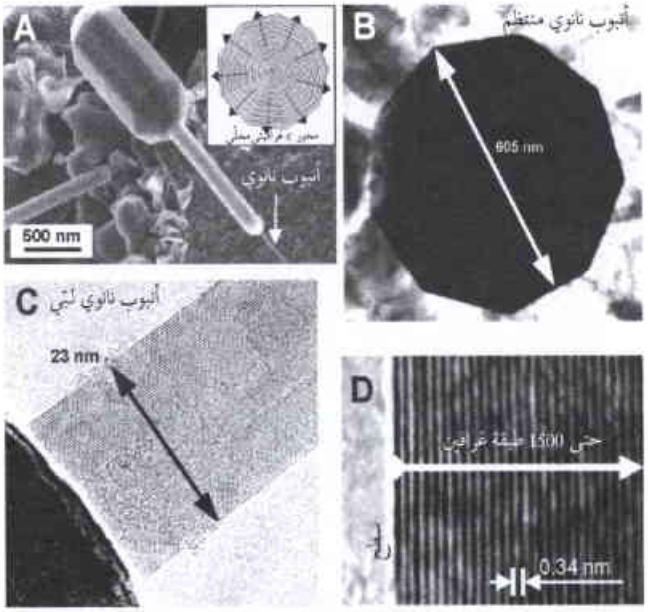
إن ركازة الكربون الزجاجي ليست غرافيتية وتعطي عصابات رامان D و G عريضة لها الشدة نفسها تقريباً [14] في حين تُظهر المسام مادة عالية الغرافيتية وتعطي عصابة D ضعيفة وعصابة G ضيقة. إن نسبة المظهر المميز لكثير من GPCs ساعد في العثور عليها بواسطة طيف المجهر وطيف سجل رامان المميّز (الشكل 3). إن بلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح التي حجمها ما دون المكرومتر غرافيتية ولها عصابة D ضعيفة جداً وعصابة G لها العرض نفسه تقريباً [يساوي العرض الكلي عند نصف النهاية العظمى FWHM المقدار $14\ cm^{-1}$] كما هو الحال في بلّورات الغرافيت الطبيعي [14]. يمكن تفسير ذلك بواسطة عدد أصغر من مستويات الغرافين المحدودة في GPC بالمقارنة مع بلّورات من الغرافيت لها الحجم نفسه. كان حجم البلّورات الأكبر كافياً للتمكن من الحصول على تحليل رامان مكروي مميز من الوجه الجانبي (الشكل 3، طيف a) ومن الرأس (الشكل 3، طيف b). تطابق أطياف وجوه البلّورة الغرافيت المثالي مع عصابة G ضيقة وغياب عصابة D، كما هو متوقع من تحليل الـ TEM لوجوه GPC (الشكل 2D). تُظهر أطياف الرؤوس (الشكل 3، طيف b)



الشكل 3– طيف رامان من الدرجة الأولى والثانية مأخوذ من (a) الجزء السطيحي و (b) رأس بلّورة غرافيت متعدّدة السطوح مبيّنة في صورة مكروية بالمجهر الإلكتروني الماسح.

تؤخذ أطياف رامان بتبئير حزمة ليزر على مساحة تبلغ حوالي مكرومتر واحد (موضحة بدائرة على الشكل). وتؤخذ بعد ذلك صور SEM و TEM للبلّورات لتحليل مورفولوجيتها بشكل أفضل.

يبيّن غياب العصابة D في الطيف من وجه البلّورة أن بلّورة الغرافيت المتعدّدة السطوح مشكّلة من صفائح الغرافين القريبة من الكمال. لوحظت عصابات رامان عند 184 و192 و843 و1350 وcm^{-1} 1581 (مرفوقة بعصابات منحنية عند حوالي 1565 و1600 و1615 cm^{-1}) من أطياف رأس البلّورة. يبيّن المخطط المكروي لمجهريات الإلكترون النافذ النهاية نصف الأسطوانية لسطوح الغرافيت عند منطقة الرأس التي يُعتقد أنها تُنتج العصابات الشبيهة بالأنبوب النانوي في أطياف رامان. تشبه الطبقات الغرافيتية الملتوية (مُعلّمة بأسهم) رأسي أنبوب نانوي من طبقتين في المقطع العرضي.



الشكل 2– تحليل المجهريات الإلكترونية لبنية بلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح. (A) مجهرية الإلكترون الماسح لبلّورة شبيهة بالقلم المستدق مع أنبوب نانوي ناتىء من الرأس. يبيّن الشكل الداخلي مخطط المقطع العرضي لبلّورة غرافيت متعدّدة السطوح. (B) منظر رأسي لمحور البلّورة يبيّن أن صور بلّورة غرافيت متعدّدة السطوح تكون تساعية الوجوه في المقطع العرضي. (C) صورة مجهرية الإلكترون النافذ (TEM) لرأس أنبوب نانوي. (D) صورة هدب شبيكة تقليدي للجدار أُخذ قريباً من السطح على طول محور بلّورة غرافيت متعدّدة السطوح تُظهر بنية غرافيتية مرتبة تماماً بتباعد مستوٍ أصغر من 0.34 نانومتر.

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

عصابة قوية من الدرجة الثانية غير عادية $2700\ cm^{-1}$ تزيد شدتها عن عصابة الغرافيت G وعددٍ من العصابات الضعيفة، بما فيها الثنائية المؤكّدة بشكل واضح عند الثنائية $184/192\ cm^{-1}$، والتي هي في اتفاق تام مع أطياف الأنابيب النانوية الوحيدة الجدار [15]. يمكن أن تنتج مثل هذه الأطياف إذا أمكن حذف جميع الروابط المتدلّية، وذلك بتشكيل طبقات غرافيتية منحنية كما هو مبيّن في الشكل 3 (الشكل الداخلي TEM). يتوافق تقوّس الطبقات الخارجية (1.5 نانومتر) تماماً مع متوسط قطر الأنابيب النانوية الوحيدة الجدار، وقطر العروة الداخلي (0.6 نانومتر) أصغر من الأنابيب النانوية المغطاة C_{60}. لُوحظت عملية شبيهة لحذف الروابط المتدلّية بعد معالجة حرارية لأنابيب نانوية مفتوحة بالأكسدة عند الدرجة 2000°C [16] أو للغرافيت الذي على شكل شعيرات عند الدرجة 2800°C [17]. كما وُصفت صفائح من الغرافيت ذات نهاية محدّدة تماماً لمخاريط من الكربون جرى تصنيعها عند الدرجة 2200°C [17]. وبناءً على أطياف رامان (عصابة G ضيقة، عدم وجود عصابة D، وقريبة من طيف غرافيت مثالي من الدرجة الثانية) ومجهريات الإلكترون النافذ، تكون بلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح أكثر مثالية من الأنابيب النانوية المتعدّدة الجدران التي تُظهر دائماً عصابة D مميّزة [18,14].

وبعكس ألياف الكربون المغرفتة عند الدرجة 3000°C [8] ليس لبلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح طبقات كربون بينيّة غير منتظمة. لم يُظهر اختبار الـ GPCs المعالج في الماء فوق الحرج أي تنميش على طول تقاطع السطيحيات، مما يدل على استمرارية طبقات الغرافين. على أية حال، لُوحظ بعض التنميش البطيء على طول نهايات سطح الغرافين، كما هو متوقع في بُنى العروة. وبدون وجود أي تطابق، لم يوجد في العينات المعالجة أي دليل على عصابات رامان عند $184/192\ cm^{-1}$. فوق ذلك، وبعكس جسيمات الكربون السوداء المتعدّدة الأضلاع [19] لم توجد في الـ GPCs الحدود الحبيبيّة التي تنتج عصابة D قوية في أطياف رامان.

يبيّن الشكل 1F إثباتاً ممتازاً للنمو غير العشوائي ولتسطيح الـ GPCs. إن الانقطاع في نمو الـ GPC الملتوية الناتج عن تقاطع بلّورة أخرى مع البلّورة الأصلية في بداية مرحلة النمو والذي يستمر بعد التجويف، يؤدي إلى العدد نفسه من السطيحات تماماً كما يحصل في نمو البلّورات الكاملة البلّوريّة. ومن أمثلة ذلك بلّورات السربنتين الأسطوانية [20] وشعرات بورات الألمنيوم الجوفاء التي لها مقطع عرضي مربع [21]. على أية حال، لاحظنا بلّورات GPC لها سبعة وجوه وأكثر. ونفترض بأن تسطيحيات الـ GPCs حصلت نتيجة نمنمة الطاقة السطحية بالمقارنة مع الشكل الأسطواني.

يبدأ التبلّور، في الحالة الصلبة لتشكل الغرافيت من الكربون اللابلّوري، في عدّة أمكنة في الوقت نفسه بتشكيل جسيمات سطيحية عشوائية الشكل مؤلفة من متعدّدة البلّورات البينية النمو. إن الـ GPCs بهذا المفهوم ليست متعدّدة البلّورات لأنها تنمو من الطور الغازي. تختلف سطوح الغرافين المطوية والمغلقة فيها عن الغرافيت العادي ولكنها تشبه الأنابيب النانوية المتعدّدة الجدران، التي يمكن تصورها كبلّورات أنبوبية من الغرافيت. وهكذا، يمكن اعتبارها أنابيب نانوية ضخمة متعدّدة السطوح تتمتع بحجم ملفت للنظر ومثالية (الشكل1).

تُقدّم الملاحظات المجهرية بعض المعلومات عن آليات النمو الممكنة لبلّورات الغرافيت المتعدّدة السطوح. نفترض أن الأنابيب النانوية المتعدّدة السطوح تنمو من غاز $C\text{-}H(N_2)$ المحصور في المسام أثناء عملية التفحّم عند الدرجة 2000°C. ورغم وجود كميات قليلة جداً من الحديد في المادة، فإن مطيافية الطاقة المتبدّدة (EDS) لم تُظهر أية شوائب معدنية في المسام، مما يدعم حقيقة النمو اللاحفزي [22] الذي يستطيع أن ينمو بإضافة الكربون ذي الأشكال السداسية والخماسية والسباعية. ويمكن للأنبوب النانوي القريب من المركز (القلب)، الذي يأتي نتيجة الأشكال الخماسية، أن يسبب الشكل المنحني عند الرأس [23].

ويمكن أن يؤدي نمو الـ GPC في كل من الامتداد المحوري والتغليظ الشعاعي إلى الأشكال الهرمية أو المستديرة الرأس (الشكل 1B). ويمكن تفسير تشكل البلّورات العالية المثالية بالنمو البطيء عند الدرجة 2000°C تقريباً التي تُعدّ أعلى مما هو الحال في الأنابيب النانوية الحرارية (~1000°C).

تُبدي هذه البلّورات من حيث خواص الناقلية والضوئية خواص الغرافيت نفسها. وتملك ثباتاً كيميائياً عالياً وتتحمل شروط المحمّ [12] التي تؤدي إلى انحلال الكربون الزجاجي.

لاتتشظى هذه البلّورات إلى قطع عند تحطم الكربون الزجاجي للكشف عن بُنى المسام، أو عندما تُسحق العينات المعالجة حرمائياً لدراستها بمجهريات الإلكترون النافذ أو بطريقة رامان . لم نجد أي سطوح كسر واضحة (ماعدا القليل من رؤوس الأنبوب النانوي). على أية حال، لقد أتلفت حواف وزوايا بعض الجسيمات. يشير وجود الحلقات (الشكل 1E) إلى إمكانية تقوّم القلب الداخلي، كما لوحظ في الألياف المنماة بخارياً [24]. نتوقع لبلّورات الـ GPC هذه أن يكون لها على الأقل الخواص الميكانيكية ذاتها التي في شعرات الغرافيت على طول المحور (طويلة يونغ Young حوالي 800 GPa والمتانة حوالي 20 GPa [1]) مما يجعلها تقترب من الحد النظري للغرافيت. يؤدي اختبار ثلمة نانوية لمسام مصقولة تحوي GPCs إلى قيم قساوة تصل إلى 5.8 GPa، بالمقارنة مع القيمة 3.2 GPa للكربون الزجاجي و 1 GPa تقريباً للغرافيت. إن مجالات طويلة يونغ لـ GPC أكبر بمرتين مما هي عليه في الكربون الزجاجي (23 GPa و 49 تقريباً بالترتيب). تعطي البنية المتعدّدة السطوح لـ GPCs جسوءة أعلى بالمقارنة مع الأنبوب النانوي الأسطواني. الأنابيب النانوية مستقيمة ولاتنحني نتيجة ثقلها أو بسبب عيوب مندمجة (الشكل 2A). وهكذا تقدّم الـ GPCs تقوية أفضل للمتركبات بالمقارنة مع الأنابيب الأسطوانية والألياف المنماة بخارياً والشعرات بسبب شكلها السطيحي. لاتستطيع الطبقات الكربونية في الـ GPC أن تدور بالنسبة لبعضها البعض مما يؤدي إلى ثبات فتل لـ GPC. يجب منع فشل وضع "السيف في الغمد" من أجل القضبان المفتولة (الشكل 1C). وعلى أية حال، حتى في البلّورات المتناظرة محورياً، يمكن لنهاية الحافة السوارية أن تُحدث ارتباطاً متصالباً مع طبقات الغرافيت مبقية إياها معاً مما يزيد في متانة الجسيم ككل.

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

تمثل الـ GPCs مجموعة من البلّورات المنخفضة البعد التي لها عدة أشكال تمّ التنبؤ عن بعضها (الشكل السواري [25]) أو لوحظت تجريبياً في الأنابيب النانوية [26]، ولكن لم يُكتب عنها كثيراً، أو في المراجع التي عثرنا عليها. ليس من الغريب إمكانية أن يعطي الكربون، نتيجة قابليته للوجود في عدة أشكال بلّورية، بنية بلّورية لا تلاحظ في المواد الأخرى.

يمكن أن يُظهر اكتشاف البلّورات المتناظرة الضئيلة الأبعاد غير المعروفة سابقاً بداية عهد جديد من علم البلّورات شبيه باكتشاف أشباه البلّورات.

يعطي تغليظ الأنابيب النانوية بإضافة طبقات من الكربون جسيماتٍ GPC مجهرية تصل ثخانتها إلى مكرومتر واحد مع بنية غرافيتية مثالية وتناظر محوري معقّد غير عادي مؤلف من سبع أو تسع طيّات أو أكثر. وباعتبار أن حجم هذه الجسيمات محكوم بحجم السمّ في الكربون الزجاجي (حوالي 5 مكرومتر) فإنه من الممكن نمو بلّورات أكبر. وهكذا، فإن هذا الأمر يمكن أن يقدّم طريقة لتكبير الأنابيب النانوية إلى حجم قلم الرصاص مع الاحتفاظ بمثاليتها، وإذا ما تحقق ذلك عملياً يمكن الحصول على كربون مجهري وجهري أنيق وبدرجة من المثالية لم تُعرف من قبل.

REFERENCES المراجع

[1] R. Bacon, J. Appl. Phys. 31, 283 (1960).

[2] S. Iijima, Nature 354, 56 (1991).

[3] Polyhedral carbon nanotubes have been reported (4-7) but did not receive much attention. Faceting of vapor-grown carbon fibers occurs after heating to 3000°C (8). Of all carbon fibers, those are the closest to crystalline graphite in crystal structure and properties. However, faceted carbon whiskers have not been reported. Partial graphitization and formation of polygons was observed after heat treatment of carbon black at 2800° C (8). Polyhedral nanoparticles (5 to 30nm) made of concentric layers of closed graphene sheets with a nanoscale cavity in the center were produced at very high temperature in arc plasma (9). They porvide further evidence that nonplanar graphite crystals can exit. However, transformation of carbon polyhedra to onions under electron irradiation (9) suggested their instability. No other polyhedral carbon structures have been reported so far.

[4] P. M. Ajayan in Carbon Nanotubes: Preparation and Properties, T. W. Ebbesen, Ed. (CRC Press, Boca Raton, FL, 1997), PP.111-138.

[5] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. C. Eklund, Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes (Academic Press, Burlington, Ma, 1996).

[6] S. Iijima, P. M. Ajayan, T. Ichihashi, Phys. Rev. Lett. 69, 3100 (1992).

[7] Iijima, Mater. Res. Soc. Bull. 19, 43 (1994).

[8] M. Endo, R. Saito, M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, in Carbon Nanotubes: Preparation and Properties, T. W. Ebbesen, Ed. (CRC Press, Boca Raton, FL, 1997), pp. 35-110.

[9] D. Ugarte, in Carbon Nanotubes, M. Endo, S. Iijima, M. S. Dresselhaus, Eds. (Pergamon, Oxford, 1996), pp. 163-167.

[10] A. S. Fialkov, Carbon, Intercalation Compounds and Composites on its Base (in Russian) (Aspect Press, Moscow, 1997).

[11] K. Ray III and R. L. McCreery, Anal. Chem. 69, 4680 (1997).

[12] It was made from phenolic resin by carbonization at 2000°C in N_2 atmosphere at ~10 torr. The density of GC was 1.48 g/cm^3 with an open porosity of < 1%. Its microstructure and properties are typical of other GCs. Total content of impurities (Si, Al, Ca, Ti, V, and Fe) is < 100 parts per million. Hydrothermal treatment under 100 MPa at 750°C for 24 hours dissolves the GC matrix and allows for separation of stable crystalline structure contained in the pores for TEM and Raman spectroscopy studies. The composition and structure of GPC were examined with the use of Raman spectrocopy, which is the most powerful technique for indentifying carbon allotropes (14), and electron microscopy. A. Renishaw 2000 Raman microspectrometer with an Ar ion laser (514.5-nm excitation wavelength) was used. The TEMs used were a JEOL 3010 (300 kV) with the lattice resolution of 0.14 nm and JEOL 2010F (200 kV) with the lattice resolution of 0.1nm. High resolution in the scanning mode were achieved with the use of the JSM-6320 field emission scanning electron microscope (SEM). This microscope is also fitted with a Noran Voyager EDS system with a light element x-ray detector analyzer. Particles were deposited onto a Si wafer or polished aluminum sample holder for Raman and SEM studies, or onto a lacy carbon grid for TEM analysis. Raman and SEM studies were also conducted on fracture surface of GC pieces.

[13] M. Liu and J. M. Cowley, Ultramicroscopy 53, 333 (1994).

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

[14] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, M. A. Pimenta, P. C. Eklund, in Analytical Applications of Raman Spectroscopy, M. Pelletier, Ed. (Blackwell Science, Oxford, 1999), pp.367-434.

[15] A. M. Rao, et al., Science 275, 187 (1997).

[16] D. Ugarte, T. Stockli, J. - M. Bonard, A. Chatelain, W.A. Deheer,in The Sience and Technology of Carbon Nanotubes, K. Tanaka, T. Yamabe, K. Fukui, Eds. (Elsevier, Amsterdam, 1999), pp. 128-142.

[17] H. Murayama and T. Maeda, Nature 345, 791 (1990).

[18] H. Hiura, T. W. Ebbesen, K. Tanigaki, H. Takahashi, Chem. Phys. Lett. 202, 509 (1993).

[19] R. D. Heidenreich, W. M. Hess L. L. Ban, J. Appl. Crystallogr. 1, 1 (1968).

[20] E. J. W. Wittaker, Acta Cryst. 21, 461 (1966).

[21] Y. G. Gogotsi, V. P. Yaroshenko, F. Porz, J. Mater. Sci. Lett. 11, 308 (1992).

[22] T. W. Ebbesen, Phys. Today June, 26 (1996).

[23] C. J. Brabec, A. Maiti, C. Roland, J. Bernholc, Chem. Phys. Lett. 236. 150 (1995).

[24] K. Tanaka et al., in the Science and technology of Carbon Nanotubes, K. Tanaka, T. Yamabe, K. Fukui Eds. (Elsevier. Amsterdam, 1999), pp. 143-152.

[25] S. Ihara and Itoh, in Carbon Nanotubes, M. Endo, S. Iijima, M. S. Dresselhaus, Eds. (Pergamon, Oxford, 1996), pp.77-85.

[26] E. Osawa, M. Yosshida, M. Fujita, Mater. Res. Soc. Bull. 19, 33 (1994).

[27] Supported in part by Campus Research Board of the University of Illinois at Chicago and the Research Institute for Solvothermal Technology, Japan. The electron microscopes used in this work are operated by the Research Resources Center at the University of Illinois at Chicago. The JEM-2010F purchase was supported by the NSF.■

☆ ★ ☆

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

اليورانيوم: من الخامات إلى المركّزات*

ك. أ. غري
معهد اليورانيوم (68 Knightsbridge London SW1X 7LT)

ملخص

ساد الاتجاه خلال الأعوام الخمسين الأخيرة، منذ أن بدأت الوحدات الضخمة لتعدين اليورانيوم واستخلاصه، نحو الزيادة في مردود الكلفة، وأمان العاملين، والأمان البيئي، وفي عدد الخيارات التقانية المتاحة لمهندس المناجم وخبير الفلزات. ويتأثر قرار أي شركة تعدين بخصوص اتباع طريقة معينة لتعدين اليورانيوم أو معالجة خاماته بعدد من العوامل الخاصة بالموقع، والتي لا تشمل جيولوجية المتوضع فقط بل أيضاً حجمه وموقعه، ومدى توفر التجهيزات واليد العاملة والخبرة السابقة في معالجة متوضعات مماثلة، وكذلك تكلفة التعدين والمعالجة. وسوف تستعرض هذه الورقة، خطوة بخطوة، طرائق التعدين وعمليات الاستخلاص المستخدمة حالياً في مراكز إنتاج اليورانيوم في الغرب والشرق، وتخلص إلى جدول مرجعي يسهل الرجوع إليه.

الكلمات المفتاحية: تعدين الخامة، إنتاج، يورانيوم، ترسيب المنتج، معالجة الخامة، تصريف النفايات، تجفيف المنتج وتحميله.

خلفية تاريخية

اكتشف اليورانيوم لأول مرة عام 1789 من قبل الصيدلي الألماني مارتين هاينريش كلابروث في مخبره في برلين. وقد تحقق اكتشافه بينما كان يجري تجاربه على عينة من خامة مجهولة متحصل عليها من المناجم في "جواشيمثال" الواقعة حالياً في جمهورية التشيك. وقد اعتقد في ذلك الوقت أن العينة المذكورة هي خامة التوتياء والحديد، لكنها كانت بالواقع خامة اليورانيوم المعروفة باسم "بتشبلند pitchblende" (يورانينايت uraninite).

قام كلابروث بحلّ البتشبلند في حمض الآزوت ثم عادل المحلول بكربونات البوتاسيوم مما أدى إلى تشكل راسب أصفر (U_3O_8). واعتقد كلابروث أن هذا الراسب يحتوي على عنصر جديد، ولهذا حاول اختزاله بتسخينه بشدة في بوتقة من فحم الخشب. وقد أعطى هذا مسحوقاً أسود وصفه فيما بعد على أنه "نوع غريب من شبه المعدن". وعندما اعتقد بأنه عزل المعدن أعلن اكتشافه وأطلق عليه اسم "يورانيوم" على شاكلة اسم كوكب يورانوس المكتشف حديثاً، وكان ذلك في محاضرة ألقاها أمام الأكاديمية البروسية للعلوم في برلين بتاريخ 24 أيلول من عام 1789. ولأكثر من 50 عاماً ساد اعتقاد بأن هذه المادة، التي تُمثل بالفعل أكسيد اليورانيوم (UO_2)، هي اليورانيوم ذاته. وظل الأمر كذلك حتى عام 1841 عندما تمكن العالم الفرنسي إيوجين ملشيور بليغو E.M. Peligot من عزل المعدن.

ووجد بليغو أن كلور اليورانيوم اللامائي (UCl_4) يعطي الكثير من مكوناته عند تفاعله مع الماء، وبذلك استنتج أن المادة التي اعتُقد سابقاً أنها اليورانيوم كانت في الحقيقة أكسيد اليورانيوم الذي لا يمكن اختزاله بوساطة الهدروجين أو الكربون. وقام الباحث بتسخين حفنة من UCl_4 مع البوتاسيوم في بوتقة من البلاتين مما تسبّب في تفاعل عنيف أدى إلى ابيضاض البوتقة من شدة الحرارة؛ وعند إزاحة الزيادة من البوتاسيوم وكلور البوتاسيوم تبقى مسحوق معدن اليورانيوم الذي يختلف تماماً عن المادة التي اعتبرت سابقاً على أنها اليورانيوم.

وفي عام 1903، أدى استخلاص ماري كوري لعنصر الراديوم، إلى إقامة عدد من منشآت استخلاص الراديوم في الأعوام القليلة التي تلت، كما أدى إلى أول تعاظم سريع في تعدين اليورانيوم. ومنذ ذلك الوقت، وبسبب تنامي الطاقة النووية وتطبيقاتها، أصبح اليورانيوم مصدراً للطاقة فائق الأهمية مما أدى إلى مزيد من القفزات في تعدين اليورانيوم وفي التطويرات التقانية لعمليات استخلاصه.

الحالة الراهنة

يوجد في الوقت الحاضر 55 منجماً لتعدين اليورانيوم موزعة في 21 من دول العالم، علماً بأن 32% من الإنتاج العالمي يأتي من كندا بمفردها. ويبين الجدول 1 أن حوالي 84% من جملة الإنتاج العالمي لليورانيوم خلال عام 1992 يأتي من 10 دول فقط، وأن جزءاً كبيراً منه يأتي من رابطة الدول المستقلة (CIS). هذا، ويبين الجدول 2 الشركات الأولى في العالم العاملة في تعدين اليورانيوم مرتّبة حسب إنتاجها في عام 1992. ويؤكد هذا الجدول أن صناعة إنتاج اليورانيوم قد أصبحت بالفعل مندمجة بحيث يأتي 67% من جملة الإنتاج العالمي من 10 شركات فقط، كما أن 30% منه يأتي من شركتين فقط.

* نشر هذا المقال في مجلة *The Nuclear Engineer*, Vol. 34, No. 1, 1993. ترجمة الدكتور سعد الدين خرفان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الجدول 1- الدول العشر الأولى على مستوى العالم، والمنتجة لليورانيوم في عام 1992.

الدولة	إنتاج عام 1992 (طن يورانيوم)	% من الإنتاج العالمي
كندا	9385	32.5
النيجر	2965	10.3
كازاخستان/ كيرغيستان	2500	8.7
أستراليا	2346	8.1
روسية	2200	7.6
فرنسة	2127	7.4
أوزبكستان/ طاجكستان	2070	7.2
الولايات المتحدة الأمريكية	1808	6.3
جنوب أفريقية	1769	6.3
ناميبيا	1692	5.9
المجموع	**23862**	**84.1**
المجموع العالمي	**34302**	**100.0**
(المصدر: معهد اليورانيوم)		

الجدول 2- الشركات العشر الأولى على مستوى العالم مرتّبة حسب إنتاجها لليورانيوم في عام 1992.

الشركة	البلد	إنتاج عام 1992 (طن يورانيوم)	% من الإنتاج العالمي
Cameco	كندا	5200	15.0
Cogema	فرنسة	4200	12.0
Uranerz	ألمانية	2600	7.5
KATEP	كازاخستان	2500	7.3
Priargunsky	روسية	2200	6.4
Navoi	أوزبكستان	2070	6.0
Diamo	جمهورية التشيك	1600	4.7
ERA	أسترالية	1145	3.3
Anglo American	جنوب أفريقيا	1070	3.1
RTZ	ناميبية	700	2.0
المجموع		**23286**	**67.3**
المجموع العالمي		**34421**	**100.0**
(المصدر: معهد اليورانيوم)			

طرائق تعدين اليورانيوم

إن الطريقتين الأكثر استخداماً في تعدين اليورانيوم هما المنجم المفتوح والتعدين تحت سطح الأرض. وهذا موضّح في الجدول 3 الذي يرتب في قائمة المناجم العشرة الأولى في العالم الغربي. أما الطريقة الثالثة وهي الإذابة أو التعدين في الموقع فلا تزال محدودة التطبيق. واختيار طريقة التعدين يعتمد أساساً على تكاليفها النسبية والتي تتأثر بعوامل مثل حجم متوضعات الخام وشكلها ونوعيتها وعمقها وثخانتها. وتشتمل عادة عملية اتخاذ القرار على تقدير الحدود القصوى للتعدين (أي الحجم الأعظمي للمادة التي يمكن استغلالها بربح) وعلى تحليل اقتصادي للعملية (أي تحليل الحساسية على البارامترات ذات الأهمية الكبيرة مثل نوعية التغذية ومعدلات التعدين والطحن والاسترداد من الطحن ورأس المال اللازم... إلخ)؛ وبعد ذلك يغدو ممكناً اتخاذ قرار اقتصادي بالاعتماد على أعظم قيمة صافية راهنة أو أعظم معدل عائد على الملكية. وفي بعض الحالات، تكون المحصلة مزيجاً من عدة طرائق في آن واحد أو على التسلسل. ويجمع الملحق أ، في نهاية هذه المقالة، بيانات حول جميع مناجم اليورانيوم العاملة حالياً والاحتياطية في العالم وطرائق التعدين والطحن المستخدمة كما هي الحال عليه في 31 كانون الأول من عام 1992، كما يرتب هذه المعلومات في جدول مرجعي مريح وسهل الاستخدام. وينبغي الرجوع إلى هذا الملحق عند قراءة الأقسام المتعلقة بطرائق تعدين وتصنيع خامات اليورانيوم.

التعدين بالمنجم المفتوح

يستخدم التعدين بالمنجم المفتوح عندما تكون المتوضعات ضحلة وعندما تتكون الطبقة الساترة من تربة مندمجة مخلخلة. وتتيح طرائق التعدين بالمنجم المفتوح درجة من الانتقائية أعلى من طرائق التعدين تحت الأرض، كما يمكن من خلالها استرداد المادة الأقل جودة.

وفور تحديد جسم الخامة، يجري تصميم المنجم وتحديد طريقة إزاحة النفايات وتصريفها. وبسبب الحجم النسبي للنفايات، فإن لإزاحتها أعظم التأثيرات الإجمالية الاقتصادية على عملية التعدين. وكلما كان التصميم

الجدول 3- المناجم العشرة الأولى لعام 1992 في العالم الغربي فقط.

المنجم	البلد	المالك الرئيسي	نوع المنجم	الإنتاج عام 1992 (طن U)	% من الإنتاج العالمي
Key Lake	كندا	Cameco/Uranerz	منجم مفتوح	5461	15.9
Rabbit Lake	كندا	Cameco/Uranerz	منجم مفتوح/ تحت الأرض	2154	6.3
Akouta	النيجر	Cogema	تحت الأرض	1977	5.8
Rössing	ناميبية	RTZ	منجم مفتوح	1692	4.9
Olympic Dam	أسترالية	WMC/BP	ناتج ثانوي (نحاس)	1189	3.5
Ranger	أسترالية	ERA	منجم مفتوح	1145	3.3
Vaal Reefs	جنوب أفريقية	Anglo American	ناتج ثانوي (ذهب)	1070	3.1
Arlit	النيجر	Cogema	منجم مفتوح	988	2.9
Herault	فرنسة	Cogema	منجم مفتوح/ تحت الأرض	885	2.6
La Crouzille	فرنسة	Cogema	منجم مفتوح/ تحت الأرض	805	2.3
المجموع العالمي				**17166**	**50.6**
(المصدر: معهد اليورانيوم)					

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

لإزاحة النفايات أفضل، كانت الاقتصاديات الخاصة بالمنجم أفضل. ويمكن تقريباً تقسيم وظائف عملية التعدين بالمنجم المفتوح إلى كشف أو تعرية المنجم، وتعدينه، ثم نقل الخامة إلى المطحنة. وتتطلب كل من هذه الوظائف تجهيزات وطرائق مختلفة تتوقف على نوعية الصخر.

والمعدات المستخدمة في تعرية الساتر تشمل الجرّارات المجهزة بمزقات وقاشطات وجاروفات تدار بطاقة الديزل وأسطولاً من الشاحنات الكبيرة. وتعد التعرية بالقاشطات الطريقة الأساسية المستخدمة من أجل الصخور الطرية؛ ولكن، مع الزيادة في عمق الحفر تصبح طريقة القشط هذه غير عملية بالنسبة لساتر يُزاح إلى سطح المنجم حيث أضحت المسافات كبيرة جداً وأضحى الرفع العمودي عالياً جداً. لذلك، تستخدم كبديل عندئذ أساطيل من الشاحنات مع الجاروفات والمحمّلات. وغالباً ما يجري رمي النفايات في مناطق من المنجم سبق تنقيتها وتعدينها وذلك لتقليل مسافات النقل إلى الحد الأدنى وللمساعدة في استصلاح وإعادة تأهيل المنجم.

وبعد إزاحة الساتر العلوي، تستخدم مسابر قياس الإشعاع من أجل تعيين الحدود الدقيقة لمناطق توضع الخامة. ويُعدّ إحكام المسح وسيلة هامة في أي عملية للتعدين حيث أنه يسهل عمليتي الانتقاء والتحكم بالنوعية. وتستخرج الخامات من مواقعها باستخدام الجاروفات والمحمّلات الأمامية والرفوش المدارة بالديزل وكذلك الساحبات والعزّاقات. ويجري رصد مستمر لعملية التعدين بواسطة ماسحات إشعاع محمولة مجهزة بمكاشيف وميضية.

ويجري حفر خنادق محيطية في أرضية المنجم للتحكم باقتحام المياه الجوفية أثناء التعدين؛ وتتجمع المياه الجوفية في هذه الخنادق ثم تضخ منها إلى مواقع حيث يمكن استخدامها في عمليات الطحن والتصنيع اللاحقة. والتخلص من المياه يُعد أمراً ملحاً بشكل خاص أثناء عمليات التعدين الانتقائية حيث توجد إمكانية لحدوث تمديد مفرط بهذه المياه.

التعدين تحت سطح الأرض

تتطلب متوضعات الخام الأعمق تعديناً تحت سطح الأرض. وبالإمكان استخدام عدد متنوع من التقانات بسبب اختلافات في شكل وأجسام الخامات وحجمها ونوعيتها. ففي المتوضعات الصغيرة للخام تستخدم – على سبيل المثال – أنفاق أفقية أو منحدرات تتجه نحو جدار وادٍ أو أرض منحدرة للوصول إلى جسم الخامة. ويجري استخراج الخام بطرائق التعدين المكشوف open cast mining التي غالباً ما تدعم بسقف مثبت بصوامل أو بالأعمدة في حالة المساحات الأوسع. ويسترد الخام بواسطة الحفر اليدوي والنقل باستخدام محملات ومزيحات أمامية. وقد تغرز أسطوانة شاقولية shaft مغلقة بالإسمنت لتصل إلى جسم الخامة في حال المتوضعات الأضخم. وتستخدم حفيرات (وهي أنفاق تمتد أفقياً من الأسطوانة الشاقولية عند مستويات مختلفة) من أجل الوصول إلى متوضعات الخامة. وتشمل تقنيات التعدين عدداً من الطرائق – كطريقة الغرفة والعمود room - and - pillar، وطريقة تراجع الجدار الطويل longwall retreat، وطريقة الدعامات panel method. ويتوقف الاختيار لواحدة منها تبعاً لاستقرارية الأرض وحجم جسم الخامة وشكلها وكلفة استخلاصها. وينجري ثقب الخام آلياً ويُنسف ثم ينقل بواسطة حاويات إلى الممر الرئيس لنقل الخام. وينقل الخام تحت الأرض إما بواسطة عربات ذات سكة تسير إما بالكهرباء أو الديزل أو بواسطة عربات بدون سكة ذات عجلات مطاطية.

ويسبب اقتحام المياه الجوفية مشكلة لعملية التعدين تحت الأرض. وتضخ هذه المياه من المنجم وتستخدم عادة كمياه عمليات في مصنع الخامات. وتشكل عمليتا التهوية وضبط الإشعاع جزءاً أساسياً في أي عملية تعدين لليورانيوم، وبخاصة في المناجم تحت سطح الأرض. ويجري وصل مراوح ضخمة مع فتحات تهوية لسحب هواء المنجم الذي يدخل إلى ممره الشاقولي وبذلك يمنع أي تراكم لغاز الرادون. ويُعدّ التحكم الدقيق جداً بسويات الإشعاع في مناطق العمل أمراً ضرورياً للمحافظة على سويات تعرض منخفضة لعمال المناجم.

التعدين بالنض في الموقع

تتبع طريقة التعدين بالنض في الموقع in situ leaching فقط في حال وجود متوضعات رملية مفككة لليورانيوم تقبع تحت مستوى الماء الأرضي ضمن مكمن مائي محصور. ويجب أن يكون معدن اليورانيوم في الخامة من نوع قابل للمعالجة بطريقة النض المقترحة. ورغم أن هذه التقنية تمنح خياراً صالحاً لاسترداد اليورانيوم من متوضعات متدنية النوعية، إلا أنها مقيدة، ليس بموقع السوق فقط، وإنما بعدد المتوضعات المناسبة للخامة.

تحفر آبار حقن لإدخال محاليل النض وآبار إنتاج لإخراج محلول اليورانيوم المهيأ، وتصل هذه الآبار في عمقها إلى 800 قدم ويجري تبطينها بمادة الـ PVC. ويمكن ضبط الجريان البيني ما بين الآبار والمكمن المائي ذي التدفق المحلي من خلال تغيير معدلات الجريان الداخل، وبتعديل المسافات المباعدة بين الآبار، وبترتيب مواقع الآبار بحيث تشكل زوايا محددة مع اتجاه جريان المياه الجوفية. وتعاني المتوضعات العميقة من مشاكل تخرب في التغليف وأداء ضعيف للآبار.

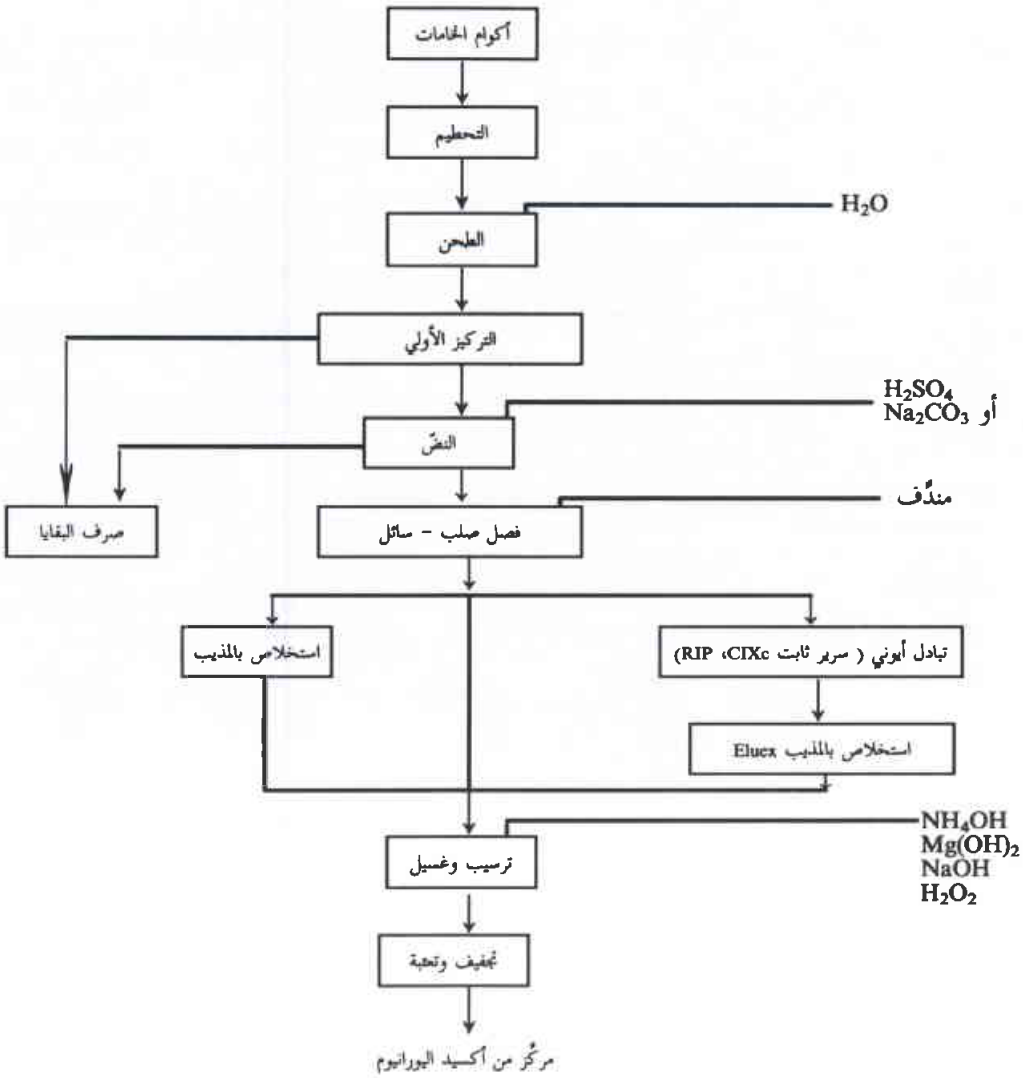
وخلال التشغيل تتولد نفايات سائلة وأخرى صلبة يجري التخلص منها في منشآت مرخصة لهذا الغرض. وبعد استنفاد الخامة، ينبغي أن تعالج المياه الدوّارة بحيث تستعيد المياه الجوفية الحد الأدنى لمواصفاتها النوعية السابقة. وفي بعض المتوضعات، قد يكتفى بعملية غسيل بسيطة نسبياً، في حين تتطلب مواقع أخرى مجموعة أكثر تعقيداً من المعالجات الكيميائية والغسيل. وبعد فترة من الاستقرار والرصد، ينبغي أن تخضع عملية إعادة تأهيل المياه الجوفية للفحص من قبل الهيئات المختصة المناسبة. وفي حال قبول نتائج الفحص يجري إغلاق الآبار وانتزاع رؤوسها، ثم تسوى وتنعم طبقة التربة السطحية ويعاد بذرها بالأنواع النباتية الملائمة.

معالجة الخامة

تتميز عمليات التعدين لمعالجة خامات اليورانيوم بما يستخدم من طرائق النض وطرائق تنقية محاليل النض وتركيزها. ويبين الشكل 1 مخطط تدفق بسيط لمعالجة اليورانيوم بدءاً من مصدر المادة الخام وانتهاء بمركّز أكسيد اليورانيوم الجاهز للتنقية.

ويجب التأكيد على أن اختيار طريقة استخلاص اليورانيوم هو بحد ذاته مشروع نوعي شديد التأثر بالجيولوجيا وعلم الفلزات. ويبين أيضاً

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



الشكل 1– مخطط تدفق مبسط لعملية تصنيع خام اليورانيوم.

الملحق أ قائمة بطرائق معالجة خامات اليورانيوم المستخدمة حالياً في مناجم اليورانيوم العاملة والاحتياطية في العالم بتاريخ 31 كانون الأول 1992.

تحضير خام التغذية

أ – *التحطيم والطحن.* على الرغم من الاختلاف الكبير في تحضير خام التغذية تبعاً لأنواع مختلفة من خامات اليورانيوم، تستخدم أنظمة تحطيم وطحن قياسية نسبياً من أجل إنقاص حجم الحبيبات. وقد استخدمت في البدايات دارات التحطيم والطحن بالكرات والقضبان التقليدية، لكن المستخدم حالياً، على نطاق واسع، هو الطحن شبه ذاتي التولد semi-autogenous grinding (SAG) أو ذاتي التولد (AG) في حال كونهما ملائمين للخامات مع استبعاد عملية التحطيم. وتجنب عملية التحطيم يؤدي إلى تقليل الغبار أو أخطار التعرض للإشعاع في موقع المصنع. وبينما يستخدم الطحن ذاتي التولد صخوراً مؤهلة وقاسية كوسط وحيد للطحن، يستخدم الطحن شبه ذاتي التولد وسطاً للطحن تشكل فيه الكرات الفولاذية حجماً يراوح ما بين 2 و15%؛ أمّا في مطاحن الكرات ball mills فتشكل كرات الطحن الفولاذية ما يقارب 40% من حجم وسط الطحن المستخدم فيها.

ب – *التركيز الأولي.* تخضع خامات اليورانيوم إلى عملية تركيز أولي قبل النضّ وذلك لزيادة جودة خام التغذية، وهذا له فائدة اقتصادية حيث ترتفع إنتاجية اليورانيوم عن تلك التي تحددها السعة التشغيلية للمصنع. كذلك تزيح هذه العملية عناصر معدنية يحتمل أن تسيء إلى عملية نضّ اليورانيوم واسترداده، كما تعطي مخلفات نظيفة يمكن رفضها والتخلص منها بسهولة دون أن تسبب إشكالات بيئية. لكنه، من الصعب إجراء عملية التركيز الأولي لمعظم خامات اليورانيوم نظراً لطبيعة الانتشار الناعم لليورانيوم فيها، ولهذا يُلجأ، عوضاً عن ذلك، إلى اختيار عمليات منخفضة التكلفة مثل النضّ في الموقع وغسيل الأكوام. وتعتمد عمليات التركيز الأولي على اختلافات في الخصائص الفيزيائية (كالحجم والشكل والكثافة وخواص السطح)

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

الملحق أ

مناجم اليورانيوم في عام 1992.

The Nuclear Engineer, Volume 34, No. 1

Annex A
1992 OPERATING URANIUM MINES

URANIUM INSTITUTE

البلد	اسم المنجم	طريقة التعدين	المالك الرئيس	الإنتاج عام 1992 (طن U)	السعة (طن U)	طريقة معالجة الخامة	ملاحظات
الأرجنتين	San Rafael	Open pit	CNEA	18	120	H/IX	
أستراليا	Ranger	Open pit	North Broken Hill (ERA)	1145	2544	A/SX	
	Olympic Dam	Underground	Western Mining	1189	1600	A/SX	BP share up for sale
بلجيكة	No mines	na	PRT	38	50	DEPA/TOPO	Phosphate mined at Safi in Morocco
بلغارية	Plovdiv	In-situ leach	Redki Metali	150	na	ISL	Closure scheduled for 1994
كندا	Key Lake	Open pit	Cameco	5461	5770	A/SX	
	Elliot Lake	Underground	Rio Algom	704	700	A/IX	Stanleigh mine
	Elliot Lake	Underground	Denison	280	2700	A/IX	Closed March 1992
	Rabbit lake	Und/open pit	Cameco	2154	4600	A/SX	
	Cluff Lake	Und/open pit	Amok (Cluff Mining)	730	1500	A/SX	
الصين	SE China uranium region	nk	CNNC		1000-1200	A/IX	Mill: Hengyang, Hengjian,Zhuchou, Shao Kuan
	Jingnan uranium region	nk	CNNC			A/IX	
	Yin Shan-Liaohe uranium region	nk	CNNC	Combined	Combined	A/IX	Mills: Lianshanguan
	Quilan-Qinling uranium region	nk	CNNC	Total	Total	A/IX	Mills: Huxian
	Zhungel-Tian Shan u region	nk	CNNC	of	of	A/IX	Mills:Urumqi
	West Yunnan uranium region	nk	CNNC	1300	1500	A/IX	
	SW Guizhou uranium region	nk	CNNC			A/IX	Mills: Guizyhou
جمهورية التشيك	Hamr	Underground	Diamo	Combined total		A/SX	Mill: Straz
	Osecna	Underground	Diamo	of 808		A/SX	Mill: Straz
	Straz	In-situ leach	Diamo	692		ISL	Mill:Straz
	Rozna	Underground	Diamo	300		A/SX	Mill: Diamo
فرنسة	Bertholene	Heap leach	Total	71	70	H/IX	
	Le Bernardin (Jouac)	Underground	Total	361	520	A/SX	Mill: Le Cherbois
	La Crouzille	Und/open pit	Cogema	805	1000	A/SX	
	Herault	Und/open pit	Cogema	885	1000	A/SX	Mill: Lodeve
جابون	Okelobondo	Underground	Cogema (Comuf)	540	1500	A/SX	
ألمانية	Wismut	Und/ISL	SDAG Wismut	250	na	A/IX	Closed in 1992; reclamation material only
هنغارية	Pecs	Underground	Mecsekuran	462	700	H+A/SX	
الهند	Jaduguda	Underground	UCIL	230	250	A/IX	Mill: Jaduguda. Copper by-product
كازاخستان	Grachevskoyi	Underground	KATEP	Combined	Combined	nk	Mill at Stepnogorsk, operations byTselinny Mining and Chemical Kombinat
	Vostok	Underground	KATEP	total	total	A/IX	Mills at Stepnogorsk, Tadjikistan
	Cilli	In-situ leach	KATEP	of	of	ISL	and Kyrghystan with operations
	Taukent	In-situ leach	KATEP	2500	3000	ISL	by Tselinny Mining and Chemical Kombinat
	Stepnoi	In-situ leach	KATEP	577	1154	ISL	
ناميبيه	Rossing	Open pit	RTZ	1692	1250	A/CIX/SX	
النيجر	Akouta	Underground	Cogema (Cominak)	1977	2300	AP/SX	
	Arlit	Open pit	Cogema (Somair)	988	2300	H+AP/SX	
باكستان	Baghalchar	Underground	PAEC	20	30	A/SX	
	Issa Khel	In-situ leach	PAEC	10	nk	ISL	
رومانية	West Carpathians	Underground	RAPMR	40	NK	A/SX	
	East Carpathians	Underground	RAPMR	40	nk	A/SX	
	Banat Mts	Underground	RAPMR	40	nk	A/SX	
روسية	Krasnokamensk	Und/open pit	PMCC	2200	6000	K/P/IX	70% from underground. 30% from open pit
جنوب أفريقية	Hartebeestfontein	Underground	Harebeestfontein	262	350	A/IX	By-product (gold)
	Palabora	Open pit	Palabora	100	150	A/SX	By-product (copper)
	Western Areas	Underground	Western Areas	244	200	P/IX	By-product (gold)
	Vaal Reefs	Underground	Vaal Reefs	1070	848	A/CIX	By-product (gold)
إسبانية	Saelices el Chico	Open pit	ENUSA	186	805	H/SX	Expansion to be completed 1993
أوكرانية	Zhottye Vody	Underground	EMRC	450	2000	A/SX	
الولايات المتحدة الأمريكية	Crow Butte	In-situ leach	IMC	150	227	ISL	>20 yr mine life, Big Red - satellite orebody
	Rosita	In-situ leach	URI	288	363	ISL	On standby
	Texas ISL Project	In-situ leach	Malto	85	150	ISL	Joint participation: 71% Total (op).29% EdF
	Irigaray/Christensen	In-situ leach	Malto	67	230	ISL	Joint participation: 71% Total (op). 29% EdF
	Highland	In-situ leach	Power Resources	385	454	ISL	
	New Wales/Plant City	Open pit	IMC	385	870	DEPA/TOPO	By product (P205); went on standby in 1992
	Uncle Sam	Open pit	Freeport	280	310	DEPA/TOPO	By product (P205)
	Donaldsonville	Open pit	Freeport	145	181	DEPA/TOPO	By-product (P205)
	Ambrosia Lake	na	Rio Algom	43	91	nk	By-product (minewater)
	Shirley Basin	Open pit	Cogema (Pathfinders)	50	na	A/IX	Shut down in 1992 – in reclamation phase
	Road Ranch	Open pit	Malto/General Atomics	137	na	A/IX	Shut down in 1992 – in reclamation phase
Uzbekistan	Uchkuduk	Open pit/ISL	Navoi Metallurgical Kom.	Combined total	Combined total	A/IX/ISL	
	Nurabat	ISL	binat	of 2077	of 3077	ISL	70% from ISL. 30% from open pit

المصطلحات

General: na – not applicable, nk – not known.
Leaching method: A – acid leaching, AP – strong acid pugging, H – heap leaching, ISL – in situ leaching, K – alkaline leaching, P – high pressure leaching.
Purification and concentration: CIX – continuous ion exchange, IX – ion exchange, RIP – ion exchange by resin in pulp, SX – solvent extraction, DP – direct precipitation.
DEPA/TOPO – recovery of uranium from phosphoric acid.

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

واختلافات في الخصائص الإشعاعية تؤثر في فصل العنصر المرغوب فيه. ويوضح الجدول 4 المبين أدناه التجهيزات المتلازمة مع الأنواع المختلفة من طرائق الفصل.

الجدول 4- مبادىء عمليات الفصل والأجهزة العائدة إليها.

مبدأ الفصل	جهاز الفصل
أشعة غاما	مفرز قياس إشعاعي
حجم/ شكل	مناخل، فرّازات مخروطية
كثافة	طاولات، خضخاضات، لولبيات، مخاريط
مغنطيسية مسايرة	فاصلات مغنطيسية رطبة عالية الشدة
خواص السطح	تعويم

عملية النض

أ - *النض الحامضي*. وهي الطريقة السائدة لنض اليورانيوم وحلّه وذلك بسبب كلفتها المنخفضة نسبياً وتوفرها الواسع. وتجري أكسدة اليورانيوم الموجود في المعلق المائي للخامة وحلّه في الحامض داخل خزانات النض. وبالإمكان استخدام إما الخلط الميكانيكي أو الهوائي في معامل النض الحامضي وذلك تبعاً لحجم الحبيبات وتوزعها الحجمي وطبيعة الحت لمعلّق خام التغذية. ويجري ترتيب إجراءات إضافة الحمض بحيث تلبي متطلبات الخامة المعالجة، لكن معظمها يستخدم حمض الكبريت. ويُحدَّد اختيار المؤكسد بمدى وفرته وكلفته ولكن يجري عادة اختيار ثاني أوكسيد المنغنيز أو كلورات الصوديوم. ومن الضروري في بعض المصانع استخدام درجات حرارة مرتفعة وأزمنة إقامة طويلة (حتى 48 ساعة) للحصول على استخلاصات نضّية جيدة. وتساهم كواشف النض بجزء كبير من كلفة التشغيل في معمل استخراج اليورانيوم، ولذا لا بد من المحافظة على تحكم وثيق لزيادة التلامس النضي، وبالتالي تقليل كمية الكواشف المستخدمة والمخلفات الناتجة. ويمكن استخدام قياسي الناقلية وتركيز أيون الهدروجين (pH) للتحكم بإضافة الحمض.

ب - *النض بالضغط*. يغدو ضرورياً في أنواع محددة من الخامات التي لا يمكن معالجتها تحت ظروف ضغط جوي نظامي (كما هو الحال في خامات معقدة أو تجمعات حبيبية التوزع ناعمة وحاملة للبيريت والتي تُعدّ قديمة جيولوجياً ومؤكسدة) أن تُنضّ تحت ضغط أعظم من الضغط الجوي وعند درجة حرارة أعلى، ويجري ذلك عادة إما في موصدات autoclaves أو مفاعلات أنبوبية. ومن الممكن استخدام النض الحمضي، لكن النض القلوي هو الأفضل ملاءمة للخامات المحتوية على نسبة عالية من الحجر الكلسي الذي سيتطلب كميات كبيرة من الحمض لتعديله إذا ما استخدمت عملية النض الحمضي. وبعد تحطيم الخام وترطيبه وتحويله إلى معلق يُنض على مرحلتين: المرحلة الأولى عند ضغط مرتفع ودرجة حرارة عالية، تعقبها المرحلة الثانية عند ضغط جوي. ويتحقق معدل استرجاع أعلى بزيادة الضغط الجزئي للأكسجين ورفع درجة حرارة النض إلى أعلى من 100 °C .

بعد ذلك، يفصل محلول النض الحامل لليورانيوم عن المواد الصلبة غير المنحلة في سلسلة من عمليات الترشيح بالتيار المعاكس. ثم يجري ترسيبه مباشرة على صورة ثاني يورانات الصوديوم.

جـ - *الخلط بالحمض*. تستخدم تقنية النض هذه لمعالجة خامات الحجر الرملي المحتوية على كميات عالية من الغضار؛ وتشتمل على خلط حبيبات الرمل والغضار مع الماء عادة أو مع محلول وسيط كيميائي بواسطة عمليات الدحرجة أو الطحن أو الدعك أو التحريك ضمن طبق مطحنة جافة أو رطبة أو في مطحنة خاصة. وتستلزم هذه التقنية تشرب الخامة بحمض الكبريت داخل طبول دوّارة ثم تشربها بالمؤكسد فوق سيور ناقلة، ثم تركها لترتاح فترة من الزمن حتى انحلال اليورانيوم الذي يجري نضه في النهاية.

د - *النض في الموقع*. وفي هذه التقنية لا تزاح الخامة من موضعها الجيولوجي بل يحقن محلول نض مناسب (lixiviant) - يحتوي عادة على كربونات أو بيكربونات الأمونيوم أو الصوديوم أو الكالسيوم - مغنيزيوم، أو حمض الكبريت ممزوجاً مع مؤكسد كالأكسجين أو الماء الأكسجيني - إلى منطقة الخامة تحت مستوى الماء الأرضي. ويهاجر محلول النض عبر الحجر الرملي ويتلامس مع فلزات اليورانيوم ويؤكسدها ثم ينضها بسهولة بواسطة محاليل الكبريتات أو الكربونات أو البيكربونات. ويجري تحرير اليورانيوم كمعقد منحل ثم يضخ إلى السطح حيث يسترجع بالتبادل الأيوني.

هـ - *نض الأكوام*. تستخرج الخامة ثم تكوَّم على مصطبة فوق نظام للتجميع. ويجري توزيع محاليل النض على السطح العلوي للكومة حيث تتغلغل نحو الأسفل خلال جسم الخامة. وقد يتشكل جسم الخامة من مخلفات خامة منجمية أو مادة محطمة خشنة القوام. وبينما يكون نض الأكوام أكثر اعتماداً على التركيب المعدني من النض بالخضّ التقليدي، فإنه يوفر طريقة تكلفة رأس المال فيها منخفضة، لاسترداد اليورانيوم من بعض متوضعاته ذات النوعية المتدنية. كذلك، يمكن لنض الأكوام أن يخفف القلق البيئي حيث أن المحتوى الرطوبي المنخفض نسبياً لمخلفات النض سيقلل إلى حد أدنى مشاكل التخلص من النفاية، كما أن الخشونة النسبية لحجم هذه المخلفات سيقلل إلى حد كبير مشاكل حتها بالرياح وانتشار الغبار.

و - *النض الحيوي*. تقوم بكتريا الـ Thiobacillus ferrooxidans بأكسدة الكبريتيدات إلى حمض الكبريت وأيونات الحديدوز إلى حديديك، علماً بأن النوع الأخير يوفر سعة كيميائية مؤكسدة. لكنه، وبسبب الأذى الإشعاعي للخلايا البكتيرية، لم تتنامَ تقنية النضّ الحيوي لليورانيوم إلى نقطة يمكن معها أن تحل محل نظم الأكسدة الكيميائية مع النض والسائدة حالياً، بل ظلت تقنية مكملة أو ملحقة بهذه النظم.

فصل الصلب عن السائل

بعد عملية النض، تعمد جميع عمليات الاستخلاص (باستثناء دارة الراتنج في المعلق) إلى فصل المواد الصلبة عن المحلول الحامل لليورانيوم. ويجري غسل المواد الصلبة إلى حد أدنى من كمية اليورانيوم المنحل فيها.

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

ويجري تحريك محلول الغسيل بعكس تيار سير المواد الصلبة وذلك لتوفير أعظم كفاءة غسيل لحجم معين من محلول الغسل. وبالإمكان إجراء فصل المواد الصلبة عن السائل وغسلها بأي نبيطة تفصل الصلب عن السائل وتكون موائمة لظروف العملية واقتصادياتها. وقد تشمل نبائط كهذه المغلّظات، والمرشحات الطبلية، والمرشحات القرصية، والمرشحات الأفقية، والفرازات المخروطية، والمصنفات المشطية، والمصنفات اللولبية. بعد ذلك يصبح المحلول المروّق الحامل لليورانيوم جاهزاً للتركيز والتنقية وإعطاء منتج نهائي من اليورانيوم عالي الجودة.

التركيز والتنقية

أ - المبادل الأيوني (IX). كانت صناعة اليورانيوم القائد في تطوير تقانة التبادل الأيوني. وتستخدم هذه التقانة لاسترداد اليورانيوم وتركيزه من معلّق الحامة أو المحاليل المروّقة ضمن الدارة الحمضية أو القلوية على حد سواء. وتستخدم راتنجات النمط الأنيوني ذات الأساس القوي أو المتوسط والتي تمتزّ، تفضيلياً، معقدات أنيون اليورانيوم وتستبعد في الوقت نفسه الكاتيونات المعدنية الأمر الذي يتسبب في درجة عالية من التنقية. ويجري تحميل الراتنجات من محلول التغذية المنضوض بالكربونات أو بحمض الكبريت، ثم تعرّى عن طريق غسلها بمحلول الكلوريدات أو النترات أو البيكربونات أو كبريتات الأمونيوم مع حمض الكبريت. بعد ذلك، يجري ترسيب وتجفيف اليورانيوم الموجود في الغسالة. وتوجد أربعة أنواع رئيسة من دارات التبادل الأيوني والتي منها ثلاثة قيد التشغيل حالياً، وهي:

دارة التبادل الأيوني ذات السرير الثابت: وتتألف من أعمدة مستقرة محشية بالراتنج وهي نوع يتطلب محلول تغذية مُروّق لأن أي مواد صلبة ستُرشّح إلى الخارج بوساطة السرير وبالتالي ستؤدي بوحدة IX إلى الانسداد. ويجري تغذية الأعمدة بمحلول النض ويُمتزُّ اليورانيوم على الراتنج. بعد ذلك يجري غسل الراتنج واستخلاص اليورانيوم منه.

دارة التبادل الأيوني ذات السرير المتحرك: أو نظام التبادل الأيوني المستمر، وله عدد من التصاميم المختلفة التي تستخدم مقصورات متعددة للأعمدة وأحواضاً متعددة للراتنج وتدفقاً سفلياً نابضاً، ولكنها جميعها تعتمد على نظرية الأعمدة المستقرة التي يجري فيها نقل الراتنج إلى أعمدة منفصلة من أجل التحميل والغسيل والكسح. وبشكل خاص، يُعدّ هذا النظام جذّاباً لأن مخزون الراتنج في نظام مستمر أقل بكثير من ذلك الذي يتطلبه نظام التبادل الأيوني ذي السرير الثابت. كذلك يعد هذا النظام جيد الملاءمة لمعالجة أحجام كبيرة من محاليل التغذية ذات التراكيز الأيونية المرتفعة نسبياً والعكرة نوعاً ما (ليست مروّقة لكنها تظل محتوية على أقل من 1% من وزنها مواد صلبة).

النظام المنخلي لمزيج الراتنج في معلق Screen - Mix Resin - in - pulp: ويستخدم هذا النظام سلسلة من الخزانات من أجل امتزاز اليورانيوم على الراتنج ثم غسله واستخلاصه في المحلول. ويتدفق الراتنج والمحلول في اتجاهين متعاكسين داخل الخزانات ويجري فصلهما بواسطة مناخل مع استخدام هواء مضغوط في عملية الخض. هذا، وتستطيع هذه العملية أن تعالج معلقات (أو روبات) يصل محتواها من المواد الصلبة إلى 20%.

نظام السلال للراتنج في معلق Basket Resin - in - pulp: وقد جرى أيضاً تطوير هذا النظام للتخلص من ضرورة فصل المواد الصلبة عن السائل في خامات تتمتع بخصائص ترسيب وترشيح ضعيفة نسبياً. ويتألف هذا النظام من سلسلة سلال مكعبة مملوءة بالراتنج يجري غمسها وخضها صعوداً ونزولاً في المحلول المعالج الموجود في الخزانات. ويجري استخلاص اليورانيوم بتدوير روبة التغذية والكاسح eluant ومحلول الغسيل ضمن الخزان. وفي الوقت الراهن لا يجري تشغيل أي من أنواع أنظمة السلال المذكورة آنفاً.

ب - الاستخلاص بالمذيبات (SX). يشار عادة إلى هذه التقنية على أنها "تقليدية" بسبب كونها الأكثر استخداماً لاسترداد اليورانيوم من محاليل حمضية مروّقة ومركّزة. ويسترد عادة اليورانيوم المنحل بالنضّ القلوي بالترسيب المباشر. ويجري استخلاص اليورانيوم في محلول التغذية المروّق إلى داخل الطور العضوي ثم يُعرّى إلى داخل الطور المائي. يستلزم استخلاص اليورانيوم (وتنقيته) من محلول مائي إلى محلول مائي آخر استخدام وسطاء كيميائية مختلفة (مستخلصات، ممددات، مُعدِّلات)، كما يتطلب جهازاً مناسباً. وتتألف دارة الاستخلاص عادة من سلسلة أحواض للاستخلاص يتدفق عبرها محلول التغذية والمذيب العضوي في تيارين متعاكسين. ويمكن استخدام المذيبات الأنيونية أو الكاتيونية على حد سواء حيث أن أياً منهما قادر على تحقيق تركيز جيد وكفاءة عالية للتنقية. وهناك عمليتان تُستخدمان على نطاق واسع،ألا وهما طريقة Dapex، التي تستخدم حموضاً فسفورية ألكيلية ككاتيون، وطريقة Amex التي تستخدم الأمينات كأنيون. وتضاف المعدِّلات إلى المذيبات لزيادة انحلالية الأيونات المستخلصة ولمنع تشكّل مستحلبات مستقرة مما يُحسّن فصل الأطوار. وفي المرحلة اللاحقة، يخلط المحلول العضوي مع محلول كبريتات الأمونيوم أو محلول كربونات أو كلور الصوديوم وذلك لتعرية اليورانيوم إلى داخل طور مائي بحيث يصبح جاهزاً للترسيب.

جـ - الجمع بين التبادل الأيوني والاستخلاص بالمذيب (طريقة ELUEX). في هذه الطريقة يُمتزّ اليورانيوم على راتنجات المبادل الأيوني ثم تغسل الراتنجات بحمض قوي، يلي ذلك تغذية الغسالة إلى نظام استخلاص بالمذيب من النوع Dapex أو Amex. ومن فوائد هذه الطريقة الحصول على منتج نهائي أكثر نقاوة والتخلص من الحاجة إلى وسطاء كلورية أو نتراتية وما ينجم عنها من مشاكل، وكذلك خفض تكاليف التشغيل.

ترسيب المنتج وتجفيفه

يمر المحلول المائي الحامل لليورانيوم إما في دارة الاستخلاص بالمذيب SX أو في دارة التبادل الأيوني (IX) منتقلاً إلى موقع عملية الترسيب. وفي بعض المصانع، يظل تركيز بعض الشوائب مرتفعاً جداً إلى الحد الذي لا يسمح بترسيب اليورانيوم بنقاوة كافية. لذلك، تُجرى عملية إزاحة وسطية لهذه الشوائب باستخدام الجير أو المغنيزيا. ويجري ترسيب منتج اليورانيوم من المحلول باستخدام أنواع متعددة من المرسبات، مثل الأمونيا والمغنيزيا والصودا الكاوية وفوق أكسيد الهدروجين. ويتوقف اختيار

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

المرسب على طبيعة الخام والطريقة المستخدمة. ويكون الناتج النهائي على صورة ثنائي يورانات diuranate أو فوق أكسيد اليورانيوم uraniuum peroxide.

ويجري في المغلظات سحب الماء من اليورانيوم المترسب، ثم يُرشح ويُغسل في مرشحات طبلية أو صفائحية أو إطارية. وتتوقف سهولة سحب الماء وغسيل راسب اليورانيوم على شكل البلّورات المترسبة وحجمها، علماً بأن المرغوب هو الحصول على البلّورات الأكبر والأفضل تشكيلاً. وتبقى كعكة الترشيح محتوية على كمية لابأس بها من الرطوبة، ولذلك يجري تجفيفها على درجات حرارة عالية في مجفف مسخن بالبخار المستمر أو في مجفف ذي مواقد متعددة.

التحميل والترحيل

يجري تحطيم المنتج المجفف (الكعكة الصفراء) ثم يُنخل إلى الحجم المطلوب، ثم يُعبأ عن بعد ضمن براميل فولاذية محكمة الإغلاق معدّة للشحن. هذا ويجري وزن البرميل المملوء ويسجل عليه الوزن قبل ترحيله. ويمكن التحكم بإصدار الغبار خلال تجفيف المنتج وتعبئته بواسطة منظومة لفصل الغبار قبل إطلاقه من فتحه عادم توجد على السطح.

تصريف النفايات والفضلات

تتألف النفايات من صخور مستخرجة بالحفر (نفايات منجمية)، جرى فصل اليورانيوم عنها. وتحتوي على مقادير منخفضة جداً منه وغير قابلة للاستخلاص اقتصادياً، ومن مواد تخلفت عن عملية استخلاص اليورانيوم (مخلفات مصنعية). هذا، وتتولد نفايات مشعة وأخرى غير مشعة أثناء معالجة اليورانيوم في المصنع. وتصنف الفضلات عادة على أنها رمال، إذا كانت مكوّنة من مواد صلبة يزيد حجمها عن 75 مكرون، وغرويات slimes، إذا تكونت من مواد صلبة يقل حجمها عن 75 مكرون، وسوائل عبارة عن محاليل الكيميائيات التي نجمت عن الخامة وسطاء التصنيع.

ويعتمد التركيب الكيميائي الدقيق للفضلات على التركيب المعدني لجسم الخامة. ويكون النشاط الإشعاعي لهذه الفضلات متناسباً مع نوعية الخامة. ويعود حوالي 15% من النشاط الإشعاعي الكلي الموجود في الخامة إلى النشاط الإشعاعي الذي يحتوي عليه المنتج النهائي للمصنع، أما المتبقي (وقدره 85%)، والذي يتألف من منتجات تفكك اليورانيوم، فيطلق في الفضلات.

والمواد المشعة الرئيسة الموجودة في الفضلات هي: الثوريوم 230، والراديوم 226، والرصاص 210، وبنات أخرى للرادون (نواتج تفكك الراديوم)؛ أما الملوثات غير المشعة في الفضلات فتشابه تلك الناتجة عن قاعدة عمليات تعدين لمعادن أخرى. وتؤثر هذه المواد على الغلاف الحيوي للأرض أو تتراكم في أنسجة النباتات والمتعضيات الحيوانية الدنيا، وبالتالي كان ضرورياً التعامل معها بحذر للتحكم في تحررها.

و تُوجّه الطرائق الخاصة بتكييف الفضلات وتهيئتها لخفض تأثيراتها الضارة بالبيئة نحو إعادة تدوير مياه الفضلات داخل المصنع وترسيب الراديوم وإزاحته من المحلول وإجراء التعديل neutralization لترسيب المعادن الثقيلة. ولتصريفها من المصنع، تضخ روبة الفضلات إلى خزانات احتجاز حيث تترسب الحبيبات الصلبة، ويعالج الدفيق لإزالة الملوثات قبل صرفه إلى سدّ تخزين الفضلات.

أما أحواض المعالجة فتحتوي على بطانات منخفضة النفوذية للتحكم بالارتشاح؛ ويضاف كلوريد الباريوم إلى الفضلات لترسيب المنحل من الراديوم - 226 على صورة كبريتات الراديوم - باريوم، كما يضاف الحجر الجيري لرفع تركيز أيون الهدروجين (pH). وعندما تتوقف عمليات المعالجة، تترك الفضلات عدة سنوات كي تجف وهي الفترة التي يمكن بعدها حدوث إعادة للتغطية النباتية.

ويتحدد تصميم سدّ تخزين الفضلات بمواصفات موقعه والتي يجب عليها أن تلبي جميع التفاصيل المنظمة. ولا بد في هذا الصدد من تقديم بيانات حول طبوغرافية المنطقة وهدرولوجيتها وتركيبها الجيولوجي ومناخها وخصائص تربتها وزلزاليتها ومدى توفر مواد البناء اللازمة لتشييد سد التخزين وكذلك موقع وخصائص مسالك المياه. إضافة لما سبق، قد تتطلب الهيئات المنظمة ضرورة إجراء دراسات أساسية للبيئة المحلية من أجل تحديد سويات الخلفية الطبيعية لجميع الملوثات التي يمكن أن تتحرر أثناء عمليات استخراج اليورانيوم وذلك لفترة ثلاث سنوات تقريباً قبل البدء بالتشغيل. وتعد مراقبة بعض الأمور مثل نوعية المياه، والمناخ، والوسط المحيط، والارتشاح، وغاز الرادون، إلخ..، إجراءات محتمة التنفيذ خلال المراحل كافة، أي أثناء فترات البناء والتشغيل وبعد إغلاق المصنع. وقد تطورت وقطعت أشواطاً طويلة تلك المجالات المتعلقة بإدارة النفايات، وإيقاف التشغيل نهائياً، وإصلاح مناجم اليورانيوم التي أضحت خاضعة لتخطيط مفصل كما أصبحت جزءاً متمماً لأي عملية تطوير للمناجم.

المراجع REFERENCES

[1] Edwards, C R. Uranium extraction process alternatives. CIM Bulletin, 1992, Volume 85, No 958, pp 112-136.

[2] Hunter, J. Highland in - situ leach mine. Mining Magazine, August 1991, pp 58-63.

[3] Nuclear Engineering international. Fuel Review 1992. Nuclear Engineering international Publications, September 1992 suppl.

[4] OECD Nuclear Energy Agency and IAEA. Uranium extraction technology. OECD, Paris, 1983.

[5] Office of Nuclear Material Safety and Safeguards US Nuclear Regulatory Commission. Final generic environmental impact statement on uranium milling. USA, September 1980, Volume 2, Appendix B.

[6] Stover, C F & Arlin, Z E. Open pit and / or underground mining - a discussion. Proceedings of the first conference on uranium mining technology, Conferences and Institutes, University of Nevada, Reno, October 1977.

[7] The Uranium Institute. The management of radioactive waste. A report by an international group of experts. August 1991.

[8] Wood, J T. Open pit mining of uranium. Proceedings of the first conference on uranium mining technology, conferences and Institutes, University of Nevada, Reno, October 1977.■

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

ركوب موجة شبكة المورثة p53★

برت فوغلشتاين
مؤسسة هوارد هيوز الطبية ومركز جونز هوبكنز لعلم الأورام – بلتيمور – الولايات المتحدة الأمريكية
دافيد لين
قسم الجراحة وعلم الأورام الجزيئي في مستشفى نايتولز – جامعة دندي – دندي – المملكة المتحدة
آرنولد ج. ليفاين
مختبر بيولوجيا السرطان والوراثة والفيزياء الحيوية الجزيئية – جامعة روكفلر – نيويورك – الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

تعمل المورثة p53 الكابتة للورم على تكامل إشارات عديدة تتحكم في حياة وموت الخلية. وكما هو الحال عند تعطل عقدة شديدة التوصيل في الإنترنت، فإن لتمزق p53 عواقب وخيمة.

الكلمات المفتاحية: المورثة p53، مورثات ورمية، مورثات الترميم، كابتات الورم، الموت الخلوي المبرمج، إنزيمات كيناز البروتين، التحلل البروتيني بوساطة الأبكويتين، بروتين ورم أرومة الشبكية.

هناك حاجة ماسة لمورثات كابتة للورم من أجل الإبقاء على الخلايا في حالة منضبطة. وكما تعمل مكابح السيارة على ضبط سرعتها، تقوم هذه المورثات مقام المكابح لدورة النمو الخلوي وتضاعف الدنا وانقسامه إلى خليتين جديدتين. وينجم النمو غير المسيطر عليه –والذي يُعَدُّ سمة مميزة للخلايا السرطانية– عندما تفشل المورثات المذكورة في أداء وظائفها الخاصة.

وتُعدّ المورثة p53 – التي جرى وصفها في عام 1979 – أوّل مورثة كابتة للورم أمكن تحديدها؛ واعتُقد في البداية أنها مورثة ورمية oncogene –بمعنى أنها تُسرّع دورة الخلية (المؤطر 1)– لكن بيانات وراثية ووظيفية تمّ الحصول عليها بعد عشر سنوات من اكتشافها أظهرت أنها مورثة كابتة للورم. علاوة على ذلك، فقد وجد أن البروتين p53 لا يؤدي وظيفته بشكل صحيح في معظم حالات السرطان التي تصيب الإنسان (الشكل 1). وفي حوالي النصف من هذه الإصابات الورمية يحدث تعطيل وظيفي مباشر للبروتين p53 نتيجة طفرات تحدث ضمن المورثة p53. وفي عديد من الإصابات الورمية الأخرى يحدث تعطيل غير مباشر للمورثة المذكورة إما عن طريق ارتباطها ببروتينات فيروسية أو بنتيجة تبدلات تطرأ على مورثات ما والتي إما أن تتأثر نواتجها مع p53، أو أن تعمد هذه النواتج إلى نقل معلومات ترد إلى p53 أو تصدر عنها.

وابتداءً من عام 1989، حرّض على تنفيذ مجموعة ضخمة من الأبحاث، الإدراك بأن p53 هي القاسم المشترك العام للإصابة بسرطان الإنسان. وقد صدر خلال تلك الحقبة ما يزيد على 17000 نشرة تُركّز على المورثة p53– منها 3300 نشرة ظهرت في العام 1999 بمفرده – كما اكتشفت ضمن المورثة p53 أكثر من 10000 طفرة مترافقة مع ورم، وذلك في متعضيات تتراوح ما بين الإنسان وأدنى الرخويات [1,2]. وكما هو متوقع، أدى هذا العمل البحثي ليس فقط إلى رؤىً كثيرة في مجال نشوء الورم بل أيضاً إلى قدر كبير من الإرباك والجدل.

وفي هذا المقال، نقترح أنه لايمكن فهم مسارات المشيرة signalling pathways ذات الصلة بالمورثة p53 من خلال الاطلاع على مكونات

آلية تعطيل p53	أورام نموذجية	التأثير الخاص بالتعطيل
طفرة تغير حمض أميني في منطقة ارتباط الدنا	قولون، ثدي، رئة، مثانة، دماغ، معكلة، معدة، مري، وكثير من الأورام الأخرى	منع ارتباط p53 بسلاسل دنا محددة ومنع تنشيطها للمورثات المجاورة
خَبْن (حذف جزئي) منطقة النهاية الكربوكسيلية	أورام عرضية تتوضع في العديد من المواقع المختلفة	منع تشكّل جسيمات رباعية للمورثة p53
مضاعفة المورثة MDM2 داخل الجينوم	أغران sarcomas*، دماغ	تُحرّض MDM2 إضافية انحلال p53
إصابة فيروسية	عنق الرحم، كبد، أورام لمفية lymphomas	ترتبط نواتج المورثات الورمية الفيروسية مع p53 داخل الخلية، وهذا –في بعض الحالات– يحرّض انحلال p53
خَبْن للمورثة $p14^{ARF}$	ثدي، دماغ، رئة، وأخرى غيرها وبخاصة عندما لا تكون المورثة p53 مطفرة	فشل في تثبيط MDM2 وفي انحلال p53
تموضع خاطئ للمورثة p53 على الهيولى (السيتوبلازم) خارج النواة	ثدي، أورام الأرومة العصبية neuroblastomas	فقدان وظيفة p53 (حيث تؤدي p53 وظيفتها داخل النواة فقط)

الشكل 1– الطرق العديدة التي من خلالها تختل وظيفة p53 عند الإصابة بسرطانات بشرية.
* sarcomas = أغران، مفردها غَرَن، وهو ورم خبيث يتألف من مادة شبيهة بالنسيج الضام الجنيني.

★ نشر هذا المقال في مجلة: *Nature*, Vol.408, 16 November 2000. ترجمة هيئة التحرير– هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المؤطر 1

المورثات التي تسبب السرطان

مورثات ورمية oncogenes. وهذه مشابهة وظيفياً لعمل المسرّع في السيارة. فضمن الظروف الطبيعية، تعمل المورثات الورمية على تحريض نمو خلوي مناسب كالذي يتطلبه- على سبيل المثال- التجديد والتعويض المتواصل للجلد والقناة الهضمية والدم. وبالإمكان تشبيه الطفرة في مورثة ورمية بمسرّع السيارة الذي تعطل عن الحركة وثبت في مكانه، فحتى عندما يحرّر السائق قدمه من دواسة المسرّع تستمر السيارة في حركتها وتقدّمها. وبالأسلوب نفسه، فإن الخلايا الحاملة لمورثات ورمية طافرة تستمر في النمو أو ترفض الموت حتى في حال عدم تلقيها لإشارات النمو. وكأمثلة على مثل هذه المورثات الطافرة نذكر: Ras التي تُنشَّط في سرطاني البنكرياس والقولون، وكذلك Bcl-2 التي تُنشَّط في الأورام اللمفية.

مورثات كابتة للورم tumour-suppressor genes. عندما يتعطل المسرّع في أرضية السيارة لا يزال أمام السائق خيار إيقاف السيارة باستخدام المكابح. وللخلايا مكابح مشابهة أيضاً يُطلَق عليها اسم مورثات كابتة للورم. تعمل هذه المورثات على إبقاء الخلايا بأعداد منخفضة، وذلك إما عن طريق تثبيط تقدّم دورة الخلية الذي يمنع بالتالي ولادة الخلايا، أو عن طريق تشجيع الموت الخلوي المبرمج (الذي يُدعى أيضاً apoptosis). ما سبق ذكره يماثل تماماً حالة السيارة التي لها العديد من المكابح (دواسة القدم، والمكبح اليدوي، ومفتاح الإشعال)؛ كذلك يوجد العديد من المكابح لدى كل خلية. وتصبح الخلية خبيثة عندما يتم بالتطفير جعل عدد من هذه المكابح غير عامل وظيفياً. وكأمثلة على ذلك نذكر: المورثة المكودة لورم أرومة الشبكية التي تصبح معطلة وظيفياً في أورام أرومة الشبكية، والمورثة p53 (الشكل 1)، والمورثة $p16^{INK4a}$ التي تعمل على تثبيط كينازات تعتمد السيكلين cyclin-dependent kinases والتي تتعطل وظيفياً في العديد من الأورام المختلفة.

مورثات الترميم Repair genes. خلافاً للمورثات الورمية والكابتة للورم، لا تتحكم مورثات الترميم بولادة الخلية أو موتها؛ لكنها، ببساطة، تتحكم بسرعة تطفير جميع المورثات. فعندما تُطفَّر مورثات الترميم تكتسب الخلايا طفرات في المورثات الورمية والكابتة للورم بمعدّلات متسارعة، الأمر الذي يؤدي إلى بدء نشوء الأورام وارتقائها. وعند مضاهاتها السيارة، فإن مورثة ترميم معيوبة تماثل كثيراً الميكانيكي السيء. وكأمثلة على مورثات الترميم نذكر: مورثات ترميم -استئصال- النكلوتيد nucleotide-excision repair genes، ومورثات ترميم المزاوجة غير الملائمة mismatch-repair genes التي يسبب تعطيلها استعداداً للإصابة بأورام الجلد والقولون، على التوالي.

معزولة، لكنه من الضروري اعتبارها شبكات متداخلة تندمج فيها مكونات المشيرة هذه.

تنشيط شبكة المورثة p53

في الحالة الطبيعية تكون شبكة p53 معطلة وظيفياً، وهي تُنشَّط فقط عندما تتعرض الخلايا إلى إجهاد أو أذية. وتشكّل مثل هذه الخلايا تهديداً للكائن الحي، فهي -عند مقارنتها بالخلايا السليمة- أكثر احتمالاً لأن تحتوي على طفرات وأن تبدي ضبطاً شاذاً لدورة الخلية، وبالتالي هي أكثر عرضة لأن تصبح خلايا سرطانية. ويقوم بروتين p53 بتعطيل تكاثر الخلايا التي تعرضت للإجهاد وذلك عن طريق تثبيط ارتقاء أطوار دورة الخلية؛ وفي كثير من الحالات، قد يسبب الموت المبرمج (apoptosis) للخلايا في محاولة يائسة لاحتواء الضرر وحماية الكائن الحي. لذلك، يعمل بروتين p53 ككابحة حاسمة تحدّ من تطور الورم، الأمر الذي يفسر لماذا يكون في أغلب الأحيان مطفَّراً (وبالتالي معطلاً وظيفياً) عند الإصابة بالسرطانات.

ثم، دعنا نرى أي نوع من الإجهادات يُنشِّط شبكة p53؟ لقد ركّزت البحوث الأولى على أن أذية الدنا هي "مفتاح أو محول التشغيل on switch". ويكفي وجود كسر وحيد في جزيء الدنا مضاعف الخيط ليقدح ارتفاعاً في سوية بروتين p53. وقد أربكت مثل هذه الحساسية غير العادية تجاه تأذي الدنا دراسات لاحقة في هذا المجال هدفت إلى إثبات فيما إذا كان بالإمكان قدح استجابة p53 بوساطة إشارات أخرى وكان صعباً تبيان أن هذه الإشارات الأخرى لم تسبب بضعة كسور على الأقل في جزيء الدنا مضاعف الخيط. وعلى أية حال، أكدت أبحاث حديثة وجود ثلاثة على الأقل من المسارات المستقلة التي يمكن بوساطتها تنشيط شبكة p53.

ويجري، بالفعل، قدح واحد من المسارات بوساطة أذية الدنا، كتلك التي تنجم عن الإشعاع المؤين. وفي هذه الحالة يتوقف التنشيط على نوعين من إنزيمات كيناز البروتين protein kinases التي تعمل على إضافة مجموعات فسفات إلى بروتينات أخرى.

ويطلق على اثنين من أهم إنزيمات الكيناز المصطلحان ATM (نسبة إلى "رنح توسع الشعيريّات المطفر ataxia telangiectasia mutated" وهي تسمية جرى إطلاقها على مرض يصبح فيه هذا الإنزيم مطفراً) وChk2 [3]. ويجري تحريض ATM بوساطة كسور مضاعفة الخيط double- strand breaks، ثم يُحرَّض Chk2 بدوره بوساطة ATM.

أما المسار الثاني، فيُقدح بوساطة إشارات نمو زائفة كتلك الناجمة عن تعبير المورثتين الورميتين Ras أو Myc. وفي هذه الحالة، يعتمد تنشيط

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

شبكة p53 في بني البشر على واحد من البروتينات يدعى $p14^{ARF}$ [4,5].

ويُحَثُّ المسار الثالث بوساطة مدى واسع من عقاقير المعالجة الكيميائية، والأشعة فوق البنفسجية، ومثبطات بروتين- كيناز. ويُعدُّ هذا المسار مميزاً عن المسارات الأخرى لأنه لا يعتمد على ATM غير المنقوص، أو Chk2، أو مورثات $p14^{ARF}$، لكنه يشتمل على إنزيمات كيناز تُدعى ATR (ذات صلة برنح توسع الشعيريّات) وكيناز كازين II [6].

وتعمل المسارات الثلاثة جميعها على تثبيط تدهور بروتين p53، وهي بذلك تقوم بتثبيته عند درجة تركيز عالية. والتركيز المزيد لـ: p53 - والمعدل تشاركياً كما هو مبين أدناه - سيسمح للبروتين القيام بوظيفتيه الأساسيتين، وهما: ربط أنواع خاصة من متتاليات الدنا، وتنشيط عملية التعبير (الانتساخ) لمورثات مجاورة. وفي النهاية، ستقود هذه المورثات، بشكل مباشر أو غير مباشر، إلى موت خلوي أو إلى تثبيط الانقسام الخلوي- ولو أن المزيد حول هذا الموضوع سيأتي لاحقاً.

تثبيت وتعديل p53

يتحدد مقدار بروتين p53 بالسرعة التي يتحلل بموجبها وليس بالسرعة التي يُصنَّع بها. ويحدث التحلل عبر عملية يُطلق عليها اسم "التحلل البروتيني بوساطة الأوبكويتين ubiquitin-mediated proteolysis"؛ فعبر سلسلة من الخطوات ترتبط عدة نسخ من البتيد الصغير (أوبكويتين) بالبروتين المراد تحلله (وهو p53 في هذه الحالة). وتعمل سلسلة الأوبكويتين هذه بمثابة راية تمكن كشف p53 بوساطة آليات تخرب البروتين. ويُعدُّ بروتين MDM2 واحداً من الأنزيمات المساهمة في وسم p53 بالأوبكويتين [7].

والعملية المذكورة آنفاً تكون عرضة لحلقة تغذية راجعة كتلك الموجودة في دارات كهربائية؛ حيث يرتبط p53 بالمنطقة المنظمة خاصة المورثة MDM2 ويُحرِّض على نسخ هذه المورثة إلى "رنا مرسال messenger RNA والذي يحوّل فيما بعد إلى بروتين. بعد ذلك، يرتبط بروتين MDM2 المذكور آنفاً بالمورثة p53 محرّضاً على إضافة مجموعات أوبكويتين إلى النهاية الكربوكسيلية (نهاية الجزيء) لـ p53 التي تأخذ بالتحلل بعد ذلك، وهذا يؤدي بدوره إلى خفض تركيز p53 ويقلل من انتساخ المورثة MDM2، مما يسبب إغلاق حلقة التغذية الراجعة ويسمح لسويات p53 أن ترتفع مرة ثانية.

لكن السوية المرتفعة لبروتين p53 الخلوي غير كافية بمفردها لجعله منشطاً انتساخياً، حيث يتطلب ذلك تغيرات امتثالية في البروتين تنجم عن تعديلات محددة كإضافة أو إزالة مجموعات كيميائية مثل: الفسفات، أو الأسيتيل، أو الغليكوسيل، أو الريبوز، أو الأوبكويتين، أو "السومو sumo [6,8,9] (يُعدّ السومو ببتيداً متعدداً شبيهاً بالأوبكويتين يستطيع بشكل عكوس أن يحور البروتينات). وفي الحالة الطبيعية، تعود ثانية النهاية الكربوكسيلية لـ p53 إلى الانطواء لتُثبط منطقة ارتباط - الدنا المتوضعة في الجزء المركزي لبروتين p53. ويمكن بأستلة acetylation فضالات الليسين أو بفسفرة phosphorylation فضالات السيرين قرب النهاية الكربوكسيلية لـ p53 أن يتعزز ارتباط p53 بالدنا، ومن المفترض حدوث ذلك من خلال التداخل مع هذا الانتناء المذكور آنفاً. ومن الممتع أن يكون ممكناً تحقيق مثل هذه التغيرات الامتثالية أيضاً بوساطة أجسام ضدية antibodies، وببتيدات وعقاقير تتآثر مع النهاية الكربوكسيلية [10]؛ وربما تمثل هذه المركّبات طريقة جديدة لتعزيز الوظيفة لمورثة p53 طبيعية ولإعادة الوظيفة الطبيعية لمورثة p53 طافرة.

وفسفرة النهاية الأمينية (بداية الجزيء) لبروتين p53 لا تؤثر على قدرة ارتباطه بالدنا، لكنها تؤثر على ألفته تجاه بروتين MDM2 وعلى مدى التحلل اللاحق لهذا البروتين. وتُعدّ أيضاً تغيرات أخرى تطرأ على بروتين p53 وعلى شريكه MDM2 من الأمور الهامة ضمن شبكة p53.

فعلى سبيل المثال، قد تسبب عملية إضافة السومو (ببتيد متعدد) لبروتين MDM2 الحدَّ أو الإقلال من إضافة الأوبكويتين إليه وما يستتبع ذلك من تحلل للبروتين المذكور [11]؛ وهذا سوف يعني أن في الوسط كميات زائدة من MDM2 من أجل إضافة الأوبكويتين إلى p53، مما يستتبع بالتالي تحريض تحلل p53.

وعندما يشجع بروتين ما اصطناع منظمه السلبي الخاص به، يغدو متوقعاً أن تتذبذب خارج الطور سوية البروتينين داخل الخلية؛ وقد لوحظ هذا الأمر في كل من بروتيني p53 و MDM2 [12]. وبصورة مماثلة، فإن أي اضطراب في سوية أحد البروتينين سيكون له تأثيرات مثيرة في البروتين الآخر، إضافة إلى تأثيرات أخرى مماثلة في سلوك الخلايا والكائنات الحية. ويتضح ذلك من حقيقة أن الفئران المهندسة وراثياً لتفتقد المورثتين p53 و MDM2 كليتيهما يمكنها أن تعيش إلى سن البلوغ، في حين أنها ستموت وهي في المرحلة الجنينية إذا ما افتقدت المورثة MDM2 فقط [13]. ومن المفترض أن يُعزى هذا الأمر إلى نشاط p53 غير المجابه أو المعترض عليه.

ربط التنشيط بالتثبيت

كان مسار تنشيط p53 الأكثر خضوعاً لأبحاث مكثفة هو ذلك الذي يُستهلُّ بأذية الدنا [3]. وتُحَسّ هذه الأذية بوساطة "نقاط تدقيق checkpoints تعمل على عرقلة سير دورة الخلية إلى حين تصحيح أو معالجة الأذية المذكورة. وقد تمّ، بشكل ملفت للنظر أثناء عملية النشوء، الحفاظ على بروتينات التدقيق التي تحسُّ وتُبلِّغ إشارة أذية الدنا، حيث ثبت وجودها في متعضيات تمتد في سلّم التطور ما بين بكتريا الخميرة والكائنات البشرية. وتشمل بروتينات التدقيق هذه عدداً من إنزيمات الكيناز kinases وبخاصة كيناز بروتين معتمد- الدنا DNA-dependend protein kinase و ATM، و Chk1، و Chk2 [3]. وتعمل الأشكال الثديية لجميع الكينازات الأربعة السابقة على فسفرة p53 عند مواقع مجموعة الأمين الطرفية القريبة إلى منطقة ارتباط MDM2 في جزيء البروتين. وقد قادت هذه النتائج إلى نموذج مغرٍ تقوم فيه إنزيمات الكيناز، المنشطة بأذية الدنا، بفسفرة بروتين p53 مما يسبب إيقاف تآثراته مع MDM2، ويؤدي في النهاية إلى تثبيت أو استقرار p53.

لكنه تبيَّن فيما بعد أن جزيئات p53 التي تفتقر إلى معظم مواقع الفسفرة تظل قابلة للتثبيت استجابة إلى أذية الدنا، كما تظل قادرة على تنشيط انتساخ معتمد على المورثة p53. وهذا يوحي بأنه لا يمكن لأي

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

بروتين أو موقع فسفرة بمفرده أن يحقق سيطرة كاملة على تنشيط p53 [6,8,9]. من ناحية ثانية، يصبح المرضى الحاملون لطفرات موروثة في Chk2 أكثر ميلاً للإصابة بالسرطان. وهذه المتلازمة تشبه، بشكل مثير، تلك التي تُلاحظ في مرضى يحملون طفرات موروثة في p53 [14] - وهذا بمثابة دليل قاطع على أهمية وجود نقاط تدقيق تحس أذية الدنا في شبكة المورثة p53.

والمسار الثاني لتنشيط p53 يتضمن التعبير عن المورثات الورمية في غياب أذية الدنا [4, 5]. تعمل هذه المورثات الورمية على تحريض انتساخ المورثة $p14^{ARF}$ أو تثبيت بروتين $p14^{ARF}$ الذي يرتبط، بعد ذلك، مع MDM2 ويثبط نشاطه. ويوجد أيضاً عامل مكاني في عملية ضبط MDM2 بوساطة $p14^{ARF}$. فبروتين $p14^{ARF}$ يتوضع ضمن النُويّة، والتي هي عبارة عن مقصورة فرعية subcompartment داخل النواة. وفي بعض الحالات، يعمد $p14^{ARF}$ إلى عزل MDM2 داخل تحت المقصورة المذكورة آنفاً. وهذا يُبقي MDM2 بعيداً عن p53 التي تبقى خارج النُويّة (ولكن داخل النواة)، حيث تتمكن من تنشيط انتساخ مورثاتها المستهدفة (انظر المقطع اللاحق). كذلك يحتوي البروتينان MDM2 و p53 كلاهما على إشارات توريد وتصدير نووية تعمل على توجيه وسمات تمكّنها من التوجه إلى داخل النواة وإلى الخارج مرة ثانية [15]. وهذا يوفّر سبيلاً آخر في عملية الضبط أو التحكم. وبالفعل، تبيّن في بعض الأورام أن p53 يتوضع خارج الخلية [15] (الشكل 1).

كذلك، بيّنت دراسة للمورثات الورمية الفيروسية أن هناك مسارات تأشير مترابطة بينياً interconnected signalling pathways تتحكّم بنشاط p53. وتعمد بعض فيروسات الدنا- كالفيروس القردي 40، وفيروس الحُليموم البشري human papilloma، والفيروسات الغدية adenoviruses- إلى تشجيع الخلايا التي تصيبها كي تصبح سرطانية (الشكل 2). فبعد إصابة خلايا مضيفيها تصنع هذه الفيروسات بروتينات ترتبط مع بروتين آخر كابتٍ للورم وتثبطه، ألا وهو بروتين ورم أرومة الشبكية retinoblastoma protein، إضافة إلى بروتينات أخرى تعطّل p53.

ولهذه النتائج معانٍ واضحة حول ما يتعلق بتنامي الورم، لكنها توحي أيضاً أن التوصيف الكامل لكل من الجينوم genome (مجموع المورثات في كائن حي)، والترنسكربتوم transcriptome (المورثات التي جرى التعبير عنها في زمن محدد على صورة رنا- مرسال m-RNA)، والبروتيوم proteome (البروتينات المصنّعة من بروتينات جرى التعبير عنها) لن يقدم وصفاً دقيقاً جداً للحالة الراهنة لبروتين p53 في أية خلية. ولايمكن التنبؤ بدقة عن حالة هذا البروتين من سلسلته فقط، لأنه "مُزيَّن" على نطاق واسع بمجموعات كيميائية مختلفة، تماماً كما في شجرة الميلاد التي زُينت بالمصابيح والأشرطة التزيينية.

علاوة على التحويرات التشاركية الموصوفة أعلاه، هناك العديد من البروتينات التي ترتبط مع p53 فتغير استقراره وقدرته على تنشيط الانتساخ [8]. فضلاً عن ذلك، لا يوجد في خلية معرّضة للأذى أو الإجهاد نوع وحيد قائم بذاته من p53، بل أنواع مختلفة كل منها محوّر بطريقة مميزة. هذا، ولابد لأي توصيف تفصيلي للمورثة p53 أن يتضمن البعد الرابع، ألا وهو الزمن. إذ من الممكن أن تتغير بسرعة حالة p53 عندما تتكيف الخلايا مع المنبه البدئي للشبكة network-initiating stimulus، وعندما تستجيب لمنظومات التغذية الراجعة والأمامية والتي بسبب ذلك تبدأ بالحركة.

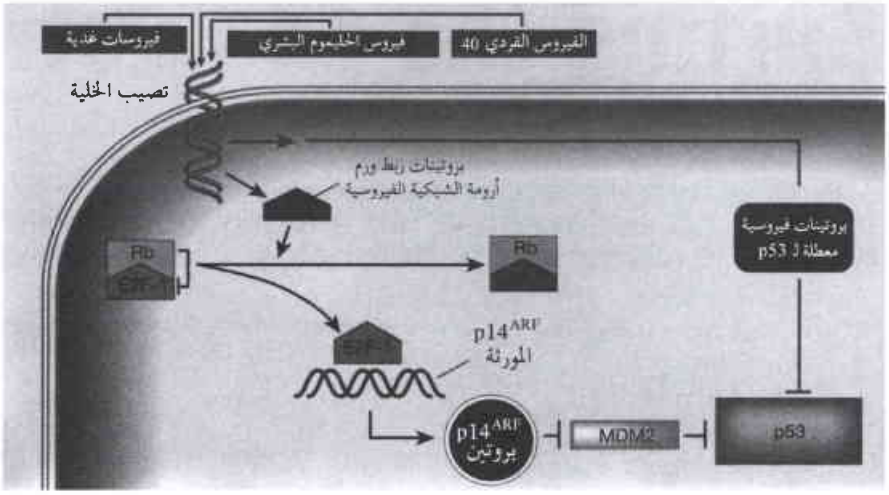
ماذا يحدث بعد ذلك؟

سبق وأن عُزي الكثير من الوظائف الكيميائية الحيوية إلى p53 المنشّطة، لكن أفضل هذه الوظائف توثيقاً هي قدرتها على الارتباط بسلاسل محددة داخل الدنا وتنشيطها انتساخ مورثات مجاورة [17]. كذلك سبق أن تمّ بشكل دقيق تحديد مواضع p53 المسؤولة عن الارتباط بسلاسل محددة والمُنشّطة لعملية الانتساخ. وبالفعل، فإن جميع الطفرات المصادفة طبيعياً ضمن المورثة p53 تقلل من قدرة بروتين p53 المكوّد على تنشيط الانتساخ، مما يدعم الفكرة التي مفادها أن هذا النشاط يُعدّ حاسماً بالنسبة لدور p53 كعامل كابت للورم.

وقد جرى تحديد بضع عشرات من المورثات التي تُضبط مباشرة بوساطة p53 ويمكن، بشكل عام، تصنيفها إلى أربع فئات.

تثبيط دورة الخلية

إن أحد أول التأثيرات في التعبير عن p53، لدى معظم أنواع الخلايا في الثدييات، هو العمل على إيقاف دورة انقسام الخلية. فبروتين p53 ينبه بشكل مباشر عملية التعبير عن $p21^{WAF1/Cip1}$- وهي مثبطة لكينازات تعتمد السيكلين cyclin-dependent kinases (CDKs). هذا، وتُعدّ CDKs منظمات



الشكل 2- المورثات الورمية الفيروسية وشبكة p53. تقوم عدة فيروسات بتكويد بروتينات تعترض سبيل التأثر بين بروتين ورم أرومة الشبكية وعوامل انتساخ تابعة لعائلة E2F، مثل E2F-1. ما سبق ذكره يحرّر E2F-1 لتنشيط مورثات مستهدفة ضرورية من أجل التكاثر الخلوي (لايبينها الشكل). لكن ذلك يؤدي أيضاً إلى تصنيع بروتين $p14^{ARF}$، وإلى التشويش على نشاط MDM2 (وهو منظم سلبي لبروتين p53)، وبالتالي إلى تثبيت p53؛ وهذا يُطلق التضاعف الخلوي (وبالتالي تضاعف الفيروس). وتُعطل الفيروسات هذه الدفاعات الخلوية بتصنيع بروتينات تثبط وظيفة p53، مما يجعل الخلايا المصابة تميل لأن تصبح سرطانية.

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

مفتاحية لدورة الخلية والتي تعمل بالتعاون مع شركائها -بروتينات السيكلين- كي تضمن أن تضاعف الدنا -على سبيل المثال- سيعقب بشكل سلس طور السكون الخلوي الذي يُدعى بالطور G1.

ومن خلال تأثيراته السلبية في مختلف أشكال الـ CDKs، تقوم $p21^{WAF1/CIp1}$ بتثبيط كلا الانتقالين من G1 إلى S ومن G2 إلى تحولات الانقسام الفتيلي mitosis transitions. وتستطيع أيضاً مورثات أخرى، من أحدثها Reprimo، أن تحتجز الخلايا في طور G2 [18]. وفي الخلايا الظهارية -كتلك المبطنة لأعضاء كالأمعاء والمثانة- تُحرِّض p53 أيضاً التعبير عن بروتين σ-3-3-14، الذي يعمل على تنحية معقدات cyclin B1-CDK1 خارج النواة، وبذلك يساعد بالحفاظ على إيقاف الطور G2 [19,20]. ومن الطريف أن يتمكّن، عبر خطوة مفردة، التثبيط لبروتين σ-3-3-14 من جعل الخلايا الظهارية الأولية للكائنات البشرية تنمو ضمن المستنبت بشكل لا محدود [21]. وهذا الخلود (النمو اللامحدود) قد يكون سمة مفتاحية تميز الخلايا الورمية عن الخلايا الطبيعية.

الموت الخلوي المبرمج Apoptosis

وبعض الخلايا التي جرى فيها تنشيط p53 تدخل في عملية موت مبرمج [22]. وهناك عدة عوامل وسيطة محتملة لموت الخلية المبرمج المحرَّض بالمورثة p53 [17]. ويُعدّ بروتين Bax -وهو نموذج أولي لهذا النوع من العوامل الوسيطة- أحد أعضاء عائلة بروتينات Bcl-2 الذي يحرِّض على الموت المبرمج للخلية. وفي بعض الخلايا البشرية، يُنشَّط مباشرة انتساخ مورثة Bax بوساطة مواقع ارتباط -p53 داخل المنطقة المنظمة للمورثة [23]. ومن ناحية ثانية، لا يوجد موقع ارتباط -p53 مماثل داخل المنطقة المنظمة لمورثة Bax الفأرية [24]. وفي الآونة الأخيرة، اكتُشِف أنه يجري تنشيط مباشر للمورثتين NOXA و P53AIP1 بوساطة p53 [25,26]. وكما هو الحال في Bax، يتوضع البروتينان NOXA و P53AIP1 داخل المتقدِّرات mitochondria- وهي محطات توليد القدرة الخلوية. وعندما يجري التعبير عنها بشكل مفرط، تعمد البروتينات المذكورة آنفاً إلى تحريض عملية الموت الخلوي المبرمج.

وكعوامل وسيطة محتملة أخرى لموت الخلية المبرمج المحرَّض بالمورثة p53؛ نذكر بروتينين لهما صفات مشابهة لمستقبلات "إشارة الموت" التقليدية، ألا وهما مستقبلا TNF (عامل تموت الورم tumour necrosis factor) و Fas. والأحدث اكتشافاً من بين هذه البروتينات هو ذلك الذي يدعى PIDD [27]. وأخيراً، قد تسبب p53 الموت من خلال تحريضها المباشر للمتقدِّرات كي تنتج كمية مفرطة من نوع أكسجيني تفاعلي reactive oxygen species عالي السمّية.

استقرار وراثي (جيني)

بعض المورثات المقيدة لتنامي الورم، وليس جميعها، يتحكم مباشرة في ولادة أو موت الخلية، فعلى سبيل المثال، نجد أن مورثات التصليح repair genes المسؤولة عن تصحيح أنواع محددة من الخطأ داخل الدنا هي التي تقود بشكل غير مباشر فقط إلى تنامي الورم عند تعطيلها وظيفياً (المؤطر 1)؛ ذلك لأن تعطيل هذه الجينات يؤدي إلى حالة عدم استقرار وراثي- وهو تراكم للأخطاء في جميع المورثات بما في ذلك تلك المسيطرة على النمو الخلوي. وقد يكون بروتين p53 هاماً وأساسياً في المحافظة على استقرار وراثي [28,29]. والآليات المسؤولة عن هذا الاستقرار الوراثي ليست واضحة، ولو أنها قد تتضمن التحريض لمورثات تنظِّم عمليات تصليح الدنا "باستئصال النكلوتيد nucleotide- excision"، والتأشيب الكروموزومي، وانعزال الكروموزومات [28,29]. ودليل آخر على وجود دور للمورثة p53 في تصليح الدنا يكمن في تحريض المورثة "ريدكتاز نكليوتيد ريبي ribonucleotide reductase بوساطة p53 بعد أذية الدنا [30]. وتحافظ مثل هذه المورثات على تحكم خلوي في الاستجابات تجاه أخطاء للدنا قد تحدث في مجموعة واسعة من الكائنات الحية [31].

تثبيط تشكل الأوعية الدموية

كي تصل الأورام إلى أحجام خطرة لا بد لها أن تشجع نمو أوعية دموية جديدة في جوارها من أجل نقل الغذيّات؛ وبروتين p53 الطبيعي هو الذي يحفِّز التعبير عن مورثات توقف هذه العملية [17,32]. لذلك، سوف تكون الخلايا التي يتعطل فيها p53 بفعل التطفير أكثر ميلاً لأن تشكّل أوعية دموية جديدة مما يمنح الأفضلية لتنامٍ خطرٍ يحدث عند مرحلة متأخرة من تطور الورم. وتُمثِّل هذه المرحلة الزمن الذي عنده تحدث معظم الطفرات الطبيعية لـ p53. هذا، وتدعم دراسات أخرى لكابتات الورم الرأي الذي مفاده أن منع تشكل أوعية جديدة قد يكون إحدى المكونات الهامة لنشاط كابت الورم [33].

علاوة على المورثات التي تُنشَّط مباشرة بوساطة p53، هناك عدد كبير منها ممن يجري كبته، لكن الآليات التي تساهم في ذلك لا تزال غير واضحة [34,35]. لماذا تقوم p53 بتنظيم التعبير عن مثل هذا العدد الكبير من المورثات؟ وهل يُعدُّ معظمها بنىً صنعية تمتلك، بالصدفة، مواقع ارتباط على p53 وليس لها دور هام في شبكة p53؟

وبالفعل، تُنشَّط بعض المورثات سريعة الاستجابة لـ p53 فقط بوساطة سويات عالية صنعياً من p53 المضافة؛ لذلك كان لابد أن يؤخذ بعين الاعتبار احتمال وجود بنى صنعية لأية مورثة فردية مرشحة. لكن هناك نظريات أخرى بديلة تُعدُّ أكثر جاذبية ووثوقية، وهذا يعود لسببين اثنين:

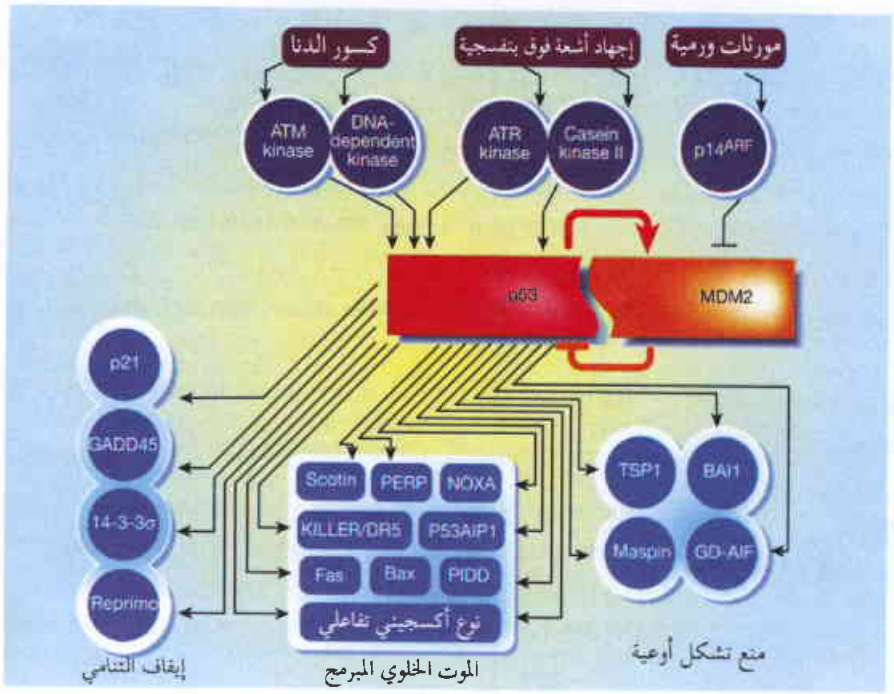
(1) لا تتشابه في الأنواع المختلفة حتى أبرز السمات الأساسية للاستجابة الخلوية تجاه أذية الدنا، وهي تتغاير حتى في الخلايا المختلفة للكائن نفسه. فعلى سبيل المثال، تسبب سويات عالية من بروتين p53 الطبيعي لبعض الخلايا البشرية أن تدخل في عملية موت مبرمج، في حين تسبب لبعضها الآخر إيقافاً مطولاً لدورة الخلية. لذلك، كان على المرء أن يتوقع اختلافات في التعبير عن مورثات p53 المستهدفة.

(2) المورثات الأكثر احتمالاً لأن تكون مطفرة في حالات السرطان، مثل مورثة p53، هي تلك التي تعمل كنقاط عقدية لدمج عدد كبير من الإشارات المختلفة. وعلى هذا الأساس، يتوقع المرء وجود العديد من العوامل الوسيطة "باتجاه مجرى التيار downstream" لمثل هذه المورثات، كما سيجري شرحه في الفقرة المبينة أدناه.

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

شبكة p53

كيف يمكن للعدد الضخم من الإشارات التنشيطية والتحويرات التشاركية وغير التشاركية والمنظّمات باتجاه مجرى التيار والخاصة جميعاً بالمورثة p53 أن تتوضع مع بعضها في نسق واحد؟ إن إحدى طرق فهم شبكة p53 هي في إجراء مقارنة لها مع الإنترنت. فالخلية، الشبيهة بالإنترنت، تبدو كأنها شبكة لا حدود لها، تتضمن مجموعة فرعية صغيرة من البروتينات ذات ترابط عالٍ فيما بينها وتتحكم في نشاط عدد كبير من البروتينات الأخرى، في حين تتأثر غالبية البروتينات مع عدد قليل آخر منها [36]. وفي هذه الشبكة، تعمل البروتينات عمل "العقد nodes"، في حين تعمل تلك العقد ذات الترابط العالي "كمحطات انطلاق محورية hubs". وفي شبكة كهذه، يكون الأداء تقريباً غير قابل للتغيير بإزالة عشوائية للعقد. لكن مثل هذه المنظومات تحتوي على "كعب أخيل Achilles' heel"، أو بعبارة أخرى، على مواقع ضعف هي الأشد قابلية للعطب: "فأعظم الطرق فعالية لتخريب شبكة ما تكمن في مهاجمة العقد الأكثر ترابطاً" [37]. ومن الواضح أن تكون p53 إحدى أكثر العقد ترابطاً داخل الخلية (الشكل 3)، وأنّ أي هجوم يُشنُّ عليها (بالتطفير) سيعطل الوظائف الخلوية الأساسية، وبخاصة الاستجابات لأذية الدنا والإجهادات المؤهّبة للورم.



الشكل 3- شبكة p53. يُحفّز تنشيط الشبكة (بالتعرض لإجهادات كما هو الحال عند تأذي الدنا، والأشعة فوق البنفسجية، والمورثات الورمية) نشاطات إنزيمية تعمل على تحوير p53 ومنظمها السلبي MDM2. وهذا يؤدي إلى زيادة سويات بروتين p53 المنشط. بعد ذلك، يتم التعبير عن عدة مورثات مستهدفة من خلال ربط p53 المنشط مع مناطقه المنظِّمة. وتساهم هذه المورثات في عمليات تُبطئ أو تخفض وتيرة تنامي الأورام. فعلى سبيل المثال، تمنع بعض المورثات تقدم دورة الخلية أو نمو أورام دموية جديدة لتغذية ورم متنام، في حين يشجع بعضها الآخر موت الخلية (أو الموت الخلوي المبرمج apoptosis). وتعمل على كبت أو تثبيط هذه الشبكة حلقة تغذية راجعة سلبية ما بين MDM2 و p53. وقد أمكن تحديد هوية كثير من المكونات الأخرى للشبكة (غير مبيّنة في هذا الشكل). وبطريقة مماثلة، يؤدي تنشيط p53 إلى عدد متنوع من التأثيرات التي قد تشمل الحفاظ على استقرار وراثي، والتحريض على تمايز خلوي، والتصنيع لركازة خارج الخلايا ولهيكل خلوي وليروتينات إفرازية. وتتغير مكونات الشبكة وكذلك مركّبات دخلها وخرجها تبعاً لنوع الخلية. وتكون p53 بمثابة عقدة عالية التوصيل والترابط في هذه الشبكة. لذلك، ليس بالأمر المفاجئ أن يكون مؤذياً جداً فَقْد وظيفة p53، وأن يحصل هذا الفَقْد -على وجه التقريب- في جميع حالات السرطان التي تصيب الإنسان.

وهناك عدة مضامين للبنية النظرية المذكورة آنفاً. فيجب أن لا نُفاجأ عندما لا يسبب، بالضرورة، التعطيل الوظيفي لعقد أقل ترابطاً تأثيرات شديدة الوطأة في الخلية، واختصاراً لجميع التأثيرات التي تنجم عن تعطيل p53. كذلك، لابد من اعتبار أية حصيلة يمكنها محاكاة جزءٍ مما يحدث بعد تعطيل p53 دليلاً إيجابياً على وجود نوع ما من الصلة والارتباط. وعلى سبيل المثال، لا يُحدث التعطيل الوظيفي للمورثة $p21^{WAF1/CIP1}$ أو للمورثة Bax التأثيرات ذاتها تماماً التي يُحدثها تعطيل المورثة p53، لكن تعطيل أي من هاتين المورثتين سيحدث تأثيرات معزِّزة للورم في بعض الخلايا ضمن ظروف محددة [23,38].

كذلك، لابد للمرء توقع أن توجيه هجمات مشتركة إلى العديد من العقد المترابطة مع p53 سيكون له، وبشكل متعاظم، تأثيرات أشد قسوة بحيث تصبح أكثر فأكثر مشابهة لهجمة موجهة إلى p53؛ وهذا ما أمكن تماماً ملاحظته في أعمال بحثية سابقة [40,39]. وختاماً، لابد للمرء بصورة خاصة أن يكون حذراً بشأن تجارب تعرّضت فيها عقد مرتبطة بالمورثة p53 إلى فرط في التعبير بدلاً من تعطيل وظيفي. فقد تتأثر نواتج مثل هذه المورثات عند تعرّضها لفرط في التعبير، مع كثير من العقد الأخرى بطريقة شاذة وغير منظمة. وإن فهم نتائج مثل هذه التجارب يُعدّ أكثر صعوبة وعرضة للوقوع في الخطأ من فهم وتفسير تجارب التعطيل الوظيفي للمورثة. ومن المحتمل أن تنطبق المبادئ ذاتها على معظم كابتات الورم الأخرى التي تعمل أيضاً كعقد عالية الترابط تستجيب لتأثيرات متنوعة ضمن شبكات ذات نوع محدد من الخلايا.

وإدراك وجود وتعقيد الشبكات الخلوية سيسمح بتصميم وتفسير أكثر عقلانية للتجارب المستقبلية، كما أنه سيفسح المجال لطرق في العلاج أكثر واقعية. بعد كل ما سبق، يبقى السؤال الأهم بشأن أبحاث المورثة p53 هو: كيف نهاجم شبكة خلوية تعرّضت للخطر نتيجة تعطيل الوظيفة لإحدى عقدها الأشد والأعلى ترابطاً؟ وتقترح أعمال بحثية جديدة [41] ترتيبات أو وسائل ممكنة لتنفيذ مثل هذا الهجوم- والتي قد تؤثر بشدة على سياسة التعامل مع عدد كبير ومتنوع من حالات السرطان.

المراجع REFERENCES

[1] Hollstein, M. et al. Mutat. Res. 431, 199-209 (1999).

[2] Hussain, S. P. & Harris, C. C. Mutat. Res. 428, 23-32 (1999).

[3] Carr, A. M. Science 287, 1765-1766 (2000).

[4] Sherr, C. J. & Weber, J. D. Curr. Opin. Genet. Dev. 10, 94-99 (2000).

[5] Lowe, S. W. & Lin, A. W. Carcinogenesis 21, 485-495 (2000).

[6] Meek, D. W. Oncogene 18, 7666-7675 (1999).

[7] Momand, J., Wu, H. H. & Dasgupta, G. Gene 242, 15-29 (2000).

[8] Prives, C. & Hall, P. A. J. Pathol. 187, 112-126 (1999).

[9] Giaccia, A. J. & Kastan, M. B. Genes Dev. 12, 2973-2983 (1998).

[10] Selivanova, G., Kawasaki, T., Ryabchenko, L. & Wiman, K. G. Semin. Cancer Biol. 8, 369-378 (1998).

[11] Buschmann, T., Fuchs, S. Y., Lee, C. G., Pan, Z. Q. & Ronai, Z. Cell 101, 753-762 (2000).

[12] Bar-Or, R. L. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 97, 11250-11255 (2000).

[13] Lozano, G. & Liu, G. Semin. Cancer Biol. 8, 337-344 (1998).

[14] Bell, D. W. et al. Science 286, 2528-2531 (1999).

[15] Vousden, H. & Van de Woude, G. F. Nature Cell Biol. 2, E178-E180 (2000).

[16] Levine, A. J. Cell 88, 323-331 (1997).

[17] El-Deiry, W. S. Semin. Cancer Biol. 8, 345-357 (1998).

[18] Ohki, R. et al. J. Biol. Chem. 275, 22627-22630 (2000).

[19] Chan, T. A. et al. Nature 401, 616-620 (1999).

[20] Laronga, C. et al. J. Biol. Chem. 275, 23106-23112 (2000).

[21] Dellambra, E. et al. J. Cell Biol. 149, 1117-1130 (2000).

[22] Gottlieb, T. M. & Oren, M. Semin. Cancer Biol. 8, 359-368 (1998).

[23] Reed, J. C. J. Clin. Oncol. 17, 2941-2953 (1999).

[24] Schmidt, T. et al. Cell Death Differ. 6, 873-882 (1999).

[25] Oda, E. et al. Science 288, 1053-1058 (2000).

[26] Oda, K. et al. Cell 102, 849-862 (2000).

[27] Lin, Y., Ma, W. & Benchimol, S. Nature Genet. 26, 122-127 (2000).

[28] Tlsty, T. D. Curr. Top. Microbiol. Immunol. 221, 37-46 (1997).

[29] Wahl, G. M. et al. Cancer Surv. 29, 183-219 (1997).

[30] Tanaka, H. et al. Nature 404, 42-49 (2000).

[31] Lozano, G. & Elledge, S. J. Nature 404, 24-25 (2000).

[32] Hendrix, M. J. Nature Med. 6, 374-376 (2000).

[33] Schwarte-Waldhoff, I. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 97, 9624-9629 (2000).

[34] Yu, J. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 96, 14517-14522 (1999).

[35] Zhao, R. et al. Genes Dev. 14, 981-993 (2000).

[36] Albert, R. et al. Nature 406, 378-382 (2000).

[37] Tu, Y. Nature 406, 353-354 (2000).

[38] Dotto, G. P. Crit. Rev. Oral Biol. Med. 10, 442-457 (1999).

[39] Jones, J. M. et al. Cell Growth Differ. 10, 213-222 (1999).

[40] Franklin, D. S. et al. Mol. Cell Biol. 20, 6147-6158 (2000).

[41] Lamont, J. P. et al. Ann. Surg. Oncol. 7,588-592 (2000).■

☆ ★ ☆

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

ترانزستور أثر الحقل المصدر للضوء★

ج. هـ. سكون، أ. دودابالابور، ش. كلوك، ب. باتلوغ
مختبرات بل، موراي هيل NJ 07974 – الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

نقدّم في هذه الورقة تقريراً عن بنية ومميزات تشغيل ترانزستور أثر الحقل المصدر للضوء المزدوج القطبية المبني على أساس من بلّورات أحادية لنصف ناقل عضوي هو α – تيوفين السداسي α-sexithiophene. تُحقن الإلكترونات والثقوب من إلكترودي المنبع والمصرف على الترتيب. يجري التحكم بتركيزها بواسطة الفولطية المطبقة على البوابة والفولطية بين المصرف والمنبع. تتولّد الإكسيتونات، مؤدّية إلى إعادة اتحاد مشع. وفضلاً عن ذلك فإن ضوءاً مترابطاً ينبعث من خلال إصدار تلقائي مضخم إذا تجاوز التيار عتبة حرجة منخفضة جداً، وبناءً عليه، فإن هذه النبيطة الثلاثية الأطراف تشكل الأساس للبنية الهندسية الواعدة جداً من أجل إنجاز فعل ليزري مسيَّر كهربائياً في أنصاف النواقل العضوية.

الكلمات المفتاحية: ترانزستور أثر الحقل مصدر للضوء، ترانزستور أثر الحقل مزدوج القطبية، α- تيوفين السداسي، إكسيتونات، مضخم ضوئي.

إن ترانزستورات أثر الحقل (FETs) هي نبائط وحيدة القطبية unipolar عموماً، فآثار حاملات الشحنة الأقلية مهملة. لكن ترانزستورات أثر الحقل المزدوجة القطبية ambipolar، التي تعمل كنبائط ذات قناة p أو قناة n– بحسب قطبية انحياز البوابة – يمكنها أن تعمل في نمط مختلط أو ثنائي تُحقن فيه النبيطة بالتيارين الناشئين عن الإلكترونات والثقوب معاً عند إلكترودين منفصلين. لقد تحققت ترانزستورات أثر الحقل المزدوجة القطبية في كلٍ من السليكون اللابلّوري [1,2]، والبنى اللامتجانسة (المتغايرة) لأنصاف نواقل عضوية [3]، والبلّورات الأحادية العضوية [4,5]. يُعدُّ تشكيل التماسين الأوميين للمنبع والمصرف واستخدام عازل عالي الجودة للبوابة من الأمور الأساسية في تصنيع مثل هذه النبائط كي نؤمّن نقلاً جيداً للشحنة التي تحملها الإلكترونات والثقوب. يمكن الوصول إلى حقن يتساوى فيه تيار الإلكترونات مع تيار الثقوب في هذه النبائط وذلك بضبط الفولطيات بين البوابة والمنبع (V_g) والفولطيات بين المصرف والمنبع (V_d) [6]. وهذا يؤدي إلى تشكّل وصلة p - n ضمن النبيطة، ومن ثم فإنه يتوقع أن تتولّد إكسيتونات. ورغم اقتراح البعض [7] أن تستخدم هذه النبائط كمصدرات للضوء، إلا أنه لم يُسجل أي إصدار للضوء من أي نوع من نبيطة FET الأحادية.

لقد تمكنّا حديثاً من عرض فعل الترانزستور مزدوج القطبية في نصف ناقل عضوي هو تيوفين السداسي α (α - 6T) [5]، وهو مادة يُعرف عنها أنها تبدي مردوداً عالياً إلى حد معقول من التألق الإلكتروني [8]. قيست حركيات كل من الإلكترونات والثقوب فوجد أنها تصل إلى $0.7\ cm^2V^{-1}\ s^{-1}$ و $1.1\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ على الترتيب بدرجة حرارة الغرفة في متعدد الشكل Polymorph عالي درجة الحرارة (HT) من نصف الناقل العضوي. وإضافة إلى ذلك، هنالك تقارير عن الليزرة بالضخ الضوئي optically pumped lasing في تيوفين السداسي [9] أو البلّورات الأحادية ذات الصلة بالأوليغوتيوفين oligothiophene [10]. وبناءً عليه، فإن هذا الصنف من المواد يشكل خياراً واعداً جداً بالنسبة لنبائط الإلكترونيات الضوئية العضوية. نقدّم هنا تقريراً عن تحضير ترانزستور مصدر للضوء (LET) مبني على ترانزستور FET من α - 6T مزدوج القطبية، عالي درجة الحرارة، أحادي التبلور.

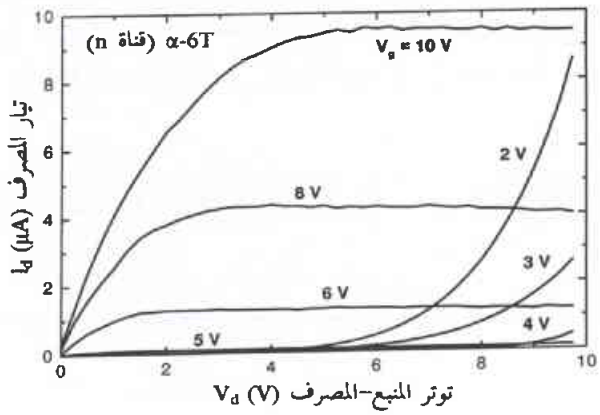
شاهدنا بهذه النبيطة إصداراً تلقائياً مضخماً مسيَّراً كهربائياً عند سويات عالية للإثارة. كانت التيارات الحرجة اللازمة لبدء الإصدار المحثوث بضع عشرات مكرو أمبير.

جرى إنماء بلّورات أحادية من α - 6T(HT) من الطور البخاري في دفق من الهدروجين [11]. كانت المادة الناتجة من النوع p الضعيف، بتركيز للحاملات يقع في المجال $10^7\ cm^{-3}$. حضّرت بنى الـ FET باستعمال الألمنيوم المبخّر من أجل تماسات المصرف والمنبع (بقناة طولها 25 µm وعرضها 750 µm)، واستعمال Al_2O_3 المرشرش Sputtered لطبقة البوابة العازلة، واستعمال Zn O المطعم بالألمنيوم من أجل إلكترود البوابة [4, 5]. من المتوقع أن يكون التماس أومياً بالنسبة للإلكترونات. أما فيما يتعلق بحقن الثقوب فهنالك حاجز صغير، ويمكن تخفيضه بتطبيق انحياز على النبيطة بحيث لايحدث حقن للثقوب عند الإشباع. شوهدت منحنيات نموذجية في المنحنيات المميزة للترانزستور عند درجة حرارة الغرفة، من أجل تشغيل القناة n (حيث يكون V_d و V_g موجبين)

★ نشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol 290, 3 November 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

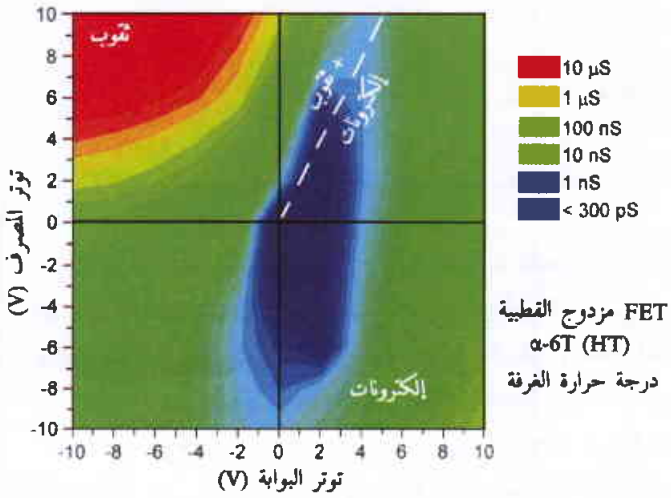
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

(الشكل 1) وذلك من أجل قيم كبيرة لـ V_g، أما من أجل قيم V_g المنخفضة فالمنحنيات المميزة التي شوهدت كانت غير مألوفة. فتيار المصرف كان يزداد بشدة من أجل قيم منخفضة لـ V_g وعالية لـ V_d، وهذا يفسّر بمساهمة الثقوب المحرّضة من البوابة في القناة. ولقد قيست الحركيتان 0.7 و $1.1\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ عند درجة حرارة الغرفة لكل من الإلكترونات والثقوب بمعادلات ترانزستور FET نموذجية. أما عند درجات حرارة منخفضة فأمكن الوصول إلى حركيات تقع في المجال $200\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$، مما يؤكّد النوعية العالية للمادة.

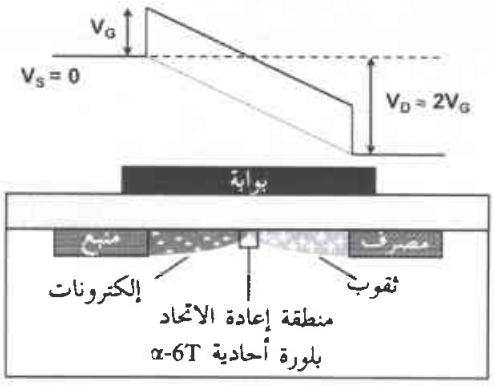


الشكل 1– تيار المصرف لترانزستور أثر الحقل 6T - α المزدوج القطبية عند درجة حرارة الغرفة كتابع للانحياز V_d الموجب المطبّق بين المصرف والمنبع من أجل فولطيات Vg مختلفة بين البوابة والمنبع. عند فولطية عالية البوابة يهيمن تيار الإلكترونات، في حين يصبح النقل بالثقوب ملحوظاً عند فولطية منخفضة للبوابة وفولطية مرتفعة بين المنبع والمصرف.

تعطي الثقوب في قناة الـ FET الناقليةَ لهذه القناة كتابع للانحياز المطبّق على خريطة ملونة ذات تدريج لوغارتمي (الشكل 2) من أجل V_d موجبة و V_g سالبة، في حين تهيمن الإلكترونات من أجل V_g موجبة وV_d سالبة. إلا أنه يمكن ضبط كل من تياري الإلكترونات والثقوب بالتحكم بالنسبة بين V_g و V_d في الربعين الآخرين [1، 2، 6]. إذا افترضنا حركيات متساوية لكلا النوعين من حاملات الشحنة، كما هو الحال بالنسبة لـ 6T -α، فإننا نجد حقاً للإلكترونات والثقوب المتوازنة أكثر أو أقل عند انحياز للبوابة يبلغ $V_g \approx 1/2\ V_d$، الذي يُعدّ عالياً بالمقارنة مع الفولطيات الحرجة لنشاط القناة n أو القناة p. هذا الوضع ممثل في الشكل 3. في حالة الانحياز الموجب للبوابة، تتراكم الإلكترونات بالقرب من إلكترود المنبع. لكننا إذا اقتربنا من منطقة المصرف، فإن انحياز البوابة بالنسبة للمصرف يكون سالباً، مما يؤدي إلى تراكم حاملات شحنة موجبة. وينتج عن ذلك تشكل وصلة p - n في منطقة القناة للترانزستور. يجري كل نوع من الحاملات باتجاه الآخر، فتتولّد الإكسيتونات ويُشاهد إصدار مشع من الترانزستور (الشكل 4). وبناءً عليه، فإن ترانزستور أثر الحقل FET. يعمل كترانزستور مصدر للضوء (LET).



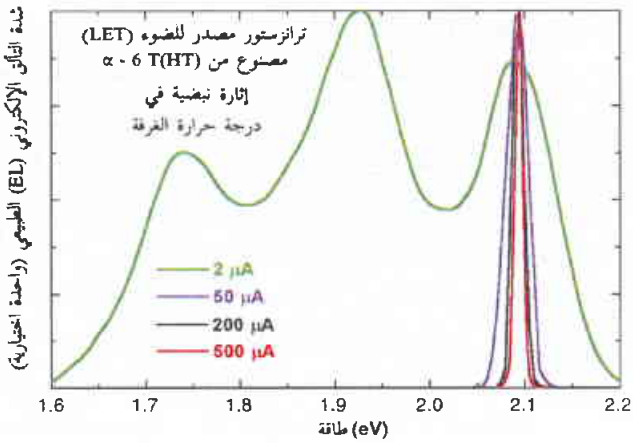
الشكل 2– رسم بياني ملون لناقلية القناة لترانزستور أثر الحقل من 6 T - α المزدوج القطبية بدلالة انحياز البوابة – المنبع والمصرف – المنبع على تدريج لوغارتمي. يقابل الخطّ المتقطع تياري الإلكترونات والثقوب المتوازنين ($V_d \approx 2\ V_g$).



الشكل 3– صورة تخطيطية لـFET المزدوج القطبية في شروط الحقن المتوازن للإلكترونات والثقوب ($V_d \approx 2\ V_g$). لما كانت الإلكترونات تتراكم بالقرب من إلكترود المنبع، فإن انحياز البوابة السالب بالنسبة للمصرف يؤدي إلى تراكم حاملات شحنة موجبة بالقرب من منطقة المصرف. وللإيضاح، فإن الأبعاد ليست بالمقياس الصحيح، فالشحن الحقيقي لكل من البلّورة، وأكسيد البوابة، وقناة النقل هو 2μm و 200 nm تقريباً بضعة نانومترات على الترتيب.

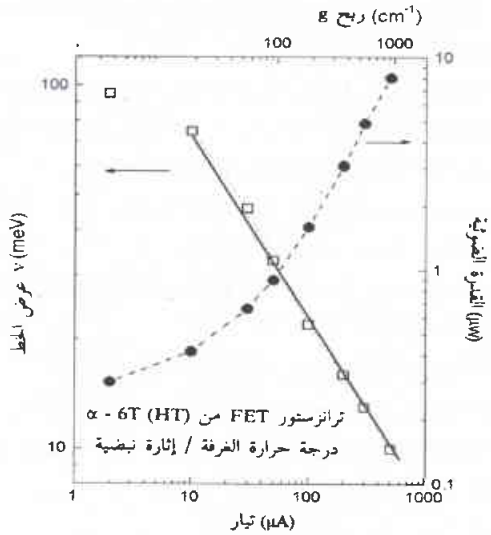
إذا نظرنا إلى طيف الإصدار (الشكل 4)، فإن العُصَابات الثلاث فيه تُعزى إلى العُصَابات الجانبية الاهتزازية vibronic zide bands (انتقالات ضوئية بإصدار فونوني تلقائي) للانتقال بين أخفض سوية إكسيتونية والحالة الدنيا [12]. أُنجزت القياسات في درجة حرارة الغرفة في وسط من الهليوم. عند تيارات إثارة عالية، شوهد تضيّق ملحوظ لأول عصابة إصدار (أصفر، حول 2.09 eV). لقد استعملنا إثارة كهربائية نبضية (10μ s و 100 Hz و $V_d \approx 2\ V_g$) مع تيارات تصل حتى 500 μ A ($V_g \approx 50V$). وهذا يقابل كثافة حاملات في منطقة القناة تصل إلى $10^{13}\ cm^{-2}$. مع زيادة التيار المسيِّر، ينهار عرض خط الإصدار من 100 meV إلى أقل من

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



الشكل 4– تألق إلكتروني (EL) لترانزستور FET مصنوع من بلّورة أحادية من α - 6 T المزدوج القطبية عند درجة حرارة الغرفة من أجل تيارات مختلفة تحت تأثير إثارة نبضية. يُلاحظ بشكل واضح تضيّق شديد للإصدار عائد للإصدار التلقائي المضخم مع إثارة كهربائية قوية. يمكن تقدير كفاية إصدار النبيطة بأكثر من 1%.

9 meV (الشكل 5)، وترتفع القدرة الضوئية بسرعة إلى ما بعد قيمة حرجة تقارب 20μA (الشكل 5). إن هذا السلوك نموذجي بالنسبة لإصدار تلقائي مضخّم. كما شوهد أيضاً تغير في عيّنات الإصدار.



الشكل 5– عرض خط الإصدار والقدرة الضوئية كتابع للتيار. إن تقدير عرض الخط باستخدام نموذج مضخم أحادي البعد مبيّن أيضاً على هيئة خط مستمر [ν(0) ≈ 110 meV]. كما يظهر على الشكل الربح g المقدّر (التدريج العلوي).

إن مشاهدة الإصدار التلقائي المضخم يمكن أن تُرى كنتيجة لعدد من العوامل المؤاتية، مثل الحقن المتوازن للإلكترونات والثقوب في الـ FET المزدوج القطبية، والحصر المحكم للإكسيتونات في بُعدَين. إن البنية المتعدّدة الطبقات المبينة في الشكل 3 تؤلف أيضاً دليلاً موجياً متعدد الأنماط. تعني قرينة الانكسار الأعلى لـ ZnO (1.98) لدى مقارنتها بقرينة انكسار (1.7) Al_2O_3 وقرينة انكسار نصف الناقل العضوي (1.8 ~) أن الأنماط الموجّهة، عند سويات حقن منخفضة، كانت متركزة في طبقة ZnO.

وعند سويات حقن أعلى يُتوقع أن يجعل الربح الضوئي التأثيرات الموجّهة للربح هي المسيطرة .

إن منطقة إعادة الاتحاد، التي تؤلف منطقة الربح، تحدّ من انتشارها مكانياً الآثار الكهراكدية وطول انتشار الإكسيتونات في أنصاف النواقل العضوية. من المناسب أن نعتبر هذه النبيطة، من وجهة النظر الضوئية، كمضخم ضوئي أحادي البعد ((1D. لقد استخرج ياريف وآخرون صيغة تحليلية بسيطة لعرض الخط في باعث مُوسَّع بصورة متجانسة كتابع للربح الضوئي عندما يُنظر إليه كمضخم أحادي البعد 1D [13]. لقد حصلوا على العلاقة:

$$\nu(I) = \nu(0)(\ln 2/g\,(I)z)^{0.5}$$

حيث ν (I) هو عرض الخط عند شدة حقن I،و g(I) هو الربح عند الشدة I (بافتراض gαI)، و z هو طول المضخم (750μm). يبيّن الخط المتصل في الشكل 5 الربح المحسوب. يمكن رؤية أن الشكل التابعي ($\nu \propto I^{-0.5}$) لتغير عرض الخط مع شدة الإثارة، والذي حسبه ياريف وآخرون، يتفق بشكل جيد مع المعطيات التجريبية.

إن بنية النبيطة المبينة في الشكل 3 تمتلك أيضاً خواص حرارية مؤاتية. فالناقلية الحرارية لمعظم المواد العضوية تكون منخفضة، وإن تبدد الحرارة في الليزرات يشكل بالطبع اهتماماً أساسياً. وفي هذه البنية يحدث تبدد للطاقة في كل مكان في القناة بينما يقتصر الربح على جزء صغير من القناة. وهذا مفيد لكل من تبدد الطاقة وللوصول إلى إصدار محثوث عند عتبات منخفضة. لقد تمّ بلوغ هذا الوضع المؤاتي من دون طباعة حجرية (ليثوغرافيا) أو أي تنميش لنصف الناقل. إن تيار العتبة من أجل مشاهدة آثار الربح الضوئي صغير جداً: حوالي 20μ A. وهذا رقم يقارب تيارات العتبة في أفضل الليزرات ذات الإصدار السطحي من تجويف شاقولي والقائمة على أنصاف نواقل من المجموعتين III - V [14]، التي هي أصغر حجماً بكثير. وبإعطاء النبيطة الجديدة شكلاً هندسياً، يصبح من الجدير بالاهتمام أن نعرف شدة تيار العتبة بطرقٍ دقيقة (مميّزة). تبلغ شدة تيار العتبة الفعّال (تيار/مساحة القناة) أقل من 1 A/cm^2، و– حسب معلوماتنا – أقل قيمة لشدة تيار عتبة (لإصدار محثوث) تمّ بلوغها في أية منظومة مواد عند درجة حرارة الغرفة. ومهما يكن، فإن شدة تيار العتبة الكهربائي (تيار/سطح مقطع القناة) تقع في مجال الكيلو أمبير في السنتمتر المربع (RA / cm^2)، وهي مماثلة للإصدار المحثوث المسيَّر كهربائياً في التراسين [15]. وهنالك سمة أخرى لهذه النبيطة وهي أن الإكسيتونات تتشكل في منطقة يكون الحقل الكهربائي فيها قريباًمن الصفر.

ومما يشجعنا هو أن الربح الأعظمي الذي تمّ الوصول إليه ($900\ cm^{-1}$ ~).أكبر بحوالي مرتبة في القيمة من فَقْد المنظومة (المقدَّر أن يكون من رتبة $100\ cm^{-1}$). لقد بيّنت الأعمال السابقة في الليزرات العضوية المثارة ضوئياً أن عتبة الفعل الليزري في ليزرات عاكس براغ الموزّع distributed Bragg reflector lasers (DBR) أقل بقليل من تلك التي في الإصدار المحثوث في دليل موجي مستوٍ غير منمذج [16] و بناءً عليه، فإننا نتوقع أنه سيكون ممكناً تحقيق ليزرات DBR بواسطة ترانزستورات أثر حقل (FETs) عضوية بإدخال شبكة في البنية. هنالك العديد من المشاريع التي قُدِّمت لتصنيع هنالك شبكات من هذا النوع

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

[17]. و من الممكن أيضاً إدخال مقرنات couplers مبنية على البلّورات الفوتونية الثنائية البعد كي تقرن الضوء شاقولياً خارج النبيطة [18].

تسمح بنية النبيطة بإجراء تشغيل نبضي بسيط نسبياً، لأنه لايلزم تطبيق نبضة فولطية إلا على البوابة. كما أن بنية النبيطة ملائمة أيضاً لنبائط إصدار متكاملة بواسطة نبائط تحكّم، تقوم بوظائف تحويل switching functions. من أجل ترانزستورات سَوْقٍ من هذا القبيل، يمكن تشكيل التماس الأومي بمعدن له تابع عمل منخفض. سيؤدي حاجز شوتكي Schottky barrier من أجل حقن الثقوب إلى تشغيل أحادي القطبية في قناة n بشكل مهيمن. وهكذا، فإن النبيطة نفسها ذات الأطراف الثلاثة يمكنها بصورة أساسية أن تتضاعف؛ فتعمل كترانزستور تحويل وليزر. وفضلاً عن ذلك، فإن أسلوب بناء هذه النبيطة متوافق أيضاً مع الأفلام البلّورية لأنصاف النواقل العضوية، التي يمكن إنماؤها على ركازات من البلاستيك المرن. لقد تمَّ مؤخراً إثبات أن أفلام من البنتاسين منماة على ركازات من البولي إميد تمتلك حركيات عالية من أجل الثقوب والإلكترونات [5]. إن تطوير أنصاف نواقل عضوية أخرى، مثل α - 6T أو التتراسين، ذات خواص كهربائية وضوئية جيدة سيسهل تحقيق ليزرات عضوية من أنصاف نواقل عضوية ذات مساحة كبيرة وكلفة منخفضة. إضافة إلى ذلك، فإن بنية هذه النبيطة التي لا تتطلب تطعيماً مقصوداً، يمكن أن تكون مفيدة في تحقيق الفعل الليزري في منظومة من المواد يصعب تطعيمها.

المراجع REFERENCES

[1] H. pfleiderer, IEEE Trans. Electron. Devices ED - 33, 145 (1986).

[2] G. W. Neudeck, H. F. Bare, K. Y. Chung, IEEE Trans Electron. Devices ED - 34, 344 (1987).

[3] A. Dodabalapur, H. E. Katz, L. Torsi, R. C. Haddon, Science 269, 1560 (1995).

[4] J. H. Schön, S. Berg, Ch. Kloc, B. Batlogg, Science 287, 1022 (2000).

[5] J. H. Schön, Ch. Kloc, B. Batlogg, in proceedings of the European Materials Research Society Spring Meeting, May/June 2000, Strasbourg, France, in perss.

[6] A. Dodabalapur, H. E. Katz, L. Torsi, R. C. Haddon, Appl. Phys. Lett. 68, 1108 (1996).

[7] A. Dodabalapur, H. E. Katz, L. torsi, Adv. Mater. 10, 853 (1996).

[8] G. Horowitz et al., Adv. Mater. 6, 752 (1994).

[9] F. Garnier et al., Appl. Phys. lett. 72, 2087 (1998).

[10] D. Fichou, S. Delysse, J.- M. Nunzi, Adv. Mater. 9, 1178 (1997).

[11] Ch. Kloc, P. G. Simpkins, T. Siegrist, R. A. Laudise, J. Cryst. Growth 182, 416 (1997).

[12] M. Muccini et al., J. Chem. Phys. 108, 7327 (1998).

[13] L. W. Casperson, A. Yariv, IEEE J. Quantum Electron. 8, 80 (1972).

[14] Z. Zou, D. L. Huffaker, D. G. Deppe, IEEE Photon. Technol. Lett. 12, 1 (2000).

[15] J. H. Schön, Ch. Kloc, A. Dodabalapur, B. Batlogg, Science 289, 589 (2000).

[16] M. Berggren, A. Dodabalapur, R. E. Slusher, Z. Bao, Nature 389, 466 (1997).

[17] J. A. Rogers, M. Meier, A. Dodabalapur, Appl. Phys. Lett. 74, 3257 (1999).

[18] A. Mekis, A Dodabalapur, R. E. Slusher, J. D. Joanno - poulos, Opt . Lett. 25, 942 (2000).

[19] We thank Z. Bao, F. Capasso, E. A. Chandross, S. V. Frolov, H. E. Katz, and R. E. Slusher for many helpful discussions.■

☆ ★ ☆

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

إثبات تجريبي لقرينة انكسار سالبة*

د. أ. شيلبي، د. ر. سميث، س. شولتز
قسم الفيزياء - جامعة كاليفورنيا - سان دييغو - الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

نقدّم معطيات تبعثر تجريبية عند تواترات أمواج مكروية على شبه مادة منشأة تُبدي عصابة من التواترات تكون فيها قرينة الانكسار الفعّالة (n) سالبة. تتألف هذه المادة من صفيف ثنائي البعد لخلايا وحدة متكررة من أشرطة نحاسية ومن مجاوبات مجزأة الحلقات على أشرطة متشابكة من مادة لوحات الدارات النموذجية. بقياس زاوية تبعثر الحزمة النافذة من خلال موشور مصنوع من هذه المادة، نعيّن n الفعّالة، الملائمة لقانون سنيل. تؤكد هذه التجارب وبصورة مباشرة تنبؤات معادلات مكسويل التي تقول بأن n تعطى بناقص الجذر التربيعي لـ ε.μ من أجل التواترات التي تكون عندها كل من السماحية (ε) والنفاذية (μ) سالبة. أصبح الآن بالإمكان تحقيق تركيبات لتصاميم ضوئية هندسية كان من غير الممكن تحقيقها بواسطة مواد ذات قرائن انكسار موجبة.

الكلمات المفتاحية: قرينة انكسار سالبة، شبه مادة، مادة يسارية.

ربما يُعدّ الانكسار أحد الأسس الأهم للظواهر الكهرمغنطيسية، والذي بموجبه إذا سقطت حزمة من الإشعاع على سطح يفصل بين مادتين وبزاوية كيفية، فإن جهة انتشار الحزمة النافذة تتغيّر بمقدار يتعلق بقرينتي انكسار المادتين. إن قانون سنيل، الذي نحصل عليه بفرض أن يكون طور الحزمة الواردة وطور الحزمة النافذة متساويين في كل مكان عند السطح البيني، يعطي العلاقة الكمية بين زاويتي الورود والانكسار (θ_1 و θ_2 مقيستان بدءاً من الناظم على السطح البيني للانكسار) وقرينتي انكسار الوسطين (n_1 وn_2)، التي هي من الشكل $n_1\sin(\theta_1) = n_2\sin(\theta_2)$. وعليه فإن شعاعاً منكسراً ينحني مقترباً من الناظم (ولكنه لا يظهر أبداً على الجانب نفسه من الناظم كالشعاع الوارد) لدى دخوله مادة موجودة بصورة طبيعية قادماً من الهواء، كما هو الحال في معظم المواد حيث $n > 1$. يشكل الانكسار العنصر الأساسي للعدسات وتشكّل الأخيلة، حيث أن أي جزء محدود من مادة ذات قرينة انكسار تختلف عن قرينة انكسار الوسط سوف تغير جهة الأشعة الواردة التي لا تكون عمودية على السطح البيني. يمكن تصميم العدسات لتبئّر وتوجّه الإشعاع من أجل أنواع كثيرة من التطبيقات، كما أنها ذات فائدة في مجال واسع من الأطوال الموجية (من أمواج الراديو إلى الأمواج الضوئية، على سبيل المثال).

مع أن جميع المواد المعروفة والموجودة بصورة طبيعية تبدي قرائن انكسار موجبة، إلا أن إمكانية وجود مواد بقرينة انكسار سالبة قد استكشفت نظرياً [1] وأظهرت الاستنتاجات أن مثل هذه المواد لا تخرق أياً من القوانين الفيزيائية الأساسية. وقد أطلق على هذه المواد اسم "يسارية" left - handed (LHM). وبالإضافة إلى ذلك، فقد تبين أن بعضاً من الخواص الكهرمغنطيسية الأكثر أساسية لمادة يسارية تكون معاكسة لمثيلاتها من هذه الخواص في المواد اليمينية العادية (RHM)، مؤدية بذلك إلى بصريات غير مألوفة وغير مدركة بالحدس. فمثلاً، إذا سقطت حزمة على مادة يسارية قادمة من مادة يمينية، فإنها تنعكس إلى الجانب نفسه من الناظم كالحزمة الواردة. وزيادة على ذلك، فإنه يُتوقّع لأشعة قادمة من منبع نقطي وتصطدم بشريحة مسطحة ومتوازية الوجهين من مادة يسارية أن يُعاد تبئيرها في نقطة تقع على الجانب المقابل للمادة. وحديثاً، أسفر تحليل هذا الوضع عن ملاحظة أن مثل هذه الشريحة المستوية تستطيع، إذا كانت تتمتع بقرينة انكسار مناسبة، أن تولد بؤرة بفصل ذي طول موجي فرعي، يتفوّق على حد الانعراج الطبيعي المرافق لبصريات قرائن الانكسار الموجبة [2].

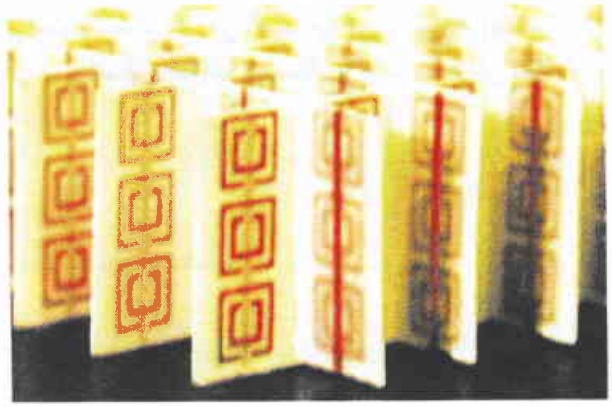
أعلن حديثاً عن تصنيع وقياس أشباه مواد مركّبة structured metamaterials لها مجال من التواترات يتوقع لقرينة الانكسار أن تكون سالبة ضمنه من أجل أحد اتجاهات الانتشار [3]. أُدخل بعد ذلك توسيع على هذه البنية لتشمل بعدين وكانت النتيجة توقع ظهور قرينة انكسار سالبة ومتناحية في بعدين [4]. تستعمل هذه البنى مجاوبات مجزّأة الحلقات لتولّد نفاذية مغنطيسية سالبة في مجال تواترات خاص [5] وكذلك عناصر سلكية لتولد سماحية كهربائية سالبة في مجال تراكب للتواترات [6]. عندما تكون السماحية ε، والنفاذية μ لمادة سالبتين بآن واحد، علينا أن نختار الجذر التربيعي السالب لقرينة الانكسار التي تعطى بـ $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu/\varepsilon_0\mu_0}$ (ε_0 وμ_0) هما سماحية ونفاذية الفضاء الحر على الترتيب [1، 2، 7]. على الرغم من أن تجارب ومحاكيات الإنفاذ transmission الحديثة [3، 4] على المواد اليسارية LHMs بيّنت وجود

* نشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol 292, 6 April 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

عصابة انتشار يسارية، فإن التجارب التي نقدمها هنا تؤكد وبصورة مباشرة أن المواد اليسارية تبدي بالفعل قرينة انكسار سالبة.

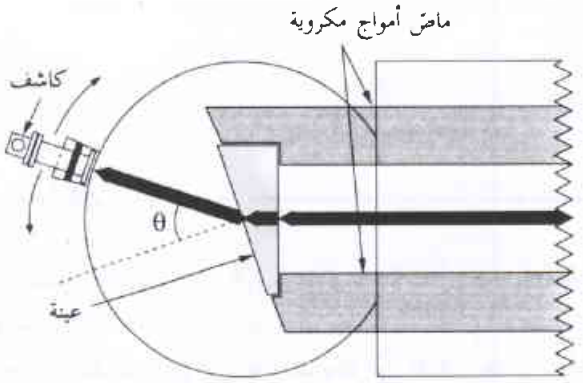
تتألف العينة ذات المادة اليسارية المستعملة في التجارب المقدمة هنا (الشكل 1) من صفيف دوري ثنائي البعد من مجاوبات مجزّأة الحلقات وأسلاك من النحاس، مصنوعة بتقنية قناع الظل/ التنميش shadow mask/ etching على مادة من ألواح الدارات المصنوعة من الزجاج الليفي G10 وبثخن 0.25 mm. وبعد المعالجة تُقطع الألواح وتجمع في وحدة متشابكة interlocking unit، اقتطع منها قطعة على شكل موشور من أجل تجارب انحراف الحزمة.



الشكل 1– صورة لعيّنة من شبه مادة يسارية (LHM). تتألف العينة LHM من مجاوبات دوات حلقات مستطيلة من النحاس مجزّأة، ومن أشرطة سلكية من النحاس على مادة ألواح الدارات الكهربائية المكونة من الزجاج الليفي. الحلقات والأسلاك موضوعة على جانبين متقابلين من الألواح، وقد قطعت الألواح وجمّعت في شبيكة متشابكة.

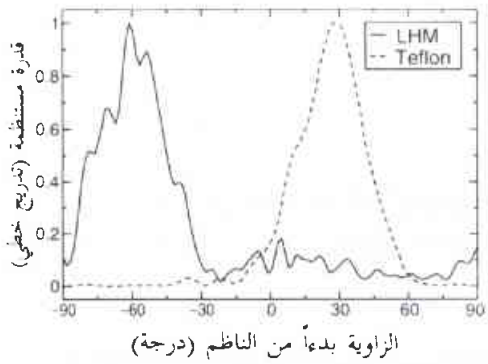
لتعيين قرينة الانكسار، قسنا انحراف حزمة من إشعاع الأمواج المكروية وذلك أثناء عبور الحزمة خلال العينة ذات الشكل الموشوري. في تجربة الانكسار هذه (الشكل 2)، وضعت العينات ذات الأشكال الموشورية بين صفيحتين دائريتين من الألمنيوم. كان للصفيحة العلوية محور ارتكاز في المركز، يمكن أن يُدوَّر حوله دليل موجي لموجة مكروية من العصابة X مربوط كي يقيس القدرة النافذة عند زوايا انكسار كيفية.

أُضيء وجه الموشور الذي يرد عليه الإشعاع بحزمة من أمواج مكروية كان حقلها الكهربائي مستقطباً، وكان منتظماً وعمودياً على الصفيحتين المعدنيتين وموازياً للأسلاك المبينة في الشكل 1 (استقطاب مغنطيسي عرضي). إن أي انكسار يحدث من السطح الأول سيكون سببه مركبات من الحزمة الواردة تحتوي على زوايا ورود بعيدة عن الناظم. ولتقليل الانتشار الزاوي للحزمة الواردة، الذي يسببه الانعراج من المنبع، أدخلنا الأمواج المكروية عبر كبل محوري إلى مُهايئ الدليل الموجي، على بعد متر واحد من العينة. وُجّهت بعد ذلك الأمواج بواسطة صفيحتين مسطحتين من الألمنيوم يتوافق البعد بينهما مع الصفيحتين الدائريتين (1.2 cm) وحصرت من الجانب بواسطة صفائح من مادة ماصة موضوعة على بعد 9.3 cm منها.



الشكل 2– مخطط للإجراء التجريبي. وضعت العينة وماصّ الأمواج المكروية بين صفيحتين متوازيتين دائريتين من الألمنيوم علوية وسفلية تبعدان عن بعضهما مسافة 1.2 cm. كان نصف قطر الصفيحتين الدائريتين 15 cm. تمثل الأسهم السوداء حزمة الأمواج المكروية كما لو أنها ستنكسر بواسطة عينة ذات قرينة انكسار موجبة. دُوِّر الكاشف حول محيط الدائرة بخطوات تبلغ الخطوة منها 1.5°، وقيس طيف القدرة النافذة كتابع للزاوية θ، بدءاً من الناظم على السطح البيني. كان الكاشف عبارة عن دليل موجي لمهايئ محوري waveguide to coaxial adapter متصل بدليل موجي نموذجي للعصابة X، والذي كانت فتحته 2.3 cm في مستوي الصفيحتين الدائريتين. الزاوية θ موجبة في هذا الشكل كما هو مبين.

وبعد الانتشار خلال العينة، تواجه حزمة الموجة المكروية السطح الثاني للموشور، وهو السطح البيني للانكسار، فتنكسر عليه وفق اتجاه يحدده قانون سنيل. لقياس زاوية البروز، دوَّرنا الدليل الموجي/ منظومة مقياس القدرة على خطوات مقدار كل خطوة 1.5° وسجّلنا طيف القدرة النافذ على كامل مدى العصابة X في كل خطوة، مستخدمين محلّل الشبكات العددي HP8756A scalar network analyzer. أجريت التجارب باستخدام عينة LHM على شكل موشور، واستخدمت كذلك عينة من التفلون لها نفس الشكل كشاهد. كان الناظم على سطح الانكسار LHM يصنع زاوية 18.43° بالنسبة للناظم على سطح الورود. وكما نستطيع أن نرى من الشكل 3، حيث أجريت التجربة عند تواتر قدره



الشكل 3– القدرة النافذة عند التواتر 10.5 GHz كتابع لزاوية الانكسار لكل من عينة التفلون (المنحني المتقطع) وعينة LHM (المنحني المستمر). استنظم المنحنيان بحيث يكون مطال ذروة كل منهما يساوي الواحد. فمن أجل عينة التفلون، قيست قمة القدرة المنكسرة فكانت عند 27°، وهي توافق قرينة انكسار موجبة تساوي 0.1±1.4. أما من أجل عينة LHM فكانت القمة عند 61°-، والتي استنتجنا منها قرينة الانكسار (0.1±2.7-). يُعيِّن عرض الحزمة بالانعراج عند مخرج القناة الواردة والحساسية الزاوية للكاشف. وهو مشابه لعرض الحزمة التي تقاس بدون عينة في المكان.

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

10.5 GHz، فإن الأمواج المكروية قد انكسرت بزوايا موجبة كما هو متوقع من أجل عينة التفلون وعلى الجانب المقابل (أي جانب θ السالبة) للمناظم من أجل عينة LHM. تبين معطيات التفلون الانكسار كما هو متوقع من أجل $n_{Teflon}=1.4\pm0.1$، بينما من أجل LHM تقتضي زاوية الخروج المقاسة $\theta_{air}=-61°$. أن تكون $n_{LHM}=-2.7\pm0.1$.

تعد النفاذية، والسماحية، وقرينة الانكسار من الخواص الجرمية وخواص الوسط الفعّال. ورغم أن شبه المادة التي نستعملها تتألف من عناصر تبعثر متقطعة، إلا أنه يمكن أن تُقرَّب كوسط فعّال من أجل أطوال موجية أكبر من حجم خلية الوحدة. كان لـ LHM التي استخدمت في هذه التجارب خلية وحدة ذات بعد يبلغ 5 mm، وهو أصغر بستة أضعاف من الطول الموجي لمركز العصابة X (تواترها يقع في المجال من 8 GHz إلى 12 GHz) البالغ 3 cm. لقد بينت الدراسات السابقة أن تبعية وسطاء المادة الفعّالة للتواتر تصف بصورة جيدة نفاذ الأمواج المستوية، الواردة وروداً ناظمياً، خلال شريحة مستوية من هذه المادة [4].

رغم أن الـ LHM المكوّنة تسلك في أغلب الأحيان سلوكاً مشابهاً لمادة متجانسة في مجال الأطوال الموجية المدروسة، فإن حجم خلية الوحدة المحدود يؤدي إلى تجعّد لا مفرّ منه لسطح الانكسار. لقد أكّدنا أن هذا التجعّد، إذا أضيف إليه الانعكاس على السطح البيني، يُدخل تعديلات على أنماط النفوذ الزاوي الملاحظة، وذلك بملاحظة النفوذ الزاوي من عينة من التفلون كانت قطعت بأشكال درجية step patterns مماثلة لأشكال عينة LHM [8]. ولكي نقدم تمثيلاً وسطياً لمعطيات LHM، سجلنا القدرة النافذة كتابع للتواتر وزاوية الانكسار من أجل ثمانية مواضع مختلفة للعينة. ولقد حصلنا على المواضع غير المتكافئة بنقل العينة LHM على سطح الانكسار في خطوات يتم نقلها 2 mm في كل خطوة. وبعدئذٍ أخذ متوسط هذه المجموعات من المعطيات معاً - ويظهر الشكل 3 النتائج. لقد وقعت قمم الانكسار لكل الآثار الإفرادية عند زوايا سالبة مماثلة.

رغم أن قرينة الانكسار السالبة لا تخرق أي قانون أساسي، لكن السببية تضع قيوداً على الشكل التحليلي من أجل القرينة كتابع للتواتر [9]. وباستخدام المعادلتين (1) و (2) بمثابة الصيغتين العامتين لوسيطي المادة ε و μ التابعين للتواتر [4-6]، يمكننا أن نعيّن التبعية المتوقعة لقرينة الانكسار على التواتر:

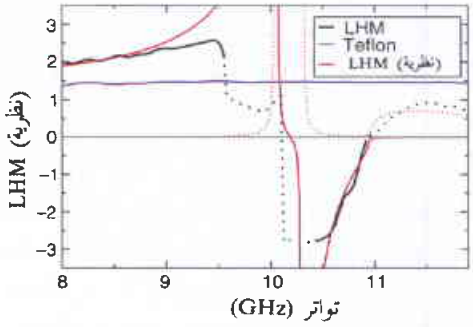
$$\frac{\mu(\omega)}{\mu_0}=1-\frac{\omega_{mp}^2-\omega_{m0}^2}{\omega^2-\omega_{m0}^2+i\gamma\omega} \qquad (1)$$

حيث ω_{m_0} هي تواتر التجاوب المغنطيسي، ω_{mp} هي "تواتر البلازما المغنطيسية"، $i=\sqrt{-1}$. و

$$\frac{\varepsilon(\omega)}{\varepsilon_0}=1-\frac{\omega_{ep}^2-\omega_{e0}^2}{\omega^2-\omega_{e0}^2+i\gamma\omega} \qquad (2)$$

حيث ω_{e_0} هي تواتر التجاوب الكهربائي، و ω_{ep} هي تواتر البلازما الإلكترونية. عندما لا تحافظ الأسلاك على الاستمرارية الكهربائية، كما الحال في هذه التجارب، فإن $\omega_{e_0}>0$.

وبوجه الخصوص، وعلى امتداد عصابة التواترات التي عرفت سابقاً بأنها منطقة الانتشار اليساري (إن كلاً من ε و μ سالبان، وتمتد العصابة من حوالي 10.2 GHz إلى 10.8 GHz)، فإنه يتوقع أن تأخذ قرينة الانكسار قيماً سالبة جداً على الجانب ذي التواتر المنخفض من العصابة اليسارية، مروراً بقيمة الصفر على الجانب ذي التواتر العالي. يقدم الشكل 4 القرينة المقيسة كتابع للتواتر من أجل العينة LHM، ويقارنها مع التوقعات النظرية والمعطيات المشابهة المأخوذة على عينة التفلون.



الشكل 4- قرينة الانكسار بدلالة التواتر. المنحني الأزرق يوافق معطيات من عينة التفلون، كما يوافق المنحني الأسود معطيات من عينة LHM. تشير الأجزاء المنقّطة من منحني LHM إلى مناطق يتوقع أن تكون قرينة الانكسار فيها إما واقعة خارج حدود الكشف ($|n|<3$) أو تطغى عليها المركبة التخيلية، لذا لا يمكن تعيينها تجريبياً بصورة موثوقة. المنحني الأحمر المتواصل هو المركبة الحقيقية، والمنحني الأحمر المنقّط هو المركبة التخيلية للصيغة النظرية لقرينة الانكسار كملاءمة للجذر التربيعي لجداء المعادلتين 1 و 2 كما ذكر في النص.

ورغم أن القرينة المقيسة للتفلون مسطحة في الأساس خلال مجال تواترات العصابة X، فإن قرينة الانكسار من أجل LHM سالبة على مدى عصابة التواتر اليساري وهي عالية التشتيت، بأسلوب يتفق والتنبؤ النظري [7]. استعملنا المعادلتين 1 و2 لنحسب المنحنيات النظرية باستخدام الوسطاء التالية: $f_{mp}=10.95$ GHz, $f_{m_0}=10.05$ GHz, $f_{ep}=12.8$ GHz, $f_{e_0}=10.3$ GHz، و $\gamma=10$MHz ($f=\omega/2\pi$).

نلاحظ وجود قيدين على طريقتنا التجريبية يمنعاننا من إجراء سبر على القرينة الفعّالة الموافقة للحدين الأقصيين لعصابة التواترات اليسارية. وعندما تصل القرينة الفعّالة إلى الصفر، فإن الطول الموجي لـ LHM يصبح كبيراً جداً، ويحتمل أن يكون أكبر من أبعاد العينة. وضمن هذه الشروط فإن أفضل ما نُميِّز به العينة هو المقطع العرضي للتبعثر بدلاً من تفسيرها بمفاهيم أشعة هندسية. وهكذا، فإننا لسنا بقادرين على تعيين القرينة، على نحو لا لبس فيه، في مجال التواتر الذي يمتد من حوالي 10.8 إلى 12 ميغا هرتز، والتي توافق قرينة تخيلية بدلاً من قرينة موجبة كما قيست. ويمكن لهذا القيد أن يخف باستخدام عينات أثخن وأعرض. كما أنه نظراً لأننا نقطع السطح البيني للانكسار بحيث يبعد 18.4° تقريباً عن الورود الناظمي، عندما يكون $|n|\geq3$، فإننا نتوقع أن تخضع الحزمة الواردة لانعكاس داخلي كلي بدلاً من الانكسار، ويحتمل أن يفسر هذا عدم ملاحظة قيم للقرائن دون 3- وفوق 3+.

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

والسؤال الذي يخطر حالاً للذهن هو ما إذا كان بالإمكان تحقيق خاصّة قرينة الانكسار السالبة عند تواترات ضوئية. من المستبعد أن يمتد في المستقبل مجال مقياس خواص المادة الذاتية للنواقل إلى أبعد من المجال تحت الأحمر بكثير، جاعلاً المواد اليسارية، كالمستخدمة هنا، غير فعّالة. تمّ حديثاً التنبؤ بظاهرة الانكسار السالب بواسطة المحاكاة العددية على العوازل والبلّورات الفوتونية، عند تواترات محددة بالقرب من عصائب سرعة المجموعة السالبة [10، 11]. ورغم أن الحزمة المنكسرة قد تنحرف نحو زاوية سالبة في هذه المنظومات، إلا أنه من الصعب أن نعرّف قرينة انكسار مكافئة لها نفس العمومية كما وجدنا في أشباه المواد، لأن هذه الآثار تحدث فوق التواتر الذي يحدث عنده انعكاس براغ. وبالإضافة إلى ذلك فالأمواج السطحية عند السطح البيني من البلّورات الفوتونية وأوساط متجانسة أخرى تعقد مسألة التوافق السطحي، مما يجعل اعتبارات التصميم أكثر صعوبة. ومهما يكن من أمر فإن استخدام البلّورات الفوتونية كمواد كاسرة سلبية يثير الاهتمام والفضول وقد يقدم الوسائل لتوسيع الظاهرة التي نسجلها هنا كي تشمل الأطوال الموجية الضوئية. إن أي مادة تبدي خاصية قرينة الانكسار السالبة، وهي صفة لا تلاحظ في المواد التي تحدث في الطبيعة، سيكون لها تطبيقات عملية متنوعة، مثل موجهات الحزمة، والمعدِّلات، والمرشحات ذات التمرير العصابي، والعدسات التي تسمح بتبئير المنابع النقطية ذات الأطوال الموجية الفرعية.

المراجع REFERENCES

[1] V. G. Veselago, Sov. Phys. Usp. 10, 509 (1968).

[2] J. B. Pendry, Phys. Rev. Lett. 85, 3966 (2000).

[3] D. R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat Nasser, S. Schultz, Phys. Rev. Lett. 84, 4184 (2000).

[4] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. C. Nemat Nasser, S. Schultz, Appl. Phys. Lett. 78, 489 (2001).

[5] J. B. Pendry, A. J. Robbins, W. J. Stewart, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 47, 2075 (1999).

[6] J. B. Pendry, A. J. Holden, W. J. Stewart, I Youngs, Phys. Rev. Lett. 76, 4773 (1996).

[7] D. R. Smith, N. Kroll, Phys. Rev. Lett. 85, 2933 (2000).

[8] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. Schultz, data not shown.

[9] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, L. P. Pitaevskii, Electrodynamics of Continuous Media (Butterworth-Heinenann, Oxford, UK, ed. 2,1984), p.287.

[10] M. Notomi, Phys. Rev. B 62, 10696 (2000).

[11] B. Gralak, S. Enoch, G. Tayeb, J. Opt. Soc. Am. A 17, 1012 (2000).■

☆ ★ ☆

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

الدارات المتكاملة*

جوستين مولينز
كاتب علوم حر ومساهم دائم في مجلة New Scientist

ملخص

لقد أحرزنا تقدّماً باهراً منذ أيام الأنابيب المخلاة. ومنذ صُنع أول معالج مكروي عام 1971، أصبح الحصول على حواسيب أصغر وأصغر في أي وقت ممكناً، مما أدى إلى اختراعات متنوعة. وهكذا، كيف أمكن بناء الدارات المتكاملة على مثل هذه الجذاذات البالغة الصغر، وماذا يخبىء المستقبل؟.

الكلمات المفتاحية: جذاذة، مستفد، تطعيم، سمة، واق حساس للضوء، يحشر، مبدّلات.

عندما تمّ تشغيل أول حاسوب إلكتروني عالمي في جامعة بنسلفانيا، فلادلفيا، في شهر شباط عام 1946 كان حجم النبيطة يملأ غرفة كاملة، وكانت تتطلب لاستمرارها في العمل حوالي 18.000 من الأنابيب المخلاة. كانت الأنابيب حيوية لأنها كانت تلعب دور المبدّلات الإلكترونية التي تُنفّذ خطة إجراء الحسابات. لقد ارتعب الفريق الذي شغّل الحاسب والمكامل العددي الإلكتروني (ENIAC) حين وجد أن هذه الأنابيب ولّدت درجات حرارة وصلت حتى 200°C مما أدى إلى احتراقها. يجب تبديل الأنابيب المخلاة بصورة متكرّرة حالما يظهر أن عدم وثوقيتها قد قُدّر لها أن تقضي على عمر الحاسوب حتى قبل أن يبدأ العمل. ومهما كان الأمر، كان العون في المتناول.

وبعد سنتين، عام 1948، اخترع وليام شوكلي W. Shockley وجون باردين J. Bardeen وولتر براتين W. Brattain في مختبرات بيل العالمية بنيوجيرسي الترانزستور. وبخلاف الأنابيب المخلاة، التي كانت ضخمة وهشة وغالية الثمن، فقد ثبت في النهاية أن الترانزستورات سهلة الصنع وصغيرة وشديدة القدرة على الاحتمال، وفوق ذلك رخيصة. وخلال عدة سنوات فقط أحدثت الترانزستورات ثورة في طريقة عمل المعدّات الإلكترونية. فأصبح المذياع والتلفزيون والرادار ومعدّات الملاحة وسمّاعات الأذن وتجهيزات التصوير الطبية بوجود هذا الاختراع أرخص وأسهل صنعاً وأكثر تقدّماً. كان تأثير الترانزستور كبيراً جداً بحيث نال شوكلي وزملاؤه في عام 1956 جائزة نوبل في الفيزياء. بيد أن الوقع الأعظم للترانزستور أتى لاحقاً.

في البداية، صنع الباحثون الترانزستورات واحداً في كل مرّة. فكانوا يلحمونها معاً على لوحة الدارة مع أي مكونات أخرى يتطلبها العمل. ومع أن الترانزستور نفسه كان عالي المتانة، فإن الأسلاك الرفيعة التي تربطه مع لوحة الدارة كانت هشة وقابلة للانقطاع. ولذلك فإن روبرت نويس R. Noyce في شركة الإلكترونيات لأنصاف النواقل، فيرتشايلد، المقامة قرب سان جوز بكاليفورنيا (أصبحت تسمى فيما بعد سليكون فالي) وجاك كِلبي J. Kilby في شركة تجهيزات تكساس بِدالاس، قد صمّما وبنيا، في نهاية الخمسينيات، كل على حدة، أول دارة جميع مكوناتها متكاملة في عدة طبقات متصلة على شظية من السليكون. وهذه الدارات المتكاملة أرخص وأسهل صنعاً وأكثر تحمّلاً من أي شيء كان سابقاً. وفي الستينيات من القرن الماضي قام برنامج Apollo الفضائي بإنجاز الكثير من البحوث والتطوير على الدارات المتكاملة. وقد احتوت هذه الدارات عام 1970 أكثر من 30.000 مكوّن على قطعة وحيدة من السليكون أو على الجذاذة.

في عام 1971، ذهب مصنّع الجذاذات الأمريكية Intel خطوة أبعد من ذلك. فوضع مهندسو شركة Intel جميع مكوّنات الحاسوب – وحدة المعالجة المركزية، الذاكرة، دارئات البيانات، ضابطات الدخل والخرج – على جذاذة صغيرة جداً لصنع أول حاسوب على جذاذة أو معالج مكروي. بالمقارنة مع ENIAC، لفتت Intel النظر إلى أن نبيطتها كانت أرخص بـ 30.000 مرّة، وتستهلك فقط جزءاً من المليون من الطاقة، ويمكن وضعها على رأس الإصبع، وكانت أسرع بـ 200 مرّة، وتشتمل على 2300 ترانزستور. ومنذ ذلك الحين، كان عدد الترانزستورات التي يمكن أن تُحشر على جذاذة واحدة يتضاعف كل 18 شهراً، هذه الظاهرة عرفت باسم قانون مور Moore's Law على اسم كوردون مور G. Moore أحد مؤسسي Intel. وتحمل الجذاذات في الوقت الحاضر 30 مليوناً أو أكثر من الترانزستورات، وهنالك دلالة ضعيفة بأن قانون مور على وشك الانهيار في أي وقت.

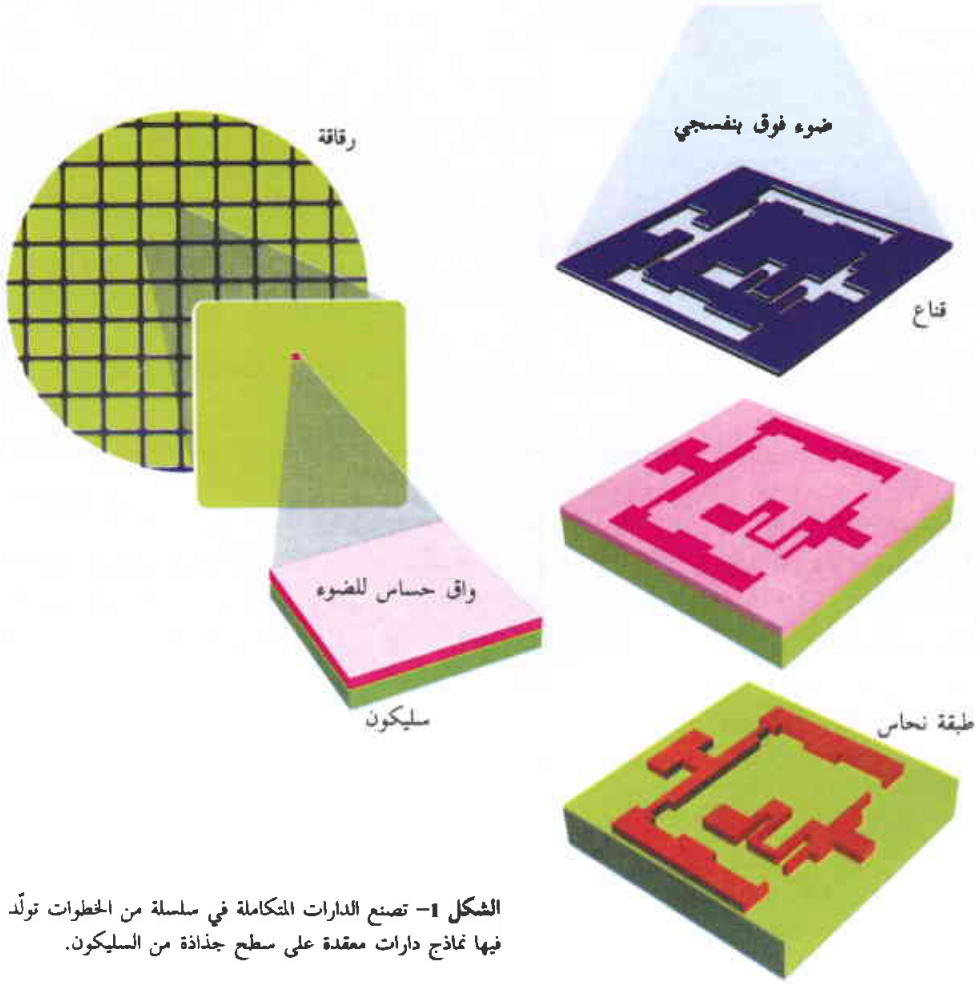
للمعالجات المكروية أثر عميق على المجتمع الإنساني. فكتل البناء من الحواسيب جعلت تحقيق أصناف ضخمة من النبائط ممكناً، مثل الحواسيب الشخصية وحاسبات الجيب والساعات الرقمية وألعاب الفيديو. إن صنع الجذاذات المكروية رخيص جداً بحيث أن كثيراً من المصنّعين يستخدمونها في التحكّم بالإلكترونيات في كل شيء، بدءاً من السيارات والطائرات وحتى ماكنات الغسيل ومحمّصات الخبز الكهربائية.

* نشر هذا المقال في مجلة *New Scientist*, 9 December 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

إن الفكرة المفتاحية وراء الدارات المتكاملة هي أنه من الممكن صنع المكوّنات الإلكترونية، كالترانزستورات والمكثفات، من طبقات متصلة من المواد لها خواص إلكترونية مختلفة. أدرك المهندسون أنه بدلاً من بناء المكوّنات كل على حدة ثم جمعها معاً في دارة، يمكن اعتبار أن الدارة بكاملها كمجموعة من طبقات منمذجة وموضوعة كل واحدة منها فوق الأخرى. يستخدم المهندسون حالياً في صناعة الجذاذات عملية متممة معدن-أكسيد-نصف ناقل أو تقانة CMOS.

تكون الطبقة السفلى في الدارات المتكاملة من السليكون العالي النقاوة، وهو مادة بلّورية قاسية تشبه بنيتها الذرّية عنصر الكربون في الماس. يوجد في المدار الخارجي لعنصر السليكون أربعة إلكترونات يستعملها في الارتباط مع ذرّات السليكون الأربع المجاورة له. وبسبب هذه الروابط الأربع لا يبقى إلكترونات مناسبة لتوصيل الكهرباء، وهكذا يعتبر السليكون ناقلاً فقيراً للكهرباء في درجة حرارة الغرفة.



الشكل 1– تصنع الدارات المتكاملة في سلسلة من الخطوات تولّد فيها نماذج دارات معقدة على سطح جذاذة من السليكون.

يمكن على أية حال تحويل خواص السليكون الإلكترونية بإضافة ذرّات أخرى إلى بنيته، ويُطلَق على هذه المعالجة اسم "التطعيم". فعناصر الفسفور والأنتيموان والزرنيخ مثلاً تحوي خمسة إلكترونات في طبقتها الخارجية. فإذا ما أُضيفت كمطعمات إلى رُكازة السليكون، فإن أربعة من هذه الإلكترونات تستعمل في الربط مع ذرّات السليكون المجاورة، تاركة أحد الإلكترونات حراً ليتجوّل خلال المادة. ويُسبب تطبيق فولطية عبر هذه المادة تحرك الإلكترونات محدثاً التيار الكهربائي. يُطلَق على هذا النوع من المادة اسم نصف ناقل من النوع -n (n-type) لأن حاملات الشحنة، أي الإلكترونات، ذات شحنة سالبة.

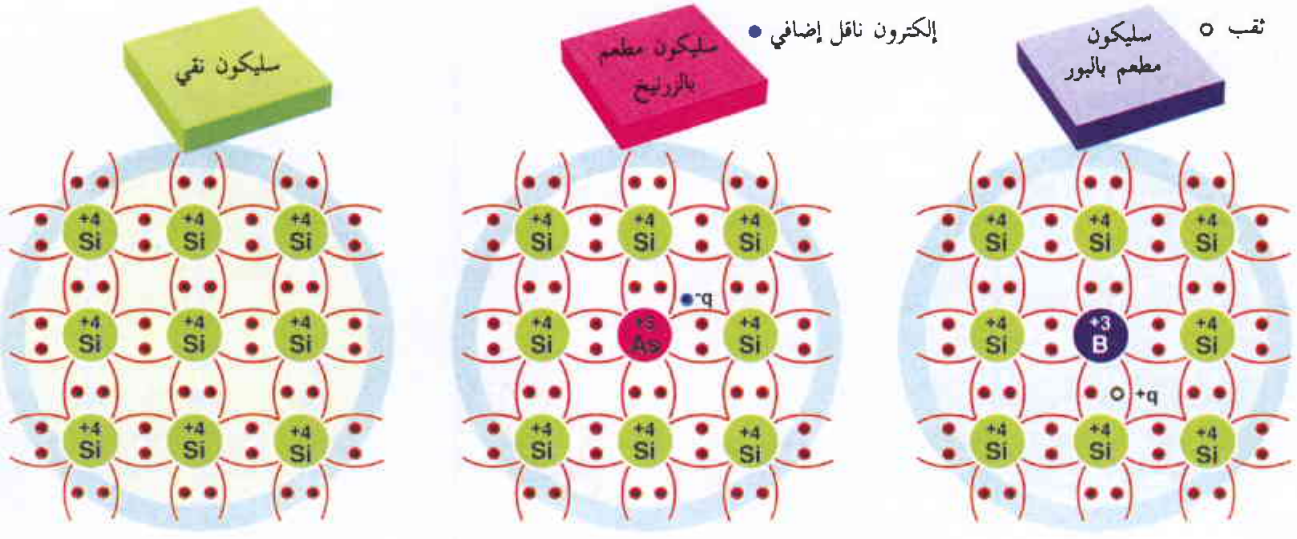
على أية حال، تستطيع أيضاً إضافة ذرّات في طبقاتها الخارجية ثلاثة إلكترونات فقط، مثل عناصر البور والإنديوم والغاليوم. وفي هذه الحالة تشكل الذرّة فقط روابط مع ثلاث ذرّات مجاورة. وهذا ما يترك مكاناً شاغراً لإلكترون واحد يُطلَق عليه اسم "الثقب"، ويستطيع هذا الثقب أن يتحرّك من ذرّة إلى أخرى. يسلك الثقب إلى حدٍ كبيرٍ سلوكاً مشابهاً للشحنة الموجبة، ويسير عند تطبيق فولطية على المادة باتجاه معاكس لاتجاه الإلكترونات. يُطلَق على السليكون المطعم بمثل هذه العناصر اسم نصف ناقل من النوع -p (p-type) لأن حاملات الشحنة تتصرف وكأنها شحنة موجبة.

ثورة في التطعيم: فراغات من أجل الإلكترون

يبدأ حدوث الأشياء الممتعة عندما توضع مواد النوع -p والنوع -n جنباً إلى جنب لتشكل وصلة -pn. تكون حاملات الشحنة من النوع -p أو النوع -n هي السائدة على جانبي الوصلة، ولكن عند الوصلة نفسها تتحد الإلكترونات والثقوب لتشكل منطقة لا يوجد فيها حاملات شحنة حرّة تسمى "طبقة النفاد". وتستطيع هذه الطبقة أن تلعب دور الحاجز العازل بين المادتين.

يملك هذا النوع من الوصلات خاصة مهمة جداً بسماحها للتيار أن يجري في اتجاه واحد وليس في الاتجاه المعاكس. فإذا طُبقت فولطية عبر الوصلة بحيث كان الجانب -p سالباً بالنسبة للجانب -n، فإن الحقل الكهربائي الناتج سيسحب الإلكترونات والثقوب بعيداً من الوصلة -pn. وهذا ما يجعل طبقة النفاد أكبر، الأمر الذي لا يمكّن التيار من الجريان. وعند عكس الفولطية تنجذب الإلكترونات والثقوب نحو الوصلة وعبرها ويجري التيار. تُعرف هذه النبيطة الإلكترونية باسم "المقوّم" أو "الديود".

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



الشكل 2– السليكون النقي ناقل ضعيف. وبتطعيم المعدن بذرّات مثل الزرنيخ او البور تزداد ناقليته بشكل مثير. q هي الشحنة الحرة، موجبة أو سالبة كما هو موضح.

وإضافة إلى الترانزستورات والمكثفات والمقاومات، فإن الديودات إحدى كتل البناء في الدارات المتكاملة.

أهم كتلة بناء هي الترانزستور. يتكوّن الترانزستور النموذجي بصورة أساسية من منطقتي نصف ناقل من النوع -n تُعرفان بالمنبع والمصرف مفصولتين بمنطقة من النوع -p تُعرف بالبوابة. ترتبط بجميع المناطق الثلاث في هذا الترانزستور إلكترودات. يبدو لأول وهلة أن هذا الترتيب هو الشبيه الإلكتروني للأخشاب الطافية. فإذا طُبقت فولطية بحيث يكون المنبع سالباً والمصرف موجباً، تستطيع الإلكترونات أن تنساب بسهولة عبر الوصلة بين المادتين من النوع -n والنوع -p. ولكن طبقة النفاد في الوصلة الأخرى -pn تنمو بصورة أكبر ولا ينساب أي تيار. على أية حال، إذا طُبقت فولطية على البوابة بحيث تصبح أيضاً موجبة بالنسبة إلى المنبع، فإن كل شيء يتغير. يركّز هذا الانحياز الإضافي الإلكترونات على المادة من النوع -p في المنطقة الواقعة تحت البوابة سامحة للتيار أن يجري عبرها. ويبيّن هذا كيف تعمل الترانزستورات كمبدّلات: فتطبيق فولطية على البوابة يجعل الإلكترونات تجري، وإزالة الفولطية عن البوابة تؤدي إلى انقطاع التيار. يُطلَق على هذا النوع من النبائط اسم "ترانزستورات أثر الحقل معدن–أكسيد–نصف ناقل" أو "ترانزستورات MOSFET".

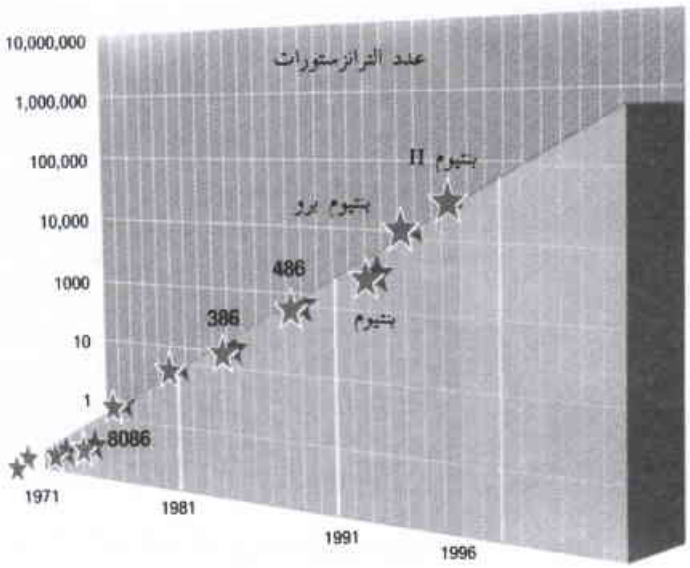
وباعتبار أن الترانزستورات لا تملك أي أجزاء متحركة أو مكوّنات دقيقة أو ناعمة فهي إلى حد كبير قوية وموثوقة، وهذا أمر مهم. تحتوي الجذاذات الحديثة ملايين الترانزستورات، وحتى إذا لم يعمل منها إلاّ نسبة مئوية صغيرة جداً فإن الجذاذات ستكون بدون فائدة. لا تستهلك الترانزستورات طاقة كبيرة وتولّد حرارة قليلة جداً ولهذا يمكن رص العديد منها في مساحة صغيرة. يُحدّد حجم الترانزستور بالمسافة بين المنبع والمصرف، وهذا ما يعرف باسم "حجم السمة feature size". يمكن حالياً بناء ترانزستورات بسمات صغيرة قدرها 0.18 مكرومتر، وهو أقل بمئة مرة من شعر إنسان. وهذا ما يهيّأ له ليصبح أصغر في المستقبل.

تستفيد الدارات المتكاملة بشكل هائل من تخفيض حجم المكوّنات التي تحتويها. تُحدَّد سرعة تشغيل وإيقاف الترانزستور بالمسافة التي يجب على التيار أن يجري عبرها من طرف واحد من الترانزستور إلى الطرف الآخر، ولهذا تعمل الترانزستورات الأصغر بسرعة أكبر. ورصُّ ترانزستورات أكثر في مساحة أصغر يعني أنه من الممكن جعل أسلاك التوصيل أقصر، وهذا ما يسرّع أيضاً عمل الجذاذة. كان أول معالج مكروي يؤدي 60.000 تعليمة في الثانية، أما الترانزستورات الأكثر حداثة فتؤدي بليون تعليمة.

وهكذا كيف تُبنى الدارات المتكاملة؟ تبدأ عملية التطبيق ببلّورة وحيدة وكبيرة من السليكون شكلها كالسجق (نقانق) مشرَّحة إلى رقاقات يبلغ مقطعها بصورة تقريبية حوالي 20 سنتمتر. تُصنع عدة جذاذات على كل رقاقة، وتُفصل هذه الرقاقات في نهاية عملية التصنيع.

ما هي سرعة الجذاذة؟

يجب أن تكون الأجزاء المختلفة من الجذاذة متناسقة بحيث تؤدي العمليات المطقية عملها في ترتيب صحيح. لكل جذاذة ساعة داخلية تولّد إشارة منتظمة التناوب لفولطية عالية أو منخفضة. تلعب سرعة الساعة دور نوّاس الساعة، تُزامن أفعال بقية الجذاذة بما يشبه إلى حد ما قائد الفرقة الموسيقية. تُقاس السرعة عادة بالميغاهرتز، أي مليون مرة في الثانية. وهكذا تولّد جذاذة بـ 500 ميغاهرتز خمسة ملايين إشارة متكرّرة من الفولطية العالية والمنخفضة في الثانية. وبصورة عامة، كلما كانت سرعة ساعة نوع معين من الجذاذة أكبر سيكون تنفيذها للحسابات أسرع. فمثلاً نجد أن جذاذة بنتيوم III بـ 750 ميغاهرتز ستكون أسرع من جذاذة بنتيوم III بـ 500 ميغاهرتز. على أية حال، ليس من الدقة دائماً أن نقارن سرعات الساعة في مختلف أنواع الجذاذات. فجذاذة بنتيوم الأصلية بـ 60 ميغاهرتز مثلاً تسير بسرعة أكبر من إنتل 486 بـ 100 ميغاهرتز.



الشكل 3- ينبأ قانون مور بأن عدد الترانزستورات التي يمكن رصّها على جذاذة السليكون (مبيّن على المحور الشاقولي) يتضاعف كل 18 شهراً.

في البداية تُصقل كل رقاقة بشكل يقرب من الكمال ثم تُخبز في جو من الأكسجين بحيث ينمو على السطح كساء رقيق من أكسيد السليكون، وهو عازل زجاجي.

تُصنع كل طبقة أولاً بتغطية الرقاقة بفلم رقيق من مادة حساسة للضوء تدعى "واق حساس للضوء photoresist". لهذه المادة خاصة استثنائية وهي أن الضوء يغير من بنيتها الكيميائية، مما يسمح لها بالتفاعل مع مادة كيميائية أخرى وبالتالي تتآكل بالغسل. يسقط الضوء على الواقي الحساس للضوء من خلال قناع بالشكل المطلوب، وبالتالي تُمحى بالغسل المناطق التي تتعرض للضوء. وهذا ما يبقي المادة بالشكل المطلوب، جاهزة للخطوة التالية. تُدعى هذه العملية بـ "الطباعة الحجرية المنمذجة patterned lithography ".

ستصبح دائماً أصغر: أعمال بارعة للمصنّعين

إن إحدى التحديات الكبرى التي تواجه مصنّعي الجذاذات هي تخفيض حجم السمات التي يمكن تعريفها بطرائق الطباعة الحجرية، حيث أن الترانزستورات الأصغر المرصصة بصورة أكثر كثافة تؤدي إلى جذاذات أسرع وأكثر قدرة. إن العامل المحدّد لحجم السمة هو طول موجة الضوء البارز من خلال القناع على الواقي الحساس للضوء. فكلما كان طول الموجة أقصر كانت السمة التي يمكن تعريفها أصغر. مصنّعو الجذاذات مهيأون مسبقاً لاستخدام الضوء فوق البنفسجي الأقصى لتعريف سمة مقطعها 130 نانومتر تماماً. ولكن تخفيض طول الموجة إلى أكثر من ذلك يعني الانتقال إلى أشعة -X، وهي الأشعة التي يصعب الحصول عليها وتبئيرها. إضافة إلى ذلك، فإن أشعة -X تخترق معظم المواد بدون أن تتأثر - مما يجعل صناعة الأقنعة دقيقة أيضاً. والبدائل لأشعة -X تتضمن الطباعة الحجرية الإلكترونية والحزمة الأيونية، حيث تُستخدم الأطوال الموجية الصغيرة جداً المشتركة مع الإلكترونات أو الأيونات لتعريف السمات.

وبعد إزاحة الواقي الحساس للضوء المعرّض، يمكن معالجة المادة التي كُشفت تحته بإحدى الطرائق الثلاث التالية: التطعيم، الترسيب، التنميش. التطعيم هي العملية التي تتم فيها إضافة ذرّات مثل ذرّات الفسفور أو البور إلى بنية السليكون لتعطي إما نصف ناقل من النوع -n أو من النوع -p. تُجرّد هذه الذرّات من الإلكترونات لتولّد أيونات ومن ثم تسرّع نحو الجذاذة بسرعة عالية مما يجعلها تطمر نفسها في السطح، مثل الزبيب في الكعكة. تُسخن الجذاذات بعد ذلك وتُترك لتبرد ببطء، لترميم أي عطب تسبب فيه هذا القصف، ولتسمح لأي قادمين جدد بالانتشار في داخل البنية. إن هذا الانتشار يمكن أن يكون

آمال مستقبلية

بدأ المهندسون، بعد أن أصبحت الترانزستورات أصغر فأصغر، يتساءلون فيما إذا كانت الطباعة الحجرية ستصبح في يوم ما آيلة إلى الهجران. بدأ الباحثون مسبقاً في إجراء تجارب على ترانزستورات مصنّعة من أنابيب الكربون النانوية والجزيئات المفردة. تستطيع هذه النبائط أن تعمل كمبدّلات إلكترونية، ولكن إحدى المشاكل التي يواجهها العلماء هي حل كيفية ربط الترانزستورات بعضها مع بعض. لم يكتشف أي شخص حتى الآن كيف يمكن صنع دارات مفيدة من هذه الأشياء.

تعمل الترانزستورات الحالية ببلايين الإلكترونات التي تمر من خلالها. ويشبه سلوك هذه الإلكترونات إلى حدٍ بعيد كُرات البليارد الصغيرة جداً، ويمكن التنبؤ بها ومحاكاتها بسهولة جداً. عندما يمر عدد كبير من الإلكترونات عبر الترانزستور، يمكن اعتباره بحالة تشغيل أو 1 باللغة الثنائية، وعندما يمر عدد قليل من الإلكترونات عبر الترانزستور يمكن اعتباره بحالة إيقاف أي 0 باللغة الثنائية.

ولكن ماذا يحدث عندما تصبح الترانزستورات صغيرة جداً بحيث يمكن أن تعمل فقط بإلكترون مفرد في كل مرة؟ تتصرف الإلكترونات المفردة بشكل مختلف تماماً عن مجموعة كبيرة من الإلكترونات. فمثلاً يمكن أن تمثّل، حسب القوانين الغريبة في ميكانيك الكم، كلاً من 0 و 1 في الوقت نفسه، وهي ظاهرة تُعرف "بحالات التراكب". يعتقد الفيزيائيون أنه عندما تصبح الترانزستورات صغيرة بهذا الشكل سيصبح احتمال التوصل إلى نوع قوي من الحواسيب يُعرف باسم الحواسيب الكمومية ممكناً. يمكن أن تنفّذ الحواسيب الكمومية حسابات باستخدام كلتا الحالتين من الإلكترون بوقت واحد، أو بكلمة أخرى حسابات في كل من الـ 0 والـ 1 بالتوازي. وتَعِدُ هذه القابلية بجعل الحواسيب الكمومية أكبر قدرة بكثير من تلك الموجودة حالياً. يحاول الباحثون حالياً بناء حواسيب كمومية ويتنبأون بأنها ستكون مفيدة من أجل الكتابة بالشيفرة والحسابات الفائقة ومن أجل محاكاة العالم بشكل أكثر تفصيلاً من أي شيء سابق.

المشكلة الكبرى أمام مصنّعي الجذاذة إذا حصل متأخراً، عندما تُستخدم الجذاذة في الحاسوب. فإذا انحرفت الذرّات بعيداً جداً فإنها تستطيع أن ترتبط مع مناطق أخرى من الجذاذة مغيّرة خواص نصف الناقل ومسبّبة له القصور في أداء عمله. وبوجود الواقي الحساس للضوء في الموضع الصحيح تنتهي الذرّات المطعمة فقط في الأجزاء المعرّضة من الجذاذة. ويمكن بعد ذلك إزالة الواقي الحساس للضوء بالغسل بشكل كامل.

الترسيب هو توليد فِلم رقيق على الجذاذة. وإحدى أكثر الطرائق شيوعاً لعمل ذلك هي **"الرش"** حيث تقذف المادة المراد ترسيبها في هذه العملية بحزمة من الأيونات مما يسبب تطاير الذرّات أو الجزيئات من على سطحها. ثم يُسمح لهذه الذرّات أو الجزيئات في السقوط على الجذاذة. وبوجود الواقي الحساس للضوء المنمذج في مكانه تشكل هذه الذرّات أو الجزيئات طبقة رقيقة وفق الشكل المطلوب. يُستعمل الرش عادة في وضع طبقات من العوازل مثل ثنائي أكسيد السليكون أو وضع طبقات ناقلة من المعدن مثل الألمنيوم أو النحاس.

التنميش هو طريقة انتقائية في إزاحة مادة من السطح لكشف ما تحتها. يتم التنميش عادة بتعريض الرقاقة إلى غاز عالي التأين يُعرف باسم "البلازما". تتفاعل البلازما مع السطح وتقذف فيزيائياً الذرّات مثل سافع الرمل، تاركاً الطبقة التي تحته للتعرّض بالشكل المطلوب.

عندما تتم إحدى هذه العمليات، يُزاح ما تبقى من الواقي الحساس للضوء وتُحضَّر الطبقة التالية. من المعروف بالنسبة للجذاذات الحديثة أنها تتطلب ثلاثين طبقة وإلى حد 600 خطوة تصنيع. ورغم أن ذلك يبدو كثيراً فإنه قليل إذا ما قورن بملايين المكوّنات التي تكون منحوتة على الجذاذة في نهاية العملية.

وأخيراً، تُغطى الرقاقة بطبقة واقية من ثنائي أكسيد السليكون ونتريد السليكون قبل إجراء الاختبار على الجذاذة للتأكد من أنها صالحة للعمل. تُنشر الرقاقة بعد ذلك إلى جذاذات منفصلة. تلقى الأشياء التي لا قيمة لها وتوضع الجذاذات الصالحة في رزم بلاستيكية.

يشكل الرَزْم جزءاً مهماً في العملية. يجب أن يؤمّن الرَزْم وصلات من الأسلاك الخارجية إلى الأسلاك الدقيقة جداً التي تربط بين وصلات الدخل والخرج المختلفة في الجذاذة. يسمح الرَزْم للجذاذة أن تنزلق أو تدخل بسهولة في لوحة الدارة التي تُدعى "اللوحة الأم motherboard"، التي تربط الجذاذة مع بقية الحاسوب وتؤمّن الوقاية من الملوّثات الخارجية والفرقعات والصدمات التي تحدث يومياً عند الاستعمال.

إن التعقيد الهائل في الجذاذات يعني أن تصميمها عمل ضخم جداً. ومنذ أن تطوّرت الدارات المتكاملة، تبدّلت هذه العملية من عملية تجري كلية بصورة يدوية إلى عملية تتم حالياً بشكل آلي بصورة أساسية. في الحقيقة، إن الدارات حالياً معقّدة إلى حدٍ يصعب رسمها يدوياً. لقد نمت صناعة برمجة هائلة لتطوير وتزويد المنظومات المساعدة للحاسوب من أجل مصنّعي الجذاذات.

إن عملية التصميم ذاتها مقسّمة إلى عددٍ من المستويات التي تسمح للمصمّم أن يُظهر الجذاذة بعدة طرائق. فمثلاً، يستطيع المصمّم أن يواصف الغرض من الأجزاء المختلفة في الدارة، ما هي البيانات للدخل والخرج، وكيف ستعالج مختلف أجزاء الجذاذة المشكلة المصمّمة لحلّها. يُعرف هذا المستوى باسم "التصميم الوظيفي functional design". يعين التصميم المنطقي logic design الخطوات الرياضية المطلوبة لتنفيذ التصميم الوظيفي والمكوّنات المطلوبة لإنجازها.

مساعدة الأعمى: مختبر على جذاذة

تمّ في تصميم الدارة إنجاز الفولطية وجريان التيارات خلال المنظومة. وتحدّدت في التصميم الفيزيائي هندسة المكوّنات: كيف تتلاءم بعضها مع بعض ضمن حدود آلة الصنع، وكيف سيتم بناء الجذاذة فعلاً. هذه هي المرحلة التي يتم فيها تحديد شكل أقنعة الطباعة الحجرية للواقي الحساس للضوء.

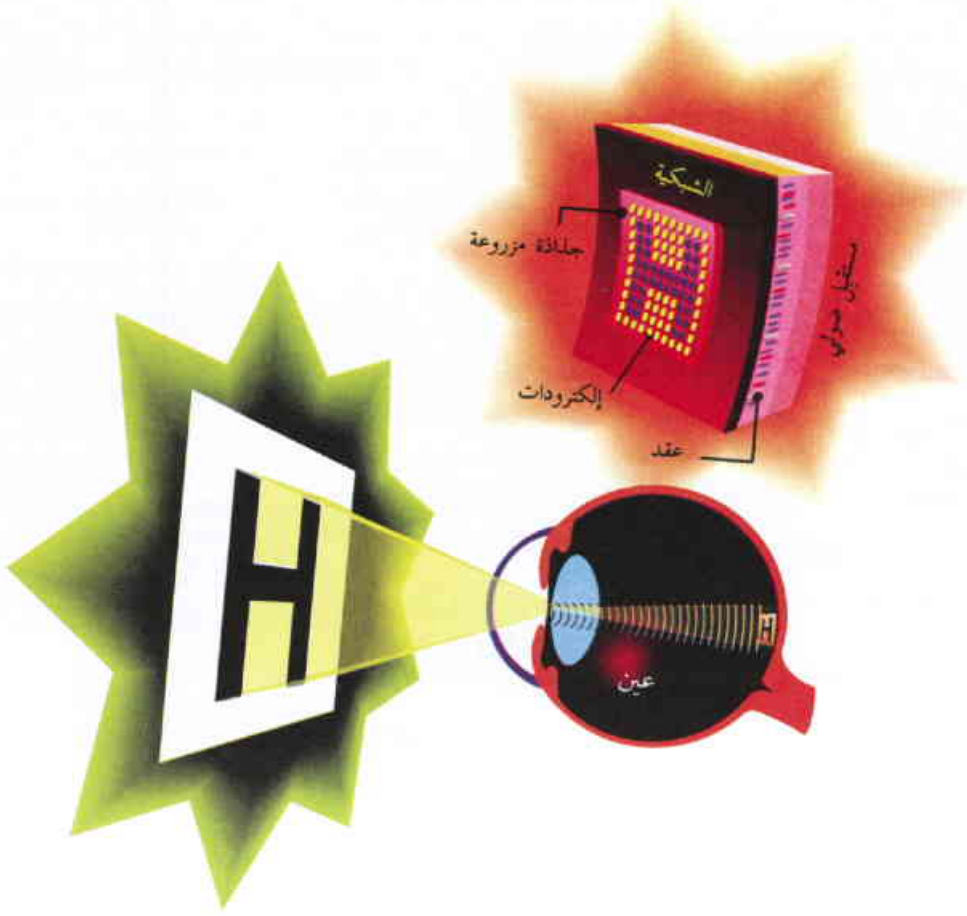
وبمواصلة هذه العملية يُكرّر التصميم ويُبسّط ويُحسّن. وفي غضون ذلك، تُستخدم برامج الحاسوب لتحل مشكلة كيف ستقوم التغيرات بتبديل وظيفة الجذاذة وحفظ التغيرات من أجل المراجعة المستقبلية.

قبل أن يستثمر مصنعو الجذاذة ملايين أو حتى بلايين الدولارات في صنع الجذاذة فعلاً، يُحاكى التصميم على الحاسوب. إن هذا يفحص سرعة عمل الجذاذة وينظر في أي تأخير أو خطأ في منطق المنظومة. وأخيراً يجب استنباط منظومة الاختبار التي يمكنها أن تحدّد بسرعة فيما إذا كانت صناعة الجذاذات قد تمت بشكل صحيح أم لا. وينتج هذا عادة في كثير من إشارات الاختبار التي يمكن تلقيمها في الجذاذة والنتاج النوعي الذي يجب أن تولّدها الجذاذة كنتيجة.

على أية حال، ليست المعالجات المكروية وذواكر الحواسيب هي التي تستخدم تقانة CMOS. فحالياً، حلّ المهندسون مشكلة كيف يستخدمون هذه العملية في بناء مكوّنات حسّاسة ضوئياً في الجذاذة. في السابق كانت الجذاذات الحسّاسة ضوئياً تُصنع بطريقة مغايرة تماماً عن الجذاذات المنطقية التي تحتاجها عملية البيانات التي تنتجها. ولكن الطريقة الجديدة جعلت من الممكن صنع جذاذات لا تحتوي فقط على وسائل تحسّس الضوء ولكن أيضاً على القدرة الحسابية لتحليل الصور. وتُبنى هذه السلالة من الجذاذات التي يُطلق عليها اسم "جذاذات البصيرة vision chips" في داخل الإنسالات (الإنسان الآلي) ليسمح لها في تحديد وإزالة المكوّنات المعطوبة على خط التجميع، أو للإبحار بسلام خلال المتاهات السهلة.

لقد زُرعت جذاذات البصيرة حتى في العيون البشرية لمساعدة الناس الذين لديهم أشكال معينة من العمى. تعمل هذه الجذاذات بتحويل الضوء المبأر إلى إشارة إلكترونية يمكن تلقيمها إلى ألياف عاملة في العصب البصري. وتُفسر هذه الإشارات بعدئذ في الدماغ تماماً كما هو الحال في الشخص المبصر. ومع ذلك، ليست الجذاذات دائمة لأنه لا يمكن تثبيتها بأمان داخل العين. وفي الاختبارات التي أُجريت، تسمح هذه الجذاذات

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



الشكل 4– جذاذات البصيرة المزروعة في مؤخرة العين يمكن أن تسمح للأشخاص الذين لديهم أنواع محدّدة من العمى أن يتذكروا النماذج البسيطة وأن يتجنبوا العراقيل.

للناس بالقيام ببعض الأعمال السهلة كتذكر نموذج وتجنب العراقيل، وتَعِدُ الجذاذات المستقبلية بقدرة فصل وتحمّل أكبر.

ومن التطورات الحديثة نسبياً استخدام الطباعة الحجرية في بناء آلات منمنمة من السليكون يمكن التحكم بها بمجموعة الدارات الكهربائية المتكاملة في الجذاذة. وقد صُمِّمت هذه النبائط التي تُدعى "النبائط الإلكتروميكانيكية المكروية (MEMs)" على شكل طبقات كما هو الحال في الدارات المتكاملة. أحد الاستعمالات الشائعة للـ MEMs هو في مقاييس التسارع المبنية في الأكياس الهوائية للعربات. بنى الباحثون أيضاً نبائط MEM تعمل كأقفال مكروية للتأكد من أن الأسلحة النووية لا يُعبث بها، وكمضخات صغيرة جداً وأنابيب اختبار تقوم بدور المختبر على الجذاذة لتحليل المواد الكيميائية. حتى أجهزة الإسقاط الرقمية تستخدم الـ MEMs - أشعة بعيدة من مرايا صغيرة جداً تعكس الضوء على شاشة بعيدة – التي تستطيع أن تترجم نهاية فِلم تقليدي مستخدم في عرض سينمائي.

ورغم أن وليام شوكلي مات عام 1989 فإنه عاش طويلاً إلى حد أنه رأى كثيراً من التطورات المدهشة التي قادت نبيطته إليها. تصوّر كم سيكون العالم ساخناً إذا ما بقينا نستخدم الأنابيب المخلاة.■

☆ ★ ☆

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

أخبار علميّة

1- القصة الكاملة لـ C_{60} ★

جرى شرح الناقلية الفائقة وتقديم الأدلة عليها عند درجات حرارة عالية تدعو للدهشة في مادة صلبة من C_{60}، مما أثار تساؤلات حول خواصها الإلكترونية وعقد الآمال للوصول حتى إلى درجات حرارة أعلى.

إن الهبوط المفاجيء في المقاومية عند درجات حرارة منخفضة، الذي تتميّز به الناقلية الفائقة، شوهد أول مرة في الفلّزينات أمثال C_{60} منذ عقد من الزمن. بإدخال إلكترونات في شبيكة الكربون، تستطيع الفلّزينات أن تصبح ذات نقل فائق عند درجات حرارة تصل حتى 40 K. ووفقاً لما كتبه شون Schön وآخرون [1]، يمكن الوصول إلى الناقلية الفائقة حتى عند درجات حرارة أعلى إذا ما أُدخلت "ثقوب" موجبة الشحنة بدلاً من الإلكترونات.

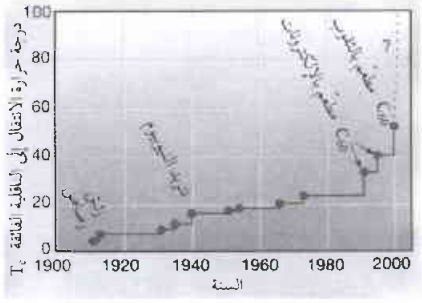
لقد مضى ما يقارب القرن منذ أن اكتشف كامرلينغ أونّز K. Onnes، وبصورة غير متوقعة، الناقلية الفائقة عندما لاحظ أن مقاومية الزئبق هبطت هبوطاً حاداً إلى الصفر عند الدرجة 4 K. ومنذ ذلك الحين وهذا الحقل يشكل مجالاً نشطاً من البحث أدى إلى جائزتي نوبل في عامي 1972 و 1987. تُوّجت الأفكار المبكرة حول الناقلية الفائقة التقليدية بنظرية وضعها كل من باردين Bardeen و كوبر Cooper و شريفر Schrieffer (BCS) في عام 1957. وبموجب نظرية BCS يؤدي التأثر بين إلكترونات النقل واهتزازات الشبيكة البلّورية (الفونونات) الصغيرة جداً، إلى تجاذب بين إلكترونات هي في العادة متدافعة مما يؤدي إلى تزاوجها مثنى مثنى ومن ثم جريانها بدون مقاومة.

وطوال هذه الفترة من الزمن كان التحرييون يبحثون عن مواد ذات ناقلية فائقة ولها درجات حرارة انتقال T_c أعلى، وهي الدرجة التي تكون المواد دونها ذات نقل فائق. لكن التقدّم كان بطيئاً، فبعد أن أمكن الوصول إلى الدرجة 23 K في عام 1973، انقضت بعدها ثلاثة عشر عاماً من دون أن تتحقق أية زيادة في هذه الدرجة من الحرارة (الشكل 1). أدى هذا الأمر إلى مناقشة مفعمة بالحيوية والنشاط [3,2] حول ما إذا كانت الدرجة 23 K قريبة من بعض الحدود العليا النظرية لـ T_c.

لكن هذا كله تغيّر في عام 1986 عندما اكتُشِفت مواد أكسيد النحاس ذات الناقلية الفائقة [4]. فقد ارتفعت القيمة العظمى لـ T_c بسرعة إلى درجة أعلى تجاوزت الـ 100 K. وعلى عكس معظم النواقل الفائقة المبكرة، تعد أكاسيد النحاس عوازل في العادة، وليست نواقل، وينبغي إدخال حاملات الشحنة إلى المادة بواسطة التطعيم الكيميائي قبل أن تصبح فائقة النقل. وبسرعة تمّ قبول أن الناقلية الفائقة في أكاسيد النحاس لا تعود في الأصل إلى آلية الفونونات، كما هو الحال في النواقل الفائقة التقليدية، بل ترجع إلى آلية إلكترونية، لا يزال الجدل قائماً حول طبيعتها. وعليه فإن درجات حرارة الانتقال العالية التي تحققت في أكاسيد النحاس لا تشير إلى عدم وجود إمكانية الوصول إلى قيمة عظمى لـ T_c من أجل نواقل فائقة مسيَّرة بالفونونات.

في عام 1985، اكتشف الكيميائيون وبالصدفة شكلاً جديداً للكربون [5] - هو الذي يُعرف اليوم باسم كرات باكي buckyballs أو الفلّرينات fullerene. إن الفلّرين C_{60} البلّوري هو عادة عازل، مثل أكاسيد النحاس، لكن يمكن جعله معدنياً بواسطة التطعيم الكيميائي. لا توجد حاملات شحنة في C_{60} العادي، لأن عُصَابات الطاقة في بنيته الإلكترونية هي إما ممتلئة تماماً أو فارغة تماماً. لتكوين معدن، ينبغي ملء عُصَابة النقل جزئياً بالإلكترونات (تطعيم بالإلكترونات) أو ينبغي إفراغ عُصَابة التكافؤ جزئياً (تطعيم بالثقوب). في عام 1991 اكتُشف أن إضافة ذرّات من مادة قلوية إلى بلّورات C_{60} يؤدي إلى انتقال شحنة من ذرّات القلوي إلى C_{60} - أي تطعيم بالإلكترونات. يمكن لأمثال هذه المركبات المطعمة بالقلوي (A_3C_{60}) أن تصبح معدنية [6] وفائقة النقل عند درجات حرارة منخفضة [8,7].

يُعتقد أن الناقلية الفائقة في A_3C_{60} ترجع إلى تآثر بين الإلكترونات والفونونات. وتُعدّ شدة هذا التآثر أحد العوامل التي تعيّن قيمة T_c. إن تعديل الشبيكة البلّورية بإدخال ذرّات قلوي كبيرة يزيد من اقتران (تزاوج) الإلكترون - فونون عندما تتسع الشبيكة. ويمكن أن تصل T_c إلى 40 K في شبيكة موسَّعة مثل Cs_3C_{60} تحت الضغط [9]. ومما يدعو للعجب أن Cs_3C_{60} ليس فائق النقل عند ضغط عادي، وقد يكون السبب في ذلك وجود التشوهات البنيوية أو القرب من الانتقال من معدن إلى عازل. تشير كلتا الطريقتين إلى أنه لا يمكن زيادة T_c أكثر بتوسيع الشبيكة. وفي ضوء نجاح الباحثين في C_{60} المطعّم بالإلكترونات، فهم مهتمون في C_{60} مطعّم بالثقوب، وبخاصة لأن T_c يتوقع لها أن تكون أعلى عندئذٍ [10]. لكن إضافة الثقوب إلى C_{60} عملية شاقة، لأن C_{60} سالب الكهرباء بصورة قوية، لذا فإن ذلك لم يتحقق بعد بالتطعيم الكيميائي.



الشكل 1- درجة حرارة الانتقال العظمى T_c التي جرى اكتشافها في النواقل الفائقة التقليدية خلال القرن الماضي. من المفترض أن الناقلية الفائقة لـ C_{60} تطابق هذه الآلية للنقل الفونوني النموذجي، حيث تقدم اهتزازات الشبيكة الصغيرة جداً (فونونات) المادة اللاصقة التي تربط الإلكترونات في أزواج ذات نقل فائق. لقد أتاح تطعيم بلّورات C_{60} بالإلكترونات، والآن تطعيم C_{60} بالثقوب الذي أنجزه شون وآخرون [1]، للنواقل الفائقة المسيَّرة بالفونونات أن تصل إلى درجات حرارة انتقال عالية جداً.

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol.408, 30 November 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يتبع شون وآخرون طريقة أخرى مختلفة تماماً وذلك في عملية تطعيم C_{60} بالثقوب. فهم ينمّون طبقة من الأكسيد على السطح لبلّورة C_{60} ويضعون إلكترود بوابة في أعلاه. وبإضافة إلكترودي المنبع والمصرف إلى البلّورة التحتية (الأساسية) فإنهم يشكلون بذلك ترانزستور أثرالحقل [11] (الشكل 2). إن تطبيق فولطية على إلكترود البوابة يحرّض شحنة في الطبقة السطحية من البلّورة، فيطعّم بذلك C_{60}. إذا كانت الفولطية المطبقة موجبة، تحرّضت إلكترونات؛ وإذا كانت الفولطية المطبقة سالبة تحرّضت ثقوب. تتجلى الميزة الأساسية لهذه الطريقة في مقدرة المؤلفين على صنع نبائط تستطيع أن تأخذ حقولاً كهربائية كبيرة بما يكفي لتحريض عدة إلكترونات أو ثقوب لكل جزيء C_{60}. كما أن بإمكانهم أيضاً أن يغيّروا كمية التطعيم بسهولة عن طريق تغيير فولطية البوابة، وبذلك يجدون السوية المثلى للتطعيم من أجل T_c عالية. وفي الأعمال المبكرة حرّضوا ناقلية فائقة عند الدرجة $T_c = 10$ K في بلّورة من C_{60} مطعّمة بالإلكترونات [11] . وهم يسجلون في الورقة المقدّمة [1] قيمة لـ T_c تبلغ 52 K من أجل C_{60} مطعّم بالثقوب.

الشكل 2– تركيبة ترانزستور أثر الحقل التي استخدمها شون وآخرون [1] كي يحرّضوا حاملات شحنة في بلّورات C_{60}، فتتغير بذلك من عوازل إلى نواقل فائقة.

تُعدّ الدرجة $T_c = 52$ K عالية جداً بالنسبة للناقلية الفائقة المنقولة بالفونونات – وهي أعلى بكثير مما كان يعتقد بأنه ممكن. وبهذه التقنية يمكن زيادة T_c حتى أكثر من ذلك. فمن أجل C_{60} المطعّم بالإلكترونات، يؤدي توسع الشبيكة البلّورية إلى زيادة T_c. أما عن التطعيم بالثقوب فإن T_c هي أصلاً كبيرة جداً من أجل بنية شبيكية لم يطرأ عليها أي تعديل، وإن توسعها، الذي ربما يكون بواسطة اندماج جزيئات خاملة، يمكن أن يزيد T_c بشكل أساسي. وكما هو الحال مع C_{60} المطعّم بالإلكترونات، فمن المحتمل أن تفشل هذه الطريقة أيضاً من أجل منظومات مطعّمة بالثقوب إذا ما توسعت الشبيكة كثيراً – فعلى سبيل المثال، يمكن للمنظومة بعدئذ أن تصبح عازلاً. لكن إمكانية تغيير التطعيم بصورة مستمرة، حتى ولو بأعداد كسرية من الشحنات لكل جزيء، قد تسمح لـ T_c أن تزداد بشكل جوهري قبل أن يحدث هذا.

يفتح هذا العمل وسائل شيّقة عديدة. فإمكانية مقارنة C_{60} المطعّم بالإلكترونات والثقوب وإمكانية تغيير التطعيم بصورة مستمرة ينبغي أن تحسّن فهمنا للبنية الإلكترونية في C_{60} بشكل عام، وللناقلية الفائقة في C_{60} على وجه الخصوص. ففي ترانزستور أثر الحقل لشون وآخرين، يُعتقد أن الطبقة الخارجية فقط من جزيئات C_{60} هي التي يجب تطعيمها – يُقال عن المنظومة أنها شبه ثنائية البعد (2D). من المفيد أن نقارن هذا الوضع مع المنظومات الثلاثية البعد (3D) المطعّمة كيميائياً، بدلالة كل من السلوك الإلكتروني والناقلية الفائقة الثنائية البعد مقابل الثلاثية البعد. وقد يكون هناك إمكانية لصنع نبائط عملية، لأنه يمكن، بهذه المنظومة، أن نحوّل (ننقل) C_{60} switch بين سلوك العزل وسلوك النقل الفائق. ويمكن للمرء أن يتخيلها، على سبيل المثال، مستعملة كقاطعة (محوّلة) مثالية [11].

المراجع REFERENCES

[1] Schön, J. H., Kloc, Ch. & Batlogg, B. Nature 408, 549-552 (2000).

[2] Cohen, M. L. & Anderson, P. W. in Superconductivity in d- and f-band Metals (ed. Douglass, D. H.) 17-27 (AIP, New York, 1972).

[3] Dolgov, O. V., Kirzhnits, D. A. & Maksimov, E. G. Rev. Mod. Phys. 53, 81-93 (1981).

[4] Bednorz, J. G. & Müller, K. A. Z. Phys. B64, 189-193 (1986).

[5] Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F. & Smalley, R. E. Nature 318, 162-163 (1985).

[6] Haddon, R. C. et al. Nature 350, 320-322 (1991).

[7] Hebard, A. F. et al. Nature 350, 600-601 (1991).

[8] Tanigaki, K. et al. Nature 352, 222-223 (1991).

[9] Palstra,T. T. M. et al. Solid State Commun. 93, 327-330 (1995).

[10] Mazin, I. I. et al. Phys. Rev. B 45, 5114-5117 (1992).

[11] Schön, J. H., Kloc, Ch., Haddon, R. C. & Batlogg, B. Science 288, 656-658 (2000).■

2– التحدي الأخير لنظرية الكم*

بلغ عمر نظرية الكم مائة عام ولا تزال تمضي قوية. لكن ضم النسبية العامة إلى ميكانيك الكم يُعدّ العقبة الأخيرة التي ينبغي تخطّيها.

احتُفِل في العام 2000 بذكرى مرور مائة عام على نظرية الكم، وبصورة خاصة الذكرى السنوية لإعلان ماكس بلانك في الجمعية الفيزيائية الألمانية في 14 كانون الأول من عام 1900. كان بلانك مهتماً بطبيعة الإشعاع المنبعث من أجسام ساخنة، وفي عام 1900 استنبط نظرية وصفت كل الأدلة التجريبية، لكنها كانت بحاجة إلى مفهوم جذري جديد ألا وهو أن الطاقة لا تُبعث ولا تُمتص باستمرار، وإنما بمقادير وكميات متقطّعة discrete، تدعى كمّات quanta (مفردها كمّ - quantum). لم يكن بلانك في ذلك الحين عارفاً بالعواقب البالغة العمق لعمله، لكن الفيزيائيين أدركوا تدريجياً أنهم بحاجة إلى مفاهيم كمومية لفهم بنية المادة والإشعاع.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 408, 7 December 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

حفل القرن الماضي باختبارات ناجحة عديدة لميكانيك الكم [1]. ولقد أيدت التجارب معظم تنبؤات النظرية الكمومية، حتى ما كان منها متعارضاً مع الحدس والبديهة، يدخل في ذلك مثنوية الجسيم – الموجة، وهي الفكرة القائلة بأنه يجب التعامل مع الجسيم على أنه موجة. لكن بعض الفيزيائيين ما زالوا يتساءلون فيما إذا كانت النظرية الكمومية هي حقاً المقوّم الأساسي لقوانين الطبيعة، أم أنها مجرد وصف ملائم لبعض جوانب العالم المجهري. لا يزال محتملاً اعتبار ميكانيك الكمّ كتقريب لنظرية أكثر شمولاً وأساسية، مثل اعتبار ثقالة نيوتن كحالة خاصة لوصف الثقالة الأكثر دقة، وللعلاقة بين المكان والزمان التي قدّمتها نظرية آينشتاين في النسبية العامة.

إن التحدي الأكبر لقبول ميكانيك الكمّ كنظرية أساسية للطبيعة هو أنه لم يندمج (يتكامل) بعد مع النظرية التقليدية للنسبية العامة، رغم انقضاء 70 عاماً من المحاولات المستمرة [2] لتحقيق ذلك. في معظم الأوقات يمكن أن تُهمل نظرية النسبية العامة وبكل أمان الدقةَ والرقةَ التي يتمتع بها ميكانيك الكم: فالثقالة هي التي تدفع توسّع الكون وتشكل المجرات، في حين تسود نظرية الكمّ على المستوى الذرّي. لكن هناك أوقاتاً لا يمكن استبعاد ميكانيك الكمّ فيها. وعلى سبيل المثال، إن نظرية توحّد الثقالة وميكانيك الكم مطلوبة لفهم "الانفجار العظيم" Big Bang - وهي اللحظات القليلة الأولى من عمر الكون عندما كانت التأثرات الثقالية قوية جداً وكانت سلالم القياس كلها مجهرية.

والجانب الآخر من القلق هو نقص الدليل التجريبي بخصوص التفاعل بين النظرية الكمومية والنسبية العامة. فتركيب كلتا النظريتين يسمح بالفعل لحالات أو أوضاع لا يمكن فيها إهمال أي منهما، لكنه من الصعب إلى أبعد الحدود خلق الشروط المطلوبة في المختبر. وهذا أمر حاسم إذا كنا نبغي اختبار أي من الأفكار النظرية التي تقترح توحيد ميكانيك الكمّ والنسبية العامة.

الثورة غير المكتملة

تُعدّ "ثورة النسبية" و "ثورة الكمّ" من بين النجاحات الأعظم في فيزياء القرن العشرين، ومع ذلك تبدو النظريات التي تمخّضت عنهما غير منسجمة انسجاماً أساسياً. فالنسبية العامة تبقى مجرّد نظرية تقليدية: فهي تصف هندسة المكان والزمان بأنها سَلِسة ومستمرة، في حين يقسم ميكانيك الكمّ كل شيء إلى مقادير متقطعة. ولقد تأكدت صحة تنبؤات كلتا النظريتين في عدد كبير من التجارب، لكن كل تجربة منها تكون ذات صلة بواحدة فقط من هاتين النظريتين نظراً للاختلاف في سلّم القياس المستعمل في كل منهما. إن أفضل ما يوصف به عدم رضى الفيزيائيين وارتياحهم لهذا الوضع ربما يكون فيما قاله كارلو روفيلي C. Rovelli في تصوير القرن الماضي [3] بأنه "قرن الثورة غير المكتملة"، موحياً بأن ثورة أكبر يمكن أن تكون قادمة.

ينشأ جزء من عدم الانسجام النظري الضمني من الطريقة التي تعالج بها كلتا النظريتين هندسة المكان والزمان. ففي ميكانيك الكمّ؛ يكون للزمكان (زمان- مكان) دور ميدان تنافس ثابت يصف المرء ضمنه نشوء وتطور "مشاهدات كمومية" مختلفة، مثل مواضع الجسيمات. أما في النسبية العامة فإن المكان والزمان مقداران ديناميان (تحريكيان) يستطيعان أن يستجيبا للعمليات الفيزيائية الأخرى ويؤثرا فيها، مثل حركات الكواكب. وهكذا، ومن حيث المبدأ، فإن، الجسيمات في تجربة من تجارب ميكانيك الكم تؤثر في تقدّم الزمكان عبر الحقول الثقالية التي تولّدها طاقاتها. في الواقع العملي تكون الجسيمات صغيرة عادة مما يجعل تأثيرها على دينامية الزمكان مهملاً، لذا فإن النسبية العامة يمكن إهمالها. ولقد كانت هذه الحالة هي السائدة في كل اختبارات ميكانيك الكم الناجحة.

الاقتراب من الثقالة الكمومية

يمكن أن يأخذ البحث عن نظرية كمومية منسجمة مع النسبية العامة مسارين مختلفين. الخيار الأول الأكثر صعوبة وتطرفاً هو أن نبحث عن نظرية بديلة مبنية على مبادىء مختلفة اختلافاً بيّناً عن كل شيء نعرفه الآن. ولا يصبح ميكانيك الكمّ في مثل هذه النظرية ذا معنى إلا كتقريب [5,4]. أما الحل الآخر فهو أن نحافظ على مبادىء ميكانيك الكمّ الموجودة مع السعي لإيجاد نظرية أكثر شمولية تستطيع أن تجيب عن تساؤلات لا نستطيع نحن الإجابة عنها الآن [3] - مثل ماذا يحدث عندما لا يغدو المكان – الزمان (الزمكان) ثابتين بعد ذلك. إن الوضع الذي يكون فيه ميكانيك الكمّ مهجوراً على مستوى النظرية الأكثر شمولية هو التحدي الأشد قسوة، لأن المرء في هذه الحالة سيضطر للبدء من نقطة الصفر ولم يظهر بعد مرشح جاد يتصدى لهذا. أما الخيار الثاني فيمكن التحري عنه بسهولة أكبر: على الأقل هناك من لديه نظرية كمّ كنقطة بدء.

توجد في الوقت الراهن نظريتان ناضجتان مبنيتان على ميكانيك الكمّ تحاولان توحيد ميكانيك الكمّ والنسبية العامة هما "الثقالة الكمومية القانونية" canonical quantum gravity [6,3] و"نظرية الأوتار الفائقة" superstring theory [8,7]. ورغم أنهما تشتركان في هدف واحد، إلا أنهما مختلفتان تماماً في الطريقة التي تتناولان بها المسائل التقنية والفيزيائية التي تظهر أثناء تكوين صورة كمومية للثقالة. وعلى وجه الخصوص تختلفان في الطريقة التي تعالجان بها اللانهايات الرياضياتية التي تظهر بصورة طبيعية في الأوصاف الكمومية للحقول التثاقلية. وهذه اللانهايات ليست خاصة بالثقالة الكمومية: فهي تظهر أيضاً في الوصف الكمومي للحقول الكهرمغنطيسية (وهو موضوع الإلكتروديناميك الكمومي أو QED)، ولكن يمكن التخلص منها هنا باستخدام تقنية تسمى إعادة استنظام اضطرابي perturbative renormalization. وبفضل هذه التقانات أضحى الإلكتروديناميك الكمومي واحداً من أفضل النظريات المجرّبة في الفيزياء الحديثة.

لكن إعادة الاستنظام الاضطرابي لا تعمل مع الحقول التثاقلية: اللانهايات الرياضياتية كثيرة الدوام. ففي الثقالة الكمومية القانونية جُرّبت تقنيات رياضياتية جديدة (إعادة استنظام غير اضطرابي)، مع نتائج مختلطة. وفي نظرية الأوتار الفائقة، يمكن جعل إعادة الاستنظام الاضطرابي صالحاً للعمل إذا افترضنا أن الجسيمات شبه النقطية التي نشاهدها – كالفوتونات والإلكترونات والجسيمات تحت الذرّية الأكثر غرابة – هي حقاً عُرى (حلقات) شبه وترية توجد في الزمكان بعشرة أبعاد. من بين هذه الأبعاد العشرة أربعة أبعاد ندركها بصورة عادية (ثلاثة

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

للمكان وواحد للزمان) إضافة إلى ستة أبعاد أخرى وهي التي لا تظهر إلا في تجارب عند مقاييس في غاية الصغر. ولم يُشاهد أيّ من هذه الأبعاد الإضافية أو أي من الحالات الشبيهة بالأوتار حتى الآن.

تختلف الطريقتان أيضاً بالأسلوب الذي تتعاملان به مع معظم التحدّيات الأساسية لتوحيد ميكانيك الكمّ والنسبية العامة: استبدال ميدان تنافس الزمكان الثابت ليحل محله نسخة دينامية أكثر تشويقاً. إن فكرة ميدان الزمكان الثابت محفوظة conserved في نظرية الأوتار الفائقة، لكن النظرية تتضمن بعض المتحولات الدينامية التي تصف الزمكان أيضاً. إن النتيجة المتبقية هي زمكان دينامي هو في الحقيقة "مجموع" ميدان التنافس الثابت التقليدي وبعض آثار الزمكان الكمومية الدينامية. إلا أن بعض الفيزيائيين يشعرون أن الأساس الذي قدّمه ميدان تنافس الزمكان الثابت لا يحقق تماماً مبادىء النسبية العامة. وفي هذا السياق، فإن الثقالة الكمومية القانونية أكثر طموحاً: الزمكان دينامي منذ البداية. ولسوء الحظ لم يتّضح بعد كيف سيصف هذا الزمكان الدينامي معظم الأوضاع التجريبية، والتي يتصرّف فيها الزمكان كميدان تنافس تقليدي وثابت.

نظرية كمومية للزمكان

إحدى الاحتمالات الممكنة والأكثر إثارة المنبثقة عن هذه الطرائق وغيرها المستخدمة لتوحيد النسبية العامة وميكانيك الكم هي فكرة كون الزمكان نفسه مُكمّى. وهذه يمكن أن تتضمن زمكاناً متقطعاً - discretized space-time وعلى سبيل المثال، أن نستعيض عن الاستمرارية الزمكانية space-time continuum بمجموعة من نقاط معزولة. أو يمكن أن تتضمن "مبدأ ارتياب" كمومي مماثل لمبدأ الارتياب الموجود في ميكانيك الكمّ العادي. ففي زمكان فيه مبدأ ارتياب كمومي لن يكون ممكناً أن نقيس وبدقة المسافة بين نقطتين في الزمكان، تماماً كما هو الأمر في ميكانيك الكمّ العادي، حيث يستحيل قياس موضع جسيم واندفاعه بصورة آنية في ميدان الزمكان التقليدي.

يتطلب الوصف الكمومي للزمكان تجديداً عميقاً للفيزياء الأساسية. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون له آثار غير متوقعة على الانتشار العادي للجسيمات. وتظهر هذه الآثار عند سلالم قياس صغيرة فقط من أطوال بلانك (انظر المؤطر 1)، التي لا يمكن سبرها بتجارب في الوقت الحاضر.

إن التشبيه المفيد هنا هو سطح طاولة خشبية. فنحن عادة نرى السطح مستوياً وناعماً تماماً، ولكن إذا نظرنا إلى الطاولة بواسطة مجهر (وهو أداة تمكّننا من رؤية بنيته الدقيقة على مسافات قصيرة) فمن الواضح أننا لا نراه كذلك، بل نراه خشناً وفيه نتوءات. إن الاستواء الذي نراه عادةً ما هو إلا نوع من أخذ المتوسط على مدى لامنتظمات قصيرة البعد short-distance irregularities لسطح الطاولة. فلو أخذنا كرة قطرها أكبر بكثير من سلّم المسافات القصيرة short-distance scale لخشونة الطاولة ودحرجناها على السطح، فلا نجد دليلاً على الخشونة (الشكل 1a)، لكننا إذا استعملنا كرة قطرها ليس أكبر بكثير من سلّم الخشونة، فإننا سنرى التشويشات والمضايقات التي تعاني منها الكرة في مسارها، والتي تنتج عن تفاعلها مع الخشونة (الشكل 1b).

وبالمثل، فإن البنية ذات المسافات الموغلة في القصر في الزمكان قد يكون لها آثار على انتشار الجسيمات، بطريقة تعتمد على الطول الموجي للجسيمات (لأنه بسبب مثنوية الموجة - الجسيم في ميكانيك الكمّ، تستطيع كل الجسيمات أن تتصف بطول موجي يتناسب عكساً مع اندفاعها). في مثال الطاولة التشبيهي، يلعب قطر الكرة دور طول موجة الجسيم. فمن أجل الجسيمات التي نشاهدها تجريبياً ينبغي أن يكون تأثير الطول الموجي ضئيلاً جداً، أما من أجل أطوال موجية لجسيمات من رتبة طول بلانك الدقيق، فإن ظاهرة انتشار الجسيم ستتأثر كثيراً (تصوّر دحرجة كرة ذات قطر أصغر من سلّم خشونة سطح الطاولة).

مؤشرات الثورة الجديدة

كان القوام الأساسي للفتح الثوري الذي جاء به بلانك موجوداً في عمل لودويغ بولتزمان المبكر، ولا سيما في تفسيره القانون الثاني للترموديناميك كقانون إحصائي بدلاً من قانون مطلق للطبيعة. لم يكن يخطر في بال أحد في ذلك الوقت ما الذي سيؤدي إليه عمل بلانك في النهاية. هل يمكن أن توجد لدينا في الوقت الحاضر بعض مقوّمات ثورة جديدة؟

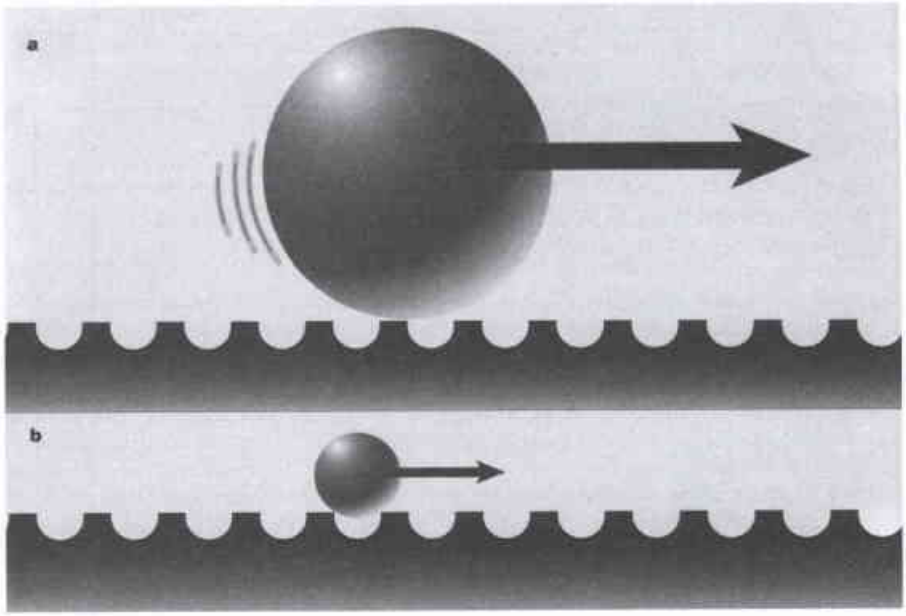
ظهرت في السنوات القليلة الماضية عدة أفكار نظرية تتطلب تغيّراً في وجهات النظر لا تقل أصالة وأهمية عن ما جاء به بولتزمان. تتضمن هذه الأفكار النظريات التي تُكمّم الزمكان، التي نوقشت أعلاه، والتي تفسّر الخصائص التقليدية للزمكان المدرَكة والملاحَظة بجسيمات لها أطوال موجية طويلة كنوع من أخذ المتوسط على مدى بنية الزمكان الكمومية المجهرية المفرطة في الدقة. وهذا ليس مخالفاً لوصف بولتزمان للقانون

المؤطر 1

طول بلانك

يستند الوصف الحديث للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة إلى فكرة الطاقة "المكمّاة"، وتعني أن أية منظومة فيزيائية تستطيع أن تبلغ سلسلة من سويات الطاقة المتقطعة فقط. ويتحكّم بالفرجة الكائنة بين سويات الطاقة المسموح بها ثابت أساسي يُدعى "ثابت بلانك" h، الذي له قيمة تجريبية تساوي $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s. وبضم هذا الثابت إلى سرعة الضوء c التي تساوي 2.998×10^{8} ms^{-1}، وثابت التثاقل G الذي يساوي 6.673×10^{-11} $N\ m^2 kg^{-2}$، نستطيع أن نحصل على سلّم الطول $L_p \sim \sqrt{(hG/2\pi c^3)} \sim 10^{-33}$ cm الذي يُدعى الآن "طول بلانك". ولما كان L_p يتناسب مع كل من G الذي يعيّن شدة التأثرات الثاقلية، وh التي تعيّن شدة التأثيرات الكمومية، فإننا نتوقع أن يشير L_p إلى شدة التأثيرات الناجمة عن كل من النسبية العامة وميكانيك الكمّ. تعمل التجارب الحالية عند سلالم قياس أكبر بكثير من طول بلانك الدقيق، مما يجعل كشف أية آثار قد تظهر عند هذا السلّم من الأطوال أمراً صعباً جداً.

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



الشكل 1– إن وصف الزمكان الذي قدّمته نظرية آينشتاين في النسبية العامة قد يكشف في النهاية عن سلوك كمومي إذا شاهدنا آثاره على سلالم قياس صغيرة إلى أبعد الحدود. فبنية زمكان كمومي في سلّم قياس صغير، على سبيل المثال، قد تؤثر على انتشار جسيمات بطريقة تعتمد على حجمها. وهذا مماثل للأثر الذي تفعله الخشونة المجهرية للسطح من طاولة في تدحرج كرة من الرخام. في الجزء a من الشكل لا تشوش خشونة الطاولة مسار الكرة الكبيرة، في حين تتأثر حركة الكرة الأصغر كثيراً بطبيعة السطح الذي تجري عليه، كما في الجزء b من الشكل.

الثاني في الترموديناميك بأنه نتيجة للمقومات المجهرية للمنظومة الترموديناميكية.

أما على الجانب التجريبي، فإن المصدر الحاسم للاختراق الذي أحدثه بلانك جاء من معطيات محيّرة حول الإشعاع الذي تصدره الأجسام الساخنة وهي في حالة توازن حراري مع الوسط المحيط بها. إن الضوء الصادر عن هذه الأجسام هو مزيج من تواترات مختلفة (ألوان). والصيغة التقليدية التي تربط الإشعاع المنبعث عند تواترات مختلفة مع درجة حرارة الجسم الساخن تعمل بشكل جيد من أجل الإشعاع عند تواترات منخفضة، لكنها لا تتفق مع المعطيات التجريبية عند التواترات العالية. لاحظ بلانك أن هذا اللغز يمكن حلّه بافتراض أن الطاقة يمكن أن تنبعث أو تُمتص بمقادير متقطعة فقط، وبذلك وُلد كمّ الطاقة energy quantum.

من بين الأشياء التجريبية المحيّرة التي تواجه الفيزياء اليوم هناك قليل منها يمكن أن يؤدي إلى تجديد عميق للفيزياء الأساسية. وكمثال على ذلك نذكر مشاهدة الأشعة الكونية فوق ما يُسمّى حدّ غرايزن – زاتسبين – كوزمين Greisen - Zatsepin - Kuzmin limit (GZK) [10,9]. الأشعة الكونية هي جسيمات ذات طاقة فوق عالية (وغالباً هي بروتونات) تنبعث من مجرّات نشطة بعيدة. تولّد هذه الأشعة وابلاً من الجسيمات الأولية عندما تجتاز الغلاف الجوي للأرض. تقطع الأشعة مسافات شاسعة (كونية) قبل أن تصلنا، ويتوقّع الفلكيون تأثرات مع فوتونات الخلفية المكونة من أمواج مكروية كونية (التوهج الخافت الذي خلفه الانفجار العظيم Big Bang) تعمل على تبريدها ، مشكّلة قَطْعاً cutoff عند طاقات أعلى . إن اكتشاف أشعة كونية فوق قَطْع GZK [11]، والمنطلق من خارج مجرّتنا على ما يبدو، لا يمكن تفسيره بموجب النظريات الراهنة.

لحساب حدّ GZK، يجب على النظريين أن يأخذوا بالحسبان تناظر لورنتز، وهو خاصة للزمكان التقليدي (المؤطر 2). لقد اقتُرح أن ملاحظة الأشعة الكونية فوق حدّ GZK يمكن أن يُفسَّر بافتراض تعديلات طفيفة على تنبؤات تناظر لورنتز [12,13]. والمنشأ المعقول لهذه التعديلات يأتي من مصدر غير متوقّع – هو استكمام الزمكان. ومن الجدير بالملاحظة أن قيمة حدّ GZK الذي تتنبأ به الحسابات من أجل بعض أنواع الزمكان الكمومي يصبح متفقاً مع معطيات الفلكيين [14].

توجد تفسيرات أخرى معقولة للغز الأشعة الكونية، لكن التفسير الذي يدخل فيه الزمكان الكمومي هو الوحيد الذي يقدّم بصورة آنية لغزاً آخر مشابهاً [15,14]. لقد كشف الفلكيون فوتونات عالية الطاقة من مصادر فيزياء فلكية بعيدة والتي ينبغي، حسب الصورة التقليدية للزمكان، أن لا تكون قادرة على الوصول إلينا لأنهُ يُتوقّع لها أن تتأثر مع الخلفية تحت الحمراء الكونية. وهذا يعني أنه يجب أن يكون هناك حدّ نظري أعلى لطاقات الفوتونات، مماثل للحدّ من أجل الأشعة الكونية. إن الدليل التجريبي لمثل هذا اللغز لم يمض وقت طويل على ظهوره، ولذلك فإنه من السابق لأوانه أن نقيم حجة من أجل وصف كمومي للزمكان. ومع ذلك، فإن إمكانية أن نكون قادرين على اختبار أفكارنا عن الثقالة الكمومية مع معطيات حقيقية يُعدُّ أمراً أساسياً لنقل هذا الحقل من حيّز الخيال العلمي إلى حيّز الحقيقة العلمية.

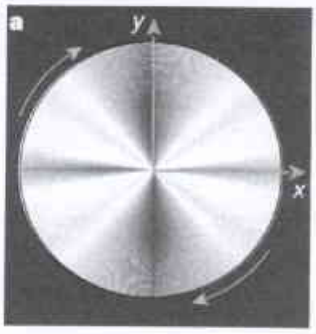
مبدأ التكافؤ

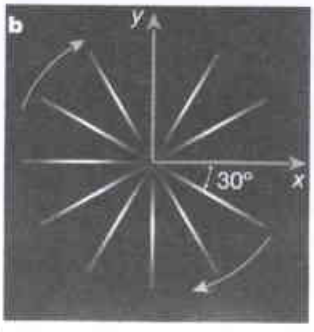
ليس من السهل تصميم التجارب التي يمكن أن تلحظ التفاعل بين النسبية العامة وميكانيك الكمّ. فالسلّم الدقيق لطول بلانك (المؤطر 1) الذي يتوقع أن تظهر عنده هذه الآثار، والضعف الهائل في الثقالة مقارنة مع قوى أخرى للطبيعة، قد أدّيا إلى جعل الكثيرين يعتقدون أن دراسة الثقالة الكمومية قد تكون خارجة عن نطاق التجارب المخبرية. وفضلاً عن ذلك، يظهر أن هناك قضية نظرية أساسية تؤثر على الدراسة التجريبية للقوى التثاقلية عند المستوى الكمومي. إن الطريقة النموذجية لدراسة هذه القوى على تعارض مع مبدأ التكافؤ، الذي يُعدّ واحداً من أحجار الزاوية للنسبية العامة، وينص بأن كل الكتل، في حقل تثاقلي منتظم، تسقط بتسارع واحد (هو $9.8\ ms^{-2}$، على سبيل المثال، بالقرب من سطح الأرض). إن مبدأ التكافؤ هو السبب وراء كون القوى التثاقلية مختلفة إلى هذا الحد عن القوى الأخرى.

عند دراسة كل القوى الأخرى، يكون للجسيمات التجريبية المستخدمة لاختبار شدة حقل القوة صفتان مميزتان أوليتان: "شحنتها" تحت تأثير حقل القوة و"كتلتها العطالية" (المعرفة بالنسبة بين القوة المطبقة

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

المؤطر 2





انهيار التناظر

إن الزمكان، الذي نراه في العادة مسطحاً تقليدياً ومستمراً، يمكن أن يكون أيضاً ذا بنية كمومية غنية على مسافات قصيرة (الشكل 1). وهذا له عواقب بالنسبة "للتناظرات" الأساسية للزمكان وبالنسبة لفهمنا لفيزياء الجسيمات. يمكن فهم فكرة تناظر الزمكان بمقارنة قرص مستمر الاستواء (a) مع نسخة فيها تقطيع للقرص نفسه (b). إذا دوّرنا القرص المستمر (الذي يقابل الزمكان التقليدي) بزاوية كيفية، فإنه سيظل يبدو هو نفسه كالأصل، أما بالنسبة للقرص الذي عليه تقطيع، فإن دورانات محدّدة (والتي تشكل زوايا هي مضاعفات صحيحة للدرجة 30°) هي التي تولّد القرص الأصلي.

يتصف الزمكان بتناظر دوراني مهم يُعرف بتناظر لورنتز. إن نماذج فيزياء الجسيمات التي تفترض زمكاناً مسطّحاً لها تناظر أساسي آخر، يُعرف بـ CPT (أي التناظرات المشتركة للشحنة charge والندّية parity وانعكاس الزمن time reversal)، الذي يتحكّم بالعلاقة القائمة ما بين الجسيمات والجسيمات المضادة، إضافة إلى تحكّمه في أشياء أخرى. في كل ما سبق، تشير جميع الدلائل المتوفرة إلى أن كل قوانين الطبيعة تخضع لكل من تناظر لورنتز و CPT- أي أننا نلاحظ فقط القرص المستمر. لكن قانون الميّز (الفضل) للتجارب الراهنة لا يستطيع أن يميّز بين الأقراص المستمرة والمقطّعة - سيظهر الأخير ممحياً مخفيّ المعالم كما لو أنه مستمر.

أحد الأسئلة الأساسية التي ينبغي للدراسات التجريبية في توحيد النسبية العامة وميكانيك الكمّ أن تجيب عليه هو الطريقة التي تؤثر بها البنية الكمومية ذات المسافة القصيرة للزمكان على تناظر لورنتز وتناظر CPT. وبعبارة أخرى ، إذا نظرنا إلى بنية الزمكان بميّز عالٍ بما يكفي، فهل سنرى قرصاً مقطّعاً بدلاً من القرص المستمر؟

على الجسم والتسارع الناتج). وكما بيّن بور وروسنفلد [16] فإن الطريقة الوحيدة لاستخراج معلومات صحيحة عن حقل القوة هي أن نستعمل جسيمات لها كتلة عطالية كبيرة وشحنة صغيرة. وفي دراسة الحقول التثاقلية، فإن هذه الاستراتيجية تتطلب جسيمات ذات كتلة عطالية كبيرة وكتلة تثاقلية صغيرة (التي تطلق القوى التثاقلية التي يشعر بها الجسيم)، لكن مبدأ التكافؤ يتطلب كتلاً عطالية وتثاقلية متساوية . وبناء عليه، فإن الاستراتيجية النموذجية (بور- روسنفلد) لتجارب ميكانيك الكمّ تبدو مؤدّية إلى [4,2] وضع حدّ أساسي على الدقة التي يمكن أن نقيس بها الحقول التثاقلية.

الحدّ التجريبي

رغم هذه التحديات العديدة في الربع الأخير من القرن العشرين، فقد بدأ الفيزيائيون يحققون بعض التقدم في الدراسة التجريبية للثقالة الكمومية. أخذت الخطوة المهمة الأولى في منتصف السبعينيات بتجارب درست القوة التي تؤثر بها الحقول التثاقلية على السلوك الميكانيكي الكمومي للجسيمات المجهرية [18,17]. لم تكن هذه التجارب مؤهلة لاختبار الخواص الكمومية للزمكان، لكنه ثبت أن الحقول التثاقلية التي ولّدتها الأرض تؤثر على "تجارب التداخل" (المؤطر 3) بطريقة مشابهة تماماً لتأثير الحقول الكهرمغنطيسية.

أصبح معلوماً في الثمانينيات أن تجارب تختبر أحد التناظرات الأساسية لفيزياء الجسيمات [19-21]، تُعرف باسم CPT (المؤطر 2)، كانت تصل في النهاية إلى مستويات حساسية تستطيع بصورة معقولة أن تكشف تعديلات دقيقة لهذه التناظرات التي سببتها الخصائص الكمومية للزمكان. لقد استمرت حساسية تجارب CPT (ولاسيما دراسة جسيمات تُعرف بالكايونات المعتدلة [22]) بالتحسّن على مدى العقود القليلة الماضية. ولم تقدّم فيما مضى أي دليل على أية خاصة كمومية للزمكان.

في البدء، كانت اختبارات تناظر CPT هي الأمثلة الوحيدة للتجارب التي كانت تحلّل من وجهة نظر الثقالة الكمومية، لكن خلال السنوات القليلة الماضية قُدّمت عدة مقترحات. إن الأكثر حساسية من بين هذه التجارب هو البحث حول الانحراف عن تناظر لورنتز في فيزياء الأشعة الكونية (المؤطر 2) . وإضافة إلى حدّ GZK الذي جرى الحديث عنه أعلاه، يوجد مضمون آخر أساسي لتناظر لورنتز - ألا وهو التنبؤ بأن الزمن اللازم للجسيم كي ينتشر على مدى مسافة معينة يجب أن لا يعتمد على الطول الموجي للجسيم - سيجري اختباره بدقة عالية جداً بواسطة تجارب فيزياء فلكية هي قيد الإعداد الآن. وبشكل خاص، يمكن أن يغير الزمكان الكمومي من انتشار أشعة γ المجمّعة من نفثات أشعة γ بعيدة - وهي بعض الانفجارات الأكثر قوة في الكون [23] . وخلال خمس أو عشر سنوات سيصل الجيل الثاني التالي من مقاريب أشعة γ، مثل بعثة الفضاء GLAST [24]، إلى مستويات حساسية كافية لاختبار صنف تبعية الطول الموجي الدقيق الذي تنبأت به صور كمومية معينة للزمكان.

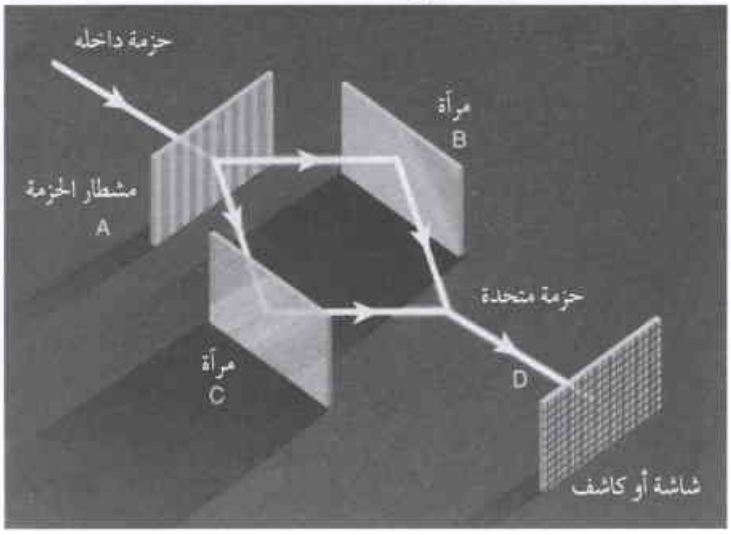
وفضلاً عن اختبارات لورنتز وتناظرات CPT، فمن الممكن أيضاً تحرّي بنية الزمكان نفسها مباشرة. لقد بُنيت مقاييس تداخل أمواج الثقالة الحديثة (المؤطر 3) لتكشف التأرجحات الصغيرة جداً في المسافات الكائنة بين الكتل التي قد يسببها مرور موجة ثقالية [25] . الأمواج الثقالية هي تموجات في بناء الزمكان تنبأت بها نظرية آينشتاين في النسبية، ولكن لم

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

المؤطر 3

تجارب التداخل

يمكن أن تكون تجارب التداخل حسّاسة لبعض الآثار الضئيلة العائدة للزمكان الكمومي. وفي هذه التجارب لعبت إحدى المعالم الرئيسة لميكانيك الكمّ دوراً مهماً: مثنوية الجسيم – الموجة . وكأي موجة، يمكن أن نميّز حزمة من الجسيمات بطول موجي (الفاصل بين قمم الموجات). وفضلاً عن ذلك، باستطاعة حزمتين مختلفتين أن تكونا متفقتين في الطور إذا مرّت قممهما من النقاط نفسها في الأزمنة نفسها، أو تستطيعان أن يكون بينهما فرق في الطور. عندما تندمج حزمتان فإنهما تتداخلان بأسلوب بنّاء تماماً إذا كانتا متفقتين في الطور؛ وإلا فإن التداخل يكون هدّاماً جزئياً على الأقل.



يبيّن الشكل هنا تجربة تداخل أساسية. فحزمة الجسيمات الواردة تواجه شاطر حزمة splitter عند A. تُوجه الحزمتان الناتجتان نحو مرآتين عند B و C. وعندما تجتمعان عند D فإن جزئي الحزمة سيكونان متفقين في الطور إذا كان المساران (ACD,ABD) بالطول نفسه وإذا لم يواجها حقولاً فيزيائية تعمل على خلق انزياحات طور مختلفة different phase shifts

أحد تنبؤات ميكانيك الكمّ هو أن طور الموجة يمكن أن يتأثر بوجود حقول فيزيائية، كما أظهرت الحقول الكهرمغنطيسية. ويمكن للحقول الثاقلية أيضاً أن تؤثر على فرق الطور بين حزمتي الجسيمات إذا تغيرتا عبر الجهاز. يمكن تحقيق هذا بسهولة بوضع مسارين عند ارتفاعين مختلفين، فينتج عنه فرق طور يمكن ملاحظته. في نظريات كمومية محدّدة للثقالة، يعاني جزء الحزمتين من تأرجحات زمكان كمومية مختلفة، وهذه يمكنها أيضاً أن تؤدي إلى فرق في الطور.

يسبق أن كُشف النقاب عنها. لقد اقترحتُ في العام الماضي أنه يمكن أيضاً استخدام مقاييس تداخل الأمواج الثقالية لكشف تأرجحات الزمكان الكمومية [26]. إن مقاييس التداخل التي هي في طور الإنشاء، مثل الكاشف ليغو LIGO في الولايات المتحدة والكاشف فيرغو VIRGO في إيطاليا، يمكن أن تكون حساسة لتأرجحات عند سلالم قياس توافق طول بلانك. لذا ربما تواتينا الفرصة لاختبار نماذجنا البسيطة للثقالة الكمومية مباشرة، رغم وجود شوط كبير علينا أن نجتازه قبل أن يكون لدينا صورة للزمكان الكمومي متناسقة نظرياً وقابلة للاختبار تجريبياً [4].

توقعات القرن الحادي والعشرين

بعد انقضاء مائة عام على نظرية الكمّ، وأكثر من 70 عاماً من المحاولات الفاشلة لتوحيد النسبية العامة وميكانيك الكمّ، أصبح لدينا أخيراً بعض الوسائل النظرية والتجريبية الواعدة لدراسة التفاعل بين النسبية ونظرية الكمّ. توجد رغبة نظرية قوية لتوحيد هاتين النظريتين، لكن كل النماذج الحسنة التي نضعها تبقى مجرد تخمين من دون برنامج تجريبي قوي.

وبالنسبة للوضع الحالي، فإن التجارب محدودة العدد وتقتصر حساسيتها على الآثار التي يمكن أن يحرّضها توحيد النسبية العامة وميكانيك الكمّ عند سلالم قياس أكبر من طول بلانك. ومع ذلك، فإنه يبدو من المعقول التوقع أن يؤدي العدد المتزايد من الأفكار النظرية والتجريبية على مدى القرن الحادي والعشرين في النهاية إلى بعض التقدّم في توحيد ميكانيك الكمّ والنسبية العامة.

المراجع REFERENCES

[1] Zeilinger, A. Nature 408, 639-641 (2000).

[2] Stachel, J. in Black Holes, Gravitational Radiation and the Universe: Essays in Honour of C. V. Vishveshwara (eds Iyer, B. R. & Bhawal, B.) 525-534 (Kluwer Academic, Dordrecht, 1999).

[3] Rovelli, C. J. Math. Phys. 41, 3776-3800 (2000).

[4] Amelino-Camelia, G. http://xxx.lanl.gov/abs/gr-qc/9910089

[5] 't Hooft, G. Quantum Grav. 16, 3263-3279 (1999).

[6] Ashtekar, A., Rovelli, C. & Smolin, L. Phys. Rev. Lett. 69, 237-240 (1992).

[7] Green, M. B., Schwarz, J. H. & Witten, E. Superstring Theory (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1987).

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

[8] Polchinski, J. String theory (Cambridge Univ, Press, Cambridge, 1998).
[9] Greisen, K. Phys. Rev. Lett. 16, 748-751 (1966).
[10] Zatsepin, G. T. & Kuzmin, V. A. Sov. Phys. JETP Lett. 4, 78-80 (1966).
[11] Bird, D. J. et al. Astrophys. J. 441, 144-151 (1995).
[12] Coleman, S. & Glashow, S. L. Phys. Rev. D59, 116008 (1999).
[13] Kifune, T. Astrophys. J. 518, L21-L24 (1999).
[14] Amelino-Camelia, G. & Piran, T. http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0008107
[15] Muir, H. New Sci. 32-35 (23 September 2000).
[16] Bohr, N. & Rosenfeld, L. Kgl. Danske Videnskab S. Nat. Fys. Medd. 12, 1-65 (1933).
[17] Colella, R., Overhauser, A. W. & Werner, S. A. Phys. Rev. Lett. 34, 1472-1474 (1975).
[18] Ahluwalia, D. V. Nature 398, 199-200 (1999).
[19] Ellis, J., Hagelin, J. S., Nanopoulos, D. V. & Srednicki, M. Nucl. Phys. B 241, 381-405 (1984).
[20] Kostelecky, V. A. & Potting, R. Phys. Rev. D51, 3923-3935 (1995).
[21] Huet, P. & Peskin, M. E. Nucl. Phys. B 434,3-38 (1995).
[22] Ellis, J., Lopez, J., Mavromatos, N. E. & Nanopoulos, D.V. and CPLEAR Collaboration, Phys. Lett. B 364, 239-245 (1995).
[23] Amelino-Camelia, G., Ellis, J., Mavromatos, N. E., Nanopoulos, D. V. & Sarkar, S. Nature 393, 763-765 (1998).
[24] de Angelis, A. http://arXiv.org/abs/astro-ph/0009271
[25] Saulson, P. R. fundamentals of Interferometric Gravitational Wave Detectors (World Scientific, Singapore, 1994).
[26] Amelino-Camelia, G. Nature 398, 216-218 (1999).■

3- مشاهدة نفق ذرّي★

لقد نجح الفيزيائيون في مشاهدة ذرّات الهدروجين الفردية تتحرك على سطوح المعادن في درجات حرارة منخفضة - في تحدٍّ للفيزياء التقليدية.

تسمح النظرية الكمومية، التي احتفلت منذ فترة وجيزة بعيد ميلادها المئة، للجسيمات أن تخترق قوانين الفيزياء التقليدية. فرغم أن الجسيم، في المفهوم التقليدي، يمكن أن لا يملك طاقة كافية لعبور حاجز مُعطى، فإن النظرية الكمومية تقول بأنه لا يزال هنالك احتمال محدّد يمكن للجسيم فيه أن يخترق الحاجز حسب عملية تُعرف بـ: العبور النفقي الكمومي. تقع هذه العملية في صلب كثير من الظواهر - بدءاً من تشكّل الروابط الكيميائية إلى ما يميز المعدن عن العازل. نشر لاوهون Lauhon وهو HO [1] في مجلة Physical Review Letters أنهما تتبعا وعاينا لأول مرة العبور النفقي الكمومي للذرّات الفردية.

استطاع الباحثون، باستخدام المجهر النفقي الماسح (STM)، أن يراقبوا حركة ذرّات الهدروجين المفردة على سطح معدن، ووجدوا أن الذرّات تبقى متحركة حتى درجات حرارة منخفضة تصل إلى 9 كلفن. من المتوقع، تقليدياً، أن يخمد الانتشار الحراري أو الحركة عند تخفيض درجة الحرارة. ولكن الحركة الثابتة للهدروجين تقتضي أن يكون هنالك تأثير كمومي يسمح للذرّات أن تعبر النفق على طول السطح المعدني. يُستدل على العبور النفقي الكمومي للذرّات في درجات الحرارة المنخفضة من التجارب التي تُجرى على مجموعة كبيرة من الذرّات نسبياً، ولكن ليس قبل ملاحظة الحركة الكمومية مباشرة في كل ذرّة على حدة.

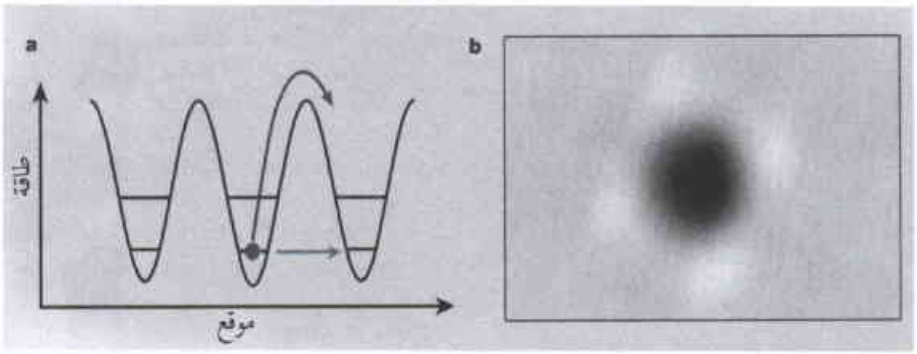
يُعتقد في فيزياء المادة الكثيفة أن العبور النفقي الكمومي يلعب الدور المفتاح في بعض الظواهر، كانتشار الشوائب في الأجسام الصلبة وخواص الزجاج في الدرجات المنخفضة من الحرارة. تستقر الذرّة عادة في بئر طاقة (الشكل 1a)، ويمكنها أن تعبر النفق إلى بئر آخر إذا ما كانت خفيفة إلى حدٍ كافٍ وكان الحاجز بين البئرين صغيراً بما يكفي. ولما كان الهدروجين خفيفاً إلى حدٍ كبير، فإنه - بصورة خاصة - عرضة إلى إمكانية العبور النفقي [2]. لقد نُشرت تقارير عن الحركة الثابتة للهدروجين على سطوح المعادن في درجات الحرارة المنخفضة [3, 4]، ولكن ليس من الواضح فيما إذا كان هذا الانتشار قد نشأ من الحركة الحرارية التقليدية أو من العبور النفقي الكمومي. يمكن أن تُعزى بعض الشكوك إلى حقيقة أن التجارب السابقة قاست متوسط سلوك مجموعة من الذرّات، وهكذا لم تستطع حل دور عيوب السطح في عملية العبور النفقي. يتجنب السبر الموضعي، كرأس المجهر النفقي الماسح، هذه التعقيدات.

يستخدم المجهر النفقي الماسح مبدأ العبور النفقي للإلكترون ليعطينا مشهداً تفصيلياً للذرّات عند السطوح [5]. يعبر في النفق سيل من الإلكترونات بين الرأس المعدني الحاد والسطح موضع البحث عندما يمر الرأس بخفة عبر السطح. تُبقي دارةُ التغذية الراجعة تدفقَ الإلكترونات ثابتاً وذلك بتعديل المسافة بين الرأس والسطح، ويُستخدم المسار المسجل للرأس بعدئذٍ في تشكيل الصورة.

يُشاهد وجود ذرّة هدروجين على السطح كانخفاض أو ثقب في صورة المجهر النفقي الماسح (الشكل 1b)، و هذا سببه أن صورة المجهر النفقي الماسح لذرّة معزولة على سطح تعتمد على مدى تعديل الذرّة للبنية الإلكترونية للسطح. تقدّم ذرّات الهدروجين المعزولة جذباً خفيفاً جداً من أجل إلكترونات النقل لسطح المعدن، ولهذا تظهر، حسب رؤية لاوهون وهو [1]، فقط كانخفاضات صغيرة في صور المجهر النفقي الماسح للنحاس في درجات الحرارة المنخفضة (9K). لقد تمّ الحصول على صورة

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 409, 25 January 2001. ترجمة هيئة التحرير -هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1- يمكن لذرّات الهدروجين على سطح النحاس أن تعبر النفق كموميّاً في درجات الحرارة المنخفضة. a: ذرّة هدروجين في بئر طاقي مُحدث بسطح النحاس. يبيّن المسار الأحمر الطاقة الضرورية للذرّة كي تنتشر في بئر الطاقة المجاور حسب الفيزياء التقليدية. يشير المسار الأخضر إلى أن الذرّة تحتاج إلى قليل من الطاقة أو لا تحتاج إلى ذلك لكي تمر نفقيّاً، حسب وسائل الميكانيك الكمومي، إلى البئر المجاور. b: صورة لذرّة الهدروجين (الشكل الأسود في المركز) على سطح نحاس مأخوذة بواسطة المجهرية النفقية الماسحة.

مطابقة من أجل الدوتريوم، النظير الثقيل للهدروجين، باعتبار أن الاثنين متكافئان إلكترونياً. ولكن عندما يكون الهدروجين والدوتريوم مرتبطين كيميائياً مع السطح، فإن المجهر النفقي الماسح يستطيع أن يميز بينهما،لأن كتلتيهما المختلفتين تسببان اهتزازهما بتواترين مختلفين [6].

يمكن قياس سرعة تحرك الذرّات عبر السطح بعمل شريط سينمائي للمجهر النفقي الماسح للعيّنة. وكبديل عن ذلك، يمكن للرأس أن يلتقط ذرّة ويواصل مساراً ثابتاً لموقعها. وباستخدام كلتا التقنيتين، قاس لاوهون وهو سرعة انتشار الهدروجين والدوتريوم عبر سطح النحاس في درجات حرارة مختلفة. ومن ملاحظاتهما، استبعدا تأثير رأس المجهر النفقي الماسح على قياساتهما، ووجدا في درجات الحرارة العليا أن كلتا الذرّتين تمتثلان لقانون الانتشار المنسجم مع الحركة التقليدية التي تسببها الإثارة الحرارية. ولكن مع تخفيض درجة حرارة السطح، بدأ سلوك الهدروجين والدوتريوم بالاختلاف بشكل مثير. كان الدوتريوم يتبع الفيزياء التقليدية وبدأ يبطىء في حركته حتى التوقف، ولكن الهدروجين أظهر حركة ضعيفة مستقلة عن درجة الحرارة بدأت عند حوالي الدرجة 65 كلفن وبقيت حتى الدرجة 9 كلفن، وهي أخفض درجة استُعملت في التجربة. وباعتبار أن الهدروجين أخف بكثير من الدوتريوم، فإن هذه الحركة تقدّم دليلاً قوياً على أن العبور النفقي الكمومي يكون فعّالاً.

تتأثر قابلية الجسيم للعبور في النفق أيضاً بمحيطها المباشر. فيمكن مثلاً للاهتزازات الشبيكية (فونونات) وتبعثر إلكترونات النقل من الذرّة عند عبورها في النفق أن تعيق أو تعزز فعل العبور النفقي. إن تأثر الذرّة العابرة في النفق مع محيطها يبدد الطاقة ويمكنه أن يُعطّل عملية العبور النفقي أو يخفضها إلى مجرد قفزة أو يوقفها تماماً [7]. إن التحاليل التفصيلية لسرعة الانتشار المقيسة بالمجهر النفقي الماسح من أجل الهدروجين، التي قام بها لاوهون وهو، تحدد نظم درجات الحرارة المختلفة التي يسود فيها التبعثر الفونوني أو الإلكتروني. وما يثير الاهتمام أو الفضول الكبير هو ملاحظتهما في التجربة أن سرعة العبور النفقي في درجات الحرارة المنخفضة تتزايد عند تبريد السطح. يبيّن هذا السلوك المستحيل تقليدياً أن العبور النفقي للهدروجين يتحسن على فترات أطول من الزمن عندما يصبح السطح أكثر برودة. ولربما يؤدي تخفيض درجة الحرارة بعامل يصل إلى 10 أو 100 إلى كشف نظام جديد تستطيع فيه ذرّات الهدروجين في آخر الأمر أن تعبر النفق إلى مسافات أبعد.

تُركّز أبحاث زيادة العبور النفقي في الوقت الحاضر على تعيين الدرجة التي يمكن فيها توسيع هذا المفهوم الكمومي إلى العالم الجهري [8]. فكلما ازداد حجم الجسم العابر للنفق يصبح تأثير المحيط أكثر أهمية. يبقى الوضع في تجارب لاوهون وهو مجهرياً، ومع ذلك فإنه يقدّم وضعاً واضحاً ولافتاً للنظر للدخول إلى قلب التأثيرات المحيطية على عملية العبور النفقي. يمكن استخدام المجهر النفقي الماسح أيضاً في وضع الذرّات بعناية بغرض رسم صورة للعقبات المختلفة أمام العبور النفقي ولاختبار كيف يمكن التحكّم بعملية هذا العبور. ويمكن أن يكون لمعرفتنا بكيفية تداول حصيلة حوادث العبور النفقي على مقياس النانومتر بعض التطبيقات المفيدة في صنع نبائط على هذا المقياس.

المراجع REFERENCES

[1] Lauhon, L. J. &, Ho, W. Phys. Rev. Lett. 85, 4566-4569 (2000).

[2] Völkl, J. & Alefeld, G. in Hydrogen in Metals I(eds Alefeld, G. & Völkl, J.) Ch. 1 (Springer, New York, 1978).

[3] DiFoggie, R. & Gomer, R. Phys. Rev. B 25, 3490-3511 (1982).

[4] Daniels, E. A. & Gomer, R. Surf. Sci. 336, 245-261 (1995).

[5] Yazdani, A. & Lieber, C. M. Nature 401, 227-230 (1999).

[6] Stipe, B. C., Rezaei, M. A. & Ho, W. Science 280, 1732-1735 (1998).

[7] Leggett, A. J. et al. Rev. Mod. Phys. 59, 1-85 (1987).

[8] Blatter, G. Nature 406, 25-26 (2000).■

4- تحطم النوى خلال المرآة*

يمكن للقفازين أن يفعلا ذلك، ويمكن لخصلات الشعر الاصطناعية أن تفعل ذلك، وحتى طاقيّ حلزون الـ DNA يمكن أن يفعلا ذلك. لكن الآن، ولأول مرة، اكتشف الفيزيائيون أن النوى الذرّية يمكن أن تصبح أيضاً على نمطي اليدين اليمنى واليسرى. فقد نشر فريق من الباحثين من جامعة ولاية نيويورك (SUNY)، ومن جامعة يال، وجامعة تينسي،

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol 291,9 February 2001. ترجمة هيئة التحرير -هيئة الطاقة الذرّية السورية.

وجامعة نوتردام، في عدد 5 شباط من مجلة Physical Review Letters (PRL) تقريراً يتضمن مشاهدتهم نوى سريعة اللف على أشكال صورة مرآتية. وفي هذه العملية اكتشف الفيزيائيون أيضاً دليلاً قوياً على حقيقة وجود شكل طال الجدال فيه من التركيب البنيوي الذرّي.

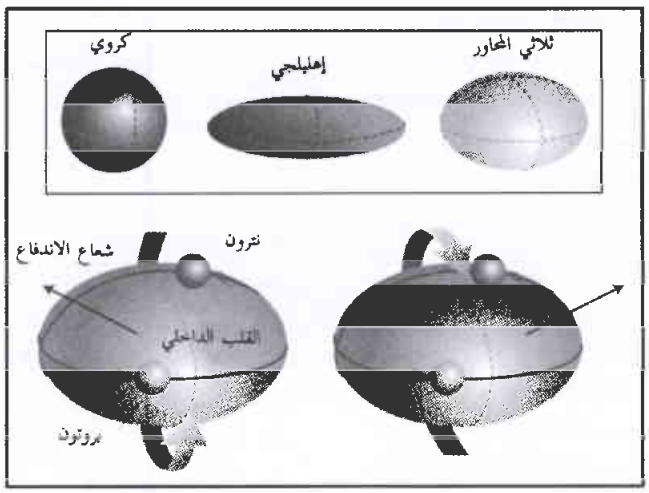
يقول رود كلارك R.Clark من مختبر لورنس الوطني في بيركلي بكاليفورنية: "إن هذه النتائج تؤدي فعلاً إلى إثارة وهياج بين الفيزيائيين المهتمين بالبنية النووية"، ويتابع قائلاً: "رغم أن إثبات النتائج يحتاج إلى عمل أكبر فإنه من الصعوبة بمكان ابتكار تفسير آخر لها".

ينطلق الاكتشاف من عمل ستيفان فراوندورف S. Frauendorf الفيزيائي النظري النووي من جامعة نوتردام في إنديانا. كان فراوندورف وزملاؤه عام 1997 يستكشفون الخواص الممكنة للنوى الذرّية مع السمة الافتراضية المسماة التناظر الثلاثي المحاور. يمكن أن يكون للنوى، في النظرية ثلاث درجات مختلفة من التناظر، من الكروية إلى الإهليلجية إلى ثلاثية المحاور، وذلك حسب الكيفية التي ترتب فيها النترونات والبروتونات نفسها. تشبه النواة الإهليلجية كرة القدم الأمريكية، وكذلك النوى الثلاثية المحاور ولكن بعد عصرها. يقول كرزيزتوف ستاروستا K. Starosta، المؤلف الرئيسي في مجلة PRL والأستاذ الزائر في SUNY، ستوني بروك: "إنها تشبه قليلاً فاكهة الكيوي".

اقترح فراوندورف، المؤلف المشارك أيضاً في مجلة PRL أن بعض النوى الثلاثية المحاور يجب أن يأتي من ضربيّ اليد اليسرى واليد اليمنى. وأظهرت حساباته أن نشوء حالة اليدين، والتي يسميها الفيزيائيون كسر التناظر اليدواني، يجب أن يحدث في النوى السريعة الدوران "الفردية-الفردية"، أي النوى التي تحوي عدداً فردياً من النترونات وعدداً فردياً من البروتونات.

وكلما ازدادت الإلكترونات في ذرّة ما في تزاوجها لتشكيل طبقات محيطة بالنواة، فإن البروتونات والنترونات في مركز الذرّة تتزاوج، المثيل مع المثيل، لتوليد بُناها الخاصة داخل النواة. وعلى أية حال، يبقى في النواة الفردية-الفردية نترون واحد وبروتون واحد. وفي بعض الحالات، فإن "نكلونات التكافؤ" هذه تدور بزوايا قائمة بعضها مع بعض خارج القلب النووي المشكّل من البروتونات والنترونات الأخرى، تماماً كما تمتز إلكترونات التكافؤ حول الطبقات الإلكترونية للنواة، وفي غضون ذلك يلفّ القلب أيضاً (انظر الشكل).

يجب، وفقاً لفراوندورف، أن تخلق هذه الحركات الثلاث-لنكلوني التكافؤ وللقلب الثلاثي المحاور-تأثيراً يدوانياً (كيرالياً). وبجمعها معاً تعطي النواةَ اندفاعها الإجمالي. ولكن لما كان القلب يستطيع أن يلف في أي من الاتجاهين الاثنين بالنسبة للجسيمات المدارية، فإن إجمالي الاندفاع يمكن أن يأخذ قيمتين مختلفتين أيضاً. يقول فراوندورف أن هاتين القيمتين تؤسس حالتي اليدين اليسرى واليمنى.



توافق ثنائيات: في بعض النوى الذرّية التي لها تناظر ثلاثي المحاور، يعطي بروتون ونترون وحيدان يثران حول قلب نووي دوّار قيمتي اندفاع مختلفتين لصورة مرآتية للنوى.

كانت الصعوبة أنه لم يكن أحد يعرف فيما إذا كانت النوى الثلاثية المحاور موجودة حقاً.

اكتُشفت النوى الحاوية ثلاثة محاور تناظرية مختلفة في الستينيات، ومنذ ذلك الحين جرت مناقشتها على نطاق واسع، ولكن لم يلاحظها أحد نهائياً. شكّ بعض الفيزيائيين بأن الشكل الثلاثي المحاور يمكن أن يكون اهتزازاً سريع الزوال للنواة، وهو غير مستقر إطلاقاً بحيث لا يملك تأثيراً يمكن قياسه.

ولاكتشاف ذلك، اختبر ستاروستا ومعاونوه أشعة غاما، وهي نوع من الأشعة التي تصدرها النوى بعد أن تتم إثارتها إلى حالات لف عالية الطاقة. فإذا كانت النوى ثلاثية المحاور، وتخضع إلى كسر تناظر يدواني، فإن على أشعة غاما أن تتجمع على شكل أزواج لها تواترات متقاربة جداً تُعرف باسم الثنائيات-وهذا دليل على أن سويات طاقة النوى قد انشطرت إلى أزواج من حالتي اليدين اليمنى واليسرى.

ركّز المتعاونون جهودهم على النوى الفردية-الفردية للسيزيوم واللانتانيوم والبرازيوديميوم والبروميتيوم. وباستخدام المسرّعات في SUNY ويال قذفوا أحزمة من الأيونات الثقيلة-كربون، وبورون، ومغنيزيوم-على أهداف من القصدير والأنتيموان. مهّدت الانهياراتُ لتفاعلاتِ اندماج ولّدت نوى مثارة من النوع اليميني فقط ودفعتها إلى حالات اللف اليميني. وما إن استقرت النوى، حتى أصدرت غطاءً كاملاً من أشعة غاما لها طاقات متباينة. كان التعنقد الدليل هو حيث أكد الفيزيائيون، عند فرز الثنائيات، وجود كسر تناظر يدواني.

يقول ستاروستا إن الخطوة التالية تتمثل في رؤية فيما إذا كانت النوى الفردية-الفردية للعناصر الأخرى تشكل صور مرآة، ويتابع قائلاً: "لقد بدأنا في سبر نوى الذرّات التي كتلتها الذرّية تقع حول الرقم 130 لأن النظرية وجّهتنا إلى ذلك، ولكننا سنقوم بالبحث حالياً في مجال كتل أخرى". يقول كلارك Clark: إن فهم كيفية سلوك هذه البنى الذرّية المعقدة يمكن أن يقودنا إلى حقول أخرى أيضاً. ويفيد قائلاً: "إن الأفكار والطرائق لفهم النوى والجزيئات والتجمعات المعدنية والكثافات الذرّية يستفيد جميعها بعضها من بعض".■

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

5- رؤية موسعة للبلوتونيوم*

إن التآثر بين الإلكترونات يجعل التنبؤ بخواص المعادن الدخيلة، كالبلوتونيوم، أمراً صعباً. إن حسابات أفضل كالتي تتضمن معالجة شاملة للبنية الإلكترونية هي الجواب.

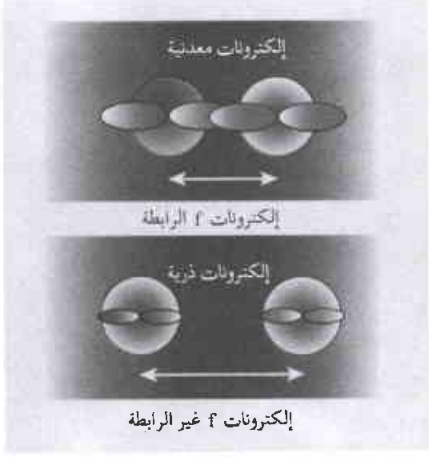
إن معادلات ميكانيك الكم دقيقة لكن حلّها صعب من أجل الجوامد، لأنه يجب أخذ التآثرات المفصّلة بين الإلكترونات بالحسبان. ظلَّ الفيزيائيون ثلاثين عاماً يستعملون تقريباً يُعرف بالنظرية الوظيفية للكثافة (نظرية العصائب) density functional theory (DFT)، التي تسمح لهم بحساب خواص الحالة الأساسية للجوامد كحجمها مثلاً. تعامِل النظريةُ الوظيفية للكثافة الإلكترونات في منظومات ذات إلكترونات متعددة كما لو أنها تسلك سلوكاً مستقلاً بعضها عن بعض، وتعمل بشكل جيد من أجل المعادن النموذجية كالألمنيوم مثلاً؛ لكنها تفشل عندما تتآثر بقوة إلكترونات الجسم الصلب. وعلى سبيل المثال، يخضع البلوتونيوم المعدني لتمدد هائل في الحجم عندما يُسخَّن إلى الدرجة 600 K، لكن DFT تفشل في توقع هذا. وقد تنبأ سافراسوف وآخرون [1] وبشكل صحيح سلوك البلوتونيوم باستخدام نظرية تجمعُ نظرية DFT للأجسام الصلبة مع معالجة أكثر تعقيداً للتآثرات الإلكترونية.

تخيّل أنك تأخذ عدداً ضخماً من الذرّات المنفصلة عن بعضها بشكل جيد، ثم تقرّب بعضها من بعض لتشكل جسماً صلباً. ما الذي يحدث لسلوك الإلكترونات؟ في مرحلة معينة، وعندما تبدأ السحابة الإلكترونية المحيطة بالذرّات بالتراكب، تغدو الإلكترونات الخارجية وبصورة مفاجئة غير تابعة لذرّة بعينها (كإلكترونات موضعية) لكن الذرّات جميعها تتشارك فيها (فتصبح إلكترونات لا موضعية). إذا كانت المدارات الإلكترونية التي تتراكب ممتلئة جزئياً فقط، فالجسم الصلب الناتج يكون معدناً فيه إلكترونات نقل كهربائي. تكون هذه الإلكترونات اللاموضعة جوّالة itinerant- أي أنها تستطيع التحرك بحرية خلال الجسم الصلب بالقفز من ذرّة لأخرى. إذا انتقلنا من الذرّات المعزولة إلى ذرّات متراكبة، فالمادة تجتاز انتقالاً من حالة العازل (ليس فيه إلكترونات جوّالة) إلى حالة المعدن. وهذا ما يدعى في بعض الأحيان انتقال موت Mott transition.

وفي عالم الواقع يصعب التحكّم بالذرّات بهذه الدقة. يمكننا إيجاد تقريب جيد في سلسلة من عناصر اللانتانيدات lanthanide (من السيريوم 58 إلى اللوتيثيوم 71) وعناصر الأكتينيدات المشعّة (من الثوريوم 90 إلى اللورنسيوم 103)، التي تشتمل على البلوتونيوم 94. إن العناصر الكيميائية المستقرة لها طبقات إلكترونية ممتلئة. ولكل طبقة مجموعة من المدارات الإلكترونية، التي يمكن مَلْؤها بعدد قليل من الإلكترونات.

تصنّف الطبقات الإلكترونية على النحو التالي: الطبقة s، أو p، أو d أو f، حسب نوع المدارات الإلكترونية التي جاءت منها. إن لعناصر اللانتانيدات والأكتينيدات في العادة ثلاثة إلكترونات في طبقتيهما الخارجيتين s و d وأعداداً متغيرة من الإلكترونات في طبقتهما الخارجية f. وإذا صعدنا إلى أعلى السلسلة، من العدد الذرّي الأخفض إلى العدد الذرّي الأعلى، فإن عدد الإلكترونات f يزداد. هل نجد أية انتقالات ذات شأن في هذه السلاسل عندما يتغير عدد الإلكترونات؟

إن أشكال الطبقات الإلكترونية الخارجية s و d الحاوية ثلاثة إلكترونات تكون عريضة وتتراكب بقوة مما يجعلها تشبه الطبقات المعدنية، لذا فإن هذه العناصر معادن. وعلى العكس من ذلك، تكون المدارات f أقرب إلى الذرّة، وبذلك تكون أكثر شبهاً بالذرّية (الشكل 1). إن السيريوم المعدن اللانتانيدي، الذي له إلكترون f واحد، يخضع لانتقال طوري تحت الضغط والحرارة يتغير فيه الإلكترون f من كونه إلكتروناً متموضعاً إلى غير متموضع. إن كل الأجسام الصلبة الأخرى في سلسلة اللانتانيدات لها إلكترونات f تشبه الذرّية (متموضعة).



الشكل 1- السلوك المعدني يتطلب مدارات إلكترونية لتكون متراكبة (غير متموضعة) بحيث تستطيع الإلكترونات الخارجية أن تتحرك خلال الجسم الصلب عن طريق القفز من ذرّة إلى ذرّة. وعلى عكس ذلك، فالإلكترونات في عازل هي أكثر شبهاً بالذرّية (متموضعة). تُعدّ المعادن، مثل السيريوم والبلوتونيوم، أمثلة مهمة للدراسة لأن إلكترونات طبقتها الخارجية f تمكث على الحد ما بين السلوك اللاموضع والسلوك المتموضع، ويمكن دفعها في اتجاه أو آخر بواسطة تغيرات في درجة الحرارة والضغط. يبيّن هذا الشكل الانتقال في المدارات f، المحاطة ببحر معدني من إلكترونات المدار s والمدار d والتي تبقي المادة متماسكة.

في سلسلة الأكتينيدات يكون للأجسام الصلبة الأعلى إلكترونات f تشبه المعدنية. وفي الواقع، يحدث انتقال شبيه بانتقال موت في المدارات f عندما يتغير العدد الذرّي؛ فإلكترونات الطبقتين الخارجيتين s و d تعمل على تماسك المادة بعضها مع بعض وتبقى بدون تغيير إلى حدٍ كبير.

يُسبب الانتقال الأكتينيدي هذا، والذي تتموضع أو لا تتموضع فيه سوى الإلكترونات f، التآثر الكهراكدي الجذبي بين الإلكترونات f والنواة الذرّية الموجبة الشحنة. عندما يبدأ العدد الذرّي للنواة بالزيادة، يزداد الجذب تبعاً لذلك، ساحباً الإلكترونات f فتصبح أقرب إلى الذرّة. وهذا يجعل شكل المدار f يتغير من التراكب إلى عدم التراكب (الشكل 1). تكون المدارات f في الأكتينيدات ذات اتساع مكاني أكثر مما هي عليه في اللانتانيدات، ويحدث الانتقال في وسط

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 410, 12 April 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

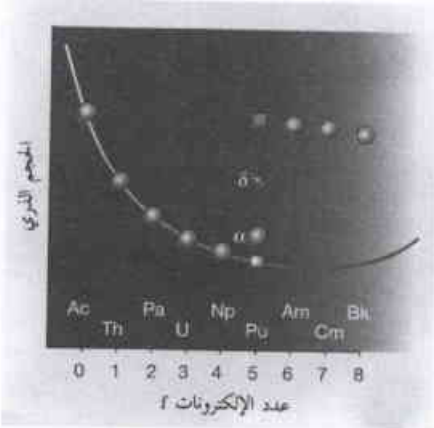
السلسلة؛ فالبلوتونيوم 94 له إلكترونات f غير متموضعة والأمريسيوم 95 له إلكترونات f متموضعة.

تقدّم حسابات سافراسوف وآخرين [1] صورة أكثر تعقيداً لهذا الانتقال. ففي البلوتونيوم، يمكن استخدام تغيرات درجة الحرارة لتوسيع الشبيكة الذرّية وتوليف الانتقال الشبيه بانتقال موت. يخضع البلوتونيوم الصلب لزيادة في الحجم تبلغ 25% عندما يتحول من طوره α في درجة حرارة الغرفة إلى طوره δ في الدرجة 600 K. وحسب سافراسوف وآخرين، فإن الانتقال إلى الطور δ أكثر تعقيداً مما كان يُظن من قبل. فليس هنالك خياران فقط، متموضع أو لا متموضع، بل يظهر أن البلوتونيوم يخضع لانتقال متوسط بدلاً من ذلك، أي أنه متموضع جزئياً فقط. وهذا السلوك غير متوقع ويبدو أنه يختلف عن سلوك السيريوم.

إن الطبيعة الجزئية لتحول الطور تتجلى بشكل مثير في الحجم الذرّي (الحجم الذي تشغله كل ذرّة) للبلوتونيوم δ. يبيّن الشكل 2 تبعية الحجم التقريبية لسلسلة الأكتينيدات. كان فريدل [2] أول من فسّر هذا الأثر كما يلي: لدى ملء الطبقات الإلكترونية في جسم صلب، فإن المدارات التي تدخل في الربط الكيميائي تُملأ أولاً، وهذا يجعل الحجم الذرّي يتناقص. ففي الأكتينيدات يتوقع المرء أن يتناقص الحجم لكل ذرّة حتى الكوريوم. أما ما بين البلوتونيوم والأمريسيوم فعلى العكس من ذلك يزداد الحجم فجأة ثم يبقى بعد ذلك ثابتاً تقريباً من أجل كل الأكتينيدات الأعلى. وترجع هذه القفزة إلى تموضع الإلكترونات f. من أجل الأمريسيوم والأكتينيدات الأعلى تكون إلكترونات f شبيهة بالذرّية ولا تساهم بعملية الربط، في حين تكون الإلكترونات f للبلوتونيوم في الطور α متجولة. إن حجم الطور δ يتوسط تقريباً ما بين البلوتونيوم α والأمريسيوم (الشكل 2)، وهذا يشير إلى أن ربط الإلكترونات f يبلغ حوالي نصف ما ينبغي أن يكون، وبأن هذه الإلكترونات نصف متموضعة.

كي يتنبأ بهذا التمدد الحجمي، يستخدم سافراسوف وآخرون نظرية أجسام متعددة تدعى نظرية الحقل الوسطي التحريكية dynamical mean-field theory (DMTF) لمعالجة التأثرات الإلكترونية. لم تكن طريقتهم بصورة كلّية DMTF – فهي قائمة على رأس النظرية الوظيفية للكثافة التقليدية التي تصف سلوك إلكترون غير متموضع. تُستعمل DMTF عادة لحساب الخواص الإلكترونية للمواد ذات الإلكترونات المتأثرة بقوة، مثل النواقل الفائقة عند درجات حرارة عالية، والمواد ذات الفرميونات الثقيلة. لكن سافراسوف وآخرين يبيّنون أن باستطاعة هذه الطرائق أيضاً تفسير سلوك المادة الجرمية الشاذ للبلوتونيوم. وبالإضافة إلى ذلك فإن نظرية DMTF تتنبأ بقمة غير متوقعة مختلفة تُرى في تجارب الإصدار الفوتوني، التي تقيس توزع طاقة الإلكترونات. تبيّن هذه القمة الإضافية الطبيعة الذرّية الأساسية للإلكترونات f في البلوتونيوم δ.

إن الطريقة التي استخدمها سافراسوف وآخرون تستأثر بصورة كيفية بالمميزات الهامة للبلوتونيوم δ، لكن العيب الوحيد فيها هو أنها لا تستطيع أن تتنبأ آنياً بالتمدد الحجمي وبالموقع الدقيق لقمة الإصدار الفوتوني الإضافية. إن مزيداً من العمل يجب أن يُبذل في المستقبل كي توسّع الحسابات لتشمل خواصّ شاذة أخرى [3] للبلوتونيوم، وهي التي يسببها التموضع الجزئي للطبقة f، وآثاراً متصلة بها في منظومات لانثانيدات وأكتينيدات أخرى.



الشكل 2– كيفية تغيّر الحجوم الذرّية (الحجم لكل ذرّة) لعناصر الأكتينيدات، بدءاً من الأكتينيوم (Ac) وحتى البركيليوم (Bk)، مع زيادة العدد الذرّي. إن الزيادة الهائلة في الحجم بين البلوتونيوم (Pu) والأمريسيوم (Am) ترجع إلى تموضع الإلكترونات f، لأن الإلكترونات الشبيهة بالذرّية لا تساهم في الربط الكيميائي. وبخصوص الأمريسيوم والأكتينيدات الأعلى تكون الإلكترونات f متموضعة (تشبه الذرّية)، في حين يكون للطور α للبلوتونيوم في درجة حرارة الغرفة إلكترونات f غير متموضعة (تشبه المعدنية).

إن الزيادة في الحجم البالغة 25% التي تُرى عندما يُسخّن البلوتونيوم الصلب إلى الدرجة 600 K (الطور δ)، كانت أمراً محيّراً منذ أمد بعيد في فيزياء المادة المكثفة. تبيّن الحسابات الجديدة التي أجراها سافراسوف وآخرون [1] أن الإلكترونات f في الطور δ هي نصف متموضعة، مما يشير إلى أن البلوتونيوم قد صُدَّ في منتصف الطريق خلال الانتقال من معدن إلى عازل.

Th: ثوريوم، Pa: بروتكتينيوم، U: يورانيوم، Np: نبتونيوم، Cm: كوريوم.

المراجع REFERENCES

[1] Savrasov, S. Y., Kotliar, G. & Abrahams, E. Nature 410, 793-795(2001).

[2] Friedel, J. in The Physics of Metals (ed. Ziman, J. M.) 361-364 (Cambridge Univ. Press, New York, 1969).

[3] Cooper, N. G. (ed.) Challenges in Plutonium Science (Los Alamos Science, Number 26, 2000).■

6– حقبة جديدة من أجل الإلكترونيات الكمومية*

صنّع الباحثون نبيطة تستطيع تداول شحنات إلكترونية وحيدة في السليكون، وهذا خرق علمي يمكن أن يرضي طلب صناعة الحاسوب لجذاذات أكثر سرعة وكثافة.

كان أحد أعظم الإنجازات المذهلة في تقانة القرن العشرين هو تنمنة النبائط الإلكترونية وزيادة سرعتها. نملك الآن جذاذات حاسوبية تحوي

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, June 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

بلايين من الترانزستورات وتنجز عمليات في جزء من البليون من الثانية. فهل يمكن للتقدم المضطرد في الأداء الذي شاهدناه في العقود القليلة الأخيرة أن يستمر؟. لا يوجد حتى الوقت الحاضر جواب واضح على هذا السؤال، ولكن مطوري الجذاذات بدأوا بالشعور بالوطأة التي تحتمها بعض القيود الأساسية. وأحد هذه القيود المهمة هو كمية القدرة التي تتبدد في وحدة المساحة من الجذاذة.

ففي كل مرة تُقلب البتة في الحاسوب، فإن كمية الشحنة الممثلة لها يجب أن تمر خلال أسلاك مقاومة. ولهذا فإن معالجة معلوماتية أسرع في جذاذات أكثف تراصاً تقود إلى زيادة في الدفق الحراري المتولد - مالم نستطع أن نخفض الشحنة المقابلة في البتة. وهذا هو السبب الذي تركز فيه الأبحاث الجارية حول النبائط الإلكترونية المستقبلية على استخدام عددٍ قليل من الإلكترونات - أو حتى مجرد إلكترون وحيد - لتمثيل بتة واحدة.

وحتى وقتنا الحاضر، فإن التداول المتحكَّم به لكموم وحيد الشحنة ممكنٌ فقط في النبائط المعدنية وعند درجات منخفضة جداً من الحرارة. وكمثال جيد على ذلك هو ما يدعى "المضخة الوحيدة الإلكترون"، وهي النبيطة التي اخترعت في مختبرنا بـ: ساكلي Saclay، والتي تستثمر الآن في تطبيقات علم القياس لتحرير كمية متحكَم بها من الشحنة على سوية إلكترون وحيد. وعلى أية حال، فإن التقانة التي استُخدمت في تصنيع مثل هذه النبائط مختلفة جداً عن تقانة السليكون المستخدمة من أجل معالجات الحاسوب والذاكرة.

يمكن في الإلكترونيات الرقمية المتعارف عليها إدخال أعداد هائلة من المكونات على جذاذة، بدءاً من رقاقة مصنّعة من بلّورة سليكون نقية جداً. يمكن لعمليات التنميش والأكسدة والانتشار المتضمّنة في تصنيع الدارة أن تكون متجانسة جداً ومتحكَّم بها بدقة عبر كامل الرقاقة لكون ذرّات السليكون مرتبة بشكل منتظم. وبالمقابل، لا يوجد مثل هذا التحكم على موقع الذرّات في الأفلام المعدنية الرقيقة الخام المستخدمة من أجل مضخة الإلكترون الوحيد. ونتيجة لذلك، تختلف هذه النبائط بشكل كبير من موقع إلى آخر على الجذاذة. يُعدّ الجمع بين مبادىء تداول الشحنة الوحيدة في النبائط المعدنية، والتصنيع المتحكَّم به جيداً لتقانة السليكون الخطوة التالية الواضحة والمهمة. لقد حقق هذا التقدم مؤخراً أكيرا فوجي وارا A. Fujiwara وياسو تاكاهاشي Y. Takahashi في مختبرات البحوث الأساسية NTT في أتسوجي-اليابان.

شحنة الضخ

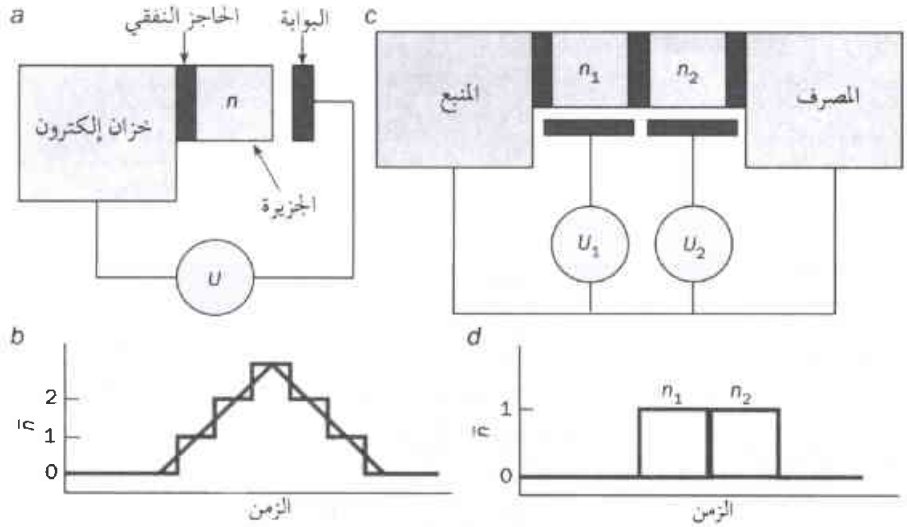
إن كتلة البناء الأساسية للنبائط التي تستطيع أن تتداول شحنات وحيدة هي "صنـدوق الإلكترون الوحيد" (انظر الشكل a). يتكوّن هذا الصندوق من إلكترود ناقل صغير يُعرف باسم الجزيرة، وهو متصل بإلكترود مستودع الشحنة بواسطة طبقة عازلة رقيقة تقوم بدور حاجز نفقي. والحاجز النفقي هذا يكون معتماً إلى حدٍ كافٍ لحفظ كمومية الشحنة في الجزيرة، كما لو أن الجزيرة محاطة بعازل حقيقي. مع ذلك، وفي الوقت نفسه، فإن الحاجز يكون شفافاً بكفاية كي يسمح للإلكترونات أن تعبره. تُطبّق فولطية البوابة U بين المستودع وإلكترود البوابة فتؤثر على الجزيرة تأثيراً كهرسكونياً.

تتميز هذه المنظومة البسيطة بالعدد n الذي هو الشحنة الكمومية الزائدة على الجزيرة. (نفترض أن n تكون موجبة عندما توجد زيادة بالإلكترونات على الجزيرة، وتكون سالبة عندما يوجد نقص في الإلكترونات). يكون عدد كموم الشحنة خاضعاً إلى تأثيرين متعارضين.

فمن جهة أولى، يجب على n أن تتبنّى القيمة التي تخفض مجمل الطاقة الكهرساكنة للمنظومة. تقتضي الطاقة المميزة ضمناً أن تكون $E_c=e^2/2C$، وهي طاقة الإلكترون الزائد الذي شحنته e على الجزيرة التي سعتها الكلّية C عندما تكون فولطية البوابة صفراً.

ومن ناحية ثانية، يكون عدد كموم الشحنة متأثراً بالتقلبات الحرارية التي لها بصورة نموذجية طاقة هي k_BT، حيث k_B ثابت بولتزمان Boltzmann و T درجة الحرارة. وعند درجات الحرارة المنخفضة بكفاية (أي عندما $k_BT \ll E_c$) تتغير القيمة الوسطية لـ n مع فولطية البوابة بشكل مرحلي، ويقابل كل مرحلة فيها وصول إلكترون على الجزيرة (الشكل b). وفي درجات الحرارة العالية تحجب التقلبات الحرارية تكميم الشحنة وتتغير القيمة الوسطية لـ n بصورة مستمرة.

من السهل جداً فهم عملية نقل الشحنة في صندوق الإلكترون الوحيد مع جزيرة واحدة، ولكنها أيضاً أولية جداً من أجل التطبيقات.



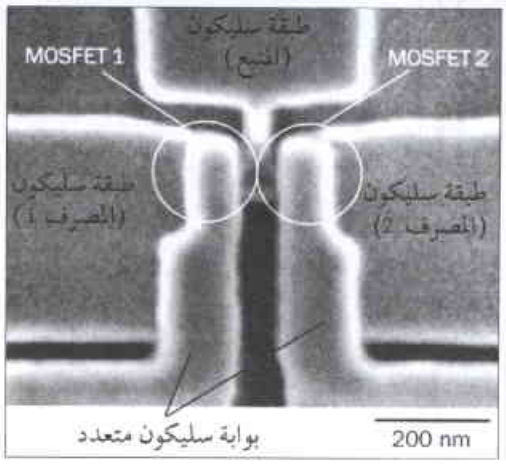
الشكل (a): صندوق إلكترون وحيد يتألف من جزيرة ناقلة صغيرة مرتبطة بخزان شحنة عبر حاجز نفقي. يتم التحكّم بعدد حاملات الشحنة، n، على الجزيرة بواسطة فولطية البوابة U. (b): في الدرجات المنخفضة من الحرارة يتباين العدد الوسطي لحاملات الشحنة في خطوات تتوافق مع إضافة أو حذف إلكترون واحد على الجزيرة (أخضر) عندما تُزاد U ثم تُنقص. في درجات الحرارة الأعلى، تحجب التقلبات الحرارية تكميم الشحنة هذا. (c): جزيرتان مرتبطتان معاً لتشكيل مضخة إلكترون وحيد. (d): تتحرك شحنة وحيدة من جزيرة ما إلى الجزيرة التي تليها عندما يُطبق على البوابة تتابع نبضات مثلثية متشابكة.

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

ورغم أننا نستطيع أن نضيف عدداً محدداً تماماً من الإلكترونات للجزيرة، فإن الشيء الوحيد الذي يمكن أن نفعله لاحقاً هو إزاحة هذه الإلكترونات،لأن الشحنة على الجزيرة لا يمكن أن تكبر بغير حدود. وعلى أية حال، يمكن بجزيرتين وفولطيتي بوابتين أن نلعب لعبة أكثر تشويقاً بكثير (الشكل c). فيمكننا باستخدام تتابع فولطية بوابة مناسب نقل إلكترون وحيد من مستودع المنبع إلى الجزيرة الأولى ثم إلى الجزيرة الثانية وأخيراً إلى مستودع المصرف (الشكل d). وهذا هو أساس مضخة الإلكترون الوحيد.

التصنيع المبدع

ليس من السهل تنفيذ جزر مرتبطة بمستودعات شحنة من خلال حواجز نفقية في السليكون. السليكون العادي نصف ناقل وليس معدناً. وعلى أية حال، يمكن لسلك من السليكون أن يصبح ناقلاً بوجود حقل كهربائي كبير (الذي يمكن أن يطبّق بواسطة إلكترود بوابة). وأما المشكلة الثانية فهي في قطع هذا السلك بحواجز نفقية لخلق جزيرة معزولة لها سعة صغيرة بكفاية، حيث أن طاقة الإلكترون الزائد تفوق طاقة أية تقلبات



منظر علوي للنبيطة. الجزيرتان اللتان تستطيعان خزن ثقوب مشكّلتان في المنطقة الصغيرة من السليكون تحت السلك متعدد السليكون.

حرارية.

استخدم فريق NTT طريقة تصنيع مبدعة. بنى فوجي وارا و ياسو تاكاهاشي نبيطتهما من سلك سليكوني يبلغ قطره إلى حدٍ ما من 10 إلى 20 نانومتر. وضّعوا على رأس هذا السلك سلكاً معدنياً مصنوعاً من متعدد السليكون الذي يقطع السليكون بزاوية قائمة والمساوي له في العرض. تفصل طبقة عازلة رقيقة جداً من أكسيد السليكون بين السلكين. تتشكل من مثل هذا الترتيب جزيرة من أجل الثقوب في سلك السليكون. تتكوّن هذه الجزيرة في منطقة التراكب الصغيرة تحت السلك المعدني عند رفعه إلى فولطية سالبة كبيرة.

تملك التجربة، التي تتضمن نقلاً للشحنة بين الجزيرتين المقرونتين، سمة إبداع أخرى: تُكشف شحنة كل جزيرة بترانزستورات معدن – أكسيد – سليكون في الموقع نفسه. تُصنع قنوات الترانزستورات من السلك نفسه الذي استخدم في الجزر. تجري الإلكترونات الحتناسة على "أرض" السلك، في حين تُخزن الثقوب على "السقف". وتبقى الإلكترونات والثقوب مفصولة بعضها عن بعض بحقل كهربائي قوي عمودي على السلك، وهكذا لا تتحد ثانية.

تتم التجربة في الدرجة 25 كلفن، وهي درجة لا تزال منخفضة جداً بالمقارنة مع درجة حرارة الغرفة، ولكنها أعلى بـ 50 مرّة من الدرجة التي تحتاجها تأثيرات الإلكترون الوحيد في المنظومات المعدنية العادية. لقد حققت منظومات التبريد تقدماً مضطرداً نحو درجات حرارة أخفض من أي وقت مضى، ومن المعقول الافتراض أنه يمكننا في يوم ما تبريد هذه الجذاذات ببرّادٍ صغير محمول يعمل بالتيار الكهربائي بدلاً من الهليوم السائل. وعلى أية حال، حتى نأخذ المزايا الكاملة لنقل الإلكترون الوحيد، ربما يجب على هندسة بناء الحاسوب أن تتغير أيضاً، وأن ترتكز على مبدأ جديد مثل الأتمتة الخلوية. لا يبدو أن أحداً يشك في أننا سنصل في يوم ما إلى نهاية محدودة للإلكترونيات، والسؤال هو متى يأتي ذلك اليوم.■

7- مصنع أيونات شامل*

كيف استقبلت المسرّعات مصادر إيكريس Ecris للأيونات بالتجاوب الإلكتروني السيكلوتروني.

بدا السباق نحو عملقة مسرّعات الجسيمات في أواسط السبعينيات الحل الوحيد لتزويد الفيزيائيين مباشرة بطاقات تزداد بصورة مستمرّة. غير أنّ تحسين مصادر أيونات مشحونة بدرجة كبيرة قدّم حلاً بديلاً. فالنجاح الذي تم إحرازه يكمن في أنّ كل المسرّعات قد جُهزت بها في الوقت الحاضر وأنّ تطبيقات هذه المصادر التي تدعى إيكريس تجاوزت إلى حد بعيد الفيزياء النووية.

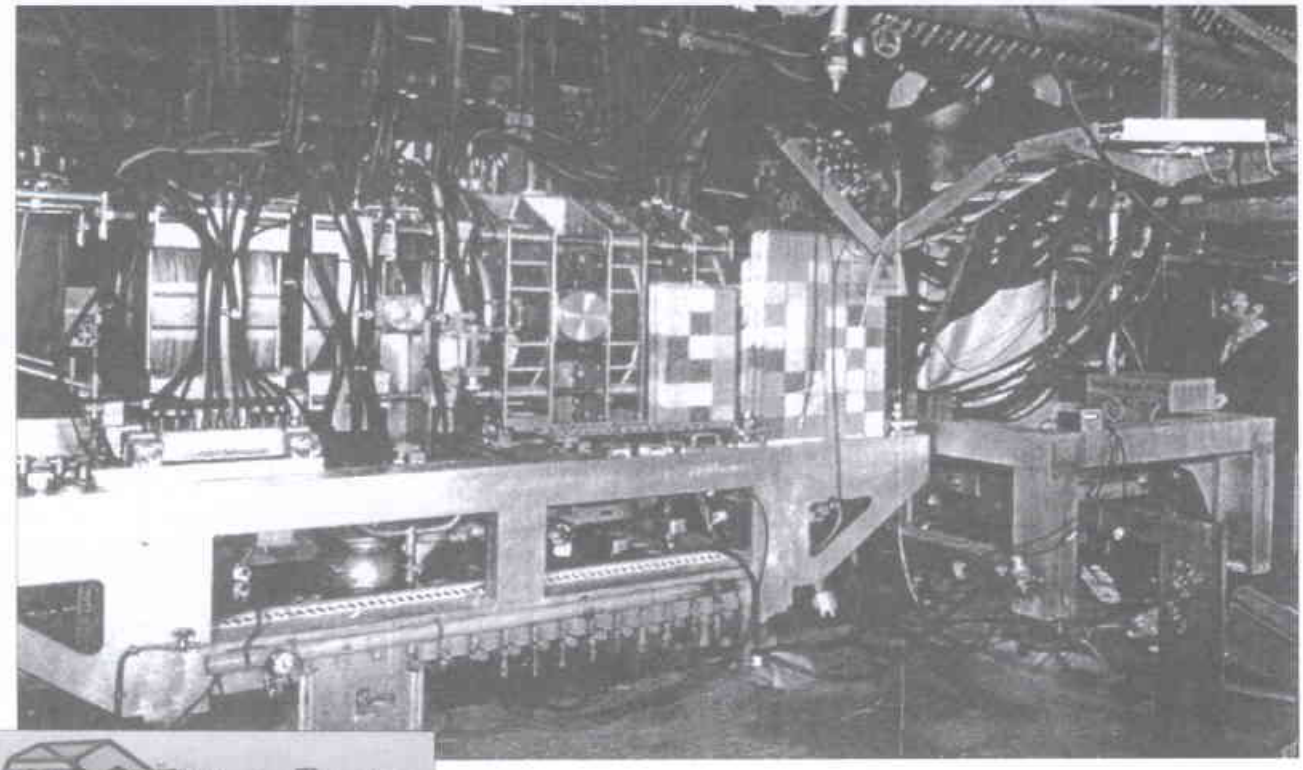
حتى الخمسينيات استخدم الفيزيائيون، الذين كانوا يقذفون أهدافاً لإنتاج تفاعلات نووية، موادّ مشعة طبيعية كمصادر للقذائف. فعلى سبيل المثال يُصدر البولونيوم أو الراديوم بصورة تلقائية جسيمات ألفا وإلكترونات وأشعة غاما. ومع ذلك كان تنوّع القذائف وطاقتها المتيسرة بهذه الطريقة محدوداً وكذلك أيضاً حقل الدراسات.

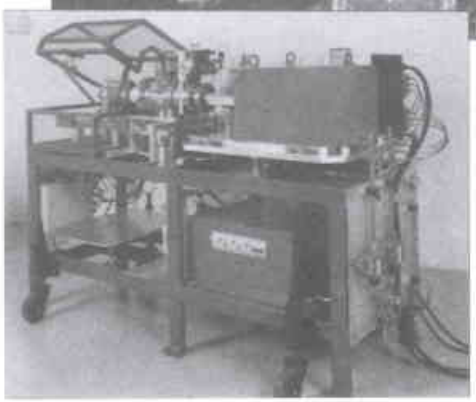
وكان الهدف من تحسين المسرّعات الأولى هو معالجة هذه الوضعية، وذلك بإنتاج قذائف أكثر تنوّعاً يمكن تعديل طاقتها ودفقها. ففي أنبوب مخلّى من الهواء يُطبّق توتر كهربائي سالب بين مصدر أيونات موجب وبين الهدف المراد قذفه بمساعدة تغذية بتوتّر عالٍ، وهكذا ننقل إلى الأيونات طاقات من رتبة المليون إلكترون فولط.

غير أنّ الفيزيائيين عرفوا أنّه يوجد مجال غني جداً من التآثرات بين القذائف والأهداف ذو طاقات عالية تصل إلى عدة ملايين إلكترون فولط. فقد ابتكروا، من أجل تلبية حاجات هذا المطلب الجديد والمدعوم بقوة بجهود تنمية الطاقة الذرّية وفيما بعد القنبلة الذرّية الأولى، بين عامي

* نشر هذا الخبر في مجلة *La Recherche*, No. 341, April 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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





الشكل 1– بنيت هذه الآلة التي تمثل سلف مصادر إيكريس عام 1974. وهي عبارة عن آلة معدّلة عن آلة ضخمة أعدّت للاندماج النووي: تحقن البلازما فيها حجماً قدره 3 متر مكعب ويتطلّب تشغيلها قدرة كهربائية 3 ميغا واط. حلّت محل هذه المعلقة في الوقت الحاضر مصادر صناعية متراصة (في الأسفل) بخزان بلازما سعته بضع مئات من السنتيمترات المكعبة فقط وذات استهلاك قليل للطاقة.

1932 و 1952، أجهزة أكثر جودة تستخدم قوى التسارع الكهرطيسي وليس فقط القوى الكهراكدية: أي السيكلوترونات والمسرّعات الخطية والسنكروترِونات.

وبعد عام 1970 عزّز التقدّم في الفيزياء النظرية الاهتمام بدراسة مكوّنات النكلونات والبروتونات والنترونات. ومن أجل تكسيرها أو على الأقل فحص محتواها كان لابد من مضاعفة طاقة القذائف مئات المرات. ولذلك فقد بُنيت مسرّعات أكبر مما كان في حوزتنا، حتى ولو كانت مسرّعات متسلسلة. وهكذا ظهرت معقدات من المسرّعات ومثالها الأكثر شهرة في أوربة المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات (سيرن CERN) في جنيف حيث وضعت، من أجل بعض الاختبارات، ستة أجهزة بما فيها سنكروترونات ضخمة على التعاقب بغية الوصول إلى طاقات القذائف البالغة عدة مئات من مليارات الإلكترون فولط لكل نكلون.

فمن الناحية النظرية، إن زيادة حجم المسرّعات التي تتماشى مع زيادة الكلفة ليست هي الطريقة الوحيدة لزيادة الطاقة التي يمكن الحصول عليها في المسرّعات. ذلك لأن الطاقة النهائية للأيونات المسرّعة في سيكلوترون تكون في الواقع متناسبة مع مربع شحنتها الكهربائية ومع ثابت يزداد مع حجم السيكلوترون (وهذا ما ينطبق أيضاً على السنكروترونات والمسرّعات الخطية). فبدلاً من بناء مسرّعات أكبر حجماً يُكتفى إذاً بحقن أيونات بشحنة أعلى في المسرّعات الموجودة.

مصادر غير مستقرة

مع الأسف كان اقتراح زيادة شحنات الأيونات في السبعينيات أكثر سهولة من تنفيذها. فقد كان يتم إنتاج الأيونات حينئذ بمصادر ذات قوس كهربائي حيث يؤيَّن القوس المتشكّل بين إلكترودين غازاً ذرّياً. أنتجت هذه المصادر حزماً شديدة تقريباً، غير أن الصدم الحراري للقوس كان يتلف الإلكترودات ويتم ذلك بسرعة أكبر كلما كان التوتر الكهربائي بينهما أكبر، وهذا أمر سيء من أجل مصدر يُعوَّل عليه. في الحقيقة، من أجل إنتاج أيونات أحادية الشحنة (التي انتزع منها إلكترون واحد)، فإن

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

هذا الإنتاج لا يدوم إلا بضعة أيام. والآن من أجل تشكيل أيونات بشحنة أعلى، أي أيونات انتزع منها إلكترونات أكثر، من الضروري في الواقع زيادة التوتر الكهربائي وهذا ما يقصّر إلى حد كبير أيضاً مدة حياة المصدر ويجعل كل تجربة مديدة غير ممكنة.

وهناك طريقة أخرى اقترحت في الخمسينيات لإنتاج هذه الأيونات المتعددة الشحنات عرفت باسم التعرية stripping: إذ أن الأيونات الأحادية الشحنة المُسرّعة بالاستعانة بمسرّع أول تفقد جزءاً من مجموعة الإلكترونات وتصبح متعددة الشحنة عند عبورها ورقةً معدنية رقيقة جداً، غير أن هذه الطريقة ليست نموذجية. فالحزم تتلف الوريقات المعدنية الرقيقة من جهة ويتم ذلك بصورة أسرع كلما كانت شديدة. وفيما بعد تنتج دائماً الأيونات الأحادية الشحنة عن طريق المصادر ذات القوس التي لا يُعوّل عليها تماماً. وأخيراً، فإنّ مردود التعرية نفسه لا يتعدّى 10 إلى 20%. ومن الضروري وجود مسرّع ثانٍ دوماً (أو عدة مسرّعات على التسلسل) لإيصال الطاقة المرغوبة إلى الأيونات المتعددة الشحنة. والخلاصة: لا توجد نتيجة بدون عدة مسرّعات كبيرة.... وعلى هذه المبادىء التي أطلقناها حتى عام 1985 تمّ بناء معقدات المسرّعات الكبيرة التي ما تزال تعمل حتى الوقت الحاضر.

المؤطر 1

بلازما الكواركات/الغلوونات

في شباط من العام 2000 أعلنت سيرن CERN عن بلازما الكواركات/الغلوونات، وهي حالة المادة التي كانت موجودة بعد بضعة مكروثواني من الانفجار الأعظم Big Bang. يتكوّن كل من البروتون والنترون في الواقع من كواركات يجمعها مع بعضها التآثر القوي الذي تنقله الغلوونات. ولا تنفصل هذه الكواركات والغلوونات عادة بعضها عن بعض. وفي البلازما كواركات/غلوونات، بالمقابل، تُغيّر هذه الجسيمات أماكنها بصورة حرّة. ومن أجل الحصول على هذه البلازما من الضروري خلق تصادمات بين نوى ثقيلة تولّد محلياً درجات حرارة أعلى بمئة ألف مرة من درجة الحرارة التي تسود في مركز الشمس بالإضافة إلى كثافات من الطاقات أعلى بعشرين مرة من كثافات طاقات المادة النووية العادية.

إنّه مُصدر إيكريس الذي أنتج حزمة أيونات الرصاص بطاقة 33 تيرا إلكترون فولط استخدمت كقذائف في مسرّع سيرن. وهناك نمط آخر، من مصادر الأيونات المتعددة الشحنة، يستخدم ليزرات قوية محضرة لهذا الهدف منذ أكثر من عشر سنوات، لم يصل بعد إلى الأداء المرغوب.

كيف تتطوّر الوضعية؟ سؤال طرحه أحدنا (ريتشارد جلر R. Geller) في أواسط السبعينيات. الموضوع بسيط على الأقل في صياغته: ابتكار مصدر أيونات متعددة الشحنة يمكن أن نعوّل عليه لمدة طويلة ويعطي حزماً شديدة. تكمن الناحية الضعيفة في المصادر ذات القوس باهتراء إلكترودواتها، ولذلك فإن أبسط شيء نفعله هو حذفها. وهكذا فمن الضروري أن ننطلق من البداية ونتصوّر مبدأ لمصدر جديد تماماً.

ما هي العناصر الضرورية لإنتاج حزمة أيونات متعددة الشحنة؟ يجب في المقام الأول أن يكون لدينا خزان أيونات مناسب. ويمكن أن يكون هذا الخزّان سحابة كبيرة من الأيونات في الخلاء .... ولكن قوى التدافع الكهراكدية بين الأيونات ستمنع عندئذ كثافة الأيونات من تجاوز 10 ملايين أيون بالسنتيمتر المكعب وحتى في أفضل المصائد الكهرطيسية. وهذا غير كافٍ إذا أردنا استخلاص حزم شديدة.

والطريقة لزيادة كثافة الأيونات زيادة كبيرة هي استخدام بلازما تتجاور فيها الأيونات مع إلكترونات حرة. فالشحنات الكهربائية السالبة التي تحملها هذه الأخيرة تُلغي قوى التدافع بين الأيونات ويمكننا عند ذلك الوصول إلى كثافات أيونية أعلى بملايين المرات من كثافة مجرّد سحابة من الأيونات.

ومن أجل ملء خزان من البلازما يجب أن نشكّل فيه أيونات. والمبدأ بسيط، إذ يكفي أن نقذف ذرّات بإلكترونات تملك طاقة كافية. فكل تصادم يقتلع إلكتروناً محيطياً من الذرّة. ومن أجل الأيونات المتعددة الشحنة تشير النظرية إلى أنّ هذه الأخيرة لا يمكن أن تتولّد إلّا بإلكترونات ذات طاقة عالية نسبياً (ألف إلكترون فولط على الأقل) وبشرط أن يتم اقتلاع الإلكترونات المدارية الواحد بعد الآخر. ومن أجل ذلك يجب أن تبقى الأيونات بعض الوقت في البلازما، أي محصورة فيها.

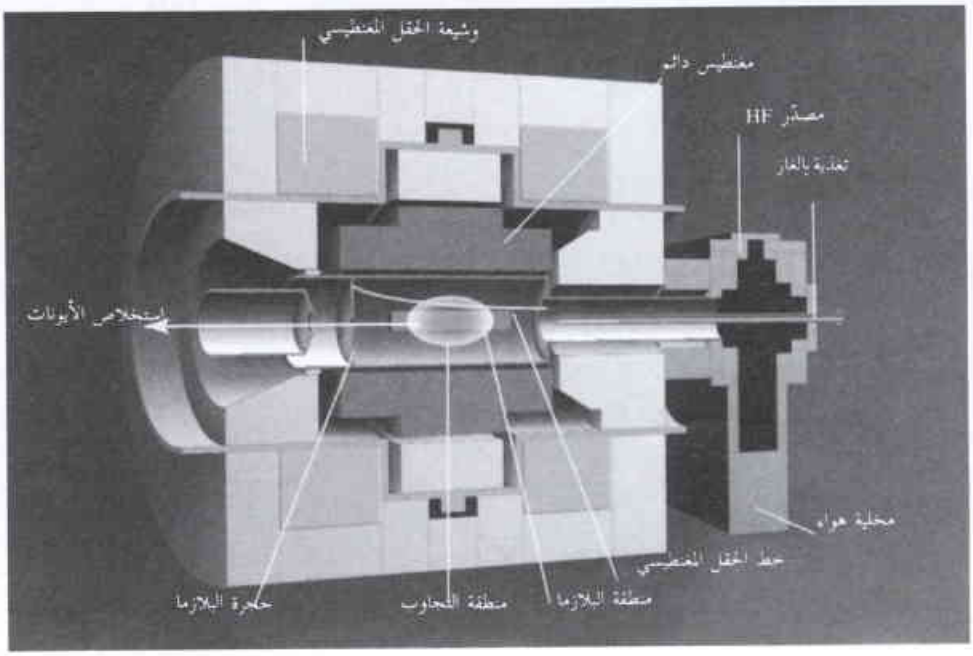
بعد أن عمل ريتشارد جلر خلال الخمسينيات على المصادر ذات القوس والمسرّعات والتعرية، كرّس نفسه بدءاً من الستينيات لحصر البلازما من أجل الاندماج النووي الحراري. فقد اشتغل بصورة خاصة بالآلات ذات المرايا، حيث أدّى عجزها عن إنتاج أيونات حارة، الضرورية للاندماج، إلى تركها في منتصف السبعينيات. وهذا ما أتاح الاستعادة مجاناً، ولكن بصورة مؤقتة، لأحد هذه الأجهزة المهجورة والمقامة في مركز الدراسات النووية التابع إلى مفوضية الطاقة الذرّية في غرونوبل.

وهكذا تحوّلت آلة ذات مرايا في العام 1974 إلى مصدر أيونات. وكانت الفرصة فريدة من نوعها، فبالإضافة إلى عملية الحصر المغنطيسي، تمتلك هذه الآلة نظاماً لتسريع الإلكترونات لا يستعمل الإلكترودات المعيقة إلى حد كبير لاستمرارية جودة العمل. وبالفعل إذا ما تم ضبط هندسة الحقل المغنطيسي بصورة جيدة، فإنّ الإلكترونات الموجودة في البلازما تدور بانتظام داخل التجويف. وعند تطبيق موجة كهرطيسية، حيث التواتر (من رتبة 10 جيغا هرتز) يساوي تواتر دوران الإلكترونات، وحيث يكون الحقل الكهربائي - مثل مسار الإلكترون - عمودياً على خطوط قوة الحقل المغنطيسي الساكن، فإنّ الإلكترون يتسارع ويزداد قطر دورانه. وهذا هو مبدأ التجاوب الإلكتروني السيكلوتروني، وسُمّي هذا النمط من المصادر مصدر إيكريس ECRIS (Electron Cyclotron Resonance Ion Source).

يتألّف مُصدر إيكريس بكل بساطة إذن من تجويف معدني، مملوء بموجات ذات تواتر فوق العالي وحقل مغنطيسي، حيث تتشكّل بلازما

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

بدءاً من غاز معتدل. ونظراً لأن البلازما تكون محصورة بالحقل المغنطيسي، فإنها تُسخّن قليلاً جدران الإيكريس، ولأنّ أيّاً من عناصره الأساسية لا يتغيّر مع الزمن، يقدّم إيكريس للوهلة الأولى ديمومة واستقراراً أعلى من ديمومة واستقرار مصادر الأيونات الأخرى.



الشكل 2– مبدأ مصدر الإيكريس: يصل الغاز من يمين حجرة البلازما حيث يتأيّن بالإلكترونات التي تدور بتأثير اقتران حقل مغنطيسي وموجة مغنطيسية عالية التواتر. يضبط شكل الحقل المغنطيسي بطريقة تحصر أيضاً البلازما. تنتشر الأيونات على الجانب الأيسر حتى منطقة الاستخلاص.

ويرتكز تحسين مصدر الإيكريس بصورة خاصة، على ضبط الحقل المغنطيسي ضمن المصيدة، وعلى الاختيار الأمثل لنقل طاقة الموجات إلى الإلكترونات ولحصر البلازما واستقرارها في الوقت نفسه. وفي الواقع، تميل البلازمات بصورة مزعجة إلى عدم الاستقرار: فإذا لم نأخذ حذرنا فإنها تصبح بسهولة مضطربة. والحل الذي طبق على مصادر إيكريس استخدام تراكب حقلين مغنطيسيين بوضعيتين مختلفتين أدت محصّلتهما إلى استقرارية البلازما. ومنذ استخدامه في عام 1975 أعطى مصدر إيكريس الأول حزماً موثوقة وشديدة من الأيونات المتعددة الشحنة متكيفة تماماً مع المسرّعات الكبيرة قيد الإنشاء: مثل مسرّعات غانيل GANIL (Grands Accelateurs National d'Ions Lourds) في فرنسة، ومسرّعات GSI في ألمانية أو مسرّعات بفاترون Bevatron في الولايات المتحدة .....

نسخة "شرهة" للكهرباء

ومع ذلك لا يوجد أي مسؤول عن آلة مستعد للتجديد باستخدام مصدر لا قياسي، خاصة وأنّ هذا المصدر يستهلك الكثير من الكهرباء. ففي الواقع، تمّ الحصول على هذا المصدر بتحوير آلة ذات حجم كبير (ثلاثة أمتار مكعبة) مصنّعة في الأساس من أجل الاندماج النووي، أمّا مغنطة مثل هذا الحجم فتتطلّب قدرة كهربائية تقدّر بنحو ثلاثة ملايين واط نظراً لأنّ أحد الحقلين المغنطيسيين صنّع بالاستعانة بستة قضبان ناقلة تسري فيها تيارات كهربائية قوية. وعليه فقد تمّ الاستغناء عن أول مصدر إيكريس في عام 1977 بسبب قلة الدعم.

لقد أدّى هذا الحدث السيء إلى توليد فكرتين جديدتين: من جهة، إذا قمنا باستبدال مغانط دائمة بالقضبان الناقلة فإنّنا نخفّض بذلك أيضاً القدرة الكهربائية الضرورية لعمل مصادر الأيونات وكذلك نخفّض في الوقت نفسه حجم البلازما. ولذلك درس بدقة مختبر الحقول الشديدة التابع للمركز الوطني للبحوث العلمية في غرونوبل إمكانية صنع مثل هذه المغانط من الناحيتين الميكانيكية والمغنطيسية. وبالإضافة إلى ذلك لماذا لا نصنّع الوشائع المغنطيسية المستخدمة لإنتاج الحقل المغنطيسي الثاني من النواقل الفائقة؟ وقد أكد لنا قسم درجات الحرارة المنخفضة التابع لمفوضية الطاقة الذرّية في غرونوبل إمكانية صنعها.

ولقد شجعنا بعض مسؤولي السيكلوترونات الصغيرة (لوفان–لا–نوف Louvain-La-Neuve في بلجيكة وكارلسروه Karlsruhe في ألمانية) أيضاً على متابعة أبحاثنا وذلك بإعارتنا مغانط دائمة وقطع ميكانيكية. ففي عام 1979 ظهر إلى الوجود أول نموذج أوّلي منمنم ذو مغانط دائمة: وكان حجمه لا يتجاوز اللتر الواحد ولا يستهلك من الكهرباء إلّا 80 كيلو واط. وهكذا انطلقت مصادر الإيكريس: إذ أبدت جامعة غرونينجن Groningen في هولندة بدءاً من العام 1981 وكذلك معهد العلوم النووية التابع للمركز الوطني للبحوث العلمية في غرونوبل الرغبة في الحصول على مثل هذه المصادر من أجل سيكلوتروناتها.

ونظراً لوصول طلبات أخرى، سمحت مفوضية الطاقة الذرّية بتصنيع مجموعات صغيرة من مصادر الإيكريس وبيعها بميزانية مستقلة. هكذا وخلال 10 سنوات أتاحت المبيعات تمويل دراسات التحسينات تمويلاً ذاتياً. وبذلك تعمقت معارفنا وتعزّز نشاطنا وأطلقنا نماذج أولية ذات كفاءة متزايدة: فقد أنتجنا، عند زيادة الحقول المغنطيسية وتواتر الموجات، حزماً تزداد شدتها باطّراد وأيونات يزداد تنوعها بالتدريج وذات شحنات متزايدة.

وبصورة مشابهة، بدأت مختبرات أخرى في فرنسة وبلجيكة والولايات المتحدة واليابان وحتى في الصين، منذ العام 1983 بتصنيع مصادر الإيكريس ذات المغانط الدائمة. وبسرعة تم تجهيز السيكلوترونات القديمة والمسرّعات الخطية بمصادر الإيكريس، وبدون تكاليف كبيرة (تبلغ تكلفة مصدر الإيكريس الواحد نحو 0.5 مليون يورو) أصبحت هذه

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

الآلات التي بطل استعمالها تنافس المسرّعات الكبيرة .... وهذه الأخيرة هي بدورها لا يمكنها إلا أن تعتمد الإيكريس من أجل تحسين أدائها وسمعتها.

وفي العام 1986 صنعنا، ونحن في بنائنا شبه المستقل في غرونوبل، مصدر الإيكريس النابض pulsée الأول ذا التيار الشديد من أجل السنكروترونات. لقي هذا الإيكريس الجديد بسرعة تطبيقات مثيرة على مسرّعات سيرن الكبيرة المعقدة، المؤلفة من مسرّع خطي وسنكروترونين عملاقين موصولين على التعاقب. توصل مختبر سيرن، بمصدر تقليدي لأيونات الهدروجين الأحادية الشحنة، إلى طاقة كلية قدرها 200 جيغاإلكترون فولط. ولكن هذا الرقم ازداد 16 مرة عند مجرد تركيب بسيط لمصدر إيكريس مع أيونات أكسجين مؤينة ست مرات، وازداد 32 مرة مع أيونات الكبريت المؤينة 12 مرة، وبدءاً من العام 1994 ازداد 165 مرة مع أيونات الرصاص المؤينة 27 مرة (تمّ اختيار الأيونات بهدف إعادة استعمال المسرّعات الموجودة من قبل). وسجلات الطاقة هذه أتاحت لسيرن أن تتناول تجريبياً دراسة بلازما الكواركات/الغلوونات (انظر المؤطر 1 "بلازما الكواركات/الغلوونات"). وهناك دراسات أخرى مبرمجة بدءاً من العام 2005 مع أيونات الرصاص على الدوام وطاقة 600 تيرا إلكترون فولط في مصادم الهدرونات الكبير المستقبلي التابع لسيرن.

مع ذلك، إن ازدياد الطاقات ما هو إلا أحد المظاهر الإيجابية لمصدر إيكريس. والمزيّة الأخرى من مزاياه هي استقراره. ففي بعض التجارب تكون احتمالات التفاعل بين أيونات الحزمة وذرّات الأهداف ضعيفة: إذ يتطلب تسجيل حدث مهم واحد أياماً وأسابيع من القذف بحزمة شديدة ومستقرة. هكذا وبعد عدة أسابيع من العمل المستمر تمّ تركيب العناصر ما بعد اليورانيوم ذات الأرقام الذرّية 116,114,112,111 وأخيراً 118 في مختبرات دارمشتات في ألمانية ودوبنا في روسية وبركلي في الولايات المتحدة. وبدون استقرارية المصدر إيكريس لم يكن بالإمكان اكتشاف أي عنصر من هذه العناصر الجديدة. وبالأسلوب نفسه كانت هذه المصادر في أصل اكتشاف عدد كبير من النظائر* النادرة مثل النظيرين القصدير 100 والنيكل 48 اللذين اكتشفا حديثاً في المسرّع الكبير غانيل.

الشكل 3– قدّمت مصادر إيكريس بإنتاجها لأيونات مشحونة بدرجة قوية بديلاً عن زيادة قدّ المسرّعات وعن عدد الأجهزة الواجب بناؤها على التسلسل من أجل زيادة طاقة الجسيمات المسرّعة (هنا مختبر سيرن بالقرب من جنيف الذي يعدّ ثلاث حلقات تسارع).

في البداية تمّ تحسين مصادر إيكريس من أجل الفيزياء النووية، غير أنّ كلفتها المنخفضة أتاحت "تصديرها" إلى خارج عالم المسرّعات. هكذا وبفضل إصرار المركز الوطني للبحوث العلمية، تمّ عام 1981 تأسيس مختبر مختلط بين مفوضية الطاقة الذرّية والمركز الوطني للبحوث العلمية في غرونوبل من أجل تشجيع تطوير دراسات متعددة المعارف باستخدام مصادر إيكريس في فيزياء السطوح والفيزياء الذرّية. ويوجد في الوقت الحاضر ثلاثون مختبراً يماثله في أماكن مختلفة من العالم يعمل فيها عدد كبير (عدة مئات) من الفيزيائيين.

تقود الخبرات في فيزياء السطوح أيضاً إلى تطبيقات صناعية على نطاق واسع في الحفر الصناعي الأيوني والتقانات النانوية (التي ما تزال تستعمل المصادر القديمة ذات الشُعيرة). ونظراً للشحنة الكهربائية القوية التي تحملها الأيونات، يمكن لهذه الأخيرة في الواقع تحوير لويحات السيليسيوم – على سبيل المثال – بدقة كبيرة. ونكرّر مرة ثانية أنّ عدم وجود إلكترودات في مصادر الإيكريس يمثل مزيّة: فهو يتيح تأيين الموائع الساحجة اللازمة غالباً في هذه الإجراءات.

المؤطر 2

معالجة السرطان بالأيونات المتعددة الشحنات

أدّت معالجة الأورام بالبروتونات، منذ ثلاثين سنة، إلى نتائج إيجابية إلى حد كبير. ومع ذلك فإنّ تعميم هذه المعالجة على الأورام العميقة يصطدم بالتأثير المؤيّن للبروتونات في النسج البشرية. ولذلك فكر علماء الفيزياء والأطباء باستخدام أيونات ثقيلة متعددة الشحنات بطاقة أعلى، وهذه الأيونات لا تؤيّن النسج إلّا في نهاية مسارها حيث يوجد تماماً الورم. ومنذ العام 1994 تمت معالجة 750 مريضاً في شيبا في اليابان بأيونات الكربون المتعددة الشحنات الأمر الذي أدّى، بحسب القائمين على هذه الدراسات إلى تناقص مثير في أعراض المرض بنسبة 85%. وقد تمّ الحصول على هذه النتائج بمصادر إيكريس المتصلة مع سنكروترون.

جرت أعمال مشابهة في ألمانية حيث عولج نحو 50 مريضاً مصاباً بورم في الدماغ. سمحت استقرارية وإنتاجية حزم الأيونات المنبعثة من مصادر إيكريس للأطباء بتحسين بروتوكولات التشعيع. هناك مشاريع مستشفيات متعددة انطلقت في الوقت الحاضر في العالم أو هي في طور التخطيط، وربما ستستقبل مدينة ليون أول مركز للعلاج بالهدرونات في العالم.

★ تحوي نظائر عنصر كيميائي أعداداً مختلفة من النترونات.

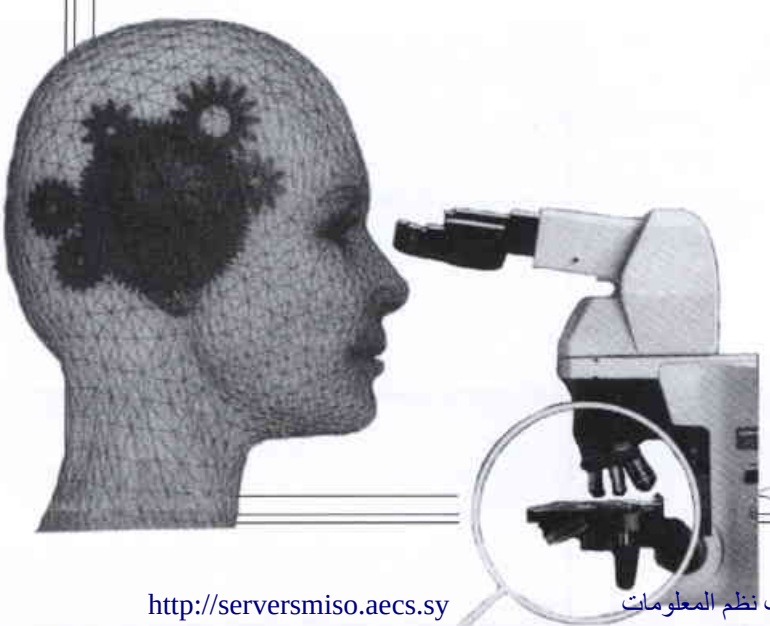
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وحالياً تؤمّن الشركة الصناعية بانتكنيك Pantechnik المقامة بالقرب من كان Caen في فرنسة، تصنيع مصادر الأيونات ذات المغانط الدائمة. لكنّ هذا التصنيع لن يشكل نهايةً للبحث. إنّ تقانة مصادر الأيونات هي تقانة معارف عالمية بصورة أساسية ولا يمكن أن تأخذ مداها الحقيقي إلّا بمشاركة كل العاملين في حقل فيزياء الأيونات الثقيلة. وهذا الإثبات كان في أصل تأسيس قسم مصادر الأيونات في العام 1998 في معهد العلوم النووية في غرونوبل الذي يتابع اهتمامه في الفيزياء الأساسية وتطبيقاتها الصناعية والطبية على السواء. وهذه النشاطات يجب أن تستمر، كما تمّ خلال الخمس والعشرين سنة الماضية، في إثارة الدهشة بنتائجها وفي ابتكارها لأفكار طليعية.■

☆ ★ ☆

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

ورقات البحوث



المحاكي الديناميّ لمفاعل منسر*

د. إبراهيم خميس، د. محمد بهاء الصوص، هشام حاج حسن، حسام جوهرة
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرى في هذا العمل تطوير وتنفيذ محاكٍ ديناميّ لمفاعل البحث منسر وذلك باستخدام الحاسوب الشخصي ولغة C++. وقد تضمن النموذج الرياضي للمحاكي الظواهر الفيزيائية الأساسية، كتلك العائدة للنقل الحراري وديناميّة النترونات، حيث تعتمد هذه الظواهر على تبسيط نموذج المحددات التجمعية إضافة إلى بعض القيم التجريبية الحقيقية للمفاعل. وقد جرى تطبيق معادلات ديناميّة النترونات باستخدام تقريب النموذج النقطي، والتي تمّ حلّها عددياً باستخدام طريقة تكامل Runge Kutta.

يمكن لهذا المحاكي أن يستخدم لأغراض التدريب عند الزمنين الحقيقي والمسرَّع ومن أجل أوضاع تشغيلية مختلفة للمفاعل. ويُعدّ المحاكي من النوع الأليف user friendly مع المشغّل.

الكلمات المفتاحية: محاكٍ - مفاعل منسر - لغة C++.

المقدمة

إن المفاعل منسر، المشابه لمفاعل Slowpoke الكندي، هو من مفاعلات البحث المنخفضة درجة الحرارة من نوع البركة الذي جرى تطويره من قِبَل معهد الطاقة الذرّية الصيني [1]. ويُستخدَم المفاعل بشكل رئيسي كأداة تشعيع نتروني لأغراض التحليل بالتنشيط النتروني والتدريب. وقد اعتمد تصميم المفاعل على استخدام وقود عالي الإغناء (تبلغ نسبة إغناء الوقود في مفاعل منسر 89.97% من اليورانيوم 235)، وكذلك الماء العادي المنزوع الأيونات كمهدىء نتروني، ومعدن البريليوم كعاكس حول القلب. هنالك خمسة مواقع تشعيع داخل البريليوم الحلقي العاكس وخمسة أخرى خارجه. تبلغ قيمة التدفق النتروني الاسمي في المواقع الداخلية 10^{12} نترون/سم^2/ثا، في حين تبلغ $5x10^{11}$ نترون/سم^2/ثا في المواقع الخارجية. ويُبرّد قلب المفاعل بالماء الذي يجري وفق ظاهرة النقل بالحمل الطبيعي، حيث يتواجد القلب في أسفل حوض أسطواني مملوء بالماء. وقد جرى غمر الحوض أيضاً ضمن بركة ماء ذات حجم كبير نسبياً.

يتصف مفاعل منسر بأنه من النوع الآمن ذاتياً نظراً إلى أن فائض التفاعلية الأعظمي المسموح توافره في قلبه يُقدَّر بأقل من 4. mk. إضافة لذلك، يلعب كل من معامل التفاعلية السالب التابع لدرجة حرارة المبرّد (يبلغ 0.1 mk/°C ضمن مجال درجات الحرارة التشغيلية للمفاعل والتي تبلغ 20-40°C) والكتلة الحرجة المنخفضة للوقود المحمل في القلب (والتي تبلغ حوالي 1 kg من وقود اليورانيوم 235) دوراً هاماً في تعزيز خاصية الأمان الذاتي. وتستطيع هذه العوامل مجتمعة أن تحد من قيم ومستويات الطاقة التي قد تنجم عن إدخال مقدار تفاعلية موجبة في المفاعل دون قصد كنتيجة لحادث تشغيلي. وهكذا يتم ضمان أمان المفاعل رغم الحوادث المحتملة كافة.

استعراض نموذج المحاكي

جرى في هذا النموذج، وتبعاً لأغراض المحاكاة، تقسيم الظواهر الفيزيائية إلى اثنتين رئيسيتين: حركية النترونات [2] والنقل الحراري. تمّ في الأولى تمثيل النترونات المتأخرة بست مجموعات. كما تمّ شمل مجموعات النترونات الضوئية كافة [3] والبالغ عددها حوالي تسع مجموعات في مجموعة واحدة. وبالاعتماد على تقريب النموذج النقطي للمفاعل، جرى تمثيل ديناميّة الانشطار النتروني التي يتحكم بها بواسطة فائض التفاعلية المتوفر في قلب المفاعل وكذلك بمعادلات تفكك بواعث النترونات المتأخرة والنترونات الضوئية وفق العلاقات التالية:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{l} n + \sum_1^7 \lambda_i c_i \qquad i = 1...7$$

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{\beta_i}{l} n - \lambda_i c_i \qquad i = 1..6$$

$$\frac{dc_-}{dt} = \frac{\beta_-}{l} n - \lambda_- c_-$$

حيث:

n = الكثافة النترونية

ρ = حمل التفاعلية

β = الجزء الفعال للنترونات المتأخرة والضوئية

l = زمن توالد النترونات

λ_i = ثابتة التفكك للمجموعة i

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Progress in Nuclear Energy*, Vol.36, No.4, pp.379-385, 2000.

c_i = الباعث النتروني للمجموعة i

β_i = جزء النترونات المتأخرة في المجموعة i

تمثل المجموعة السابعة منبع النترونات الضوئية نتيجة تواجد البريليوم العاكس في المفاعل. وقد تمّ الحل العددي لجميع المعادلات المذكورة باستخدام طريقة Runge Kutta [4] من المرتبة الرابعة.

يتألف نموذج النقل الحراري من بضع معادلات توصّف التوازن والانحفاظ في الطاقة، حيث تنتقل الحرارة المتولّدة في الوقود إلى المبرّد. وقد صيغت معادلات تغير درجات الحرارة عند الدخول والخروج وعبر قلب المفاعل بالاستفادة من المعطيات التجريبية التي تمّ جمعها نتيجة تشغيل المفاعل لفترات طويلة. كذلك، استُخدِمت بعض العلاقات التجريبية التي وردت في تقرير أمان المفاعل، والتي أهمها تلك التي تربط فرق درجات الحرارة عند مدخل ومخرج قلب المفاعل بالاستطاعة التشغيلية له إضافة إلى ارتفاع فتحة دخول الماء إلى القلب [1]، وهي:

$$\Delta T = (5.725 + 147.6 \times H_{in}^{-2.674}) \cdot T_{in}^{-0.35} \cdot P^{(0.59+0.0019 x T_{in})}$$

ΔT = فرق درجات الحرارة بين مدخل ومخرج قلب المفاعل [°C]

H_{in} = ارتفاع فتحة دخول الماء للقلب [6.0 mm]

T_{in} = درجة حرارة دخول الماء للقلب [°C]

P = استطاعة المفاعل التشغيلية [kW]

إضافة لذلك، فقد نُسبت قيمة فائض التفاعلية كتابع لوفرة (غنى) worth قضيب التحكّم من التفاعلية والذي بدوره يتبع موضع القضيب في قلب المفاعل وفق العلاقة التجريبية التالية:

$$\rho_{cr} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4 + a_5 \cdot x^5$$

حيث:

ρ_{cr} = وفرة قضيب التحكّم من التفاعلية [mk]

x = موقع قضيب التحكّم في القلب [mm]

$a_0, a_1 \ldots a_5$ = ثوابت وتعطى كما يلي:

$a_0 = 1.0802871\ 10^{-5}$, $a_1 = 4.6260476\ 10^{-4}$, $a_2 = 2.644029\ 10^{-4}$,

$a_3 = 3.237764\ 10^{-7}$, $a_4 = 8.1093212\ 10^{-9}$, $a_5 = 1.6867707\ 10^{-11}$

كلما ازدادت استطاعة المفاعل، تتناقص كثافة المبرّد في القلب، مما يتسبب في إنقاص قيمة التفاعلية الموجبة المتاحة لتشغيل المفاعل مع الحفاظ على قيمة التدفق النتروني المطلوب. ونظراً لانخفاض قيمة فائض التفاعلية المتاحة في القلب فإن أي تغير في درجة حرارة المبرّد أثناء التشغيل سوف يؤدي إلى تغير هام في قيمة التفاعلية للقلب. ويُعبَّر عن هذا الترابط بالعلاقة الخطية التالية:

$$\alpha_c = 0.026445 \times 10^{-3} - 0.0034752 \times 10^{-3} T$$

حيث:

α_c = معامل التفاعلية لدرجة حرارة المهدىء [mk]

T = درجة حرارة المبرّد الوسطية في قلب المفاعل [°C]

أسس برمجة المحاكي

يتألّف نموذج المفاعل منسر من مكونات أساسية ونظم تحكمية. وقد جرت محاكاة النموذج باستخدام ما يعرف باسم "الباني" C++ Builder [5]. فقد برهنت البرمجة باستخدام أداة الباني، والتي تعتمد على استخدام مكوّنات برمجية ومكتبات متوفرة أصلاً ضمن هذه الأداة، على أنها ذات فعالية عالية حيث أنها قادرة على إنشاء تطبيقات ونماذج سريعة ومتينة بجهد ووقت قليلين. فمن المعروف جيداً أن البرمجة المرئية تمكّن المبرمج من بناء نماذج ضخمة نسبياً، ابتداءً من خوارزميات بسيطة باستخدام مكتبات ومكوّنات موجودة مسبقاً.

يتضمن النموذج المحاكي للمفاعل مكوّنتي عرض (نافذتين): الأولى هي شاشة التقديم والثانية هي شاشة العمل. تتكون شاشة العمل من رسم تخطيطي للمفاعل، وخمسة مخططات بيانية إضافة إلى مجموعة من مفاتيح وأزرار التحكّم.

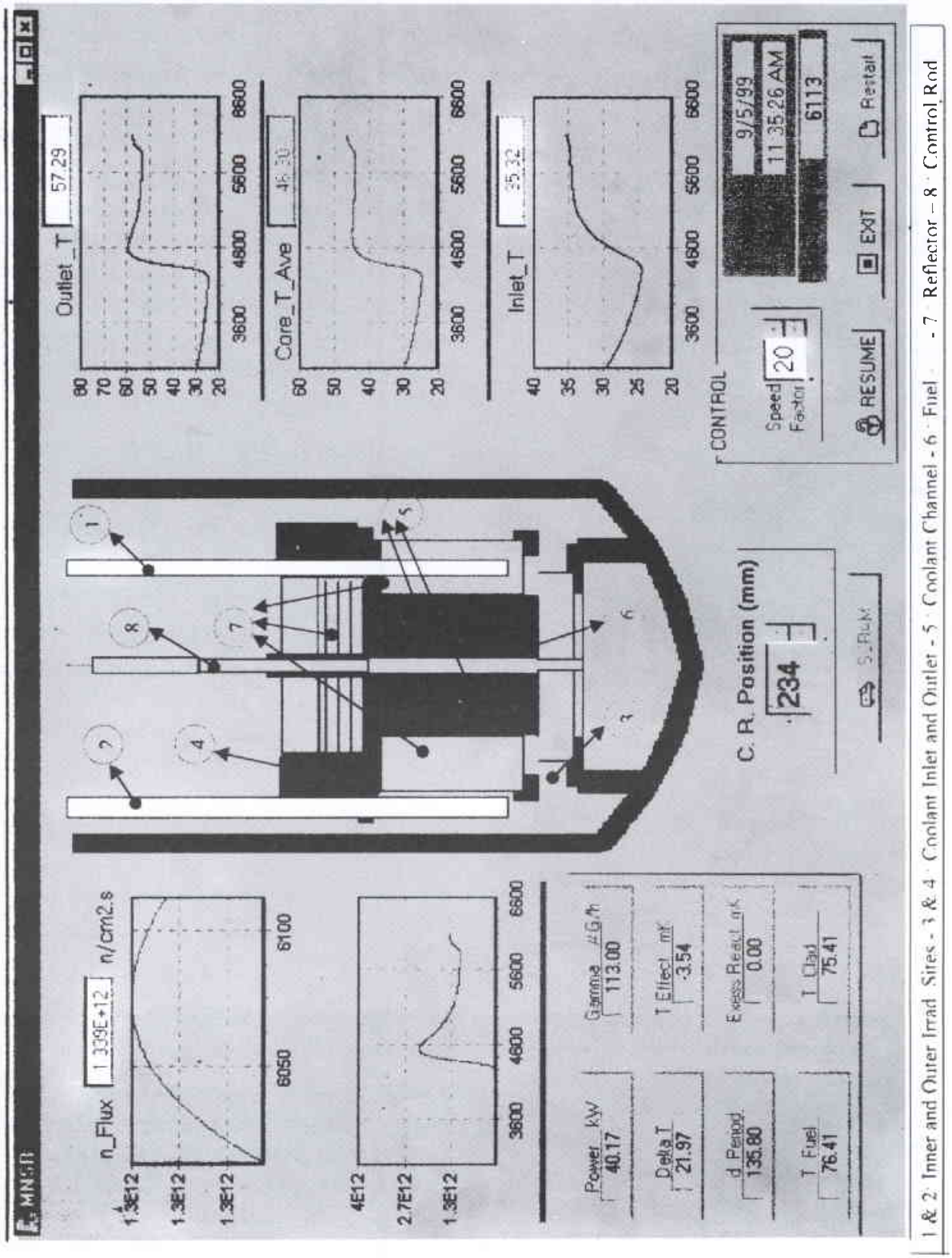
يتضمن رسم المفاعل المركّبات الأساسية مثل البريليوم العاكس: الحلقي والسفلي والعلوي، إضافة إلى عناصر الوقود وقضيب التحكّم مع قنوات التبريد داخل وخارج القلب. ويكفي تمرير مشيرة الحاسوب (الفأر) على أي مركب ليظهر اسمه على الرسم.

تُظهر الخطوط البيانية الخمسة، كتابع للزمن، تغيرات التدفق النتروني ودرجتي حرارة دخول الماء وخروجه وكذلك درجة الحرارة الوسطية في قلب المفاعل. جُزِّىء تمثيل التدفق النتروني بسبب المجال الواسع لتغيراته إلى مخططين بيانيين: مخطط بياني آني وآخر كلي يغطي كامل المجال الزمني، حيث جرت معاملة المجال الزمني للمخطط الكلي والمخططات الثلاثة الأخرى باعتماد فترة ساعة واحدة للعرض.

وضعت أزرار التحكّم بالمحاكي خصيصاً لحالة تشغيل المفاعل، أي حالة تحريك قضيب التحكّم إلى الأعلى أو الأسفل، حيث أن ضغط زر تحريك قضيب التحكّم إلى الأعلى يقود رسم قضيب التحكّم ليتحرك بزمن حقيقي يشابه حركة قضيب التحكّم في المفاعل. هنالك أيضاً أزرار تحكّم مخصصة لإغلاق المفاعل، ولتسريع زمن التشغيل للمحاكي، ولإيقاف المحاكاة عند زمن محدّد بهدف دراسة الحالة العابرة للمفاعل.

أثناء تشغيل المحاكي، يمكن ملاحظة تغير درجة حرارة بعض مركّبات المفاعل الأساسية، كالوقود، والماء، تلقائياً وذلك بسبب تغير ألوانها في مخطط المفاعل. وقد اختير التدرج في تغير الألوان ليتوافق وارتفاع درجة حرارة هذه المتغيرات، حيث قُسم مجال ارتفاع درجة الحرارة لكل متغير إلى مجالات عدة، كما اختير لون معين لكل مجال، وبالتالي فإن ارتفاع درجة حرارة الوقود مثلاً يتم عبر مجالات عدة وبالتالي يتغير لون الوقود بدءاً من اللون ذي درجة الحرارة الأقل إلى الأعلى والعكس صحيح. ويقصد بالماء في هذه الحالة كل من حيز الدخول إلى القلب وقناة التبريد عبر القلب وحيز الخروج منه.

بالطبع هنالك متغيرات أساسية هامة أخرى تعرض رقمياً على الشاشة بالزمن الحقيقي، مثل استطاعة المفاعل، وفائض التفاعلية، والجرعة الإشعاعية عند سطح المفاعل ... إلخ. ويقوم البرنامج بخزن قيم المتغيرات



الشكل 1- شاشة المحاكي.

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

السابقة كتابع للزمن على شكل ASCII في ذاكرة الحاسوب المؤقتة RAM. وفي نهاية كل تشغيل للمحاكي، يقوم البرنامج بسؤال المشغِّل عن رغبته في حفظ النتائج لحالة محاكاة المفاعل ضمن ملف يسمّيه المشغِّل ويتم حفظه في الذاكرة الدائمة للحاسوب.

النتائج

بعد أن وضع المحاكي قيد التشغيل، تمّ اختباره من خلال محاكاة حالات تشغيلية عابرة مختلفة. وقد أظهرت النتائج تقارباً كبيراً في نتائج المحاكي بالمقارنة مع المفاعل الحقيقي. يُظهر الشكل 1 شاشة المحاكي بما في ذلك النتائج البيانية لمتغيرات المفاعل. تتضمن شاشة العرض الرسومات التخطيطية لمكونات المفاعل الأساسية، وخمسة مخططات بيانية لتمثيل المتحولات، وأزرار التحكّم بتشغيل المحاكي. بالنظر للشكل 1، يمكن مشاهدة نتائج محاكاة تجاوب المفاعل لحالات التشغيل الاعتيادي بدءاً من مرحلة سحب قضيب التحكم وحتى حالة إغلاق المفاعل وذلك كتابع للزمن الحقيقي أو المسرّع. تُخزن نتائج متغيرات المفاعل كتابع للزمن بملف دفعي batch file، كما يظهر في الجدول 1. ويمكن اختيار المتحولات التي يُراد تخزينها ضمن قائمة تظهر مباشرة بعد تشغيل المحاكي.

الخلاصة

تبيّن من خلال هذا العمل أنه يمكن وبنجاح إنشاء نموذج محاكٍ لمفاعل منسر يتضمن علاقات نظرية وأخرى تجريبية، بحيث يكون سهل الاستخدام على الحاسوب الشخصي. يُعدّ المحاكي المستخدم أداة مفيدة

الجدول 1– ملف معطيات المحاكاة المخزن.

Time	position	inlet_T	n_flux	Power	Out_T	T_Fuel	Gamma
1	0	22.00	1.000E+07	0.00	22.01	23.02	0.00
75	185	22.00	9.357E+07	0.00	22.05	23.10	0.00
129	185	22.01	9.700E+08	0.03	22.25	23.46	0.05
183	185	22.04	9.743E+09	0.28	23.06	24.92	0.55
239	185	22.08	9.372E+10	2.71	26.37	30.78	5.51
251	185	22.09	1.458E+11	4.22	27.77	33.27	8.62
273	185	22.14	3.044E+11	8.85	31.21	39.36	18.25
283	185	22.17	4.089E+11	11.92	33.11	42.75	24.66
300	185	22.25	6.313E+11	18.51	36.68	49.13	38.50
309	185	22.30	7.669E+11	22.54	38.64	52.64	47.03
312	185	22.31	8.140E+11	23.95	39.29	53.81	50.01
318	185	22.35	9.098E+11	26.81	40.58	56.14	56.10
325	185	22.41	1.023E+12	30.21	42.06	61.83	63.34
333	185	22.47	1.152E+12	34.08	43.67	62.29	71.64
342	185	22.56	1.293E+12	38.34	45.38	62.78	80.81
352	185	22.67	1.442E+12	42.84	47.12	68.43	90.55
358	185	22.74	1.526E+12	45.38	48.09	68.79	96.09
372	185	22.91	1.705E+12	50.80	50.10	69.55	108.00
390	185	23.17	1.897E+12	56.61	52.23	77.93	120.90
402	185	23.35	2.000E+12	59.77	53.39	78.53	128.00
418	185	23.60	2.112E+12	63.16	54.66	79.22	135.80
441	185	23.99	2.224E+12	66.60	56.03	80.01	144.00
599	185	26.66	2.214E+12	66.49	58.17	82.17	148.20
650	185	27.41	2.107E+12	63.29	57.82	82.35	142.20
696	185	28.02	2.006E+12	60.25	57.40	82.44	136.30
741	185	28.56	1.909E+12	57.34	56.94	82.47	130.60
786	185	29.04	1.818E+12	54.59	56.48	73.93	125.10
833	185	29.49	1.730E+12	51.94	56.01	73.92	119.70
882	185	29.90	1.646E+12	49.43	55.54	73.90	114.50
934	185	30.29	1.567E+12	47.06	55.08	73.88	109.70
990	185	30.64	1.492E+12	44.80	54.63	73.84	105.00
1052	185	30.98	1.420E+12	42.65	54.18	73.81	100.60
1121	185	31.30	1.353E+12	40.61	53.74	73.76	96.38
1201	185	31.60	1.288E+12	38.66	53.31	67.45	92.39
1296	185	31.88	1.227E+12	36.82	52.88	67.41	88.65
1416	185	32.14	1.168E+12	35.05	52.46	67.37	85.15
1580	185	32.40	1.112E+12	33.37	52.05	67.32	81.96
1840	185	32.63	1.059E+12	31.77	51.66	67.28	79.24
2387	185	32.88	1.009E+12	30.26	51.28	67.24	77.45
2546	177	32.92	9.566E+11	28.85	50.76	92.44	74.34
2560	171	32.91	9.105E+11	27.37	50.15	91.36	70.55
2571	166	32.90	8.668E+11	26.07	49.60	90.39	67.23
2582	161	32.89	8.199E+11	24.79	49.05	89.39	63.97
2591	157	32.87	7.791E+11	23.46	48.46	88.33	60.55
2600	153	32.85	7.374E+11	22.32	47.95	87.39	57.63
2608	150	32.83	7.017E+11	21.15	47.40	86.40	54.61

لفهم المفاعل ودراسة متغيراته. أضف إلى أن هذا المحاكي يفيد في معظم الأغراض المرجوة للتعليم وتدريب المشغّلين الجدد للمفاعل منسر. وقد اتضح من خلال هذا العمل أنه يمكن أن يكون أداة هامة لأغراض البرمجة والمحاكاة بشكل عام، وذلك بنمذجة وخبرات تحليلية بسيطة نسبياً. وهكذا توفر لغة C^{++} وأداة الباني كلفة النفقات والأعمال الهندسية الحاسوبية من خلال تقليص الحاجة لحواسيب كبيرة أو حتى انعدامها.

REFERENCES المراجع

[1] The Syrian MNSR Safety Report, internal report, 1992.

[2] Hetrick, D.L. "Dynamics of Nuclear Reactors", Chicago Press Ltd., 1971.

[3] Lewins, J. "Nuclear Reactor Kinetics and Control", Pergamon Press, Oxford, 1978.

[4] Press, W.H.; Teukolsky, S.A.; Vetterling, W.T.; and Flannery, B.P. "Numerical Recipes in C", 2nd Ed., Cambridge Univ. Press, 1992.

[5] Calvert, C. "Borland C^{++} Builder Unleashed", Borland Press, 1998.■

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

تحديد معامل انعكاسية مرايا المجاوب المركبة في ليزر الحالة الصلبة*

د. محمد سوقية، مصطفى حمادي
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية
د. جوكوفسكي
معهد الفيزياء الذرّية والجزيئية - أكاديمية العلوم الوطنية - مينسك - روسيا البيضاء

ملخص

يمكن تحديد معامل منظومة المرايا المركبة على أساس قياس طاقة نبضة الإصدار الليزري لليزر Nd-YAG كتابع لطاقة الضخ ووسائط المجاوب. يمكن بسهولة ملاحظة أن معامل الانعكاس للمرآة المركبة يتجه نحو الاستقرار مع تزايد طاقة الضخ فوق طاقة العتبة. الأهمية العملية لهذا العمل تكون في تحديد معامل الانعكاسية لمرآة المجاوب بدون استخدام مرآة عيارية.

الكلمات المفتاحية: معامل الانعكاسية، ليزر الجسم الصلب، منظومة المرايا المعقدة، طاقة العتبة، المطيافية داخل التجويف.

مقدمة

يتألف المجاوب الليزري عموماً من منظومة المرايا المركبة، المشكلة من المرايا العاكسة وأوجه القضيب الليزري وخلايا الامتصاص. يُعدّ معامل الانعكاس للمجاوب الليزري أحد الوسطاء الأساسية التي تستخدم في أغلب حسابات مميزات نبضة الخرج، لاسيما في حسابات أمثلة التصميم والمطيافية داخل التجويف الليزري. لذلك يكون التقدير الصحيح لمعامل انعكاسية مرايا الليزر على درجة كبيرة من الأهمية. يُعبَّر عن معامل الانعكاسية الهندسي لمرآة ذات سطحين عاكسين متوازيين معاملا انعكاسهما r_2, r_1 (بعد إهمال الامتصاص بالمرآة، وعلاقة معامل الانعكاس بطاقة الدخل، وبطول الموجة، وبظواهر التداخل إلخ..) بالعلاقة التقريبية التالية [1]:

$$R = \frac{r_1 + \tau^2 r_2 - 2\tau\sqrt{r_1 r_2}\cos(4\pi nd/\lambda)}{1 + r_1 r_2 - \sqrt{r_1 r_2}\cos(4\pi nd/\lambda)} \qquad (1)$$

حيث λ طول موجة الإصدار الليزري، n قرينة انكسار مادة القضيب الليزري، d المسافة بين الوجهين العاكسين، τ معامل نفوذية المادة بين الوجهين العاكسين. في الحقيقة، لا يكون الإصدار الليزري مستقراً ووحيد اللون، ويعود ذلك عموماً إلى ظواهر متعددة منها الفقد في المجاوب وتعريض عُصابات الإصدار الليزري (التعريض بالتصادم، تعريض دوبلر إلخ..) (يمتلك الطيف الصادر في حالة ليزر Nd-YAG أطوالاً موجية مختلفة $\lambda = 1.051 - 1.0801$ µm) لذلك يظهر في طيف الإصدار الليزري تواترات إصدار مختلفة أو أنماط مختلفة [2]. وهكذا فإن إمكانية تحديد معامل الانعكاس للمرايا باستخدام العلاقة (1) يمكن أن يكون غير دقيق ومختلفاً عن قيمته الحقيقية. تشير عدة أعمال تجريبية إلى أنه في لحظة بلوغ عتبة الإصدار الليزري فإن معامل الانعكاس المقيس للمرايا المركبة يساوي القيمة العظمى R^{max} المحسوبة في المرجع [3]. تحتل هذه الحالة أهمية بالغة في ليزرات He-Ne المستمرة والليزرات الأخرى ذات معامل الكسب المنخفض [4]. ولكن من أجل ليزر الحالة الصلبة، تتغير هذه الحالة تبعاً لمرحلة الليزرة ولمميزات المجاوب وشروط العمل والقيمة العظمى لمعامل الانعكاس. لذلك يكون من المهم قياس معامل انعكاس منظومة المرايا المركبة كتابع لمميزات الدخل والوسائط الهندسية للمجاوب أثناء تشغيل الليزر. يهدف هذا العمل إلى توضيح إمكانية استخدام الليزر كمقياس للانعكاسية من أجل تقدير معامل الانعكاس الفعّال لمنظومة المرايا المركبة أثناء تشغيل الليزر كتابع لطاقة الضخ ووسطاء المجاوب. نُفّذت الطريقة باستخدام ليزر Nd-YAG كنموذج مع مرايا خارجية.

المواد والطرائق

يتألف الليزر المستخدم من قضيب النيوديميوم - ياغ Nd-YAG ($\phi = 6.3$ mm, $l = 56$ mm).

تمت تغطية نهايتي القضيب الليزري بطبقة غير عاكسة تقريباً antireflection layer معامل انعكاسها $r_0 = 0.076$ مع مرآتين متوازيتين معامل انعكاسهما r_1 وr_2، وذلك كما هو موضح في الشكل 1. يُحدَّد انعكاس معامل مرايا المجاوب باستخدام الطريقة الثنائية القناة [5]. تعتمد هذه الطريقة على القياس الآني لطاقات نبضات الخرج الليزري $E_i (i = 1,2)$ الصادرة عن مرآتي المجاوب الليزري. يمكن التعبير عن طاقتي نبضتي الخرج الليزري بالعلاقة التالية:

$$E_i = \frac{v\,l\,s\,t}{\alpha}\left[\frac{K_0 - \rho - K_{loss}}{\rho\,4\,K_{loss}}\right]K_{loss}\frac{1-R_i}{\sqrt{R_i}}\left[\frac{1-R_1}{\sqrt{R_1}}\cdot\frac{1-R_2}{\sqrt{R_2}}\right]^{-1} \qquad (2)$$

حيث: s المقطع العرضي للحزمة الليزرية، v سرعة الضوء في مادة القضيب الليزري، α معامل اللاخطية، K_0 معامل التضخيم، ρ الفَقْد في المجاوب (بالامتصاص، بالتبعثر، بالانعراج إلخ...)، t أمد نبضة الخرج، R_i معاملا انعكاس منظومة المرايا المركبة $(i = 1,2)$، $K_{loss} = (1/2L)\mathrm{Ln}(1/R_1R_2)$ معامل الفَقْد من أجل R_1, R_2، L طول المجاوب الليزري.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Optics and Lasers in Engineering*, 2000.

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

من العلاقة (2) يمكن التعبير عن نسبة طاقتي نبضتي الخرج $E_i(i=1,2)$ المارّتين من مرآتي المجاوب كتابع لمعامل انعكاس المرآة المركبة بالعلاقة:

$$r_2 \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{E_1'}{E_2'} = \frac{1-R_1}{1-R_2}\sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \qquad (3)$$

وفي حالة مجاوب ذي مرآة واحدة ($r_2=0$)، فإن R_2 تختزل إلى r_0 وفي هذه الحالة تأخذ العلاقة (3) الشكل التالي:

$$r_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{1-R_1}{1-r_0}\sqrt{\frac{r_0}{R_1}} \qquad (4)$$

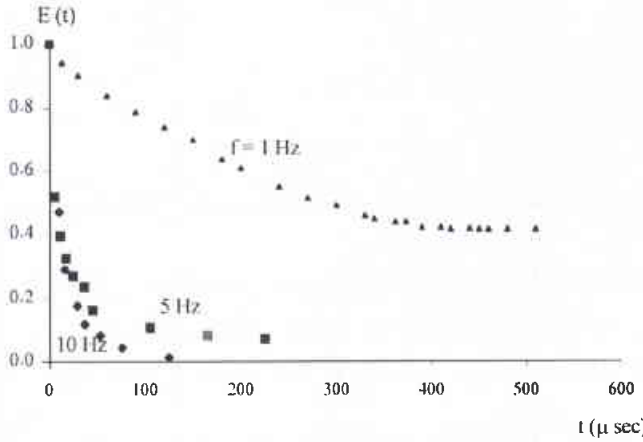
إذا رمزنا إلى نسبة العلاقتين (3) و (4) بالرمز A يمكن أن نحصل على العلاقة التالية:

$$A = \frac{E_2E_1'}{E_1E_2'} = \frac{1-r_0}{1-R_2}\sqrt{\frac{R_2}{r_0}} \qquad (5)$$

لا يتطلب القياس الآني لطاقتي النبضة باستخدام هذه الطريقة استخدام كواشف الطاقة ذاتها، ويتم تجاوز حالة عدم الاستقرار أثناء التشغيل. لقد قيس في هذا العمل معامل انعكاس منظومة المرايا المركبة من أجل مرايا مختلفة (ذات معاملات انعكاس مختلفة في مجال واسع).

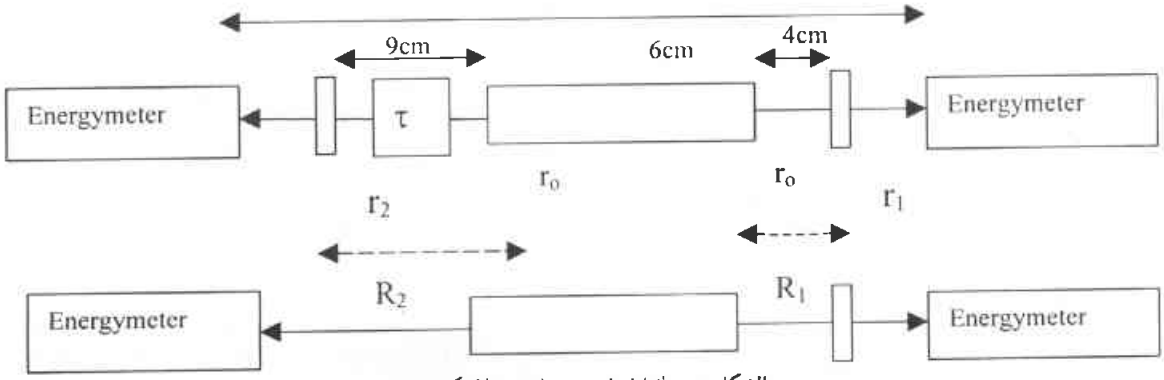
النتائج والمناقشة

عندما يشغل ليزر Nd-YAG بمجاوب ذي مرآة واحدة (المرآة الأخرى ستكون أحد وجهي القضيب الليزري، الشكل 1 حيث $r_1=0$)، يُلاحظ أن تشغيل هذا الليزر يقود إلى تخميد طاقة نبضة الخرج الليزري حتى بلوغ حالة الاستقرار. يُظهر الشكل 2 علاقة طاقة الخرج المنظومة كتابع لمعدلات تكرار مختلفة(f=1,5&10 Hz). يصل الليزر إلى حالة التوازن أو الاستقرار عند قيمة 30-35% من القيمة العظمى للطاقة من أجل معدل تكرار f=1 Hz، ولكن عند التشغيل بمعدل إصدار عالٍ f=10 Hz يبلغ الليزر حالة التوازن تقريباً عند قيمة 4% من قيمة طاقة التوازن. ينتج هذا السلوك عن ظاهرة التشوه الحراري، وتشكل العدسة في القضيب الليزري [5,6]. يتناسب التشوه مع معدل التكرار، ويكون التشوه في حده الأدنى عند تشغيل الليزر بمعدل إصدار منخفض. تُحسب النسبة A من أجل



الشكل 2- علاقة طاقة الخرج لليزر Nd-YAG مع مجاوب ذي مرآة واحدة من أجل معدلات تكرار مختلفة.

الطاقات المقيسة المقابلة لمعامل الانعكاسية r_2 في المجاوب من أجل تشغيل الليزر بنبضة واحدة. ومن ناحية أخرى، يُلاحظ بإدخال مرآة أخرى في المجاوب الليزري r_1 أن معامل انعكاسية المرآة المركبة يتعلق بنسبة طاقة الضخ E_{pump}/E^{th}_{pump}، حيث E^{th}_{pump} عبارة عن طاقة الضخ عند العتبة (الشكل 3). يُلاحظ من الشكل 3 (المنحنيات من 3-1) أنه بتناقص النسبة $E^{th}_{pump}/E^{th}_{pump}$ من 2.5 إلى حوالي 1 تتجه قيمة R_2 للمرآة المركبة إلى التزايد، لا سيما عندما تضخ بطاقة قريبة من طاقة العتبة. من ناحية أخرى، تزايد طاقة الضخ فوق العتبة يقود إلى استقرارية معامل انعكاس المرآة المركبة عند القيمة R الأصغر من R_2 بمقدار 5-10%. هذه القيمة تقابلها القيمة المتوسطة لمعامل الانعكاس من أجل منظومة مرايا



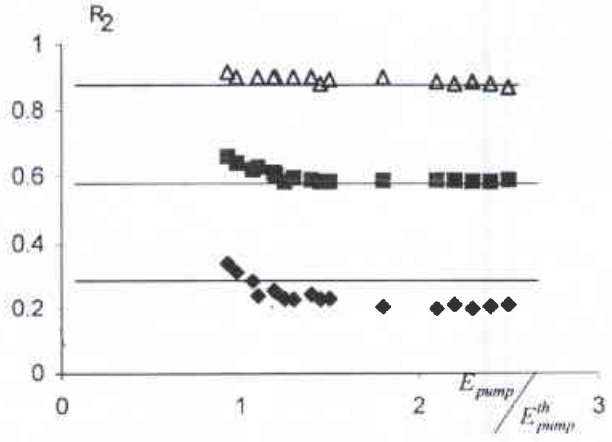
الشكل 1- المخطط التجريبي لقياس الانعكاس.

بسيطة مع سطحين عاكسين متوازيين r_1, r_2 والتي يُعبَّر عنها بالعلاقة التالية:

$$\overline{R} = \frac{r_1 - 2\cdot\tau^2 r_1.r_2 + \tau^2 r_2}{1-\tau^2.r_1.r_2}$$

يعود ذلك إلى وجود منابع فَقْد من مرتبة $(1\text{-}4)\times10^{-4}\ cm^{-1}$ في المجاوب الليزري. وتكون مرتبة هذا النوع من الفَقْد من مرتبة الفَقْد بالامتصاص والتبعثر نفسها في الوسط الفعّال. يمكن بسهولة من الشكل 3

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



الشكل 3– تابعية معامل انعكاس المرآة المركبة R_2 بنسبة طاقة الضخ E_{pump}/E^{th}_{pump} من أجل $r_2=0.076$ وقيم مختلفة لمعامل انعكاس المرآة $\overline{r_1}$: $\overline{r_1}=0.076$ (1) $\overline{r_1}=0.565$ (2), $\overline{r_1}=0.878$ (3), الخط فوق الرمز يعني القيمة المتوسطة لمعامل الانعكاس.

تقدير معامل انعكاس المرآة المركبة عند العتبة. تختلف قيمة عامل الانعكاس المقيسة تجريبياً عن القيمة المحسوبة من العلاقة (1)، وذلك بسبب عدم الاستقرار في تشغيل الليزر، لذلك يقود هذا الاختلاف إلى عدم التحديد في طيف الإصدار الليزري.

يُلاحظ من هذا العمل إمكانية استخدام المنبع الليزري كمقياس انعكاس لقياس معامل الانعكاس للمرايا العازلة. تعتمد أهمية هذه الطريقة على إمكانية قياس الانعكاس بدون استخدام مرايا عيارية وإمكانية قياس معامل الانعكاس أثناء تشغيل الليزر. يُلاحظ أيضاً أنه بتزايد طاقة الضخ يمكن تحقيق دقة عالية في قياس معامل الانعكاس. يُعدّ هذا العمل خطوة أساسية لدراسة مميزات أي ليزر صلب بهدف تشكيل مطيافية لدراسة المحاليل المختلفة بطرائق المطيافية داخل المجاوب الليزري.

الخاتمة

لقد حُدِّد معامل الانعكاس R لمرآة مركبة باستخدام الطريقة الثنائية القناة، ووجد أن معامل الانعكاس يتعلق بطاقة الضخ. يمكن التعبير عن معامل الانعكاس R في حالة الضخ بطاقة عالية (بالمقارنة مع طاقة العتبة) بعلاقة بسيطة تعطي معامل انعكاس المرايا البسيطة.

المراجع

REFERENCES

[1] Burakov V. C,. Zhukovskii, V. V. J. of Appl. Spectroscopy., V. 61 No: 1-2, p. 56-60, 1994.

[2] Koechner W., Solid State Laser Engineering, P. 129, 1976.

[3] Olsson A., Tang C. L. IEEE J. Quant. Electronic, QE17.1, No8, P. 1320-1323, 1981.

[4] Ukita H., Mise K. Jpn. J. of Appl. Phys, V. 27 No: 6, P.1128- 1130, 1988.

[5] Suzuki T., A method for measuring high reflectivity, Jpn. J. of Appl. Physics V. 17, N. 5, P. 929-935, 1978.

[6] Burakov S. D., God levski A. P., Zyev V. E., Dokl. Acad. Sci. USSR 302, 1988, P. 830-833.■

عدم توازن نظائر اليورانيوم في بعض المياه الجوفية في سورية★

د. عبد الرحمن عبد الهادي، د. أسامة الحسنية، د. محمد غفر
قسم الكيمياء، هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

عُينت تراكيز اليورانيوم في عيّنات من المياه الجوفية، مأخوذة من ثلاث مناطق في سورية، باستخدام مطيافية ألفا والتحليل الآلي بالتنشيط النتروني فكانت في حدود 0-6.13 µg/l في مناطق وجود الفسفات، وأقل من 1 ppb في المنطقة البركانية الجنوبية. كما درست نسبة النشاط لـ $^{234}U/^{238}U$ وتبين عدم توازن نظيري اليورانيوم ($^{234}U/^{238}U = 0.5\text{-}2.02$) وحُسبت الزيادة في النظير ^{234}U. يمكن تعليل هذه الزيادة بالحركية العالية للنظير ^{234}U، و الذي يشكل الأيون المنحل $(UO_2)^{2+}$ بالمقارنة مع النظير ^{238}U الذي يبقى في درجة الأكسدة الرباعية غير المنحلة. تزداد هذه الزيادة بزيادة تركيز اليورانيوم. قيست تراكيز الثوريوم في العيّنات نفسها باستخدام التحليل الآلي بالتنشيط النتروني، فتبين أنها كانت في حدود 0-1.15 µg/l.

الكلمات المفتاحية: يورانيوم، ثوريوم، تراكيز، عدم توازن، نسبة النشاط $^{234}U/^{238}U$، انحلالية، حركية.

المقدمة

يقدّم عدم التوازن الإشعاعي بين عناصر السلاسل الطبيعية معلومات مفيدة في العديد من المجالات. ويمكن أن يدل عدم التوازن في الرسوبيات على غياب العمليات الجيوكيميائية الموزّعة (التجوية أو الغسل أو الاثنين معاً) في المنظومات الطبيعية. وتسمح دراسات عدم التوازن بتعيين الزمن الذي حدثت فيه عمليات التوزع، و تقدير مدة الزمن الذي بقيت فيه المنظومة دون توزع [1,2,3]. ويمكن لنسبة النشاط لنظيري اليورانيوم $^{234}U/^{238}U$ أن تدل على بداية منظومة طبيعية خلال المليون سنة الماضية.

وتعطي دراسات عدم التوازن في الرسوبيات والمياه الجوفية معلومات من أجل دراسات الهجرة: (1) للتاريخ الحديث لهجرة النُكليدات المشعّة و (2) العوامل التي تؤثر في حركية هذه النُكليدات المشعّة، و (3) الشروط الجيوكيميائية لمنظومات الصخور–المياه التي تتم فيها الهجرة [1,4,5]. اكتشف تشردستيف [6] عام 1954 للمرة الأولى وجود اختلافات في الوفرة النظيرية لنظيري اليورانيوم . ^{234}U و ^{238}U، و تعود هذه الاختلافات إلى الانحلالية الأكبر للأيون $(UO_2)^{2+}$ بالمقارنة مع النظير ^{238}U. وهنالك تفسيران لهذا السلوك هما الارتداد النووي [7,8,9] أو التعرية الإلكترونية أو الاثنين معاً [10].

دُرست تراكيز اليورانيوم ونسب النشاط للنظيرين $^{234}U/^{238}U$ في مناطق الفسفات السورية في العديد من الأعمال السابقة [11,12]، ووجد أن نظيري اليورانيوم ^{234}U و ^{238}U في حالة توازن دائم وذلك لحقبات جيولوجية طويلة.

يهدف هذا العمل إلى تعيين تركيز اليورانيوم والثوريوم ونسبة النشاط لنظيري اليورانيوم $^{234}U/^{238}U$ في بعض المياه الجوفية والسطحية الموجودة بتماس الفسفات والصخور البركانية المقترحة سابقاً كمواقع لخزن النفايات متوسطة وضعيفة الشدة الإشعاعية في سورية [13]. كما يهدف إلى دراسة العلاقة بين تركيز اليورانيوم في المياه الجوفية وبين تركيز اليورانيوم ونسب النشاط لنظيري اليورانيوم $^{234}U/^{238}U$.

العمل التجريبي

جُمعت عيّنات المياه الجوفية من آبار وينابيع تُستخدم للري والشرب في ثلاث مناطق من سورية. يُظهر الشكل 1 مواقع هذه المناطق على خارطة سورية. جُمعت عيّنات المنطقة الشرقية (العيّنات 1-9) من آبار في منطقة تبلغ مساحتها بحدود 100كم^2 حول منجم فسفات الشرقية التي تحوي 40-70 ppm من اليورانيوم. وأُخذت العينات 10–12 من نبع وبئرين (بعمق 35 و45 متراً) بالقرب من قرية عين ليلون في المنطقة الساحلية (حوالي 2كم^2) و المحتوية على شذوذات صغيرة لتماسها مع الفسفات والمتضمنة 100-200 ppm من اليورانيوم. أُخذت عيّنات المنطقة الجنوبية البركانية (العيّنات 13–24) من آبار وينابيع تمتد على مساحة بحدود 200 كم^2 حول مدينة السويداء. يُظهر الجدول 1 معلومات تفصيلية حول العيّنات المجمّعة.

استُخدمت عبوات من البولي إيثيلين لتجميع العيّنات. غُسلت العبوات قبل أخذ العيّنات بالماء المقطر والحمض الممدد والأسيتون ومن ثم بالحمض الممدد بالماء المقطر. أُخذت من كل موقع عيّنتان حجم كل منهما 5 ليترات. أُضيف بعد ذلك حمض الآزوت الممدد لمنع الامتزاز على الجدران وغُسلت العبوات بعد تفريغها بحمض ممدد ورُشّحت من العوالق قبل التبخير. بُخّرت العيّنات حتى الجفاف بدرجات حرارة 40–60 درجة مئوية، وبعد وزن الفُضالة أُخذ منها 0.5 غ وحُلّ بزيادة من مزيج حمضي ($HClO_4/HNO_3/HF$:2/2/1) في بيشر من التفلون، وأضيفت كمية معلومة من النظير ^{232}U كقفاءة (بحدود 1.5 Bq) من أجل

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Radiation and Isotopes*, 2001. ترجمة الباحث ومراجعة هيئة التحرير هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

حسابات الكفاءة. بُخّرت هذه المحاليل حتى الجفاف وأعيد حلها في حمض كلور الماء (8M). مُرّر هذا المحلول على عمود يحوي مبادل الأيونات السالبة (Dowex 1X8 (50-100 mesh, 1.6 meq/dry g)، حيث يتم في هذه الظروف امتزاز اليورانيوم على المبادل ومن ثم غسله باستخدام حمض كلور الماء (0.1M) [14].

رُسّب اليورانيوم كهربائياً بعد تبخير هذا المحلول وإعادة حلّه في محلول داريء (1% H_2SO_4, 10% NH_4OH, pH = 2) على أقراص من فولاذ لا يصدأ باستخدام تيار ثابت بحدود 1.2 A وفولطية بحدود 8-10 V في خلايا من التفلون ومصعد من البلاتين. غُسلت الأقراص بعد الترسيب بالأسيتون والماء المقطر قبل أن تعد بمطيافية ألفا لمدة 48 ساعة (كاشف SBD، مردود 19%، مضخم ومحلل متعدد الأقنية). كُرّر الترسيب الكهربائي 3 مرات لكل عيّنة. وحُسب متوسط تركيز اليورانيوم ونسبة النشاط للنظيرين $^{234}U/^{238}U$ من ستة قياسات، وحُسبت الأخطاء على أنها الانحراف المعياري σ. يظهر الجدول 1 نشاط اليورانيوم -234 واليورانيوم -238 وتركيز اليورانيوم والزيادة في نظير اليورانيوم -234 لجميع العيّنات.

حلل 0.2 غ من الفضالة الناتجة من تبخير عيّنات المنطقة الجنوبية والشرقية باستخدام التحليل الآلي بالتنشيط النتروني في المفاعل منسر MNSR، بتدفق نتروني حراري قدره $5x10^{11}$ n/cm^2s من أجل تعيين تركيز اليورانيوم والثوريوم. فقد لوحظ توافق جيد بين تراكيز اليورانيوم المعيّنة بالتحليل الآلي بالتنشيط النتروني والتراكيز المعيّنة بمطيافية ألفا.

النتائج والمناقشة

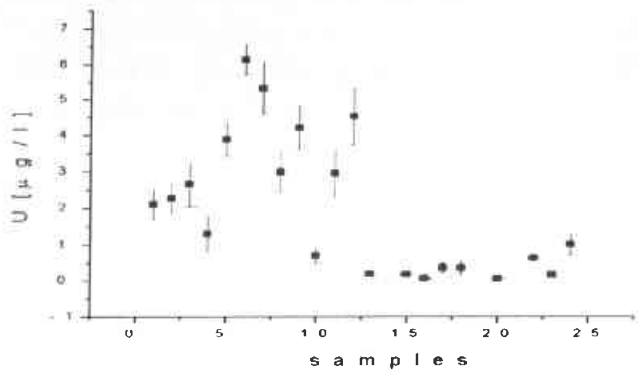
كما يظهر من الجدول 1 و الشكل 2، فإن تراكيز اليورانيوم في عيّنات الفسفات الشرقية تقع في حدود 0.69-6.13 µg/l في حين تقع تراكيزه في الفسفات نفسها ضمن حدود 36-168 ppm [11, 12]. وتكون تراكيز اليورانيوم في المياه الجوفية للمنطقة البركانية الجنوبية في سورية منخفضة جداً بحيث أن تركيزه في 7 من 12 عيّنة أصغر من حد الكشف لمطيافية ألفا التي في حوزتنا (0.2µg/l). و بناءً عليه فقد تمّ تعيينه باستخدام التحليل الآلي بالتنشيط النتروني ووجد على أنه أقل من 0.2 µg/l. (انظر الجدول 1). ويمكن تفسير تراكيز اليورانيوم المنخفضة في هذه المنطقة بتركيزه المنخفض جداً في الصخور البركانية .

الجدول 1– توصيف العيّنات وتراكيز اليورانيوم.

العينة	العمق [m]	المتبقي [g]	A_{234} [Bq /l]	A_{238} [Bq /l]	A_{234} / A_{238}	C [µg/l]	U_e
1	50	6.25	0.040 ± 0.006	0.026 ± 0.003	1.54 ± 0.30	2.10 ± 0.41	1.13
2	35	3.45	0.043 ± 0.005	0.028 ± 0.004	1.54 ± 0.28	2.26 ± 0.41	1.22
3	70	5.2	0.033 ± 0.007	0.033 ± 0.003	1.00 ± 0.23	2.66 ± 0.61	0
4	10	2.7	0.028 ± 0.009	0.016 ± 0.003	1.75 ± 0.65	1.29 ± 0.48	0.97
5	85	5.85	0.073 ± 0.006	0.048 ± 0.004	1.52 ± 0.18	3.87 ± 0.46	2.01
6	75	5.6	0.138 ± 0.009	0.076 ± 0.006	1.81 ± 0.12	6.13 ± 0.41	4.97
7	35	6.2	0.087 ± 0.005	0.066 ± 0.008	1.32 ± 0.18	5.32 ± 0.73	1.70
8	80	5.16	0.062 ± 0.007	0.037 ± 0.005	1.68 ± 0.30	2.98 ± 0.53	2.03
9	70	10.62	0.105 ± 0.006	0.052 ± 0.007	2.02 ± 0.30	4.19 ± 0.62	4.27
10	Spring	2.42	0.0093 ± 0.0017	0.0086 ± 0.0019	1.08 ± 0.31	0.69 ± 0.20	0.06
11	45	1.48	0.0364 ± 0.0045	0.0364 ± 0.0065	1.00 ± 0.22	2.94 ± 0.65	0
12	35	2.11	0.072 ± 0.008	0.056 ± 0.006	1.28 ± 0.15	4.52 ± 0.81	1.27
13	Spring	1.36	*	*	*	0.18 ± 0.04@	*
14	100	0.86	*	*	*	*	*
15	380	0.69	*	*	*	0.17 ± 0.02@	*
16	140	2.64	*	*	*	0.06 ± 0.03@	*
17	140	0.61	0.006 ± 0.002	0.0042 ± 0.0010	1.43 ± 0.59	0.34 ± 0.14	0.15
18	110	1.42	0.0022 ± 0.0010	0.0042 ± 0.0011	0.52 ± 0.27	0.34 ± 0.18	- 0.16
19	150	1.66	*	*	*	*	*
20	Spring	2.48	*	*	-	0.04 ± 0.02@	*
21	90	1.13	*	*	*	*	*
22	Spring	0.63	0.0058 ± 0.0010	0.0076 ± 0.0015	0.77 ± 0.20	0.61 ± 0.16	- 0.14
23	Spring	1.0	*	*	*	0.15 ± 0.05@	*
24	170	2.57	0.022 ± 0.006	0.0123 ± 0.0008	1.79 ± 0.50	0.99 ± 0.28	0.78

@: حددت بالتحليل بالتنشيط النتروني.

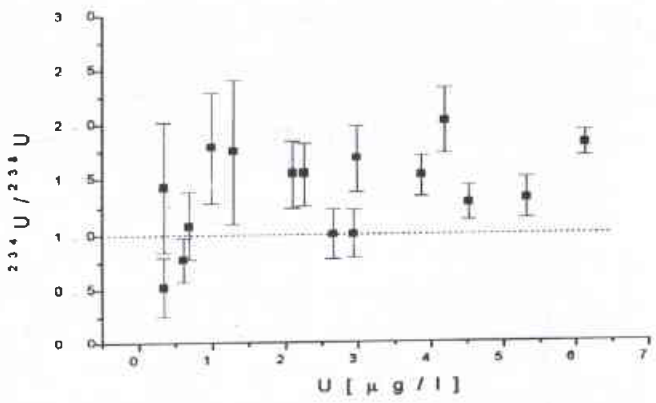
الشكل 1– خارطة سورية ومواقع أخذ العيّنات.



الشكل 2– تراكيز اليورانيوم في العيّنات المدروسة (تعطي الأخطاء الانحراف المعياري).

وكما يوضح الجدول 2، فإن تركيز الثوريوم الطبيعي في العيّنات، والمقيس بالتحليل الآلي بالتنشيط النتروني، منخفض جداً بصورة عامة في جميع العينات ويمكن تعليل ذلك أيضاً بالتركيز المنخفض جداً للثوريوم في الصخور الفسفاتية والبركانية نفسها.

يبين الشكل 3 نسبة النشاط $^{234}U/^{238}U$ بدلالة تركيز اليورانيوم. تظهر جميع العينات التي يتجاوز فيها تركيز اليورانيوم 1µg/l، عدم توازن مع نسب النشاط U^{234}/U^{238} في حدود 1–2.

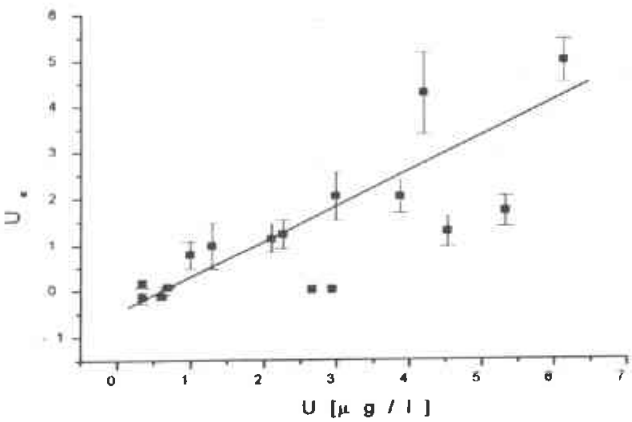


الشكل 3– نسبة النشاط $^{234}U/^{238}U$ كتابع لتركيز اليورانيوم (تعطي الأخطاء الانحراف المعياري).

حسبت الزيادة في تركيز النظير ^{234}U حسب [15] (الشكل 4):

$$^{234}Ue = [^{234}U/^{238}U\text{-}1]\ ^{*}U$$

فوجد أنها تزداد بزيادة تركيز اليورانيوم.



الشكل 4– الزيادة في نظير اليورانيوم 234 بتابعية تركيز اليورانيوم (تعطي الأخطاء الانحراف المعياري).

الجدول 2– القيم الوسطى والانحراف المعياري ومجال تراكيز اليورانيوم والثوريوم في العينات المدروسة.

المنطقة	U [µg/l]			Th [ng/l]		
	القيمة الوسطى	الانحراف المعياري	المجال	القيمة الوسطى	الانحراف المعياري	المجال
الشرقية	3.42	1.50	1.29 – 6.13	229	420	0.0 – 1153
الساحلية	2.57	1.56	0.69 - 4.52	-	-	-
الجنوبية	0.24	0.30	0.00 – 0.99	126	319	0.0 - 1120

يمكن تعليل عدم التوازن المذكور بالنظريات التالية:

– يقود هروب النظير ^{234}Th واضمحلاله اللاحق من روابط البلورات من خلال ارتداد ألفا، إلى إغناء في الطور المائع بالنظير ^{234}U [16] يتضمن اضمحلال اليورانيوم -238 الاشعاعي إلى اليورانيوم -234 إصدار جسيم ألفا واحد (4.2 MeV) وجسيمين بيتا.

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

- يؤدي الضرر النووي في الشبيكة البلورية وكذلك التبدلات في البنية الإلكترونية (والناجمة عن اضمحلال بيتا) والموافقة لمفعول Szilard-Chamers إلى زيادة انحلالية وحركية النظير ^{234}U [7, 9].

اقترح أوسمان و كوارت [15, 17, 18] تصنيفاً للمياه مبنياً على معاملين هما تركيز اليورانيوم ونسبة النشاط لنظيري اليورانيوم $^{234}U/^{238}U$. يمكن أن تكون نسب النشاط العالية (2 <) ناجمة عن معدل أعلى من النسبة الطبيعية لليورانيوم المغسول في الطبقة المائية أو الاورانيت اللا متبلور محسناً بذلك ارتداد ألفا. وتفضي نسبة نشاط أقل من 1 إلى انحلال شديد. ويعكس تركيز اليورانيوم في المياه شروط الأكسدة والإرجاع وتركيز اليورانيوم في الصخور المحيطة، ففي الأوساط المؤكسدة يكون اليورانيوم كثير الانحلال على شكل معقدات سداسية لليورانيوم غالباً ما تكون كربوناتية، بينما يشكل اليورانيوم أكسيده الرباعي التكافؤ في الأوساط المرجعة والذي يكون عديم الانحلال.

إن تدني تركيز اليورانيوم في عينات المياه الجوفية المقيسة من قبلنا مقارنة بتركيزه في الفسفات نفسها يدل على انحلالية عامة متدنية لمعقدات اليورانيوم في المياه الجوفية لهذه المنطقة. وتدل تجارب أخرى [19] حول توزع بعض الأكتينيدات وبعض نواتج الانشطار في منظومة ذات طورين: مياه جوفية-فسفات، والتي تجري بشكل مواز مع هذا العمل على أن الطور الصلب يحتفظ بأكثر من 99% من الأكتينيدات. بناءً على ذلك وعلى تصنيف المياه الجوفية بحسب اوسمون وكوارت المذكور سابقاً [15,16] فإن العينات المدروسة من قبلنا كانت بصورة رئيسة أوساط مرجعة عادية أو مؤكسدة عادية.

REFERENCES المراجع

[1] Gascoyne M., The use of U-series disequilibrium for site characterization and analogue for actinide migration, C.E.C Report EUR 11037.EN, 28-30April (1987).

[2] Ivanovich M., Harmon R. S., Uranium series disequilibrium applications to environmental problems, Clarendon Press, Oxford (1982).

[3] Rosholt J.N., Isotopic composition of U and Th in crystalline rocks, J. Geophys. Res., 88, 3-9,7315-7330 (1983).

[4] Schwarz H.P., Gascoyne M, Ford D.C., Uranium series disequilibrium studies of granitic rocks, Chem. Geol., 36, 87-102 (1982).

[5] Smeille, J.A.T., Rosholt, J.N., Radioactive disequilibria in mineralized fracture samples from uranium occurrences in northern Sweden, Lithos 17, 215-225 (1984).

[6] Cherdynstev V.V., Proc. III session, committee for determination of absolute age, Idv. Akad. Nauk SSSR, Moscow, 175-177 (1954).

[7] Rosholt, J.N, Shields W.R., Garner E.L., Isotopic fractionation of uranium in Sandstone, Science, 139, 224-226 (1963).

[8] Dooly J.R., Granger H.C., Rosholt H.J, Uranium-234 fractionation in the Sandstone deposits of the Ambroria lake district, New Mexico, Econ. Geol., 61, 1362-1382 (1966).

[9] Fleischer R.L., Raabe O.G., Recoiling alpha-emitting nuclei: Mechanisms for uranium series disequilibrium, Geochim. Cosmochim. Acta, 42, 973-978 (1978).

[10] Kolodony Y., Kaplan I.E., Uranium isotopes in seafloor phosphorites, Geochim. Cosmochim Acta, 34, 3-24 (1970).

[11] Takriti S., Abdul-Hadi A., Determination of $^{234}U/^{238}U$ activity ratios in Syrian phosphates, J. Radioanal. And Nucl. Chem., 230, 299-301 (1998).

[12] Asfahani J., Abdul-Hadi A.. Geophysical natural γ - Ray well Logging and Spectrometric Signatures of South AL-Abter Phosphate Deposits in Syria, accepted for publication by App. Rad. And Isotopes (2000).

[13] Abaas M., Moussa A., Al-awdat M., Ali A., Khito, M, Aba A., Criteria and assessment of radioactive waste and preliminary study to the eventual repositories - sites for and intermediate-level radioactive wastes, AECS G-PR/RSS 118(1995).

[14] Alhassanieh. O., Abdul-Hadi A., Ghafar M., Aba A., Separation of Th, U, Pa, Ra and Ac from natural uranium and thorium series, App. Rad. And Isotopes, 51,493-498 (1999).

[15] Cowart J.B., Osmon J.K., The relationship of uranium isotopes to oxidation/reduction in the Edwards carbonate aquifer of Texas, Earth and planetary science-Netherlands, 48(2), 277-283 (1980).

[16] Kigoshi K., Radioactive dating, Radioisotopes, 19(10), 473-481 (1971).

[17] Osmon J.K., Cowart J.B., Uranium disequilbrium in ground water as indicator of anomalies, J. Appl. Rad. And Isotopes, 34,283 (1983).

[18] Toulhoat P., Holliger P., Menes J., Analyses of lead isotopes and U-series disequilibrium in groundwater and possible sources rocks in the west Morvan area, Uranium, 4, 307-325 (1988).

[19] Ghafar M., Abdul-Hadi A., Alhassanieh O., Study of distribution of coefficient of some actinides and fission products in a two phase system, phosphate and groundwater, final report on scientific research, Atomic Energy Commission of Syria (2000) under publication.■

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

فصل التكنيسيوم -99m عن الموليبدينوم -99 باستعمال أغشية سائلة مدعمة من كيروسين -TOPO★

د. توفيق ياسين
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

دُرس انتقال أيونات البرتكنتات $^{99m}TcO_4$ عبر أغشية سائلة مدعمة من TOPO - كيروسين في تراكيز مختلفة من حمض الفسفور كوسط تغذية وفي تراكيز مختلفة من الـ TOPO في الغشاء، حيث استُعمل محلول مائي 0.9% NaCl كمحلول تعرية. لوحظ تغير تدفق أيونات TcO_4^- عبر الغشاء السائل مع تراكيز كل من حمض الفسفور والمستخلص TOPO. حُصل على أفضل معامل نفوذية عند تركيز حمض الفسفور 3 مول/لتر وتركيز TOPO 0.5 مول/لتر ($P=2.08x10^{-9}\ m^2.s^{-1}$). سُخّرت النتائج الحاصلة في عملية فصل التكنيسيوم -99m من الموليبدينوم -99؛ حيث حُصل على فصل فعال وانتقائي، إذ لم يُلاحَظ أي انتقال للموليبدينوم عبر هذا الغشاء السائل في حين كان معدل انتقال التكنيسيوم مرتفعاً.

الكلمات المفتاحية: الأغشية السائلة المدعمة، تكنيسيوم -99m، موليبدينوم -99، ثلاثي أوكتيل فسفين أُكسيد.

المقدمة

بُذلت جهود مكثفة في العقود الأخيرة لفصل التكنيسيوم -99m عن الموليبدينوم -99 بشكل نقي لاستعماله في حقل الطب النووي. إن نظير التكنيسيوم -99m عبارة عن نكليد مشع قصير العمر ($T_{1/2}=6$ hrs) يضمحلال من خلال انتقال ايزوميري إلى التكنيسيوم -99 ($T_{1/2}=2.1\times10^5$y) مُصدراً أشعة غاما بطاقة تبلغ حوالي 140 كيلو إلكترون فولط، وتجعله هذه الخواص مثالياً لأغراض الدراسات في الجسم الحي والتشخيص [1].

ابتُكرت تقانة مولّدات التكنيسيوم -99m وأُدخلت في مجال الطب النووي وذلك للتغلب على مشكلة تزويد المشافي البعيدة عن مراكز الإنتاج بهذا النكليد المشع، حيث طُوّرت عدة أنواع من المولّدات في العقود الخمسة الأخيرة، مثل المولّدات الكروماتوغرافية ومولّدات الاستخلاص ومولّدات التصعّد ومولّدات الهلام [2].

أكثر هذه المولّدات شيوعاً هي المولّدات الكروماتوغرافية، ولكنها تتطلب استعمال موليبدينوم -99 المرتفع الثمن وذي النشاط النوعي العالي، والذي يَنتج عادة عن تفاعلات الانشطار النووي، أما الأنواع الأخرى من المولّدات فقد طورت لتلائم استعمال الموليبدينوم -99 ذي النشاط النوعي المنخفض، والذي ينتج عن تفاعلات التنشيط النتروني للموليبدينوم الطبيعي. وجميعها تملك بعض المساوىء التي تتعلق بتعقيدها وكفاءتها وبنوعية التكنيسيوم -99m المتولّد عنها.

أُقحمت تقنية الأغشية السائلة المدعمة (SLM) حديثاً في مجالات الفصل كتقنية جديدة تتفوق على تقنية الاستخلاص السائل، إذ أنها تتضمن عمليات استخلاص وتعرية آنية [3].

درس Chaudry وزملاؤه انتقال التكنيسيوم -99m عبر أغشية سائلة مدعمة من TBP- كيروسين [4] وثلاثي أوكتيل أمين - كزايلين [5]، كما درسوا عملية فصل التكنيسيوم -99m عن الموليبدينوم -99 المولّد بالتنشيط النتروني للموليبدينوم الطبيعي باستعمال غشاء سائل من ثلاثي أوكتيل أمين - كزايلين، حيث استُعمل محلول 3M H_2SO_4 كمحلول تغذية ومحلول 0.1M NaOH كمحلول تعرية [6].

في هذا العمل دُرس إنتقال أيونات البرتكنتات عبر غشاء سائل مدعم من ثلاثي أوكتيل فسفين أُكسيد (TOPO)- كيروسين في شروط مختلفة. استُعملت النتائج المثلى لفصل التكنيسيوم -99m عن الموليبدينوم -99.

القسم العملي

المواد

حُصل على الـ TOPO من شركة فلوكا واستُعمل بدون أية معالجة لاحقة. استُعمل زيت الكيروسين (190-250 °C) (نقطة الوميض > 75 °C، المحتوى العطري > 10 mg l^{-1}) أيضاً بدون أية معالجة. حُصل على الموليبدينوم -99 من مؤسسة الطاقة الذرّية في جنوب أفريقيا، وحُصل على التكنيسيوم -99m من المولّد SYRTEC، هيئة الطاقة الذرّية السورية، وكانت جميع المواد الكيميائية الأخرى بدرجة نقاوة تحليلية.

حُضّرت الأغشية السائلة بنقع فلم بولي بروبلين كمسابر مكروية Celgard-2400 (ثخانة 25µm وقطر المسام 0.02µm و المسامية 38%) في محاليل TOPO- كيروسين لمدة تزيد عن 24 ساعة.

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 246, No. 3, 2000. ترجمة الباحث ومراجعة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

التجهيزات

خلية الفصل

صُنعت خلية بحجرتين (حجم كل منهما 65 cm^3) من مادة البيرسبيكس (الزجاج العضوي) وبمساحة غشاء فعّالة 5 cm^2، وثُبت محرك في أعلى كل حجيرة للتحريك.

منظومة التعداد

استُعملت منظومة مطيافية غاما لقياس النشاط الإشعاعي، حيث استُعمل كاشف جرمانيوم عالي النقاوة HPGe (حجم 70 cm^3، كفاية نسبية 13%) لكشف أشعة غاما.

عولج وحُلل الخرج المضخم باستخدام كرت معالجة S 100 Canberra ذي 4096 قناة. تمّ عدّ جميع العيّنات في الوضع الهندسي نفسه، حيث قيس التكنيسيوم -99m عند القمة 140 keV والموليبدينوم -99 عند القمة 740 keV.

قياس الانتقال

ثُبت الغشاء بين الحجرتين، إذ ملئت إحداهما بمحلول التغذية (1 mCi من ^{99m}Tc في حمض الفسفور)، وملئت الثانية بمحلول التعرية (0.9% NaCl). استمر تحريك المحلولين في الحجرتين بمعدل حوالي 2000 دورة في الدقيقة، وحفظت درجة الحرارة عند حوالي 25 ± 1 °C. أُخذت عيّنات 1 ml من كل حجيرة عند فترات زمنية محددة للقياس.

الاستخلاص السائل

خُض حجم 5 ml من محلول موليبدات الصوديوم (0.2 M) المحتوي على 0.1 mCi من الموليبدينوم -99 المتوازن مع التكنيسيوم -99 m بـ 5 ml من محلول الـ TOPO في الكيروسين لمدة ساعة ثم فُصل الطوران وعُدّا من أجل ^{99m}Tc و ^{99}Mo. حُدِّد معامل التوزع من النسبة بين النشاط الإشعاعي لكلا الطورين.

إجراء الفصل

مُزج 1 ml من محلول موليبدات الصوديوم (1 M) المحتوي على 1 mCi من الموليبدينوم -99 مع 64 ml من حمض الفسفور (3M) في حجرة التغذية من الخلية. مُلئت حجرة التعرية بـ 65 ml من محلول 0.9% NaCl. ثبت غشاء سائل مدعم SLM من TOPO 0.5M في الكيروسين بين الحجرتين. حُرِّك محتوى كل من الحجرتين بمعدل أكبر من 2000 دورة في الدقيقة. جُمعت عيّنات من الجانبين وقيست عند فترات زمنية محددة.

النتائج والمناقشة

يشكّل أيون البرتكنتات معقّداً مع الـ TOPO على سطح الغشاء من جانب حجرة التغذية والتي يمكن تمثيلها بالمعادلة:

$$TcO_4^- + nTOPO + H^+ \longleftrightarrow HTcO_4.nTOPO$$

يُكتب ثابت التوازن على الشكل:

$$Ke = \frac{[HTcO_4.nTOPO]_{org}}{[TcO_4^-]_{aq}[H^+]_{aq}[TOPO]^n_{org}} \quad (1)$$

وبما أن معامل توزع البرتكنتات:

$$D = \frac{[HTcO_4.nTOPO]_{org}}{[TcO_4^-]_{aq}} \quad (2)$$

يكون:

$$Ke = \frac{D}{[H^+]_{aq}[TOPO]^n_{org}}$$

$$D = Ke[H^+]_{aq}[TOPO]^n_{org} \quad (3)$$

يمكن حساب التدفق عبر الغشاء وفقاً لقانون Fick بالعلاقة:

$$J = \frac{\overline{D}(C_1 - C_2)}{l} \quad (4)$$

حيث $\overline{D}$ معامل انتشار TcO_4^- في الغشاء. C_1 و C_2 تركيزاً TcO_4^- على جانبي الغشاء من جهة التغذية والتعرية على الترتيب.

يمكن أن يعطى تركيز TcO_4^- على جانب الغشاء بالجداء D. C، حيث C التركيز في محلول التماس معه لذلك يكون التدفق:

$$J = \frac{\overline{D}(D_f C_f - D_s C_s)}{l} \quad (5)$$

عندما تنتهي D_s إلى الصفر $D_s \to 0$

يكون:

$$J = \frac{\overline{D}D_f C_f}{l} = \frac{PC_f}{l} \quad (6)$$

حيث $P = \overline{D}D$ هي معامل النفوذية

$$P = \frac{Jl}{C_f} = \frac{dC_f}{dt}.\frac{Vl}{aC_f} \quad (7)$$

تعطي مكاملة العلاقة (7) بين t=0 و t=t:

$$\ln\frac{C'_f}{C^0_f} = \frac{aPt}{Vl} \quad (8)$$

حيث a المساحة الفعالة للغشاء السائل وV حجم محلول التغذية.

على أية حال، يُقاس في هذه الدراسة معدل التعداد للتكنيسيوم -99m، وبما أن قيمة A تتناسب طردياً مع تركيز TcO_4^-، لذلك يمكننا كتابة:

$$\ln\frac{A'_f}{A^0_f} = \frac{aPt}{Vl} \quad (9)$$

ويمكن حساب قيمة P من رسم المنحني $\ln\frac{A^t_f}{A^0_f}$ -بدلالة الزمن.

صُحّح معدل التعداد من أجل التفكك أثناء العمل التجريبي باستعمال قانون التفكك الإشعاعي $A_0 = A_t/e^{-\lambda t}$ حيث t الفترة الزمنية بين بدء

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

التجربة والقياس. أما في حال استعمال مزيج من الموليبدينوم -99 والتكنيسيوم -99m، فقد صُحِّح معدل التعداد بالعلاقة:

$$A^0_{Tc}=[A^t_{Tc}\frac{\lambda_2}{\lambda_2-\lambda_1}\frac{\xi_2}{\xi_1}A^0_{Mo}(e^{-\lambda_2 t}-e^{-\lambda_1 t})]/e^{-\lambda_2 t} \qquad (10)$$

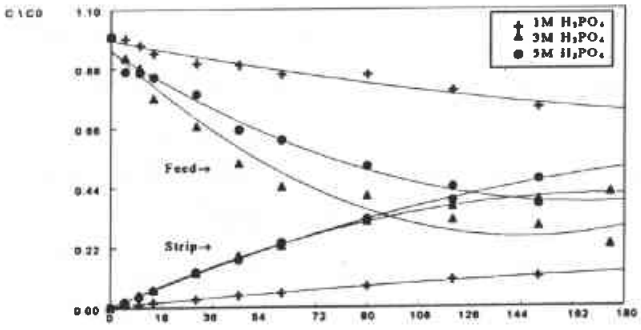
حيث t الزمن بين تجميع العيّنات والقياس ، ξ_2 و ξ_1 هما كفايتا الكشف للموليبدينوم -99 والتكنيسيوم -99m على الترتيب.

يبين الجدول (1) قيم معاملات التوزع. من الواضح أن قيمة D لكل من TcO_4^- و MoO_4^{2-} تتناقص مع زيادة تركيز حمض الفسفور من 1 إلى 5 مول / لتر من أجل التراكيز الثلاثة لـ TOPO في الكيروسين المستخدمة (0.5, 0.4, 0.25 مول / لتر). كانت الشروط المثلى لفصل Tc عن Mo هي من حمض فسفور بتركيز 3M باستعمال مستخلص 0.5m من TOPO في الكيروسين.

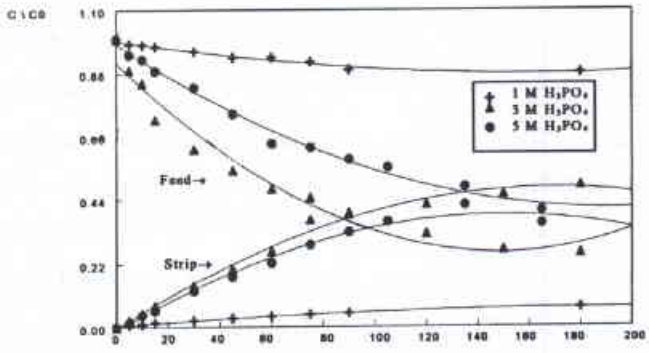
الجدول 1– معاملات التوزع (D) لـ ^{99m}Tc و ^{99}Mo، بين محاليل بتراكيز مختلفة من H_3PO_4 و TOPO في الكيروسين.

[TOPO] mole l^{-1}	0.25		0.4		0.5	
[H_3PO_4] mole l^{-1}	Mo	Tc	Mo	Tc	Mo	Tc
0	0.3	0.03	0.1	0.02	0.9	0.005
0.5	12	60	14	69	15	80
1	7	25	8	30	37	93
3	1	10	1	11	1	24
5	0.2	4	0.3	7	0.5	9

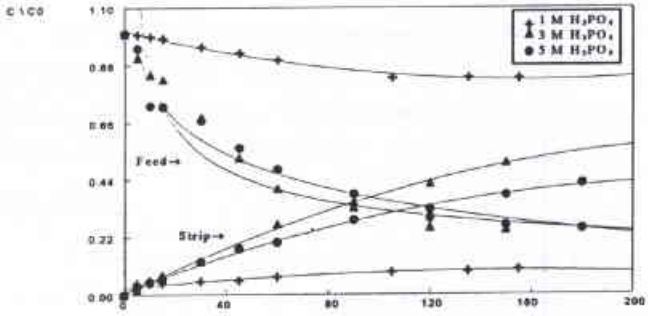
دُرس انتقال $^{99m}TcO_4^-$ عبر أغشية سائلة مدعمة من TOPO-كيروسين من أجل ثلاثة تراكيز من حمض الفسفور هي 1M, 3M, 5M، ومن أجل ثلاثة تراكيز من TOPO في الكيروسين هي 0.25M, 0.40M, 0.50M. نبين النتائج في الأشكال 1-3. تعكس هذه الأشكال أن الانتقال يكون أعلى في حمض فسفور بتركيز 3M منه في التركيزين الآخرين،



الشكل 1– منحني تغير تركيز ^{99m}Tc بدلالة الزمن في حجرتي الخلية من أجل TOPO 0.25 M في الكيروسين.



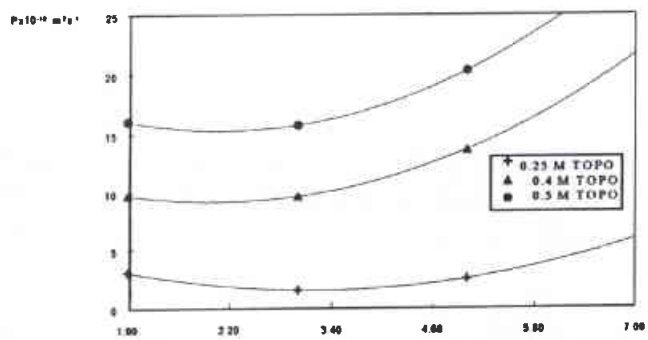
الشكل 2– منحني تغير تركيز ^{99m}Tc بدلالة الزمن في حجرتي الخلية من أجل TOPO 0.4 M في الكيروسين.



الشكل 3– منحني تغير تركيز ^{99m}Tc بدلالة الزمن في حجرتي الخلية من أجل TOPO 0.5 M في الكيروسين.

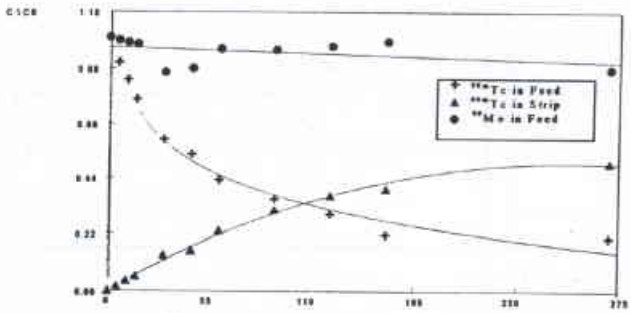
كما يتضح أن تناقص تركيز ^{99m}Tc في جانب التغذية أكثر من تزايده في جانب التعرية من أجل فترة الـ 15 دقيقة الأولى، وقد يُعزى ذلك لتراكم التكنيسيوم في الغشاء حتى حصول التوازن.

يبين الشكل 4 تأثير تراكيز TOPO, H_3PO_4 على معامل نفوذية التكنيسيوم -99، إذ كانت أعلى قيمة لـ P عندما جرى الانتقال من محلول حمض فسفور 3M عبر غشاء سائل من TOPO 0.5M في الكيروسين، وبلغت هذه القيمة (2.08×10^{-9} $m.s^{2-1}$)



الشكل 4– تغير معاملات النفوذية مع تركيز H_3PO_4.

سُخِّرت النتائج الحاصلة من انتقال التكنيسيوم -99m من أجل فصل ^{99m}Tc عن ^{99}Mo. يبين الشكل 5 النتائج الحاصلة من أجل انتقال كل من ^{99m}Tc و^{99}Mo من وسط 3M حمض الفسفور عبر غشاء سائل مدعم من



الشكل 5– تغير النشاط الإشعاعي في محلولي التغذية والتعرية مع الزمن [TOPO] = 0.5 M و $[H_3PO_4]$ = 3M.

TOPO 0.5 M– كيروسين. يبدو جلياً عدم كشف انتقال الموليبدينوم -99 إلى طور الاستقبال ضمن فترة التجربة، في حين كان انتقال التكنيسيوم -99m بمعدل مرتفع، وكان معامل النفوذية للتكنيسيوم -99m في هذه الحالة ($\sim 1.8\times10^{-10}$ $m^2 .s^{-1}$) أقل بقليل منه في حالة التكنيسيوم -99m النقي في الشروط نفسها من الدراسة. قد تُعزى هذه الظاهرة إلى حقيقة أن قيمة p المحسوبة في الحالة الثانية هي أقل من القيمة الحقيقية، لأن تركيز التكنيسيوم -99m في محلول التغذية ينمو أثناء عملية الفصل نتيجة تفكك الموليبدينوم -99.

الاستنتاج

يمكن فصل ^{99m}Tc على شكل TcO_4^- من الموليبدينوم -99 كموليبدات في محلول حمض الفسفور باستعمال أغشية سائلة مدعمة من الـ TOPO في الكيروسين بمعدل مرتفع. وجد أن معامل النفوذية يملك قيمة قصوى عند تركيز حمض فسفور 3 مول/لتر وتركيز TOPO 0.5 مول/لتر، ولم يُكشف الموليبدينوم -99 في طور الاستقبال تحت شروط الدراسة.

المراجع REFERENCES

[1] R. D. Neuman and A. Gottschalk, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 29 (1979) 283.

[2] R. E Boyd, Radiochim. Acta, 30 (1982) 23.

[3] P. R. Danesi, Separation Science and Tech. 19 (1984 - 85) 857.

[4] N. A. Chaudry, S. N. Ahmad, M. Z. Iqbal, B. Ahmad and H. M. A. Karim, J. Radiounal. Nucl. Chem. 172 (1993) 371.

[5] M. A Caudry and B. Ahmad. Ibid 204 (1996) 379.

[6] M. A Caudry, S. N. Ahmad and M. Z. Iqbal; Radio chim. Acta 73 (1996) 101.■

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

مساهمات الثورون في قياسات الرادون في البيئة★

د. رياض شويكاني
قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي- هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091- دمشق - سورية
س. ا. دوراني
مدرسة الفيزياء وبحوث الفضاء - جامعة برمنغهام - ب 2 15ت ت - المملكة المتحدة

ملخص

استخدمت كواشف الجسم الصلب للأثر النووي بشكل واسع لتحديد سويات الرادون داخل المنازل. يستخدم الفلتر في معظم هذه الكواشف، حيث يفترض أن أي ثورون موجود سيتفكك بشكل كامل قبل أن تستطيع جسيمات ألفا الناتجة عن غاز الثورون نفسه وعن نواتج تفككه إحداث آثار على سطح الكاشف البلاستيكي (أي قبل أن تتحرر). وضع كاشف الحاجز السطحي SBD في موضع الكاشف البلاستيكي، الذي يستخدم في القياسات الاعتيادية، وعوضاً عنه. طوّرت طريقة فعّالة لقياس تراكيز الثورون البيئي.

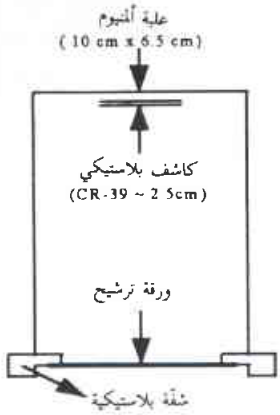
الكلمات المفتاحية: كاشف الحاجز السطحي، مقياس الجرع NRPB، تقنية العلبة، انتشار الرادون والثورون، الترشيح.

مقدمة

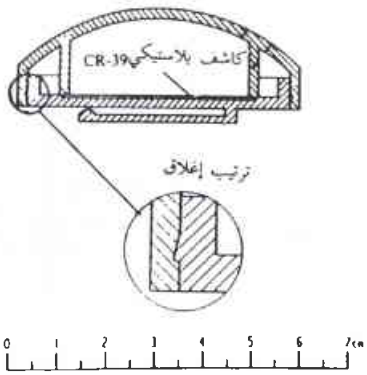
تعتبر الأضرار الصحية الناجمة عن الرادون والثورون ووليداتهما ذات اهتمام واسع بين الناس [1]. أجريت دراسات قليلة حول مستوى غاز الثورون ونواتج تفككه ومشاركتها بالأضرار الصحية [2,3]. تستخدم كواشف الجسم الصلب للأثر النووي بشكل واسع لقياسات الرادون وتعاير عادةً بدفنها داخل مقياس جرع ومن ثم وضع مقياس الجرع في خلية ذات تركيز معلوم لغاز الرادون ولمدة زمنية معينة [4]. فتكون كثافة الآثار النووية على الكاشف هي مقياس التعرض للرادون، وهذا صحيح عندما تكون الفرضية التي تقول بأن الثورون لا يستطيع الانتشار إلى داخل مقياس الجرعة صحيحةً. كان الهدف من هذا العمل هو دراسة مشاركة غاز الثورون في قياسات الرادون، في نوعين مختلفين من مقاييس الجرع، يستخدمان في المنازل وفي الحقول.

التقنيات التجريبية

كان النوع الأول من مقاييس الجرعة الذي استخدم في هذا العمل لتقدير تركيز الرادون في التربة كمقياس لخطر الرادون المحتمل في المنطقة المحيطة، وتسمى هذه الطريقة بتقنية العلبة. يظهر الشكل 1 مقطعاً عرضياً لمقياس الجرعة هذا. يُثبّت كاشف الحاجز السطحي في هذا العمل بشكل محكم في الموقع الطبيعي للكاشف البلاستيكي داخل مقياس الجرعة. وكان مقياس الجرعة الثاني من النوع NRPB المستخدم في مخبر الوقاية الإشعاعية والذي يستخدم عادة لقياس الرادون في المنازل. يظهر الشكل 2 مقطعاً عرضياً لهذا المقياس. وضعت كواشف الحاجز السطحي في أسفل العلب البلاستيكية وثُبّتت بشكل محكم، ثم وضعت كل علبة بدورها داخل أسطوانة محكمة الإغلاق ذات قطر 20 سم وارتفاع 50 سم تحوي وسطاً ممزوجاً بغازَي الثورون والرادون، وتركت لتعدّ لمدة 66 ساعة. ووضع كاشف الحاجز السطحي عارياً، بدون العلبة البلاستيكية، ليعدّ لمدة 66 ساعة. وضع السطح الفاعل في كلا الحالتين على ارتفاع 30سم من المنبع. كما تمت محاولة قياس الثورون في خلية الثورون /الرادون. كانت الفكرة هي سحب حجم معروف من الهواء على ورقة ترشيح (فلتر) ثم مراقبة هذا الفلتر مباشرةً على كاشف الحاجز السطحي.



الشكل 1- مقطع عرضي لمقياس الجرعة نوع العلبة.



الشكل 2- مقطع عرضي لمقياس الجرعة من النوع NRPB.

يمكن حساب التركيز الإشعاعي لـ Bi -212 بقياس المساحة الموجودة تحت قمة Po-212 (8.79MeV) من الطيف الذي حصل (بعد دقيقة واحدة من سحب العينة ولأجل دقيقة عدّ واحدة). وبعد الانتظار لمدة 10 ساعات تموت وليدات الرادون وكذلك الBi-121 التي هي وليدة الثورون وتبقى الوليدة Pb-212 والتي عمرها النصفي 10.6 ساعة. يمكن تحديد تركيز الPb-212 الإشعاعي من المساحة الموجودة تحت

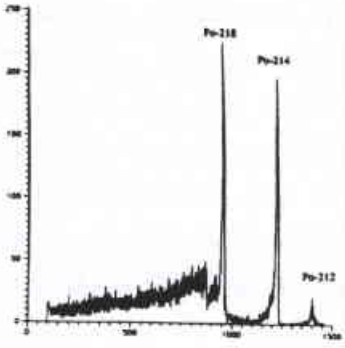
★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Radiation Measurements*, Vol.25, Nos 1-4, pp. 615-616, 1995. ترجمة الباحث ومراجعة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

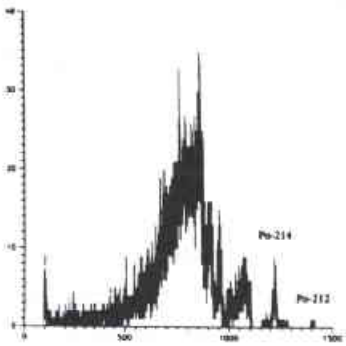
القمتين (Bi-121 والتي لها طاقة مساوية 6.05 MeV والـ Pb-212 ذات الطاقة 8.79MeV).

النتائج والمناقشة

يظهر في الشكلين 3 و 4 الطيفان المستخرجان من المحلِّل المتعدد الأقنية لمشاركة الثورون داخل النوعين المختلفين لمقاييس الجرعة (من النوع

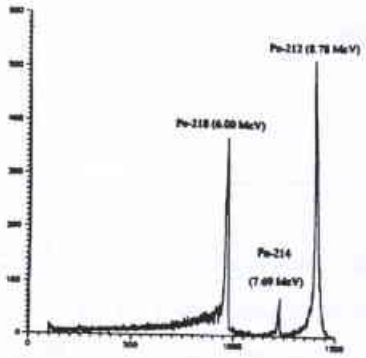


الشكل 3– الطيف الذي حُصِل عليه من كاشف الحاجز السطحي عندما وضع مكان الكاشف البلاستيكي في العلبة.

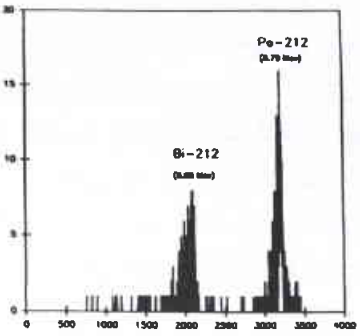


الشكل 4– الطيف الذي حصل عليه من كاشف الحاجز السطحي عندما وضع مكان الكاشف البلاستيكي في مقياس NRPB.

تقنية العلبة والنوع NRPB). كما يظهر الشكل 5 الطيف الذي حُصِل عليه من الكاشف SBD الموضوع عارياً داخل الخلية وعلى نفس الارتفاع



الشكل 5– الطيف الذي حصل عليه من كاشف الحاجز السطحي عندما وضع لوحده دون مقياس.



الشكل 6– الطيف الذي حصل عليه من كاشف الحاجز السطحي لفلتر سحبت عليه عينة هواء.

من المنبع كما ذكر من قبل. بمقارنة هذه الأشكال تبين أن وجود الفلتر على وجه العلبة ينقص من دخول غاز الثورون وكذلك الرادون. كما وجد أن الثورون يجد صعوبة أكبر عند دخوله إلى الـ NRPB. نستنتج من ذلك أن الآثار الملاحظة على الكاشف ليست ناتجة فقط عن الرادون ووليداته بل من الثورون ووليداته أيضاً. يظهر الشكل 6 الطيف المستخرج بعد 10 ساعات من انتهاء سحب الهواء. القمتان الملاحظتان هما جسيمات ألفا الناتجة عن تفكك الـ Pb-212 للوصول إلى Pb-208. وجد من هذا الشكل أن المساحتين تحت القمتين هما 540 و907 على الترتيب. تعطي هاتان النتيجتان النسبة (37.3±1.6)% للقمة الأولى و (62.7±2)% للقمة الثانية.

المراجع REFERENCES

[1] Bigu J. and Raze V. (1984) "Extended capabilities of personal alpha dosimeter as an environmental radon (thoron) daughter continuous monitoring". Radiat. Protec. Dosim. 8, 173-176.

[2] Khan H.A., Tufail M. and Qureshi I.E. (1991) "Migration and distribution of radon/thoron and their daughters in tube dosimeters of different lengths".Nucl. Tracks Radiat. Meas. 19, 351-352.

[3] Bigu J. (1986) "A method for measuring thoron and radon gas concentations using solid-state alpha-particle detectors". Appl. Radiat. Isot. 37, 567-573.

[4] Fleischer R. and Turner (1984) "Passive measurement of working levels and effective diffusion constants of radon daughters by the nuclear track technique". health Phys. 47,9-19.

[5] Nazaroff W. W., Nero a. V. and Revzan K. L., (1982), "Alpha spectroscopic techniques for field measurement of radon daughters", The Natural Radiation Environment, International Symposium on Natural Radiation Environment, New Delhi.■

التغيرات في إنتاج الغاز الحيوي نتيجةً لنسب مختلفة من بعض المخلفات الحيوانية والنباتية*

د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تمت دراسة إنتاج الغاز الحيوي وبعض المؤشرات البيوكيميائية للتخمر اللاهوائي على درجة حرارة 30°C ولمدة 40 يوماً لثماني مجموعات تجريبية من وسط التخمر نتيجة لتأثير عاملين: (1) نوع المخلّف الحيواني (مخلّف أغنام S، ومخلف ماعز G) ، (2) نسبة المخلّف إلى تفل الزيتون ضمن أربعة مستويات (0:100 للمجموعتين S1 و G1، 20:80 للمجموعتين S2 و G2، 40:60 للمجموعتين S3 و G3، 60:40 للمجموعتين S4 و G4). أشارت النتائج إلى وجود انخفاض معنوي ($P<0.05$) في إنتاج الغاز الحيوي بارتفاع نسبة تفل الزيتون عوضاً عن المخلف الحيواني. كما لوحظ ارتفاع معنوي في إنتاج الغاز الحيوي للمجموعة S4 مقارنة مع المجموعة G4 نتيجةً لتأثير نوع المخلف الحيواني. وبلغت كمية الغاز الحيوي المنتج (لتر/كغ مادة طيارة عضوية/40 يوماً): 62 (S1)، (S2) 53، 49 (S3)، 40 (S4)، 58 (G1)، 50 (G2)، 44 (G3)، 25 (G4). تراجع الانخفاض في وزن المادة الصلبة الكلية (TS) والمادة الطيارة العضوية (VS) وألياف المنظف المتعادل (NDF) بشكل معنوي ($P<0.05$) بزيادة نسبة تفل الزيتون في المخمر. وبلغ الانخفاض في VS (% في المادة الجافة تماماً): 58.2 (S1)، 73.8 (S2)، 26.6 (S3)، 22.6 (S4)، 58.1 (G1)، 36 (G2)، 33.4 (G3)، 14.4 (G4). كما بلغت معدلات الطاقة المستهلكة (ميغاجول/كغ مادة جافة تماماً/40 يوماً): 15.36 (S1)، (S2) 10.12، 7.84 (S3)، 6.68 (S4)، 14.16 (G1)، 9.68 (G2)، 8.41 (G3)، 3.29 (G4).

الكلمات المفتاحية: غاز حيوي، مخلّف أغنام، مخلّف ماعز، تفل زيتون، تخمر لاهوائي.

مقدمة

تشكل المخلفات الحيوانية والزراعية نسبة كبيرة من الكتلة الحيوية، وإن استخدامها وتدويرها هام من النواحي الاقتصادية والبيئية. يعدّ التخمر اللاهوائي إحدى العمليات الأكثر انتشاراً لمعالجة هذه المخلفات وتمثل طريقة فعالة لمعاملة المادة العضوية وإنتاج الغاز الحيوي كمصدر بديل للطاقة [2,1]. يعدّ تفل الزيتون وبعض المخلفات الأخرى كسوق نبات القطن وبقايا تقليم الأشجار من المخلفات الزراعية الفقيرة لعدم إمكانية استخدامها منفردةً في تغذية الحيوانات المجترة بسبب وجود كمية مرتفعة من المواد اللغنوسلّولوزية التي لها معامل هضم منخفض [3]. لم توضع هذه المخلفات الخام قيد الاستخدام بشكل نوعي حتى الآن، ماعدا التخلص منها بالحرق على الأغلب مما يسبب مشكلات بيئية مختلفة (تلوث، حرائق). استخدم خشب أشجار الزيتون للتزويد بعجينة الورق [4]. ومن ناحية أخرى يمكن استخدام تفل الزيتون إضافة إلى المخلفات الحيوانية كمصدر للمادة العضوية القابلة للتخمر في تقانات الكتلة الحيوية لإنتاج الغاز الحيوي.

كان الغرض من هذا العمل دراسة الغاز الحيوي المنتج والتغيرات في بعض المؤشرات البيوكيميائية الحاصلة في ثماني مجموعات تجريبية لبيئة التخمر المحتوية على نسب مختلفة من المخلف الحيواني (روث أغنام، روث ماعز) إلى تفل الزيتون.

المواد والطرائق

جمعت مخلّفات روث الأغنام والماعز من مزارع تربية الأغنام والماعز المغذّاة على عليقة محتوية على دريس وتبن وعلف مركّز. لجمع تفل الزيتون كمنتج ثانوي لمعاصر الزيتون تم جمعه من معصرة محلية تستخدم الضغط الهدروليكي والماء والنبذ العالي في عملية الاستخلاص. جفف كل مخلّف في فرن على درجة حرارة 45°C وطحن على 2.5 ملم.

استخدم في الدراسة تصميم كامل العشوائية، ذو نموذج عاملي. استخدم عاملان: (1) نوع المخلّف الحيواني (روث دون بول للأغنام S، وللماعز G)، (2) نسبة المخلّف إلى تفل الزيتون (مادة وزنية جافة) والتي تشكل المستويات الأربعة التالية: 0:100 للمجموعتين S1 و G1، 20:80 للمجموعتين S2 و G2، 40:60 للمجموعتين S3 و G3، 60:40 للمجموعتين S4 و G4.

نفذت التجارب باستخدام ثمانية مخمّرات لاهوائية معزولة، مخمّر واحد لكل من المجموعات التجريبية للمادة المخمرة المدروسة. يتألف كل مخمر من أسطوانة تفاعل زجاجية سعتها 1150 مل وذات حجم عمل 1000 مل، تحتوي على ماء مقطر إضافة إلى مادة صلبة بنسبة 8% (وزن/حجم). كانت فترة الاحتفاظ للتجربة 40 يوماً. تم تحريك المخمرات بشكل متقطع (3 مرات يومياً) وحُفظت على درجة حرارة 30°C في حمام مائي. تم قياس كمية الغاز المنتج يومياً بواسطة محقن

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Bioresource Technology*, 2000.

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

زجاجي تحت ظروف ضغط جوي قدره 761 ملم زئبق ودرجة حرارة 29°C. وقيست يومياً في كل من المخمرات الناقلية الكهربائية EC ودرجة الحموضة pH والمواد الصلبة الذائبة الكلية TDS. كما تم حساب الانخفاضات في المادة الصلبة الكلية TS والمادة الطيارة العضوية VS وألياف المنظف المتعادل NDF والنتروجين الكلي N والطاقة الكلية GE خلال الفترة التجريبية. قُدِّر الرماد الخام حسب [5] لتحديد محتوى المادة الطيارة العضوية. وقُدِّر النتروجين الكلي حسب [6]. حدد محتوى ألياف المنظف المتعادل باستخدام طريقة فان سوست [7]، وقُدِّرت الطاقة الكلية بواسطة المسعر الحراري (HC 10، شركة HAAKE). تمّ إخضاع النتائج إلى تحليل التباين (ANOVA) باستخدام برنامج Statview II وأقل فرق معنوي محمي حسب فيشر (LSD) عند مستوى ثقة 0.05.

النتائج والمناقشة

لوحظت أربع مراحل خلال توليد الغاز (الجدول 1) ويمكن ربطها بأربع مراحل تخمر لاهوائي للمادة العضوية (مرحلة الحلّمهة hydrolysis، مرحلة إنتاج الأسيتات acetogenesis، مرحلة بداية إنتاج الميتان pre-methanogenesis (outset of methanogenesis)، مرحلة إنتاج الميتان methanogenesis. أشارت النتائج إلى أن أعلى كمية لإنتاج الغاز حصلت خلال الفترة 29–40 يوماً. ومن جهة أخرى انخفض إنتاج الغاز بشكل معنوي ($P<0.05$) بزيادة كمية تفل الزيتون في وسط التخمر المحتوي على مخلفات الأغنام أو الماعز. وارتبطت التغيرات في إنتاج الغاز مع التغيرات في قيم كل من pH، EC و TDS (الجدول 2)، ومع اختلاف الانخفاضات في المادة الطيارة والصلبة الكلية خلال مرحلة التخمر. ويمكن أن يُعزى انخفاض درجة الحموضة pH إلى الزيادة في تفل الزيتون المحتوي على كمية مرتفعة من المواد اللغنوسلّولوزية وإلى الانخفاضات في معدل تهدم مواد VS و TS في المخمرات. أشار [8] إلى أن تغير درجة الحموضة pH يعد عاملاً محدداً لتطور مراحل التخمر بسبب تأثيره على مجريات التفاعلات الكيميائية الحيوية لنظام التخمر. تفضل مرحلة إنتاج الميتان درجة pH تراوح بين 6.4 و 7.2 [9]. وبناءً عليه، كان للانخفاضات في قيم pH و EC و TDS الظاهرة في تجاربنا تأثيرات سلبية على إنتاج الغاز وعلى فعالية الأحياء الدقيقة المنتجة للأحماض الدهنية الطيارة في وسط التخمر.

الجدول 1– التغيرات في إنتاج الغاز (مل/يوم) خلال مراحل التخمر المختلفة تحت تأثير نوع المخلف الحيواني ونسبة مخلف الأغنام (S) أو مخلف الماعز (G) إلى تفل الزيتون.

	مرحلة أولى (0-7 d)			مرحلة ثانية (8-23 d)			مرحلة ثالثة (24-28 d)			مرحلة رابعة (29-40 d)		
تفل زيتون/مخلف	S	G	LSD	S	G	LSD	S	G	LSD	S	G	LSD
100 / 0	12±11	12±11	12	61± 7	58±10	6	107± 9	104±10	14	214± 7	208±13	9
80 / 20	15±11	14±12	13	52±11	49± 8	7	105± 7	104± 7	10	195±11	192±11	9
60 / 40	9± 7	11± 9	9	52± 7	46± 7	5	112± 8	109±10	13	177±12	161±11	10
40 / 60	6± 5	5±5	5	43±10	36± 8	7	103± 8	67± 9	12	143± 7	84±11	8
LSD	10	10		6	6		10	12		8	9	

تعبر القيم عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري. LSD: أقل فرق معنوي بحدود ثقة 5%.

الجدول 2– التغيرات في درجة الحموضة (pH) والناقلية الكهربائية (EC, ms) والمادة الصلبة المنحلة الكلية (TDS, ppm) خلال مراحل التخمر الأربع تحت تأثير نسب مختلفة من مخلّف الأغنام (S) أو الماعز (G) إلى تفل الزيتون في وسط التخمر. (S1, G1 = 100:0; S2, G2 = 80:20; S3,G3 = 60:40; S4, G4 = 40:60).

	مرحلة	S1	S2	S3	S4	LSD	G1	G2	G3	G4	LSD
pH	(1-7 d)	5.99±0.31	5.90±0.30	5.88±0.37	5.48±0.20	0.33	5.77±0.18	5.62±0.24	5.46±0.22	5.38±0.21	0.24
	(8-23 d)	5.56±0.04	5.45±0.06	5.41±0.08	5.28±0.04	0.04	5.56±0.03	5.34±0.05	5.26±0.03	5.23±0.04	0.03
	(24-28 d)	5.64±0.09	5.73±0.19	5.64±0.15	5.40±0.12	0.19	5.65±0.08	5.76±0.23	5.37±0.07	5.28±0.08	0.17
	(29-40 d)	6.53±0.16	6.55±0.11	6.48±0.09	6.09±0.21	0.13	6.43±0.21	6.37±0.21	6.28±0.22	5.23±0.08	0.16
EC	(1-7 d)	5.04±0.59	4.62±0.56	3.92±0.53	3.04±0.35	0.57	5.98±0.50	4.34±0.34	3.28±0.30	2.57±0.20	0.39
	(8-23 d)	6.69±0.20	5.85±0.20	4.65±0.14	3.53±0.14	0.14	7.13±0.58	4.82±0.07	3.81±0.14	3.00±0.10	0.21
	(24-28 d)	6.57±0.33	4.69±0.29	3.69±0.45	3.38±0.21	0.44	7.03±0.31	4.89±0.63	3.96±0.27	3.38±0.52	0.62
	(29-40 d)	5.23±0.74	3.79±0.24	3.15±0.15	2.19±0.45	0.38	2.99±0.72	3.06±0.42	2.89±0.37	2.96±0.24	0.39
TDS	(1-7 d)	2531±298	2311±284	1967±265	1519±178	287	2993±249	2166±171	1657±143	1291±107	193
	(8-23 d)	3355±146	2927±102	2338± 58	1766± 71	71	3569±290	2416± 34	1908± 70	1503± 47	107
	(24-28 d)	3288±104	2296±117	1846±215	1688±104	192	3492± 84	2692±658	1972±102	1546± 48	451
	(29-40 d)	2617±380	1893±121	1578± 79	1092±221	191	1572±516	1526±208	1446±184	1484±126	247

تعبر القيم عن المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري. LSD: أقل فرق معنوي بحدود ثقة 5%.

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

انخفض إنتاج الغاز خلال كامل الفترة التجريبية بشكل معنوي ($P < 0.05$) في المعاملة S4 مقارنة مع المعاملة S1 وكذلك في المعاملة G4 مقارنة مع المعاملات G1 و G2 و G3 عند زيادة نسبة تفل الزيتون في وسط التخمر. وبلغت كمية الغاز المنتج (لتر/كغ مادة طيارة عضوية/40 يوماً): 62 (S1)، 53 (S2)، 49 (S3)، 40 (S4)، 58 (G1)، 50 (G2)، 44 (G3) و 25 (G4). كما أشارت النتائج إلى وجود انخفاض معنوي في إنتاج الغاز فقط للمعاملة G4 مقارنة مع المعاملة S4 نتيجةً لتأثير نوع المخلّف الحيواني. ويمكن أن يعود هذا إلى الانخفاض في قيم pH في المخمّرات. ويمكن أن يعود ذلك إلى الكمية المرتفعة للمواد اللغنوسلّولوزية واللغنين في تفل الزيتون ذات معامل الهضم المنخفض [10].

بلغت معدلات الطاقة المستهلكة (ميغا جول/كغ مادة جافة/40 يوماً): 15.36 (S1)، 10.12 (S2)، 7.84 (S3)، 6.68 (S4)، 14.16 (G1)، 9.68 (G2)، 8.41 (G3) و 3.29 (G4). انخفض معدل تهدم النتروجين والطاقة المستهلكة ويمكن أن يدل هذا على أن الأحياء الدقيقة كانت أقل نشاطاً في المخمّرات المحتوية على نسبة عالية من تفل الزيتون. وهذا غالباً ما يعزى إلى نقص المادة العضوية القابلة للتخمر المتاحة في وسط التخمر،

الجدول 3- نسبة الانخفاض (%) للمعايرة المدروسة تحت تأثير نسب مختلفة من مخلّف الأغنام (S) أو الماعز (G) إلى تفل الزيتون في وسط التخمر. (S1, G1 = 100:0; S2, G2 = 80:20; S3,G4 = 60:40; S4, G4 = 40:60).

	S1	S2	S3	S4	G1	G2	G3	G4
TS	72.6	48.2	33.8	27.5	71.3	43.2	37.6	16.3
VS	58.2	37.8	26.6	22.6	58.1	36.0	33.4	14.4
NDF	41.1	23.0	16.9	9.8	42.0	26.1	19.0	8.6
N	57.5	47.7	36.0	34.3	46.6	42.7	37.0	20.1
GE	31.2	20.3	15.4	13.1	29.2	19.7	16.8	6.5

المادة الصلبة الكلية: TS، المادة الصلبة الطيارة: VS، ألياف المنظف المتعادل: NDF، النتروجين N، الطاقة الكلية: GE.

المرحلة الرابعة للمجموعة G4 (pH = 5.23) مقارنةً مع المجموعة S4 (pH = 6.09). ومن ناحية أخرى ، يمكن أن يعود الانخفاض في إنتاج الغاز بسبب زيادة نسبة تفل الزيتون في المخمرات، إلى الاختلاف في معدل الانخفاضات لكل من TS و VS و NDF والطاقة (الجدول 3). تراجع الانخفاض في كل من TS و VS مع زيادة نسبة تفل الزيتون في وهو نقص يحدث عند زيادة مستويات المواد اللغنوسلّولوزية التي لها معدل هدم منخفض.

نوصي باستخدام كلٍّ من المخلفات الحيوانية والزراعية في تقانات الكتلة الحيوية لمبررات اقتصادية وبيئية. وهذا يمكّن من خفض التلوث ويزوّد بمصدر طاقة بديل للمناطق الريفية في البلدان النامية.

REFERENCES المراجع

[1] Saha, S. L., 1994. Promoting use of bio-gas in India. Electrical India 34, 13-16.

[2] Augenstein, D., Benemann, J., Hughes, E., 1994. Electricity from biogas. 6th. National Bioenergy Conf., 2-6 October, Reno, NV, United States.

[3] Al-Masri, M. R., Guenther, K. D., 1995. The effect of gamma irradiation on in vitro digestible energy of some agricultural residues. Das wirtschaftseigene Futter 41, 61-68.

[4] Jimenez, L., Perez, I., de la Torre, M. J., Garcia, J. C., 1999. The effect of processing variables on the soda pulping of olive tree wood. Bioresource Technol. 69, 95-102.

[5] Naumman, C., Bassler, R., 1976. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Methodenbuch Band III, 6-2. Neumann-Neudamm, Berlin, p.1.

[6] AACC. 1983. Crude Protein-improved Kjeldahl method for nitrate-free samples. In: Approved Methods of the American Association Cereal Chemists, vol. 2, Method 46-11, pp. 1-3.

[7] Goering, H. K., Van Soest, P. J., 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). In: Agriculture Handbook No. 379. Agricultural Research Service, U.S.A.

[8] Uribe, M., Juan, M., 1993. Evaluation of the production of biogas from the vegetative material of prickly pear, through a metanic fermentation process. Chile Univ., Santiago, Esc, De Agronomia, p.51.

[9] Farquhar, G. J., Rovers, F. A., 1973. Gas production during refuse decomposition. Water Air Soil Pollution 2, 483-495.

[10] Al-Masri, M. R., Zarkawi, M., 1994. Effects of gamma irradiation on cell-wall constituents of some agricultural residues. Radiat. Phys. Chem. 44, 661-663.■

زلزال بيروت في 9 تموز عام 551 م، منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط*

رياض الدراوشة – محمد رضا سيناتي
قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية
كلوديو مارغوتيني – سلفادور باوليني
الوكالة الإيطالية للتقانات الحديثة والطاقة والبيئة – روما – إيطاليا

ملخص

كشف تحليل المصادر البيزنطية الأولية والثانوية الهادف إلى دراسة الزلازل التاريخية في منطقتي سورية ولبنان أن زلزالاً كبيراً قدره 7.2 حدث في 9 تموز عام 551 م على طول الساحل اللبناني، وأثّر في منطقة واسعة جداً في شرق البحر المتوسط. بيّنت الدراسة أن عمق بؤرة هذا الزلزال ضحلة أيضاً، وأنه ترافق بحدوث أمواج بحرية مدّية على طول الساحل اللبناني، وانزلاق أرضي قرب مدينة البترون، واندلاع حريق كبير في مدينة بيروت. كما سبّب دماراً واسعاً وخسائر بشرية كبيرة في مدن الساحل اللبناني، لاسيما بيروت. وقُدّرت شدة هذا الزلزال فيها بين 9 و 10 وفق مقياس الشدة الزلزالية الأوربي لعام 1992. ومن ناحية ثانية، حُدّد المركز السطحي للزلزال قرب مدينة بيروت وكانت إحداثياته 34.00 درجة شمالاً و 35.50 درجة شرقاً، مما يشير إلى أنه نَجَم عن نشاط صدع الروم الانزياحي المضربي اليساري في جنوب لبنان.

الكلمات المفتاحية: علم الزلازل، زلازل تاريخية، مصادر تاريخية أصيلة، لبنان.

مقدمة

تقود دراسة زلزال تاريخي يتراوح قدره بين المتوسط والكبير في أية منطقة، إلى معرفة قيم بارامتراته (مثل: تاريخ حدوثه، وإحداثيات وقوعه، وشدته، وقدره) عندما تتوفر المصادر التاريخية، مما يساهم في تحديد الصدع النشط المسبّب لحدوثه. وستستخدم هذه القيم مع القيم الأخرى للكثير من الزلازل التاريخية في المنطقة في تقدير الخطر الزلزالي في مواقع محددة على المقياسين المحلي والإقليمي.

تعالج هذه الورقة زلزال عام 551 م الذي اعتبرته إدارة المسح الجيولوجي الأمريكية ومنظمة اليونيسكو الحادثة الزلزالية الأكبر قدراً في منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط [1].

وقد ذكرت السجلات الزلزالية التاريخية لفترة ما قبل عام 1900 هذا الزلزال، مثل سجلات بونيتو وبيريّه [2 ، 3]. كما أُدرج في سجلات زلازل القرن العشرين، فقد قدّم سيبرغ [4] أول دراسة علمية عنه واصفاً آثاره في منطقة شرق المتوسط. أمّا عاميران [5] الذي استخدم مصدراً غير معاصر فقدّر شدته بتسع درجات أو أكثر على مقياس ميركالي – كانكاني. واستخدم بن مناحيم [6] سجلات زلزالية تاريخية لتعيين مركزه السطحي قرب شاطىء بيروت، في حين قام كل من بلاسرد و كوجوج [7] باستعراض أربعة مصادر تاريخية لوصف تأثيراته في بيروت. أما أبو كارَكي [8] فقد اعتبره حادثة مكررة كان تاريخ حدوثها الصحيح، كما يراه، عام 1156 م، وعلل رأيه هذا بخطأ في تحديد تاريخه بين التقويمين الهجري والميلادي، ولكنه لم يقدّم أي دليل يؤيد ذلك. وحدّد راسل [9] نطاق الدمار الذي سبّبه الزلزال بدءاً من فلسطين ومروراً بمنطقة شمال غرب الجزيرة العربية، وذلك بالاعتماد على مصدرين غير معاصرين، ومناقشة مصدرٍ ثالثٍ معاصر. وقد نوه إلى أن الدمار الذي حصل في جرش، وجبل النبأ، والبتراء، وقلعة ليجون (وهي مواقع أثرية في غرب الأردن)، والذي أشار إلى وقوعه جراء زلزال عام 551 م كل من كروفوت [10]، وسالر وباغاتي [11]، وهاموند [12]، وباركر [13،14] يمكن أن يكون خطأً في التفسير. لكن أمبراسيز وآخرين ذكروا مؤخراً [15] أن الزلزال قد ضرب فلسطين وشُعِر به على نطاق واسع، كما اقترحوا أن يكون مركزه في وادي انهدام الأردن. وفي غضون ذلك قدّمت غويدوبوني [16]، وغويدوبوني وآخرون [17] ثلاثة نصوص تاريخية أصيلة للزلزال تبيّن المنطقة المتأثرة على طول الساحل اللبناني، مشيرة في الوقت ذاته إلى أن مركزه السطحي يقع قرب شاطىء بيروت.

يبيّن الجدول 1 البارامترات المتوفرة عن الزلزال كما حَدّد قيمها بعض المؤلفين المذكورين أعلاه.

وعلى الرغم من أن معظم الأعمال السابقة قيّمة، قمنا بإعادة دراسة الزلزال وتقييمه لسببين أساسيين: (أولاً) حين نستعرض نتائج غويدوبوني وآخرين [17]، و أمبراسيز وآخرين [15] نجد تعارضاً واضحاً في موقع مركزه السطحي؛ و(ثانياً) لم يقم أي من المؤلفين المذكورين بتحديد قيم البارامترات الكاملة له رغم فداحة تأثيره التدميري في المنطقة.

وبناءً عليه كان لابد من إجراء دراسة تفصيلية جديدة لهذا الزلزال، وذلك (أولاً) لتحديد قيم بارامتراته الكاملة من خلال تحليل النصوص التاريخية الأصيلة بتطبيق الطرائق التحليلية الحديثة للقدر والشدة الزلزاليين؛ و(ثانياً) لاقتراح الصدع المسبّب له؛ و(ثالثاً) لوصف ما حدث خلاله في

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Journal of Earthquake Engineering*, 5 June, 2000.

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

الجدول 1 - يلخص بارامترات زلزال 9 تموز عام 551 م المتوفرة بحسب المراجع السابقة.

المؤلف(ون)	تاريخ الزلزال	إحداثيات المركز السطحي شمال - شرق	الشدة الزلزالية	القدر
سيبرغ [1932]	9 تموز 551	/	/	/
بن مناحيم [1979]	9 تموز 551	/	Io = XI-X (MM)	M_L = 7.8
بلاسرد وكوجوج [1981]	6 تموز 551	/	I = XII (Lebanese scale)	/
روسيل [1985]	9 تموز 551	/	/	/
أمبراسيز وآخرون [1994]	9 تموز 551	36.0 - 32.0	I ≤ VI (MSK)	/
غيودوبوني وآخرون [1994]	9 تموز 551	/	I = X (EMS)	/

ML: قدر الزلزال على مقياس العالِم ريختر لعام 1935.
Io: الشدة الزلزالية العظمى، وتكون في المركز السطحي للزلزال.
(MM): مقياس الشدة الزلزالية المعدّل من قِبَل العالِم ميركالي في عام 1956.
(MSK): مقياس الشدة الزلزالية المقترح في عام 1964م من قبل العلماء مدفديف وسبونهور و كارنيك.
(EMS): مقياس الشدة الزلزالية الأوربي المعدّ من قِبَل غرونثال عام 1992.

مدن الساحِل اللبناني بشكل عام وبيروت بشكل خاص، في هذه المنطقة التي شهدت هدوءاً نسبياً في النشاط الزلزالي في القرن العشرين.

الوضع السيسموتكتوني (التكتوني الزلزالي)

تقع المنطقة التي حدث فيها زلزال عام 551 م في الجزء الشمالي من الصفيحة العربية. ويحد هذه الصفيحة غرباً منظومة صدع المشرق الانزياحي المضرب اليساري ذات الاتجاه (شمال - جنوب)، ويحدها من الشمال درز بيتلس ومنظومة صدع شرق الأناضول الانزياحي المضرب اليساري [18]. وقدّر [19] الحركة اليسارية النسبية على طول صدع المشرق بحوالي 4 إلى 6 مم/سنة. وتؤدي هذه الحركة إلى تصادم الصفيحة العربية بالصفيحة الأوراسية.

ويمتد صدع المشرق مسافة ألف كم بدءاً من خليج العقبة جنوباً حتى قرب إنطاكية في أقصى الشمال الغربي من سورية. ويتألف في لبنان من صدعين رئيسين هما صدع اليمونة الذي يمتد عبر وادي البقاع الغربي وفق الاتجاه: شمال 30 شرق، وصدع الروم الذي يمتد لأكثر من 50 كم من منخفض الحولة حتى مدينة بيروت وفق الاتجاه: شمال 7 غرب. أما في سورية فيتمثل صدع المشرق بصدع الغاب انزياحي المضرب ذي الاتجاه: (شمال - جنوب)، ويقطع منظومة صدع شرق الأناضول في شمال مدينة إنطاكية [20]. يبيّن الشكل 1 الصدوع الرئيسة المشكلة لمنظومة صدع المشرق في لبنان وسورية.

بيّن الرصد الزلزالي الآلي خلال القرن العشرين أن لبنان وغرب سورية يتمتعان بنشاط زلزالي متوسط [21] يتركّز على طول الفروع الرئيسة المشكّلة لصدع المشرق. وقد حدث مؤخراً نشاطان زلزاليان متوسطا القدر نجما عن حركة صدع الروم وشُعِر بهما في جنوب لبنان وغرب دمشق. وتمثل النشاط الأول بهزتين وقعتا في 26 آذار عام 1997 (عند الساعة الرابعة واثنتين وعشرين دقيقة صباحاً، والساعة الثالثة عشرة وعشرين دقيقة حسب التوقيت العالمي) وكان قدراهما 4.9 و 4.5 على التوالي [22]، بينما تمثل النشاط الثاني بهزة وقعت يوم 20 حزيران عام 1999 (عند الساعة العاشرة وأربع وأربعين دقيقة حسب التوقيت العالمي) وكان قدرها 3.4 [23].

مما سبق يمكن القول إن صدع الروم نشط وقادر على توليد زلازل. من جانب آخر، كان الامتداد الشمالي لصدع المشرق عبر التاريخ مسرحاً للكثير من الزلازل الكبيرة التي تساوي شدتها 6.5 درجات أو تزيد [24, 20] مع فترة تكرار فيما بينها قدّرت بين 200 و350 سنة [20].

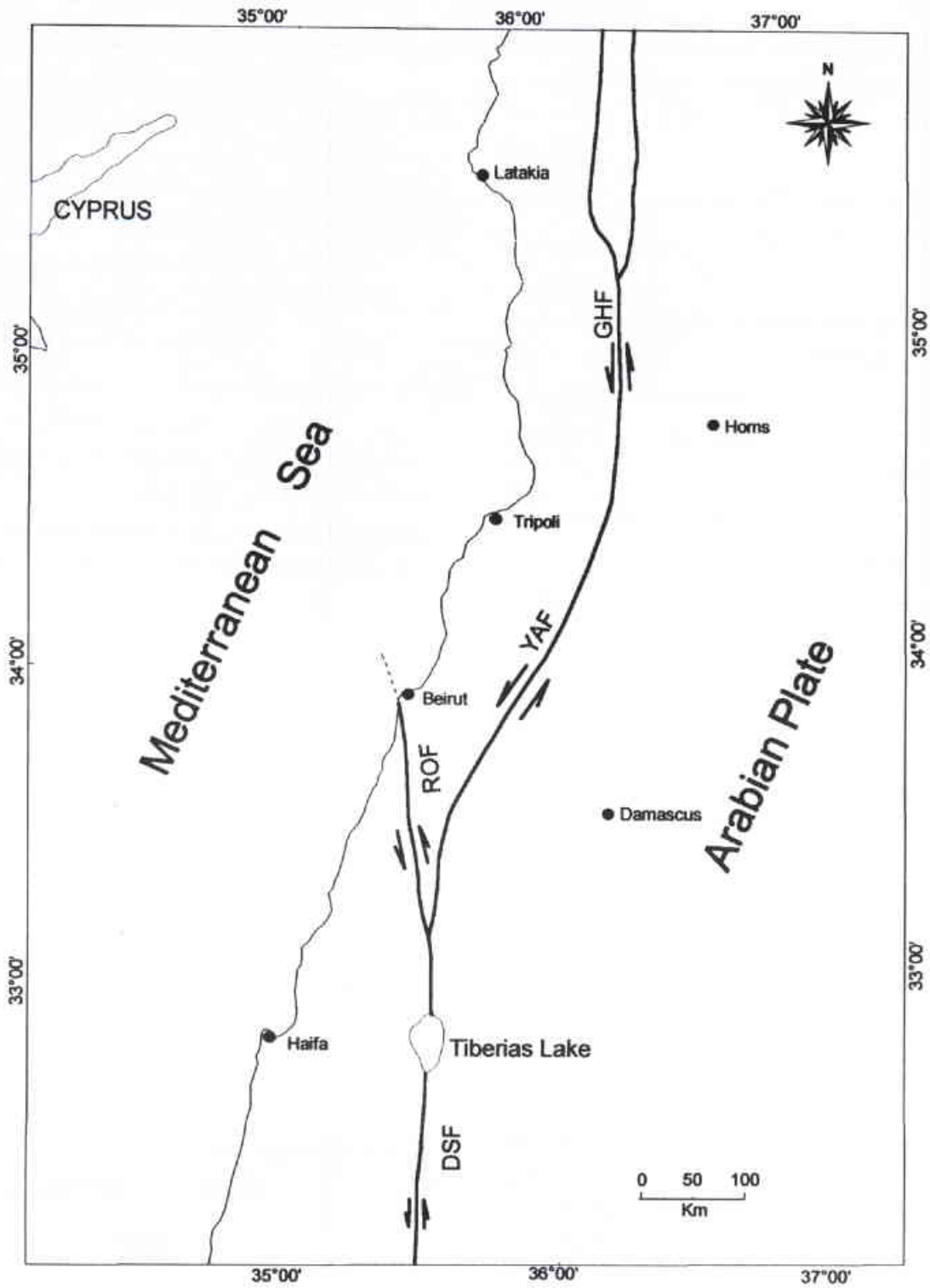
تتمثل أهمية زلزال عام 551 م في أن لبنان وغرب سورية أظهرا هدوءاً نسبياً في النشاط الزلزالي خلال القرن العشرين، وأن أغلب التجمعات السكانية الرئيسة والفعاليات الاقتصادية فيهما تقع بالقرب من صدوع اليمونة والغاب والروم.

منهجية الدراسة ومصادر المعلومات

يتوفر حالياً في الأدبيات العلمية الكثير من تفاصيل منهجية دراسة الزلازل التاريخية [25، 26، 27، 28، 29]. ولدراسة زلزال العام 551 م قمنا بجمع المعطيات الماكرو زلزالية كافة من المصادر المتوفرة في مركزي توثيق تاريخيين هما مكتبة الفاتيكان والمعهد الكنسي للدراسات الشرقية في روما. وبعد مراجعة هذه المعطيات قمنا بدراستها بهدف إعادة تحديد قيم بارامترات الزلزال باستخدام العلاقات التجريبية ذات الصلة.

لقد كانت مصادر معلوماتنا عن زلزال عام 551 م وثائق تاريخية لمؤرخين معروفين عاصروه زمنياً مثل: مالالاس (491-578 م)، وأغاسياس (532 - 580 م)، والمطران يوحنا الإفيسوسي (507 - 586 م)، ويضاف إلى ذلك يوميات للرحالة أنطونينوس، الذي زار جزءاً من المنطقة المتأثرة بُعيد حدوث الزلزال، وتعود هذه اليوميات لما بين عامي 560 و570م. كما

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



الشكل 1– الصدوع الرئيسة لمنظومة صدع المشرق في لبنان وسورية. لاحظ أن YAF: صدع اليمونة، و ROF: صدع الروم، و GHF: صدع الغاب، و DSF: صدع البحر الميت.

استخدمنا المصدر (De Fragmentis Historicis Tuscolanis) الذي كتبه مؤرخ أغفل ذكر اسمه، والذي يعود لما بين القرنين السادس والسابع الميلاديين. ومن الطبيعي أن تكون هذه المصادر موجودة على شكل اقتباسات ضمن وثائق لكتّاب لاحقين. وباستثناء المصدر الأخير، قامت غويدوبوني وآخرون [17] بتوثيق المصادر المتبقية. كما استخدمنا مصدراً تاريخياً يعود لأواخر القرن التاسع الميلادي وهو: (Chronicon pseudo-Dionisyaum). ورغم كونه مصدراً لاحقاً للزلزال إلا أنه جاء على ذكر مواقع متضرّرة لم يذكرها بقية المؤرخين.

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

ورغم أن بعض هذه المصادر تتضمن إشكالات عديدة، إلا أنها تحتوي على نصوص وصفية جيدة للزلزال مع آثاره الفيزيائية.

وقد تحاشينا استخدام مصادر بيزنطية غير معاصرة للزلزال مثل ثيوفان (758-818م)، و جيورجيوس موناشوس (في القرن التاسع الميلادي)، وجيورجيوس شيدرينوس (1081-1118 م)، وميخائيل السوري (1126-1199 م). والسبب في ذلك يعود إلى أن المادة التاريخية لهؤلاء المؤرخين الخمسة ذات أصول أصيلة، وبالتالي لا تقدّم أي جديد للعمل.

بيد أننا نعتقد أن المعلومات التاريخية المتوفرة عن هذا الزلزال كافية للسماح لنا بتشكيل صورة عنه بما فيها بارامتراته.

ونقدّم فيما يلي قائمة بمصادر المعلومات التاريخية الأصيلة والثانوية المتوفرة عن زلزال 551 م:

- Agathias Scholasticus, Historiarum libri quinque, ed. J. P. Migne, PG, 88, Paris, 1864.
- Antoninus Placentinus, Itinera Hierosolymitana saec, IV - VIII, ed. P. Geyer, CSEL 39, Praha- Wien - Leipzig, 1898.
- Chronicon Pseudo - Dionisyanum, tr. Hespel, Corpus Scriptorum Christianorum Orientalium, Script. Syri, t. 213, Louvain, 1989.
- De Fragmentis Historicis Tuscolanis, ed. J.P. Migne, PG, 85, Paris, 1864.
- Georgius Cedrenus, Compendium Historiarum, ed. J.P. Migne, PG, 121, Paris, 1894.
- Georgius Monachus, Chronicon, ed. J.P. Migne, PG, 110, Paris, 1863.
- John of Ephesus, Joannis Ephesini episcopi Commentarii de beatis orientalibus et Historiae ecclesiaticae fragmenta, tran. W.J. Van Douwen and J.P.N. Land, Amsterdam, 1889.
- John Malalas, The Chronicle, tr. E. Jeffrey, M. Jeffrey, R. Scott, Melbourne, 1986.
- Michael the Syrian, Chronicle, ed. and French tr. J.-B. Chabot, Chronique de Michel le Syrien, Paris, 1899 - 1910.

Theophanes, Chronographia, ed. C. De Boor, 1, Leipzig, 1883.

قصة الزلزال وتحليل المعطيات

ما يزال التاريخ الدقيق لهذا الزلزال موضع شك وارتياب. إلا أن عملية التأريخ عند ثيوفان من خلال عمله (Chronographia) تُعدّ الأكثر موثوقية لأنه استنتج التاريخ من إحدى الإصدارات الأولى للمؤرخ مالالاس على الأغلب.

ففي يوم 9 تموز عام 551 م، وخلال حكم الإمبراطور البيزنطي جوستنيان (527 - 565 م) ضرب زلزال مدمر العديد من المدن على طول الساحل اللبناني مثل بيريتوس (بيروت حالياً)

[Malalas, John of Ephesus, Agathias, Antoninus, De Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum].

وطرابلس

[Malalas, Antoninus, De Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum].

وصيدون (صيدا حالياً)

[Malalas, De Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum].

وبيبلوس (جبيل حالياً)

[Malalas, Antoninus, De Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum].

وبوتريس (البترون حالياً)

[Malalas, De Fragmentis Historicis Tuscolanis].

وتيروس (صور حالياً)

[Malalas, De Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum].

وقد حمل ذلك الإمبراطور على إصدار أوامره بإرسال مساعدات مادية عاجلة لإعادة بناء تلك المدن [Malalas]. علاوة على ذلك، يذكر المصدر [De Fragmentis Historicis Tuscolanis] الذي يعود إلى القرنين السابع والثامن الميلاديين سقوط 101 بلدة تقع إلى جوار هذه المدن دون ذكر أسمائها، كما يذكر مقتل عدد كبير جداً من الناس، ونفوق الكثير من الحيوانات.

لقد كانت تفاصيل وصف آثار الزلزال في مدن الساحل اللبناني والمناطق الأخرى المتأثرة مقتضبة للغاية، باستثناء ما جرى لمدينة بيروت حيث سقطت أغلب الأبنية بما فيها المشهورة، ودفن عدد كبير من الناس تحت الحُطام [Agathias]. وقال مطران بيروت، الشاهد على الزلزال، إن الزلزال أدى إلى مقتل 30 ألف نسمة بالإضافة إلى المقيمين الأجانب [Antoninus]. وقد يكون هذا الرقم مقبولاً لمدينة بيروت التي كانت مزدهرة آنذاك ازدهاراً جعلها تُدعى لؤلؤة الساحل الفينيقي. أما الذين نجوا من الزلزال فقد ماتوا عطشاً بعد تهدم قناة مياه الشرب في بيروت كما يذكر [John of Ephesus]. ويضيف ذات المصدر خبر اندلاع حريق كبير استمر مدة شهرين على الأغلب. وقد دُمّرت مدرسة الحقوق في بيروت، وهي إحدى أهم المعالم الرئيسة فيها، مما استدعى نقلها مؤقتاً إلى صيدا [Agathias]. كما ذكر أن حدوث الزلزال ترافق بتراجع مياه البحر لمسافة ميل، ثم عودتها ثانية مما تسبب في غرق العديد من السفن الراسية [Malalas]. ويصف [John of Ephesus] هذه الظاهرة بشكل أكثر تفصيلاً إذ يقول: "تراجع البحر لمسافة ميلين تقريباً قبل وقوع الزلزال، فاندفع الناس إلى قعر البحر للبحث عن الكنوز في السفن الغارقة، لكن موجة بحرية كبيرة عادت مؤدية إلى غمر الشاطىء وغرق السفن فضلاً عن الناس الذين كانوا في قعر البحر وعلى طول الساحل".

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

ورغم غرابة هذا الوصف وصعوبة إثبات صحّته، فالملاحظ هو أن الزلزال قد ترافق بحدوث ما يسمى الموجه المدّية "تسونامي". وقد انتشرت هذه الأخبار المرعبة عن بيروت في كل أصقاع الإمبراطورية، حتى أن شاعر القرن السادس الميلادي الإسباني جون باربا كالوس نظم قصيدة رثاء بحق بيروت [30]. واعتماداً على المعطيات المتوفرة حول هذه المدينة، يمكن تقدير قيمة الشدة الزلزالية فيها بين 9 و 10 وفقاً لمقياس الشدة الزلزالية الأوربي لعام 1992. وقد ذكرت المصادر التاريخية أن بيروت كانت في حالة تُرثى لها فسَهُل على الفرس والبيزنطيين والعرب غزوُها سنة 600 م [31].

أما مدينة صيدا فقد عانت، وقُتل فيها عدد كبير من الناس [Malalas]. إلا أن عملية نقل مدرسة الحقوق من بيروت إليها [Agathias] توحي بأن درجة الدمار فيها كانت أقل من بيروت، مما يمكن أن يشير إلى أن قيمة الشدة الزلزالية فيها تراوحت بين 7 و 8.

أما في مدينة البترون فقد انفصل جزء من جبل "ليثوبروسبوس" وسقط في البحر مشكلاً ميناء [Malalas]. ويؤكد هذا الوصف حدوث انزلاق أرضي محلي في هذه المدينة. وقد تدمرت مدن بيبلوس وصور وطرابلس وقُتل السكان فيها [Malalas, Antoninus, De Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum]، ولقيت مدينة تريريس (شكّا حالياً) المصير ذاته [Antoninus]. ورغم أن وصف تأثير الزلزال كان مقتضباً في هذه المدن، إلا أننا منحناها قيمة شدة زلزالية تتراوح بين 9 و 10 لاعتبارات جغرافية. ولم يذكر [Antoninus] أي نوع من الدمار في جزيرة أنثريدوس الواقعة قرب سورية (والمرجح أن تكون جزيرة أرواد)، وقد بلغها في طريقه إلى الأراضي المقدسة. فإذا أخذنا بعين الاعتبار أن الزلزال قد شُعِر به في مدينة إنطاكية الأبعد إلى الشمال من جزيرة أرواد، وأن هذه الجزيرة صغيرة إلى الدرجة التي لم تسمح له بمشاهدة أي تأثير ملفت للنظر للزلزال عليها، فإننا نعتقد أن تأثيره على سكان الجزيرة اقتصر على إحساسهم به فقط.

ويذكر المصدر التاريخي [Chronicon pseudo - Dionisyanum] أن الزلزال قد دمر مدينة صاريبتا (صرفند حالياً) وقتل سكانها. ورغم أن هذا المصدر غير معاصر للحدث بل بعيد عنه زمنياً، فهو يعود إلى القرن الثامن الميلادي، ولذلك يجب الأخذ به بنوع من الحيطة، إلا أننا نعتقد أن الزلزال قد أثّر في صرفند لأنها تقع بين صيدا وصور. وإذا ما كان الأمر كذلك فعلاً، فيمكن أن تكون قيمة الشدة الزلزالية فيها قد تراوحت بين 7و8 (؟).

كان الزلزال كبيراً في أرض فلسطين [Malalas, De Fragmentis Historicis Tuscolanis]، حيث دُمّرت مدن وقرى كثيرة غير مذكورة الاسم في المصدرين السابقين في الجليل والسامرة [John of Ephesus, Chronicon pseudo - Dionisyanum]. وحدث الأمر ذاته شرقاً في مقاطعة العرب (الأردن حالياً) [Malalas, John of Ephesus, De. Fragmentis Historicis Tuscolanis, Chronicon pseudo - Dionisyanum] وتشير الشواهد الأثرية إلى أن زلزال عام 551 م هو المسؤول عن الدمار الحاصل في العديد من المواقع التاريخية في الأردن كجرش وجبل النبأ وقلعة ليجون والبتراء [10-15]. بيد أننا لا نستطيع التثبّت من صحة الدمار الذي حَلّ بهذه المواقع بسبب غياب الدليل الموضوعي.

لقد شُعِر بالزلزال في سورية شعوراً قوياً، وكذلك في منطقتي إنطاكية وما بين النهرين [Malalas, De Fragmentis Historicis Tuscolanis]. أما جنوباً، فيذكر [Agathias] في تاريخه أن مدينة الإسكندرية أحست بزلزال في الوقت نفسه الذي وقع فيه زلزال عام 551 م، مما أدى إلى حالة من الرعب أفرغت المساكن من ساكنيها. ونعتقد أنه زلزال عام 551 م ذاته.

ومن الصعب تقدير عدد القتلى الإجمالي الناجم عن هذا الزلزال. ورغم ذلك نعتقد أن آلاف القتلى لقوا حتفهم على الساحل اللبناني، ولاسيما في بيروت.

كما لم تمكّنا المعطيات الماكروزلزالية من رسم منحنيات تُمثّل الشدة الزلزالية لهذا الزلزال، وتسهم إسهاماً مباشراً في تعيين مركزه السطحي. من أجل هذا اقترحنا خارطة توزع درجة الدمار والشدة الزلزالية للمدن المتأثرة به في الساحل اللبناني (الشكل 2) حسب مقياس الشدة الزلزالية الأوربي لعام 1992 [32]. بيد أننا نعتقد أن الموقع الأكثر احتمالاً لأن يكون مركزه السطحي يقع قريباً من بيروت، أي في المكان الذي يتمتع بأعلى شدة زلزالية من ناحية، ويقع في البحر من ناحية ثانية. ويدعم هذه الفكرة شيئان: (أولاً) أن الزلزال كان مسبوقاً بتراجع للبحر لمسافة ما، مما سمح للناس بالاندفاع إلى قعره للبحث عن الكنوز قبل أن يشعروا باهتزاز الأرض؛ و(ثانياً) أن الموجة البحرية المدّية كانت قوية وضربت مجمل الساحل اللبناني. وبأخذنا في الحسبان أنه لايوجد شاهد على حصول دمار في قبرص، أو حتى على الشعور بالزلزال فيها [33]، فقد قدّرنا أن إحداثيات مركزه السطحي هي 34 شمالاً و35.50 درجة شرقاً. وتتوافق هذه الإحداثيات مع ما اقترحته غويدوبوني وآخرون [17].

ونظراً لقرب هذه الإحداثيات من صدع الروم الانزياحي المضرب، يمكن القول إن حركة الصدع هي المسؤولة عن حدوث الزلزال. ويُعدّ هذا الصدع ذو الاتجاه (شمال-غرب) والممتد من شمال بحيرة طبرية حتى بيروت فرعاً من منظومة صدعية رئيسة تشكل الحد الغربي للصفيحة العربية ذات الطبيعة الانزياحية. وتشير هذه الحقيقة الأخيرة بالإضافة إلى نتائج الرصد الزلزالي للمنطقة كلها خلال القرن العشرين إلى أن بؤرته ضحلة.

ونعتقد بدورنا أن الزلزال ذو قدر كبير وذلك بعد أن أخذنا في الحسبان مدى الآثار الإقليمية له. وقد استخدمنا ثلاث طرائق لتحديد قدره حسب الموجة السطحية:

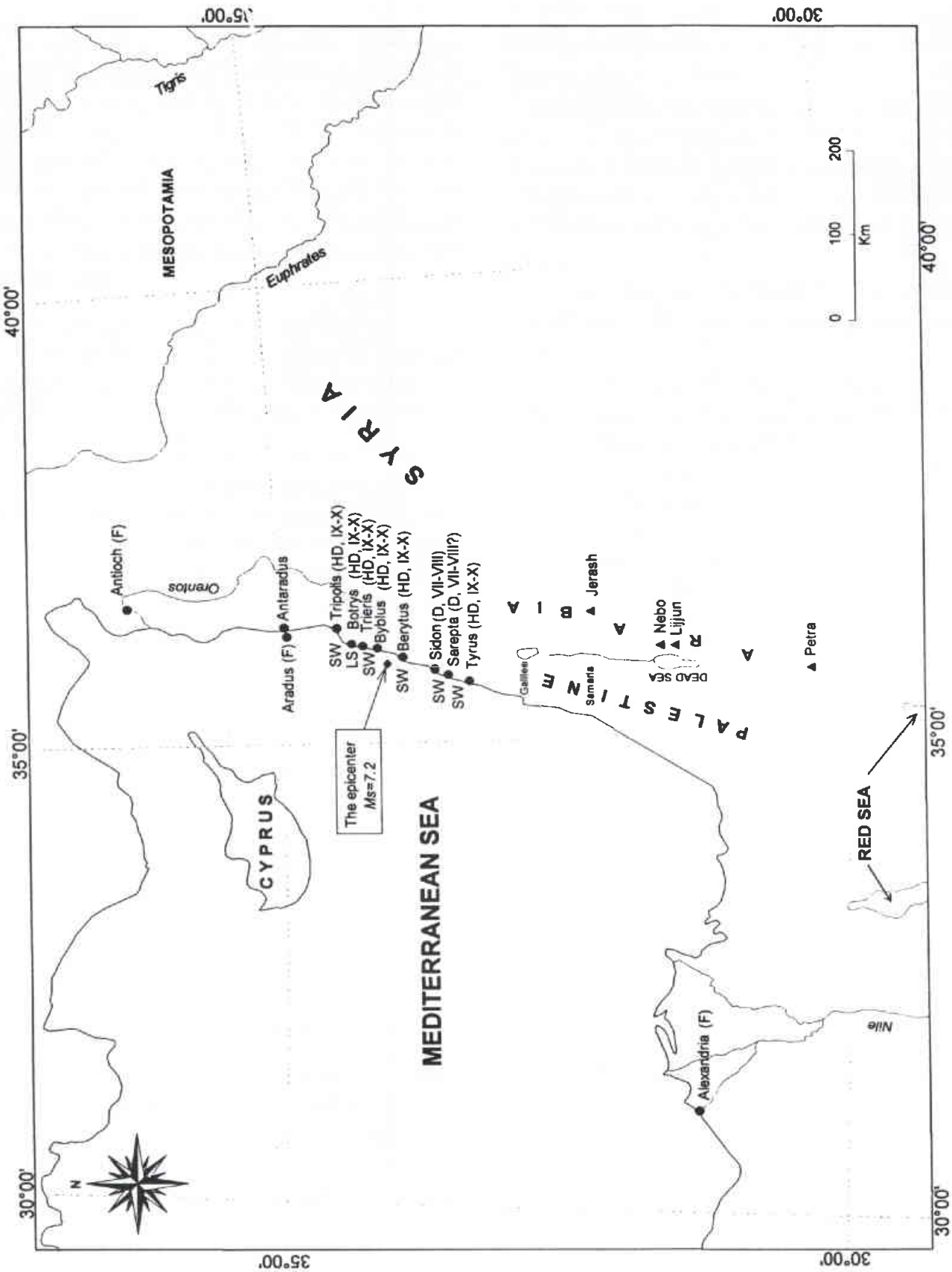
1- باستخدام المخطط البياني العائد لشيبالين [34] كان القدر: 7.3.

2- بتطبيق المعادلة التي اقترحها أمبراسيز [35] لمنطقة الشرق الأوسط، والتي تربط قدر الزلزال حسب الموجة السطحية بطول الصدع الانزياحي المضرب (بالكم) فإن:

$$Ms = 4.63 + 1.43 \log (L)$$

وبما أن طول صدع الروم المسبّب للزلزال هو 50 كم، تكون قيمة قدره حسب الموجة السطحية: 7.1.

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



الشكل 2– توزع درجة الدمار وقيم الشدة الزلزالية لزلزال 9 تموز عام 551م على مقياس الشدة الزلزالية الأوربي لعام 1992. لاحظ أن F: شعر به، وD: ضرر، و HD: ضرر كبير، و LS: انزلاق أرضي، و SW: موجة بحرية. تمثل المثلثات مواقع الآثار التاريخية المذكورة في الورقة.

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

3- باستخدام العلاقة التجريبية التي تعود لبونيلّا وآخرين [36]، والتي تربط قدر الزلزال حسب الموجة السطحية بطول الصدوع الانزياحية المضرب فإن:

$$Ms = (6.10 \pm 0.25) + (0.70 \pm 0.13) \log L$$

فتكون قيمة قدر الزلزال حوالي 7.3.

و بناءً عليه نجد أن نتائج قيم قدر الزلزال تتوزع بين 7.1 و 7.3 وذلك بعد تطبيق الصيغ السابقة.

وتُعَدّ قيمة الزلزال هذه مقبولة مقارنة بما جاء في الوصف التاريخي لآثاره.

ورغم أن المصادر التاريخية لا تذكر حدوث هزات لاحقة لزلزال عام 551 م، فمن المرجّح أن هذا الزلزال قد تبعته هزّة واحدة محسوس بها على الأقل.

النتائج والمناقشة

أدت إعادة دراسة زلزال 9 تموز عام 551 م إلى النتائج التالية:

1- تحديد ثلاثة مواقع جديدة متأثرة بالزلزال، وهي جزيرة أرواد ومدينتا شكّا وصرفند.

2- تقدير قيم الشدة الزلزالية لهذه المواقع، إضافة لمدن صور وصيدا وبيبلوس.

3- جعل قدر الزلزال حسب الموجة السطحية محصوراً بين 7.1 و 7.3.

4- اقتراح صدع الروم كصدع مسبّب محتمل للزلزال.

5- تحديد إحداثيات المركز السطحي للزلزال بـ: 34.00 درجة شمالاً و35.50 درجة شرقاً.

يُعدّ زلزال 9 تموز لعام 551 م من أكبر الحوادث الزلزالية في لبنان وما حوله خلال العصر البيزنطي. إذ أنه دمّر العديد من المدن اللبنانية الساحلية، ولاسيما بيروت. وقد ترافق بحدوث موجه مدّية على الساحل اللبناني، وبانزلاق أرضي قرب البترون، وباندلاع حريق هائل في بيروت استمر لمدة شهرين على الأغلب. وتظهر في الشكل 2 النتائج العامة لورقة البحث هذه.

وبالعودة إلى الشكل 1، يظهر صدع الروم المسؤول عن هذا الزلزال كفرع من منظومة صدعية رئيسة تقطع لبنان وغرب سورية، وتتألف من صدعي اليمونة في لبنان والغاب في سورية، وكلاهما مسؤول عن حدوث العديد من الزلازل التاريخية المدمرة في لبنان وسورية. فقد ولّد صدع اليمونة زلازل أعوام: 1202 بقدر 7.5، و1705 بقدر 6.9، وزلزالي عام 1759 وقدراهما 6.6 و 7.4 [20 و 24 و 37 و 38]. في حين أن صدع الغاب ولّد زلازل تاريخية كبيرة في غرب سورية وشمال غربها خلال أعوام: 1157 بقدر أكبر من 7.0، و 1170 بقدر أكبر من 7.0، و1404 بقدر 7.4، و 1407 بقدر 7.0 تقريباً،و 1796 بقدر 6.6، و 1822 بقدر 7.4، و 1872 بقدر 7.2 [20 و 24]. فإذا أخذنا بعين الاعتبار أن فترة التكرار (أو الدور) بين هذه الزلازل هي 200 إلى 350 سنة [20] من ناحية، وأن هذه المنطقة ذات الكثافة السكانية العالية والنشاط الاقتصادي المطرد تمتّعت بهدوء زلزالي نسبي في القرن العشرين من ناحية ثانية، فإننا نعتقد أن احتمالية حدوث زلزال كبير قدره 6.5 أو أكثر في لبنان وغرب سورية غير مستبعدة في المستقبل القريب من خلال نشاط أحد الصدوع الكبيرة في المنطقة، (أي اليمونة أو الروم أو الغاب). وهذا يعني أنه يجب استخدام نتائج دراسة الزلازل التاريخية واستثمارها في تقييم المخاطر الزلزالية لمواقع مختارة، وعلى المستويين المحلي والإقليمي في كل من لبنان وسورية، وأنه يجب على العلماء والمهندسين متعددي التخصصات بذل جهود ضخمة في تصميم منشآت هندسية ضمن حدود أمان مقبولة، وفي تقوية المنشآت الموجودة. وهذا سيساهم بدوره في تخفيف الخطر الزلزالي وآثاره في منطقتنا.

المراجع

REFERENCES

[1] USGS - UNESCO [1993] "Cooperative program for reducing earthquake losses in the EMR," Cairo, Oct. 16 - 21, p. 21.

[2] Bonito, M. [1691] "Terra tremante, o vero continuatione de' terremoti dalla Creatione del Mondo fino al tempo presente," Napoli 1691 (reprint, Sala Bolognese, 1981).

[3] Perry, A. [1850] "Memoire sur les tremblements de terre ressentis dans la peninsule turco - hellenique et en Syrie," Mem. Cour. & Mem. Sav. Etr. Acad. R. Belgique 23, Bruxelles.

[4] Sieberg, A. [1932] "Untersuchungen uber Erdbeben und Bruchscholenbau im Ostlichen Mittelmeergiet," Denkschriffen der Medizinsch - Naturwissenschaft Gesellschaft zu Jena 18, 161 - 273.

[5] Amiran, D. K. [1952]" A revised earthquake catalogue of Palestine."

[6] Ben - Menahem, A. [1979] "Earthquake catalogue for the Middle East," Boll. Geofis. Teor. Appl. 21, 245 - 313.

[7] Plassard, J. and Kogoj, B. [1981] "Sismicite du Liban: Catalogue des seismes ressentis," Annals - Mem. Obs. de Ksara IV, Beirut.

[8] Abou Karaki, N. [1987] "Synthese et carte sismotectonique des pays de la bordure orientale de la Mediterranee: sismicite du systeme de failles du Jordan - Mer Morte," These de Doctorat, Universite Louis Pasteur, Strasbourg.

[9] Russell, K. W. [1985] "The earthquake chronology of Palestine and Northwest Arabia from the 2nd through the Mid - 8th century AD," Bull. Am. Sch.Orie. Res.260, 37 - 59.

[10] Crowfoot, J. W. [1938] "The Christian churches in Gerasa: city of the Decapolis," ed. C. H. Kraeling, New Haven, Amer. Sch. Orient. Res, 171 - 262.

[11] Saller, S. J. and Bagatti, B. [1949] "The Town of Nebo (Khirbet El - Mekhayyat) with a Brief Survey of Other

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

Ancient Christian Monuments in Transjordan", Publication of the Studium Biblicum Franciscanum 7.

[12] Hammond, P. C. [1981] "Cult and cupboard at Nabatean Petra," Archaeology.

[13] Parker S. T. [1982] "Preliminary Report on the 1980 Season of the Central Limes Arabicus Project," Bull. Am. Sch. Orie. Res. 247.

[14] Parker S. T. [1983] "The Central Limes Arabicus Project: The 1982 Campaign," Annual of the Department of Antiquities of Jordan 27.

[15] Ambraseys, N., Melville, C. and Adams, R. [1994] "The seismicity of Egypt, Arabia and the Red Sea: A historical review," (Cambridge University Press).

[16] Guidoboni, E., ed. [1989] "I terremoti prima del Mille in Italia e nell' area mediterranea," Bologna.

[17] Guidoboni, E., Comastri, A. and Traina, G. [1994] "-Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century", Publ. Ist. Nazion di Geofisica, Rome, 332 - 336.

[18] Best, J. A., Barazangi, M., Al - Saad, D., Sawaf, T. and Gebran, A. [1990] "Bouguer gravity trends and crustal structure of the Palmyride Mountain belt and surrounding northern Arabian platform," Geology 18, 1235 - 1239.

[19] Barazangi, M. [1983] "A summary of the seismotectonics of the Arab region", eds. Cidinsky and Rouhban Ass. Mit. Earthq. Ris. Arab Reg., UNESCO, 43 - 58.

[20] Ambraseys, N. and Barazangi, M. [1989] "The 1759 earthquake in the Bekaa valley: Implications for earthquake hazard assessment in the eastern Mediterranean region," J. Geophys. Res. 94, 4007 - 4013.

[21] Sbeinati M.R. [1994] "Instrumental catalogue of earthquakes in Syria and adjacent areas from 1900 to 1993," Unpublished ICTP Research Report, Trieste.

[22] Darawcheh, R. and Sbeinati, M.R. [1998] "Earthquakes in and around Syria during 1997: Bulletin No. 7," (in Arabic), unpublished AECS - G\RSS 233, Damascus.

[23] Sbeinati, M.R. and Darawcheh, R. [1999] "A preliminary report on the June 20, 1999 earthquake," (in Arabic), unpublished AECS report, Damascus.

[24] Mouty, M., Sbeinati, M.R. and Darawcheh, R. [1998] "Seismic Data for Siting and Site - Revalidation of Nuclear Facilities: Part I: Catalogue of historical earthquakes in and around Syria," Unpublished AECS Research Report No. G\FRSR 176, Damascus.

[25] International Atomic Energy Agency [1987] "-Methodology and procedures for compilation of historical earthquake data," IAEA - TECDOC - 434, Vienna.

[26] Ambraseys, N., Banda, E. et al. [1983] "Note on historical seismicity," BSSA 73, 1917 - 1920.

[27] Ambraseys, N. and White, D. [1997] "The seismicity of The Eastern Mediterranean region 550 - 1 BC: A re-appraisal," J. Earthq. Engrg. 1(4), 603 - 632.

[28] Vogt, J. [1993] "historical seismology: Some notes on the sources for seismologists," ed. Stucchi, M., Hist. Invest. European Earthq. 1, 15-24.

[29] Stucchi, M. [1994] "Recommendations for the compilation of a European parametric earthquake catalogue, with special reference to historical records," eds. Albini, P. and Moroni, A., Hist. Invest. European Earthq. 2, 181 - 190.

[30] Hitti, Ph. [1972] "Tarikh Lobnan: History of Lebanon," (in Arabic), Publ. Dar Ath- Thaqafah, tr. by Anis Freha, Beirut.

[31] Collinet, P. [1925] "Histoire de l'Ecole de droit de Beyrouth," Paris.

[32] Grunthal, G., ed. [1993] "European macroseismic scale 1992 (up-dated MSK- scale)," Conseil de l' Europe, Cen. Europeen Geody. Seis. 7, Luxembourg.

[33] Pantazis, Th. [1996] "Archaeseismicity of Cyprus," Proc. Reg. Workshop Archaeoseis. Med. Region, AECS, Damascus, 81-89.

[34] Shebalin, N. V. [1974] "Principles and procedures of cataloguing. In Catalogue of Earthquakes," eds. Shebalin, Karnik and Hadzievski, UNDP/UNESCO survey of seismicity of the Balkan region (Skopje: UNESCO).

[35] Ambraseys, N. [1988] "Magnitude-fault length relationships for earthquakes in the Middle East," ed. Lee, W. H. History of Seismography and Earthquakes of the World, Academic, San Diego, Calif., 309-310.

[36] Bonilla, Mark and Lienkaemper [1984], In: Bullen, K. E. and Bolt, B. A. An Introduction to the Theory of Seismology (1993), 4th ed., Cambridge.

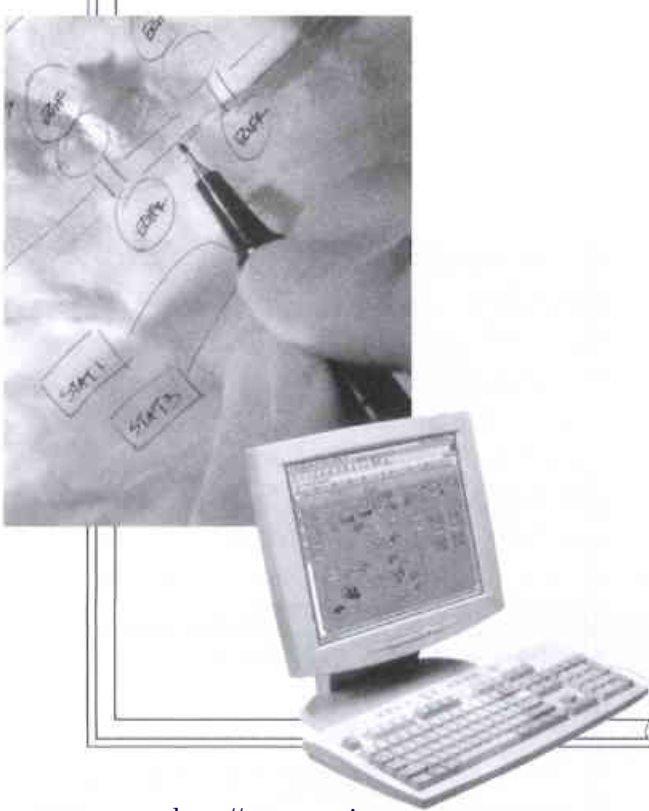
[37] Ambraseys, N. and Melville, C. [1988] " An analysis of the Eastern Mediterranean earthquake of 20 May 1202," ed. Lee, W. H. History of Seismography and Earthquakes of the World, Academic, San Diego, Calif., 181 - 200.

[38] Ambraseys, N. and Finkel, C. [1993] "Material for the investigation of the seismicity of the eastern Mediterranean region during the period 1690 - 1710," ed. Stucchi, M. Hist. Invest. European Earthq. 1, 173-194.■

☆ ★ ☆

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

التقارير العلمية



النمذجة الرياضية لليزر CO_2 النبضي الهجين (ضغط عال–ضغط منخفض)*

د. بشار عبد الغني – مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تم اعتماد نموذج تيلر – لانداو لدرجات الحرارة الست الذي يصف ديناميكية إصدار النمط الوحيد لليزر CO_2 TEA النبضي. استخدم هذا النموذج أيضاً لوصف تقنية الحصول على نبضات خرج عالية الاستطاعة نسبياً من ليزر CO_2 الهجين TE-TEA أو CW-TEA والمؤلف من قطاعي ضغط عالٍ ومنخفض. يسمح النموذج الرياضي المقترح بدراسة التقنية التي تحدد اهتزاز الليزر TEA بنمط طولي وحيد (SLM) والناتج عن ضيق عرض عصابة الكسب في قطاع الضغط المنخفض، ودراسة تأثير وسطاء الدخل على وسطاء نبضة الخرج الليزري الناعمة أيضاً. بالإضافة إلى ذلك فقد نوقشت وبشكل نوعي الحلول العددية لجملة معادلات المعدل غير الخطية للنموذج المقترح. تصف هذه الحلول شدة الحقل الإشعاعي، الانقلاب الإسكاني وعمليات انتقال الطاقة. كانت القيم المحسوبة لقمة الاستطاعة العظمى وطاقة النبضة الكلية وعرض النبضة على توافق جيد مع القيم التجريبية.

الكلمات المفتاحية: نمذجة؛ هجين؛ ليزر CO_2.

مقدمة

يتألف ليزر CO_2 الهجين من قطاعين؛ قطاع الانفراغ المستعرض (أو المستمر) بضغط منخفض (TE أو CW) المتوضع في نفس المجاوب الليزري مع قطاع الانفراغ المستعرض (TEA). وتستخدم الليزرات الهجينة في عدد من التطبيقات المختلفة نذكر منها: دراسة تبعثر توموسون (Thomson scattering)، دراسة علم المواد، قياس الطاقة لطيف تفاعلات الاندماج، القطع والتشكيل، رادار الأشعة تحت الحمراء، عملية الضخ الضوئي لليزرات تحت المليمترية ذات المردود المنخفض الناتج عن الخرج المتعدد الأنماط وغيرها.

لقد درست تقنية التشغيل بنمط وحيد لليزر CO_2 TEA الهجين في أعمال علمية متعددة باعتماد نموذج ثلاث سويات طاقية (أي البنى ذات السويات الأربع) المبسط جداً بهدف إعطاء تحليل نظري للحوادث الفيزيائية. تم تبسيط العمليات الفيزيائية التي تحدث في المزيج الغازي CO_2, N_2, He باستخدام البنية ذات السويات الأربع والتي تصف التطور الزمني لكثافة الإسكان في السوية الليزرية العليا، والدنيا والحالة المثارة للآزوت ولكن تم إهمال الكثير من الاسترخاءات التصادمية وتم حل جملة ثماني معادلات تفاضلية غير خطية من المرتبة الأولى تصف آلية الإصدار لليزر الهجين، حيث تم تمثيل الإشعاع في التجويف أو المجاوب الليزري بإشعاع وحيد مكامل على كل الأنماط الليزرية، أي لم يكن هناك تكرار للأنماط. لقد طور غوندهالكر وآخرون [2,1] هذا النموذج الرياضي بإضافة معدلات الإثارة للسوية الليزرية العليا ولسوية الآزوت المثارة أيضاً من خلال قياس تيار الانفراغ والتوتر المطبقين. كانت النتائج العددية لكلا العملين بعيدة عن نتائجهما التجريبية من الناحية الكمية والكيفية [1] (بلغت قيمة الاستطاعة العظمى لقمة نبضة الخرج 150 kW وقيمة الطاقة الكلية للنبضة $70\ mJ/cm^3$، بينما كانت القيم التجريبية هي 300 kW و $140\ mJ/cm^3$.

طُوِّر في هذا العمل نموذج رياضي يمكّن من التنبؤ بالمميزات المختلفة لليزر CO_2 الهجين. يعتمد النموذج المقترح على استخدام معادلات نموذج تيلر – لانداو (Teller-Landau) لدرجات الحرارة الست، والذي يصف ديناميكية الإصدار في كلا قطاعي الضغط العالي والمنخفض المشكلين لليزر الهجين.

نتائج الحسابات والمناقشة

قمنا في هذا العمل بدراسة نمذجة آلية عمل ليزر CO_2 الهجين المؤلف من قطاعين؛ الأول ذو انفراغ مستعرض بضغط عال (1 جو) والآخر ذو انفراغ عرضي (أو طولي) بضغط منخفض حوالي 17.8 Torr (أو 10 Torr).

لقد اعتمد نموذج تيلر – لانداو (نموذج درجات الحرارة الست) الذي استخدم بعد تعديله في حالتي الضغط العالي والمنخفض، والمعبر عنه رياضياً بجملة معادلات تفاضلية غير خطية من المرتبة الأولى، بالإضافة إلى المعادلتين اللتين تصفان تغير كثافة الطاقة الإشعاعية في المجاوب الليزري في كلتا حالتي الضغط العالي والمنخفض (حالة الليزر الهجين). تم ضبط النموذج وفقاً لقانون انحفاظ الطاقة بحيث يحقق النموذج حالة الاستقرار (عدم تغير كثافة إسكان السويات الطاقية في حال انعدام الضخ).

تم في هذا العمل دراسة الحالتين TE-TEA و CW-TEA عند خط الإصدار الدوراني P(J=20) وطول موجة 10.6 µm، كما تم إعداد وكتابة برنامج بلغة "فورتران" لحل جملة أربع عشرة معادلة تفاضلية من المرتبة الأولى، وذلك باستخدام طريقة رونغ–غوتا من المرتبة الرابعة. تصف

* تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

حلول جملة المعادلات المذكورة السلوك الزمني لكثافة الفوتونات، والانقلاب الإسكاني المعكوس وعمليات انتقال الطاقة بين قطاعي اللّيزر حيث استخدمنا في هذا العمل الشروط المعتمدة تجريبياً وقمنا أيضاً بتوسيع مجال الحسابات بحيث تشمل حالتي الضغط العالي والمنخفض في حالة الانفراغ المستعرض في كلا قطاعي اللّيزر. وقد أبدت القيم المحسوبة لمميزات نبضة خرج اللّيزر الهجين (مثل قمة الاستطاعة العظمى، طاقة النبضة الكلية، عرض النبضة إلخ...) توافقاً جيداً مع القيم المقيسة تجريبياً كما هو مبين في الجدول التالي:

	$I_v^{max}(erg/cm^2 s)$	$P_{out}^{max}(KW)$	$E_{out}(mJ/cm^3)$	$\tau_{del}(\mu s)$	عرض النبضة (ns)
TEA	$2.58\ 10^{14}$	3890	2700	1.385	167
هجين	$1.99\ 10^{13}$	301	123	1.385	130
معطيات تجريبية [1]	-	300	140	0.8	80

المراجع REFERENCES

[1] Gondhalekar A., Heckenberg N. R., And Holzhhauer E. The mechanism of single frequency operation of hybrid-CO_2 laser. IEEE Journal of Quantum Electronics, Marc 1975, 103-108.

[2] Dallas N. Barr. Hybrid TE-TEA CO_2 laser. Optical society of America 1981, Vol.20 (9), 1500-1502.■

تحديد النسبة الآيزوميرية للنظير Nb-95 الناتج من انشطار نواة الثوريوم -232 بنترونات المفاعل★

د. أسامة الحسنية، د. محمد غفر، نعمان سلمان

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

ملخص

حددت في هذا العمل ولأول مرة النسبة الآيزوميرية (0.65) والجذر التربيعي لوسطي مربع الاندفاع الزاوي (5.2 h) للنيوبيوم -95 الناتج من انشطار نواة الثوريوم -232 بنترونات المفاعل، وذلك بتشعيع عينات من نترات الثوريوم لفترات زمنية مختلفة في مفاعل الأبحاث السوري (MNSR)، وتقييم الطيوف الناتجة عن قياسات غاما.

الكلمات المفتاحية: النسبة الآيزوميرية، الاندفاع الزاوي، انشطار الثوريوم، النيوبيوم -95.

مقدمة

تشكل النظائر الناتجة من الانشطار سلاسل إشعاعية حيث ينتج الكثير من النظائر عن الانشطار بشكل مباشر وتسمى الكمية الناتجة من الانشطار بحصيلة الانشطار المستقلة. كما ينتج نفس النظير عن تفكك نظير آخر (النظير الأب) وتسمى كمية النظير الناتجة من الانشطار ومن تفكك الأب بحصيلة الانشطار التراكمية.

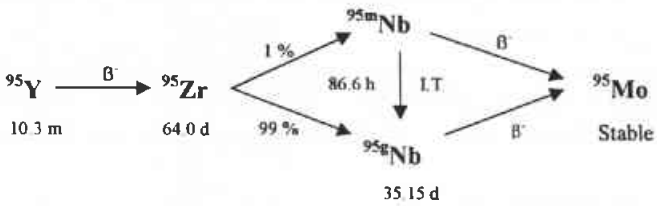
★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يعطي الشكل 1 السلسلة -95 حيث يتشكل فيها الآيزوميران ^{95g}Nb و ^{95m}Nb اللذان ينتجان من الانشطار ومن تفكك النظير الأب ^{95}Zr. وتعرف النسبة الآيزوميرية حسب المعادلة التالية:

$$F_h = \frac{Y_{ifm}}{Y_{ifg} + Y_{ifm}}$$

حيث F_h: النسبة الآيزوميرية، Y_{ifg}: حصيلة الانشطار المستقلة للآيزومير ذي السبين العالي، Y_{ifm}: حصيلة الانشطار المستقلة للآيزومير ذي السبين المنخفض.



الشكل 1– مخطط اضمحلال السلسلة الكتلية A = 95.

العمل المخبري

شُعّعت عينات من نترات الثوريوم (500 مغ لكل منها) لفترات زمنية مختلفة (دقيقة، ثلاث دقائق، ساعة، ساعتين) في عبوات من البولي إيتيلين في المفاعل (MNSR) بتدفق نتروني قدره (10^{12} ن/ثا.سم^2) ودفعت العينة بعد التشعيع من قلب المفاعل إلى أمام كاشف غاما وقيست طيوف غاما لمدد زمنية مختلفة بعد تبريد العينة لمدة عشر دقائق. تم نسب خطوط غاما للنظائر أو للآيزوميرات المصدرة وذلك بعد تحليل عمر النصف للخطوط المذكورة ومع مراعاة الشدة النسبية للخطوط المصدرة من نفس النظير. حسبت بعد ذلك حصيلة الانشطار المستقلة لآيزوميرات النظير ^{95}Nb والنسبة الآيزوميرية، وحسب الجذر التربيعي لوسطي مربع الاندفاع الزاوي حسب النماذج المقترحة من قبل مادلاند و ردستام [2,3].

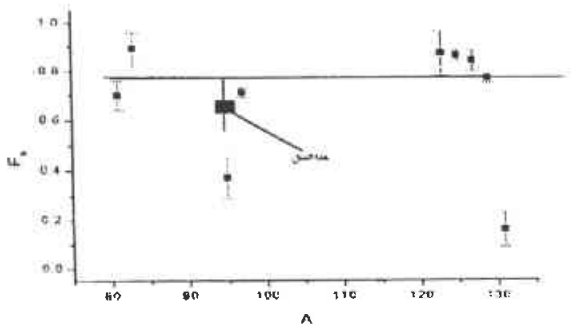
النتائج والمناقشة

يعطي الجدول 1 القيم التجريبية للنسبة الآيزوميرية والجذر التربيعي لوسطي المربعات. قورنت القيمة المحددة من قبلنا بقيم أخرى لنفس النظير من تفاعلات انشطار أخرى فوجدنا اختلافاً كبيراً بين هذه القيم. ($F_{h(Th\text{-}232,n,f)}=0.65$, $F_{h(U\text{-}233,n,f)}=0.25$, $F_{h(U\text{-}238,p,f)}=0.96$). وقد يعود ذلك الاختلاف إلى التشوهات الممكنة، الموجودة والمعروفة للنوى في المجال الكتلي (95-100) ولقد لوحظت هذه التناقضات لدى تحديد النسب

الجدول 1– القيم التجريبية للنسب الآيزوميرية وقيمة الجذر التربيعي لوسطي مربع الاندفاع الزاوي.

رقم التجربة	النسبة الآيزوميرية	الجذر التربيعي الوسطي للاندفاع الزاوي مادلاند / ردستام
1	0.638	
2	0.661	
3	0.649	
الوسطي	0.65	7.3 / 5.2

الآيزوميرية للنظائر الناتجة من انشطار اليورانيوم -235 في هذا المجال الكتلي. كما قورنت القيمة المحددة من قبلنا بقيم أخرى لنظائر النيوبيوم ($F_{h(U\text{-}235,nth,f)\text{-}Nb\text{-}99}=0.13$, $F_{h(U\text{-}233,nth,f)\text{-}Nb\text{-}95}=0.25$, $F_{h(Th\text{-}232,n,f)}=0.65$) الناتجة من تفاعلات انشطار أخرى، فوجد أنها أعلى من هذه القيم. بينما تتوافق القيمة المحددة من قبلنا مع قيم النسب الآيزوميرية للنظائر الناتجة من العديد من تفاعلات الانشطار والتي يكون فيها سبين السوية الطاقية المهيجة وسبين السوية الأساسية متطابقين مع النظير Nb95، مما يؤكد أن لفارق السبين بين السويات الطاقية تأثيراً كبيراً على النسبة الآيزوميرية وبالتالي الاندفاع الزاوي [4]. يعطي الشكل 2 النسب الآيزوميرية للنظائر الناتجة من انشطار اليورانيوم -235 بالنترونات



الشكل 2– النسب الآيزوميرية للنظائر الناتجة من انشطار اليورانيوم -235 بالنترونات الحرارية [4].

الحرارية والتي يكون فيها سبين السوية الطاقية المهيجة وسبين السوية الأساسية متطابقين مع النظير Nb-95. ويتضح من الشكل أن القيمة المحددة من قبلنا أصغر بقليل من وسطي القيم المذكورة، وقد يكون الفارق ناتجاً من أن انشطار الثوريوم -232 من أبرد تفاعلات الانشطار مما يؤدي

المراجع

REFERENCES

[1] K.H. Lieser, Einfuehrung in die Kernchemie, Verlag Chemie, 2. Ed. 1980.

[2] D.G. Madland et. al., Nucl. Sci. and Eng., 64, 859 (1979).

[3] G. Rudstam, Report NEA/NSC/Doc(2) 9, 271, OECD (1992).

[4] O. Alhassanieh, Ph.D. Theses, Mainz, Germany, 1995.

[5] R. Hentzschel et. al., Radiochemica Acta 50, 1-4 (1990).■

تأثير نوعية وتركيز الأملاح المعدنية على منحني النقطة العكرة للمستخلص $C_{12}EO_6$ ★

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

ملخص

درس تأثير أملاح كربونات الصوديوم وكلور الصوديوم وكلور البوتاسيوم على منحني النقطة العكرة لمحلول المستخلص المائي هكسا إيتيلين غليكول مونو - ن - دوديسيل إيتر ($C_{12}EO_6$). أشارت النتائج إلى انخفاض منحني النقطة العكرة ودرجة الحرارة الحرجة نحو درجات الحرارة الأدنى لدى زيادة تركيز كل ملح من الأملاح المذكورة (كل على حدة) بتركيز ثابت من $C_{12}EO_6$.

أوضحت النتائج أيضاً أن الأنيون المكوّن للملح يلعب دوراً فعالاً في التأثير على انخفاض منحني النقطة العكرة، أما تأثير الكاتيون فيكون ضعيفاً جداً. ويمكن تلخيص هذا التأثير وفق ما يلي:

$$Na_2CO_3 > NaCl > KCl$$

مع ملاحظة أن الملح NaCl ذو تأثير شبه مساو للملح KCl، وذلك فيما يتعلق بخاصية النقطة العكرة.

الكلمات المفتاحية: مستخلص غير أيوني، طور متناح، نقطة عكرة، ميسيل.

مقدمة

تختلف آلية تأثير الأملاح المعدنية على المستخلصات غير الأيونية nonionic extractants من نوع ألكيل بولي إيتر وذلك حسب الوسط الذي يجرى فيه العمل . وعلى هذا يكون تحليل مختلف التأثيرات التي تتدخل في هذه الأوساط معقداً جداً وذلك لوجود مختلف العناصر في هذه الجملة كجزيئات الماء والمواقع الأوكسي إيتيلينية للمستخلص غير الأيوني والأيونات الموجبة والسالبة للألكتروليت. تعرف النقطة العكرة (cloud point) بأنها درجة الحرارة التي يصبح فيها محلول ميسيلي (micelle) لمستخلص غير أيوني عكراً وينفصل إلى طورين.

درس تأثير الأملاح على النقطة العكرة لجمل بركيزة مستخلصات غير أيونية من نوع ألكيل بولي إيتر أو بوليميرات بولي أوكسي إيتيلين ذات سلاسل طويلة. تعتمد النقطة العكرة بشكل أساسي على نوع وتركيز الألكتروليت المضاف، وتكون حساسة كذلك لنوعية المستخلص المستخدم وتركيزه. إن إضافة ألكتروليت تؤدي إلى تغيير درجة حرارة النقطة العكرة زيادة أو نقصاناً، وهذا ناتج بشكل أساسي عن تأثير الأيونات السالبة، أما تأثير الأيونات الموجبة فيكون أقل بكثير، وهذا ناتج عن التميُّه الشديد لهذه الأيونات (الموجبة) بواسطة جزيئات الماء.

ارتكز موضوع عملنا على دراسة التأثير لألكتروليتات مختلفة (KCl, NaCl, Na_2CO_3) كل واحدة على حدة وبتراكيز ثابتة في الوسط المائي على منحني النقطة العكرة للمستخلص غير الأيوني هكسا إيتيلين غليكول مونو - ن - دوديسيل إيتر $C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_6OH$ والذي يرمز له بـ $C_{12}EO_6$.

نتائج ومناقشة

درس تأثير أملاح كربونات الصوديوم وكلور الصوديوم وكلور البوتاسيوم على منحنيات النقطة العكرة الناتجة من تغير درجات الحرارة بدلالة تركيز المستخلص $C_{12}EO_6$. توضح النتائج الحاصلة أن منحني النقطة العكرة ودرجة الحرارة الحرجة ينخفضان نحو درجات الحرارة الأدنى لدى زيادة تركيز كل من Na_2CO_3 أو NaCl أو KCl في المحلول المائي لـ $C_{12}EO_6$، إلا أن هذا الانخفاض يكون أكثر شدة في حالة الجمل التي تحوي Na_2CO_3 وأقل شدة في حالة الجمل التي تحوي KCl، وبالتالي تكون استقرارية الجملة أفضل في حالة KCl وأقل استقراراً في حالة Na_2CO_3. وهذه الاستقرارية المميزة والواسعة لمنطقة الطور المتناحي الوحيد في حالة الجمل الحاوية KCl بالنسبة للجمل الحاوية Na_2CO_3 والمشابهة تقريباً للجمل الحاوية NaCl، تؤدي إلى تشكيل معقد ثابت من أيونات K^+ في حالة KCl أو معقد ثابت من أيونات Na^+ في حالة NaCl أو Na_2CO_3 مع المواقع الأوكسي إيتيلينية للمستخلص $C_{12}EO_6$. يتضح لنا لدى مقارنة الأملاح الثلاثة مع بعضها Na_2CO_3 و NaCl و KCl في الجمل المدروسة وتشكيل معقد من أيونات الصوديوم أو البوتاسيوم مع $C_{12}EO_6$ أن شدة التأثير على منحني النقطة العكرة يكون وفق التسلسل التالي:

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

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

$Na_2CO_3 > NaCl > KCl$

مع ملاحظة أن شدة التأثير على المنحني المذكور في حالة الجمل الحاوية على KCl و NaCl يكاد أن يكون متقارباً (شبه متساو)، وهذا ما يبرهن أن نوعية الأيون السالب هي التي تلعب الدور الهام في انخفاض منحني النقطة العكرة وليس نوعية الأيون الموجب. لوحظ كذلك أن درجة حرارة الفصل الطوري تتناقص مع زيادة تركيز Na_2CO_3 أو NaCl أو KCl في الوسط (ملوحة الوسط) من أجل تركيز معطى من $C_{12}EO_6$

أظهرت النتائج أيضاً أن منحنيات ملوحة الفصل تتناقص مع زيادة درجة الحرارة من أجل تركيز معطى من $C_{12}EO_6$. وتعتبر منحنيات ملوحة الفصل ذات أهمية بالغة في حالة الجملة الحاوية على Na_2CO_3 منه في حالة الجمل الحاوية NaCl أو KCl. يعود السبب إلى بدء تشكل منحنيات ملوحة الفصل بدرجة حرارة متدنية 40°C (حالة Na_2CO_3)، بينما يبدأ تشكل هذه المنحنيات بالدرجة 45°C (حالة NaCl و KCl). هذا من جهة، ومن جهة أخرى تكون كمية الملح اللازم للحصول على منحنيات ملوحة الفصل أقل ما يمكن في حالة Na_2CO_3 منه في حالة NaCl و KCl وذلك بتركيز ثابت من $C_{12}EO_6$ ودرجة حرارة ثابتة.

يستفاد من خاصة النقطة العكرة في عمليات الاستخلاص من أجل الحصول على طورين متناحيين لجملة معينة مؤلفة من طور وحيد متناح، إذ عوضاً عن زيادة درجة الحرارة، يعمد إلى إضافة ملح بتركيز معين إلى الجملة الحاوية على المستخلص لتحصل بذلك على نفس مظهر منحني النقطة العكرة بدون ملح ولكن بدرجات حرارة أدنى، وبالتالي الحصول على طورين متناحيين. ويطلق على هذه العملية اسم Salting-out agent.■

إمكانية استعمال الكواشف البلاستيكية CR-39 لكشف وتقدير الأمواج فوق البنفسجية*

د. رياض شويكاني، غسان رجا، عبد المنعم صواف
قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تم في هذا العمل دراسة تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UV) على الكواشف البلاستيكية من نوع CR-39، وإمكانية استخدامها لقياس الجرعة الناتجة عن تعرضها للأشعة UV. استخدمت لهذا الغرض ثلاث طرائق من أجل تحديد التغيرات الناتجة في مثل هذه الكواشف عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية الشمسية Solar Ultraviolet (SUV) والأشعة فوق البنفسجية من النوع A (UVA) المولدة بجهاز يصدر أشعة فوق بنفسجية محاكية لتلك الصادرة عن الشمس (جهاز المحاكي). أجريت القياسات من أجل حالتي التعريض لجسيمات ألفا أولاً ومن ثم الأشعة فوق البنفسجية وبالعكس. وقد وجد عدم إمكانية استخدام مثل هذه الكواشف لقياس الجرعة الناتجة عن التعرض لمثل هذه الأشعة في حال استخدام طريقة قياس أقطار آثار ألفا، فيما أعطت الطريقتان الأخريان (طريقة UV-Vis وطريقة FTIR) نتائج تشير إلى إمكانية استخدام مثل هذه الكواشف من أجل تحديد التعرض للأشعة فوق البنفسجية الشمسية فقط الصادرة عن الجهاز المحاكي، في حين أخفقتا من أجل تحديد التعرض للأشعة فوق البنفسجية من النوع A.

الكلمات المفتاحية: الكواشف البلاستيكية CR-39، قطر الأثر، الأمواج فوق البنفسجية، تقانة UV-Vis، تقانة FTIR.

مقدمة

تتميز الأشعة فوق البنفسجية (UV) بأهمية خاصة من بين الأشعة غير المؤينة وذلك للطاقة العالية التي تتمتع بها فوتوناتها مقارنة مع الأنواع الأخرى من الأشعة غير المؤينة. وقد أدى ذلك إلى تنوع أكبر لآثارها البيولوجية. ونظراً للنفوذية المنخفضة التي تتصف بها هذه الأشعة يبقى التأثير البيولوجي لها مقصوراً على الأنسجة السطحية فقط. ولما كانت الشمس هي المصدر الأساسي الأكبر لهذه الأشعة، وبما أن جميع الناس معرضون لهذه الأشعة فإننا نجد أنفسنا أمام خلفية إشعاعية يجب أن تؤخذ دائماً بالاعتبار عند الحديث عن التعرض للإشعاع الخارجي. لذلك فإنه من الضروري إيجاد وسيلة رخيصة وسهلة الاستعمال من أجل تقدير كمية التعرض لمثل هذه الأشعة. وتعتبر الكواشف البلاستيكية من الكواشف المستعملة بشكل واسع في تقدير التعرض لبعض الأشعة المؤينة كجسيمات ألفا. ففي هذا العمل تم دراسة إمكانية استعمال هذه الكواشف في تقدير كمية التعرض للأشعة UV الشمسية وأشعة UV من النوع A.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الوقاية الإشعاعية والأمان النووي - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

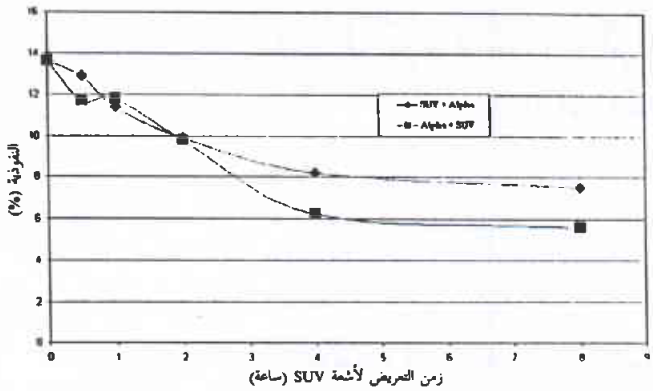
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ومن أجل ذلك استخدمت ثلاث طرائق لتحديد التغيرات الناتجة في مثل هذه الكواشف عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية الشمسية والأشعة فوق البنفسجية من النوع A المولدة بجهاز يصدر أشعة فوق بنفسجية محاكية لتلك الصادرة عن الشمس (جهاز المحاكي). هذه الطرائق هي: 1- طريقة قياس تغير تركيز وأقطار آثار ألفا المسجلة على الكاشف، 2- طريقة المسح الطيفي للنفوذية بجهاز الـ UV-Vis و3- طريقة المسح الطيفي للنفوذية باستخدام الأشعة تحت الحمراء أو ما يسمى بمطيافية تحويلات فوريه للأشعة تحت الحمراء Fourier Transformation Infrared Spectrometer (FTIR). وقد أجريت القياسات من أجل الحالتين: 1- التعريض لجسيمات ألفا أولاً ومن ثم الأشعة فوق البنفسجية و2- التعريض للأشعة فوق البنفسجية أولاً ومن ثم التعريض لأشعة ألفا.

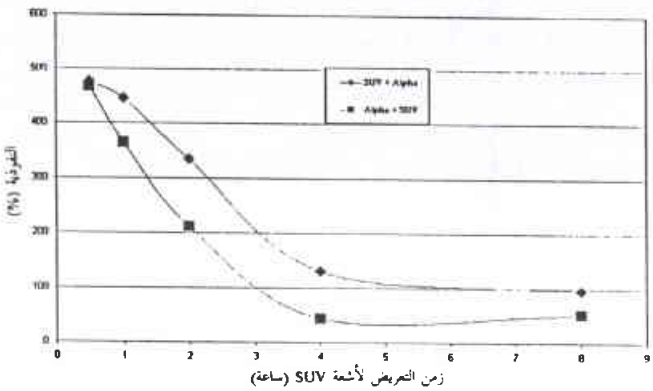
النتائج

أظهرت نتائج قياسات كثافة الآثار المسجلة على الكواشف البلاستيكية ووسطي أقطارها من أجل جميع حالات التعرض (α+SUV, UVA+α, SUV+α و α+UVA) أنه لا توجد علاقة واضحة يمكن أن تربط تغير كثافة الآثار بكمية التعرض للأشعة فوق البنفسجية حيث تراوحت كثافة الآثار بين 5500 و 6500 أثر/سم^2 تقريباً، فيما تراوح وسطي قطر الأثر بين 11 و 13 مكرومتر ولم تكن بينها فروقات معنوية. وهذا يعني أنه لا يمكن استخدام أيّ من كثافة الآثار أو وسطي أقطار الآثار في تقدير كمية التعرض للأشعة فوق البنفسجية بنوعيها المستخدمين. كما وأظهرت نتائج قياس تغير نفوذية الكواشف التي عرضت للأشعة فوق البنفسجية من النوع A باستخدام طريقتي FTIR و UV-Vis عند طولي الموجتين 3266.82 نانومتر و260 نانومتر أنه لا توجد علاقة مميزة لتغيرات قيم النفوذية من أجل التعرضات المختلفة سواء أكان التعريض لأشعة UVA قبل أو بعد التعريض لجسيمات ألفا.

يظهر الشكلان (1) و (2) تغير نفوذية الكواشف التي عرضت للأشعة فوق البنفسجية الشمسية SUV باستخدام طريقتي FTIR و UV-Vis عند طولي الموجتين 3266.82 نانومتر و260 نانومتر على الترتيب. يمكن أن نلاحظ من هذين الشكلين أن هناك ارتباطاً واضحاً بين التعرض للأشعة SUV والنفوذية باستخدام طريقتي القياس. يمكن أن نلاحظ أن العلاقة بين التغير الحاصل في نفوذية الكواشف وكمية التعرض لأشعة SUV محقق فقط حتى زمن تعرض قدره 4 ساعات تقريباً. وهذه العلاقة خطية في الحالات المستخدمة ضمن شروط تجارب هذا العمل.



الشكل 1- نتائج قياسات النفوذية باستخدام طريقة FTIR للكواشف البلاستيكية CR-39 المعرضة للأشعة فوق البنفسجية الشمسية (SUV) عند طول موجة 3266.82.



الشكل 2- نتائج قياسات النفوذية باستخدام جهاز UV-Vis للكواشف البلاستيكية CR-39 المعرضة للأشعة فوق البنفسجية الشمسية (SUV) عند طول موجة حوالي 260 نانومتر.

الخاتمة

إن استخدام الكواشف البلاستيكية من أجل قياس جرعة الأشعة فوق البنفسجية ممكن فقط من أجل الأشعة فوق البنفسجية الشمسية (SUV) الصادرة عن جهاز محاكاة الأشعة فوق البنفسجية الشمسية، وذلك باستخدام إحدى التقانتين UV-Vis أو FTIR، وفق بروتوكول عمل محدد وترتيبات هندسية خاصة يتم فيها تهيئة الكواشف البلاستيكية بحيث تصبح مناسبة للاستخدام عند إجراء القياسات على جهازي UV-Vis و FTIR. كما أنه لم يكن التعريض المباشر لهذه الكواشف لأشعة SUV دون تعريضها لجسيمات ألفا ناجعاً. وقد وجد أنه من الضروري أن تكون بقعة التعريض ضمن الجهازين المذكورين محددة وثابتة من أجل ضمان تكرارية القياسات دون تغير.

المراجع

REFERENCES

[1] Fleisher R.L., Price P.B., and walker R.M. (1975) Nuclear Tracks in Solids: Principles and Applications. University of California Press, Berkeley.

[2] Portwood T. and Henshaw D.L. (1986) "The effect of gamma dose on the alpha response of CR-39", Nuclear Tracks, 12, 105-108.

[3] Shweikani R., Durrani S.A. and Tsuruta T., (1993), Effect of gamma irradiation on bulk and track etching properties of cellulnose nitrate (Daicel 6000) and CR-39 plastics, Nucl. Tracks Radiat. Meas., 22,pp 153-156.

[4] Chong, C. S., Ishak, I., Mahat, R. H. and Amin, Y. M., (1997), "UV-VIS and FTIR spectral studies of CR-39 plastics irradiated with X-rays", Radiation Measurements, 28, 119-122.■

معايرة كربونات وبيكربونات الأمونيوم والأمونيا باستخدام مقياس الكمون*

د. جمال سطاس، د. سعد الدين غرفان، وليد رفول
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

يستخدم محلول كربونات الأمونيوم في استرداد اليورانيوم من المذيب العضوي 0.3 M D2EHPA + 0.075 M TOPO المستخدم في الوحدة الرائدة لاستخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور السوري المنتج بالطريقة الرطبة، حيث وجد أن ضبط مولية كربونات الأمونيوم عند 0.5 مول/لتر وتحديد تركيز هدروكسيد الأمونيوم NH_4OH وبالتالي معرفة نسبة غاز الأمونيا % NH_3 في محلول التعرية عوامل هامة في نجاح عملية تعرية اليورانيوم. كما وجد أن مولية الكربونات يجب أن تكون ضمن المجال 0.48-0.52 مول/لتر وأن مولية هدروكسيد الأمونيوم أقل من 0.05 مول/لتر، لذلك كان لابد من اعتماد طريقة تحليل موثّقة يمكن من خلالها ضبط محلول التعرية قبل استخدامه في استرداد اليورانيوم من المذيب العضوي في الدورة الثانية للاستخلاص.

الكلمات المفتاحية: معايرة، كربونات الأمونيوم، بيكربونات الأمونيوم، الأمونيا، مقياس الكمون.

النتائج التجريبية والمناقشة

معايرة محاليل من كربونات الأمونيوم (NH_3g/L)

استخدمت كربونات أمونيوم عالية النقاوة من شركة BDH نسبة الأمونيا فيها % 30 NH_3 كحد أدنى في تحضير محاليل عيارية يتراوح تركيز الأمونيا فيها من (10-60) غرام/لتر. ثم عويرت هذه المحاليل بمحلول (1 نظامي) من حمض كلور الماء من شركة MERK وباستخدام جهاز المعايرة الكمونية من شركة Metrohm. وجدنا أن هناك تقارباً كبيراً بين تركيز الأمونيا المحضر وتركيز الأمونيا المقيس وهذا يدل على دقة عالية في تحديد مولية كربونات وهدروكسيد الأمونيوم (دقة القياس بحدود % 2).

معايرة محاليل من بيكربونات الأمونيوم (NH_4HCO_3 مول/لتر)

حضّرت محاليل عيارية من بيكربونات الأمونيوم (0.1-1.5) مول/لتر من ملح بيكربونات أمونيوم عالية النقاوة أكثر من % 99 من شركة BDH. ثم عويرت هذه المحاليل بمحلول عياري 1 نظامي من حمض كلور الماء من شركة MERK. فكانت دقة القياس ضمن المجال 1-2 %.

معايرة مزيج من محلول كربونات وبيكربونات الأمونيوم

حضّر محلول من كربونات الأمونيوم بتركيز 34 غ/لتر NH_3 في بالون معايرة سعة 100 مل، ثم حضر أيضاً محلول من بيكربونات الأمونيوم بتركيز 17 غ/لتر NH_3 في بالون معايرة سعة 100 مل ثم أخذت حجوم مختلفة من المحلولين إلى بوالين معايرة سعة 100 مل وتمم الحجم حتى العلامة باستخدام الماء المقطر مع المزج الجيد وتم حساب تركيز النشادر في المحاليل المحضرة من المعادلة التالية:

$$NH_3\ g/L = (V_1 \times 0.034 + V_2 \times 0.017) \times 1000 / 100$$

$$NH_3\ g/L = V_1 \times 0.34 + V_2 \times 0.17$$

حيث V_1 الحجم المأخوذ من محلول الكربونات مل و V_2 الحجم المأخوذ من محلول البيكربونات مل.

ثم أنجزت المعايرة باستخدام محلول عياري 1 نظامي من حمض كلور الماء وحسبت مولية كربونات وبيكربونات وتركيز الأمونيا الكلية، فوجدنا أن دقة القياس تقع ضمن المجال 1.5-2 %.

معايرة العينات الصلبة

يوخذ وزن محدد بدقة من العينة الصلبة في بيشر جاف ونظيف وتحل بالماء المقطر ثم يكمل الحجم حتى 100 مل في بالون معايرة ثم يعاير المحلول وتحسب المولية كما سبق ثم تحدد النسبة الوزنية للأمونيا كما تحدد نسبة كربونات وبيكربونات الأمونيوم كما يلي:

ليكن m الوزن المأخوذ للتحليل M_1 و M_2 مولية كربونات وبيكربونات الأمونيوم و C تركيز الأمونيا غ/ل، فإن النسب الوزنية المئوية في العينة الصلبة تحسب من العلاقات التالية:

$$(NH_4)_2CO_3\ \% = 96M_1 \times 10/m$$
$$NH_4HCO_3\ \% = 79M_2 \times 10/m$$
$$NH_3\ \% = 10 \times C / m$$

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.
- طبقت هذه الدراسة على عينات من كربونات وبيكربونات أمونيوم موردة لصالح الوحدة الرائدة في حمص من عدة شركات MEAB, MERCK, BDH، فتبين أن هناك تقارباً كبيراً بين التراكيز المقيسة والمواصفات المرافقة لهذه المواد.

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

دراسة تكرارية الطريقة: حضرت عينة من كربونات الأمونيوم متوسطة التركيز 35 غ/ل ثم قيست عشر مرات خلال خمسين دقيقة وبنفس الشروط فتم الحصول على المعطيات الإحصائية التالية:

- الانحراف المعياري	S = 0.2007
- حدود التكرار	RL = 0.5619
- حدود الارتياب	CL = 0.1777
معامل الانحراف النسبي	RS = 0.5588
قيمة التكرارية	% RE = 35.915 ± 0.1777
صحة الطريقة	% RE = 2.717

الحد الأدنى للكشف: حضرت عينة عيارية بتركيز منخفض 1 غ/ل NH_3 انطلاقاً من كربونات الأمونيوم المخبرية باعتبار أن هذا التركيز يعادل خمسة أمثال حد أدنى يمكن معايرته. ثم عويرت هذه العينة 10 مرات ضمن نفس الشروط باستخدام محلول عياري 0.1 نظامي من حمض كلور الماء وحسب الانحراف المعياري فوجد بأنه يساوي 0.0098 وبالتالي فإن الحد الأدنى للكشف لهذه الطريقة 0.03.■

توجيه التناسل، وتشخيص الحمل، وتتبع طبيعة إفراز هرمون البروجسترون في الماعز الشامي★

د. محمد ربيع المرستاني
قسم الإنتاج الحيواني - كلية الزراعة - جامعة دمشق - دمشق
د. معتز زرقاوي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية
د. محمد فاضل وردة
إدارة دراسات الثروة الحيوانية - المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة - دمشق

ملخص

أجريت 3 تجارب على 228 أنثى ماعز شامي، وتوزع التعامل معها في ثلاث مراحل امتدت بين عام 1995 و 1998. هدفت التجارب إلى توجيه تناسل الماعز الشامي من حيث توقيت شياعه داخل موسم تناسله التقليدي، وإحداث شبقة خارج الموسم، إضافة إلى تشخيص حمله في وقت مبكر منه، وتتبع الوظيفة الإفرازية للجسم الأصفر في مراحل مختلفة من نشاطه وهدوئه الجنسي.

الكلمات المفتاحية: تناسل، تشخيص الحمل، بروجسترون، مقايسة مناعية إشعاعية، إسفنجات، بروستاغلاندين، ماعز شامي، موسم تناسلي.

مقدمة

تعدّ سلالة الماعز الشامي من سلالات ماعز الحليب النقية، ويلاحظ أن شهرة هذه السلالة تزداد يوماً بعد يوم، كما تزداد الرغبة في تربيتها في عديد من الدول العربية بشكل يجعل منها سلالة متميزة عربياً.

تتعدد طرائق إحداث الشبق في الماعز خارج موسم تلقيحه التقليدي، بينما لم تنتشر سوى طريقتين لتوقيت الشياع داخل موسم التناسل التقليدي، وهما طريقة المعاملة بهرمون البروجسترون أو بأحد مشتقاته الصنعية، وطريقة الحقن بالبروستاغلاندين.

يمكن تتبع النشاط الداخلي للمبايض من خلال تغيرات مستوى هرمون البروجستيرون في الدم، وإن موعد سحب عينة الدم له الأهمية الرئيسة في تشخيص الحالة الداخلية للمبايض. كما ويعد تشخيص الحمل في وقت مبكر متمماً لطرائق المعاملات الهرمونية المستخدمة بهدف إحداث الشبق وتوقيته، حيث يمكن عند كشف الحمل من عدمه في وقت مبكر إعادة تلقيح الإناث الفارغة.

نتائج ومناقشة

المرحلة الأولى: لُقّحت إناث المجموعة الأولى في الفترة الواقعة بين 36 و 72 ساعة من سحب الإسفنجات المهبلية، بينما امتدت فترة ظهور الشياع في المجموعة الثانية إلى 165±154 ساعة من الحقن بالبروستاغلاندين.

أظهرت عينات الدم المسحوبة في اليومين 21 و22 من التلقيح مستويات من هرمون البروجسترون تراوحت بين 9.25 و 42 نانومول/لتر، مما يشير إلى كون هذه الإناث حاملاً. في حين بلغ متوسط تركيز هرمون البروجسترون في دم الإناث اللواتي كررن قبول الذكر بعد 19-22 يوماً من تلقيحها الأول 0.82±0.48 نانومول/لتر.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

لدى مقارنة نتائج تشخيص الحمل بطريقة تقدير مستوى هرمون البروجسترون في دم العنزات بالمقايسة المناعية الإشعاعية مع وقائع الولادات، تبين أن معدل دقة هذه الطريقة في كشف الحمل بلغ 90.5 % في عينة تشخيص الحمل الأولى (21-22 يوماً من التلقيح)، و93.4 % في عينة تشخيص الحمل الثانية (40-44 يوماً من التلقيح).

المرحلة الثانية: أظهرت إناث المجموعة الأولى سلوك الشياع بعد 21-68 ساعة من سحب الإسفنجات المهبلية والحقن العضلي بهرمون مصل دم الفرس الحامل، بينما لم تظهر أية من إناث مجموعة الشاهد شياعاً.

أظهر مستوى هرمون البروجستيرون في عينات الدم المسحوبة من إناث المجموعة التجريبية اختلافاً واضحاً تبعاً للفترة التي سحبت فيها العينات، حيث بلغ متوسطه 0.08±0.12 نانومول/لتر في العينات التي سحبت قبيل زرع الإسفنجات، مما يشير إلى كون هذه الإناث في حالة هدوء جنسي قبل بدء التجربة والمعاملة الهرمونية. وقد بلغ متوسط تركيز البروجسترون 0.06±0.08 نانومول/لتر في العينات المسحوبة خلال وجود الإسفنجات في المهبل. أما بعد 5-7 أيام من نزع الإسفنجات المهبلية والتلقيح، فقد ارتفع مستوى هرمون البروجسترون إلى 3.74±7.33 نانومول/لتر بالمتوسط، مما يشير إلى حدوث الإباضة وبدء مرحلة النشاط في الجسم الأصفر.

المرحلة الثالثة: تم في هذه المرحلة تشخيص الحمل باستخدام جهاز كشف الحمل بالأمواج فوق الصوتية.

لقحت إناث المجموعة الأولى في الفترة الواقعة بين 12 و 48 ساعة، من سحب الإسفنجات المهبلية، بينما امتدت فترة ظهور الشياع الأول في المجموعة الثانية إلى 115±172 ساعة بعد حقنها البروستاغلاندين.

أمكن باستخدام جهاز الأمواج فوق الصوتية تشخيص الحمل بدقة جيدة جداً بلغت 93.3 %، وازدادت في التشخيص السلبي إلى 100 % عندما نفذ الاختبار في الأيام 47-61 من الحمل.

لدى مقارنة نتائج مجموعتي الإسفنجات في التجربتين الأولى والثالثة مع مجموعتي الشاهد المقابلتين في صفة تركيز موسم التلقيح، يتضح وجود فارق عالي المعنوية لصالح مجموعتي الإسفنجات.

لم يستطع مركب البروستاغلاندين تحقيق تزامن في الشياع كما حققته المعاملة بالإسفنجات المهبلية، حيث لوحظ تشتت في ظهور الشياع بعد الحقن بالبروستاغلاندين.

لم تكن استجابة الماعز الشامي إلى المعاملة التوافقية بالإسفنجات المهبلية متميزة داخل الموسم التناسلي فحسب، بل لوحظت مثل هذه الاستجابة الواضحة في إظهار الشياع خارج الموسم التناسلي أيضاً، حيث بلغ معدل التلقيح 100 % في المجموعة التجريبية مقابل صفر بالمائة في مجموعة الشاهد.■

تأثير رطوبة التربة والسماد البوتاسي على تكوين العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في الحمص (Cicer arietinum L.) والفول (Vicia faba L.)★

د. فواز كردعلي، فريد العين، محمد الشماع
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

قُدِّر تأثير إضافة ثلاثة معدلات من السماد البوتاسي (0 و 75 و 150 كغ K_2O/هـ) على أداء نباتي الحمّص والفول المزروعَين في أصص بوجود ثلاثة مستويات من الرطوبة (منخفضة 45-50 %؛ متوسطة 55-60 % ومرتفعة 75-80 % من السعة الحقلية). أظهرت الدراسة وجود تأثير معنوي لنقص رطوبة التربة على تكوين العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة والآزوت المثبت في النوعين المدروسين. كان تأثير الإجهاد المائي على النسب المئوية للآزوت المثبت أكثر حدةً في نبات الحمص (11-58 %) منه في نبات الفول (68-81 %) وذلك في معاملتي الرطوبة المنخفضة والمرتفعة على التالي. وأدى التسميد البوتاسي إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة وكمية الآزوت المثبت في الفول فقط على الرغم من النقص الحاد في رطوبة التربة. في حين لم تختلف النسب المئوية للآزوت المثبت في النباتات المعرضة لإجهاد جفاف مرتفع بالرغم من إضافة البوتاسيوم إلى النوعين المدروسين.

الكلمات المفتاحية: بوتاسيوم، جهد الماء، تثبيت الآزوت الجوي.

★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مقدمة

تعتبر الرطوبة من أهم العوامل الرئيسة التي تؤثر على الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي وذلك بتأثيرها على كل من البكتريا والنبات المضيف. يكمن الأثر السلبي للجفاف في الحد من نمو وبقاء البكتريا في التربة، وفي القدرة على تشكل العقد الجذرية وتطورها وفي اجتياز النبات لأطواره الفينولوجية المختلفة وبالتالي في كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. بينت دراسات عديدة أهمية عنصر البوتاسيوم في تحسين مقاومة النباتات لعوامل الجهد اللاحيوية وخاصة الجفاف. حيث يكمن دور هذا العنصر في تنظيم عمل الثغور التنفسية في الأنسجة النباتية وهي الآلية التي تتحكم بالنظام المائي للنباتات. تتعرض النباتات البقولية في المناطق البعلية إلى فترات من الجفاف تترافق غالباً مع مرحلة الإزهار وتشكل القرون، مما يؤثر سلباً على الإنتاج وعلى عملية تثبيت الآزوت الجوي. وبناءً على ذلك هدفت هذه الدراسة إلى تبيان تأثير السماد البوتاسي على إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نباتات الفول والحمص النامية في تربة بوجود مستويات مختلفة من الرطوبة خضعت لها النباتات خلال مرحلة الإزهار.

المواد والطرائق

أجريت التجربة على أصص سعة 2 كغ، حيث زرعت بذور الحمص (c.v.ILC482) وبذور الفول (بلدي) إضافة إلى طراز وراثي من الحمص غير مثبّت للآزوت الجوي (PM-233) بصفة نبات مرجعي. ووضعت الأصص ضمن ظروف مناخية طبيعية. بلغ عدد الأصص من كل نوع نباتي ستة وثلاثين وزعت ضمن ثلاث مجموعات (12 أصيصاً ضمن كل مجموعة) بحيث أضيف لكل منها المعدلات التالية من السماد البوتاسي: K0 شاهد، K1 75 كغ و K2 150 كغ K_2O/هـ. وذلك بعد ظهور الورقة الحقيقية الأولى. تم تنظيم عملية ري الأصص جميعاً بالحفاظ على رطوبة التربة عند 75-80 % من السعة الحقلية، انطلاقاً من الإنبات وحتى بدء ظهور البراعم الزهرية (بحدود 8 أسابيع). وأضيف لكل أصيص آزوت بمعدل 20 كغ N/هـ سماد اليوريا بنسبة إغناء مقدارها فوق الحد الطبيعي لحساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. وزعت كل مجموعة – بعد ذلك – إلى ثلاث مجموعات (أربعة أصص) خضعت كل منها إلى معاملة رطوبة مختلفة حتى بدء مرحلة تشكل القرون:

Fc1: محتوى رطوبة منخفض 45-50 % من السعة الحقلية.

Fc2: محتوى رطوبة معتدل 55-60 % من السعة الحقلية.

Fc3: محتوى رطوبة مرتفع 75-80 % من السعة الحقلية.

حصدت النباتات بعد 12 أسبوعاً من الإنبات وجرى تقدير الوزن الجاف لكامل النبات وللعقد الجذرية وذلك بتجفيف العينات على درجة حرارة 70°C لمدة ثلاثة أيام. قدر الآزوت الكلي وفق طريقة كلداهل. وحددت N^{14}/N^{15} % باستخدام جهاز المطياف الضوئي.

النتائج والمناقشة

عند تعرض نباتات الفول – بعد مرحلة الإزهار – إلى إجهاد جفاف مرتفع (Fc1) ساعدت التغذية البوتاسية على زيادة تحمل هذا الجهد البيئي وبالتالي زاد إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي في النبات. وعندما كانت الرطوبة الأرضية معتدلة نسبياً (Fc2) كان تأثير السماد البوتاسي إيجابياً ومعنوياً ولكن بدرجة أقل من سابقها. وعند نمو النباتات في تربة مرتفعة الرطوبة (Fc3) كان التأثير معنوياً عند إضافة معدل مرتفع من البوتاسيوم. ومن الجدير ذكره في هذه الدراسة أن إضافة معدل مرتفع من السماد البوتاسي إلى الفول المتعرض إلى إجهاد مرتفع من الجفاف أدى إلى إنتاج مادة جافة تماثل تلك التي أنتجت في معاملات الرطوبة الأكثر ارتفاعاً باستثناء إنتاج المادة الجافة في المعاملة Fc3K2.

أما في الحمص فلم تؤد إضافة البوتاسيوم إلى أي تغير يذكر في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي للنباتات عند مستوى رطوبة تربة منخفض (Fc1). وكان للرطوبة دور كبير في زيادة إنتاج المادة الجافة في الحمص (من Fc1 إلى Fc2). ولم تحقق زيادة رطوبة التربة (من Fc2 إلى Fc3) زيادة في المادة الجافة في كل معاملة من معاملات التسميد البوتاسي. وكان للتسميد البوتاسي المرتفع دور لا يمكن إغفاله في رفع إنتاج المادة الجافة في المعاملة Fc3 والآزوت الكلي للنباتات في المعاملتين Fc2 وFc3. لذلك يمكن الاستنتاج مما سبق أن رطوبة التربة عامل محدد في نمو الفول والحمص، وأن السماد البوتاسي حقق زيادة في المادة الجافة في الفول وليس في الحمص عند جهد مرتفع من الجفاف.

يعود السبب الفيزيولوجي لزيادة إنتاج المادة الجافة للنباتات المسمدة بعنصر البوتاسيوم والمعرضة للظروف الجافة إلى دور هذا العنصر في تنظيم عمل الثغور التنفسية في الأنسجة النباتية وهي الآلية التي تحكم النظام المائي للنباتات. فبوجود كميات كافية من البوتاسيوم يزداد امتصاص الماء نتيجة لتغير القدرة الحلولية وتتحسن قدرة النبات على حفظ الماء في أنسجته كما تنخفض عملية النتح. كما أن زيادة تركيز K^+ في الخلايا الحارسة للثغور يؤدي إلى فتح الثغور وزيادة تدفق CO_2 وبالتالي زيادة معدل التمثيل الضوئي واصطناع جزيئات ATP الحاملة للطاقة.

لقد تميز نبات الفول عن نبات الحمص بكفاءة عالية للآزوت الجوي، حيث تجاوزت النسب المئوية للآزوت المثبت (Ndfa %) 70 % في أغلب الحالات. ولم تكن الفجوة كبيرة في نبات الفول بين أدنى قيمة لهذه النسبة (68 % في Fc1) وأعلى قيمة لها (81 % في Fc3) مما يدل على عدم تثبيط النشاط الأنزيمي للنتروجيناز وبالتالي على نشاط تثبيتي مرتفع للريزوبيا حتى بوجود نقص حاد في رطوبة التربة. كما تدل هذه النتائج على أن تأثر عملية تثبيت الآزوت الجوي في الفول بالجفاف أقل من تأثر نمو النبات نظراً للانخفاض الحاد في إنتاج المادة الجافة مع انخفاض رطوبة التربة. أما في الحمص كان تأثر العملية التثبيتية بفعل الجفاف أكثر من تأثر إنتاج المادة الجافة، حيث يلاحظ أن Ndfa % في المعاملة Fc1 أقل بأربع مرات منها في المعاملة Fc2. وتراوحت النسب المئوية للآزوت المثبت في الحمص من 11 وحتى 58 %، أي أن الفجوة كانت كبيرة بين أدنى قيمة في المستوى الرطوبي المنخفض Fc1 وأعلى قيمة في المستوى الرطوبي المرتفع Fc3 وذلك على عكس نبات الفول، وهذا قد يكون ناجماً عن تأثر سلالات ريزوبيا الحمص بالجفاف مما انعكس سلباً على كفاءة تثبيت الآزوت الجوي، لأن درجة تحمل الريزوبيا للجفاف تختلف باختلاف السلالة البكتيرية. من ناحية أخرى، بينت النتائج عدم وجود أي تأثير

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

إيجابي لإضافة البوتاسيوم على % Ndfa في النباتات المتعرضة إلى إجهاد مرتفع من الجفاف (Fc1). في حين أدى التسميد البوتاسي إلى رفع كميات الآزوت المثبتة للفول في معاملات الرطوبة الثلاث.

عزا الباحثون انخفاض كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في الظروف الجافة إلى خفض معدل التمثيل الضوئي، وبالتالي إلى ضعف تزويد العقد الجذرية بمنتجات التمثيل الضوئي اللازمة لأداء العملية التثبيتية وتنشيطها. كما يسبب الجفاف تغيرات فيزيولوجية وكيميائية في النباتات البقولية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض في محتوى العقد الجذرية من مادة الليغمو غلوبين وفي ضعف التنفس وإنتاج جزيئات ATP.

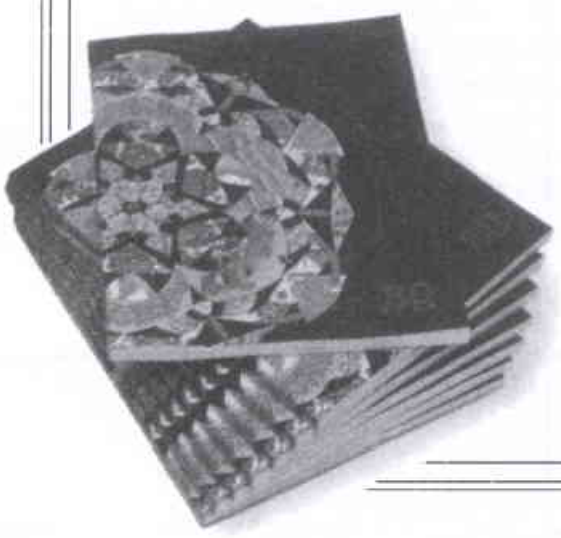
بينت هذه الدراسة أن الجفاف عامل محدد وسلبي في نمو النباتات البقولية من حيث النمو وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي. ساهم التسميد البوتاسي في تخفيف الضرر الناجم عن الجفاف بحيث اختلفت درجة التأثير باختلاف النوع النباتي المدروس، إذ أدت إضافة السماد البوتاسي إلى نبات الفول المتعرض لجهد حاد في رطوبة التربة، إلى تقليص ضرر الجفاف وذلك بزيادة إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي وكمية الأزوت المثبت، في حين لم يلاحظ وجود أي أثر إيجابي لإضافة البوتاسيوم على Ndfa % في النباتات المتعرضة إلى الجهد ذاته. وفي الحمص تجلى الأثر الإيجابي المعنوي للسماد البوتاسي على نسب وكميات الآزوت المثبتة فقط في المعاملة التي لم تُعانِ من جهد مائي، مشيراً بذلك إلى متطلبات النظام التعايشي المرتفعة لعنصر البوتاسيوم لتحقيق نمو جيد وكفاءة تثبيتية مرتفعة في ظروف رطوبة مناسبة.

إن رفع تحمل النباتات البقولية للجفاف عن طريق التغذية البوتاسية بهدف زيادة الإنتاج وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي هو إجراء زراعي مؤقت وغير مكلف. غير أن انتخاب طرز وراثية أكثر تحملاً للجفاف وذات مواصفات تتميز بقدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء وبمعدل تمثيل ضوئي مرتفع للنبات وفعالية وظيفية مرتفعة للعقد الجذرية تعد أموراً يجب متابعتها وأخذها بعين الاعتبار، وذلك بهدف ديمومة استثمار الأراضي الزراعية في المناطق الجافة وشبه الجافة.■

☆ ★ ☆

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

كتب حديثة مختارة



1- البنى اللامتجانسة الكمومية:

الإلكترونيات المكروية والإلكترونيات الضوئية

Quantum Heterostructures: Microelectronics and Optoelectronics ★

تأليف: ف. ف. ميتين، ف. أ. كوتشيلاب وم. ستروسيو

عرض وتحليل: و. إ. بورود**

"أهلاً بكم في عالم تقوم فيه النبائط على المفاهيم الكمومية!" هذه هي العبارة التي يبدأ بها فلاديمير ف. ميتين، وفياتشيسلاف أ. كوتشيلاب و ميخائيل أ. ستروسيو كتابهم " البنى اللامتجانسة الكمومية". يظهر الكتاب في وقت مناسب: الوقت الذي أعلن فيه الرئيس كلنتون ضمن خطابه الذي ألقاه في كانون الثاني عام 2000 في كالتِش عن "مبادرة التقانة النانوية الوطنية"، حيث أكّد دعمه حقل البحث في البنى النانوية ويقينه بجلب الانتباه والنشاط إلى مجال البنى النانوية والنبائط القائمة على المفاهيم الكمومية.

يقدم الكتاب المبادىء الفيزيائية الأساسية التي تقوم عليها البنى اللامتجانسة الكمومية وتطبيقاتها في الإلكترونيات المكروية والإلكترونيات الضوئية. يبدأ المؤلفون بمراجعة الاتجاهات التي دفعت نمنمة الإلكترونيات المكروية نحو نظام السلم النانوي. وبعد ذلك يقدمون الأسس النظرية للإلكترونيات النانوية بتقديم الأساسيات الجوهرية في ميكانيك الكم وفيزياء الحالة الصلبة.

تطبّق هذه الأساسيات، في بعض الفصول اللاحقة، على فيزياء البنى اللامتجانسة الكمومية. وهنا يُعرِّف القارىء بالحالات الإلكترونية في بنى نصف ناقلة منخفضة البعدية وبنقلها الإلكتروني وخواصها الضوئية.

واعتماداً على هذا الفهم للظواهر الفيزيائية ذات الصلة، يعرض المؤلفون تطبيقات على النبائط الإلكترونية والإلكترونية الضوئية. تشمل دراسة النبائط الإلكترونية نبائط أكثر تقليدية (بنى لامتجانسة) مثل نبائط ثنائية القطبية bipolar ونبائط أثر الحقل field-effect، ونبائط أكثر تقدماً مثل نبائط العبور النفقي التجاوبي resonant-tunneling ونبائط الإلكترون الوحيد single-electron devices.

وفي النهاية يناقش المؤلفون الخواص الضوئية اللاخطية والآثار الإلكترونية الضوئية في البنى اللامتجانسة وتطبيقاتها. وهذه تشمل بنى لامتجانسة من أنصاف النواقل وليزرات النقط الكمومية quantum-dot lasers، وليزر الشلال الكمومي quantum cascade laser، ونبائط ذات أثر إلكتروني - ضوئي ذاتي self-electro-optic-effect.

وعلى العموم، فإن التأكيد على البنى اللامتجانسة الكمومية ينصبّ على المبادىء الفيزيائية لأنها تتعلق بسلوك النبيطة. ويقوم المؤلفون بعمل عظيم بتفسيرهم الظواهر الفيزيائية المختلفة وفي جعل تطبيقات نبائطهم جذابة ومحبّبة. لقد كُتب هذا الكتاب بأسلوب يكاد يكون تقليدياً، بحيث يجعل القارىء يصل إلى وجهات نظر المؤلفين ورؤاهم الثاقبة في المجال المطروح.

يكمّل هذا الكتاب كتباً أخرى حديثة تمهيدية، مثل: "أنصاف نواقل ذات أبعاد منخفضة: مواد، وفيزياء، وتقانة ونبائط"، لمؤلفه ميخائيل ج. كيللي (مطبعة جامعة أوكسفورد، 1995)، وكتاب "فيزياء أنصاف النواقل ذات الأبعاد المنخفضة: مدخل"، لمؤلفه جون هـ. ديفيز (مطبعة جامعة كامبريدج 1998). إن القراء المهتمين (الشغوفين) بتفاصيل إضافية عن سلوك النبائط والقضايا التقانية سيجدون في كتاب "البنى اللامتجانسة الكمومية" الخلفية الفيزيائية. لكن يبقى عليهم أن يُلحقوه بكتب أخرى أكثر تركيزاً، مثل: "فيزياء نبائط أنصاف النواقل الحديثة" الذي كتبه س. م. تزي S. M. Sze (ويلي 1998)؛ و"النقل في البنى النانوية" لمؤلفه ديفيد ك. فِرّي D. K. Ferry، و ستيفن م. غودنيك S. M. Goodnik (مطبعة جامعة كامبريدج، 1997) و"نظرية متقدمة لنبائط أنصاف النواقل"، لمؤلفه كارل هيسّ K. Hess (مطبعة IEEE، 1999) و"الإلكترونيات الضوئية من أنصاف النواقل: فيزياء وتقانة"، لمؤلفه جاشبريت سينغ J. Singh (ماكرو هيل، 1995).

إن كلاً من ميتين وكوتشيلاب وستروسيو باحث ضليع في حقل بنى أنصاف النواقل اللامتجانسة ونبائطها، مع التأكيد الخاص على نظرية النقل الإلكتروني. ولقد ساهموا في نشر أوراق علمية رائدة عن الفونونات في بنى نصف ناقلة ذات أبعاد منخفضة، وتنعكس هذه الخلفية على ما احتواه هذا الكتاب من دراسة مكثّفة عن الاهتزازات الشبيكية في البنى اللامتجانسة لأنصاف النواقل. إن هذا الموضوع لم ينل تغطية على هذا المستوى من التفصيل في أي كتاب آخر. ورغم ذلك فالمؤلفون لا يقومون بذلك من أجل أنفسهم، ومعالجتهم للفونونات قد تبرهن على أهمية خاصة للباحثين الذين يحاولون أن يحققوا إنجازاً في الحالة الصلبة في حقل الحوسبة الكمومية لأن الاهتزازات الشبيكية هي العقبة الأساسية للمحافظة على الترابط المرغوب للحالات الإلكترونية.

سيكون هذا الكتاب أكثر فائدة للفيزيائيين المهتمين بالحصول على معرفة بما يتعلق بالنبائط الإلكترونية النانوية والكمومية والذين قد يعتزمون بلوغ مراتب الباحثين في فيزياء البنى النانوية وتقانتها. وسيكون ذا فائدة أيضاً لأولئك المحترفين الممارسين في حقل الإلكترونيات المكروية والإلكترونيات الضوئية. يتضمن الكتاب مسائل تُنجَز كواجبات منزلية

★ By V. V. Mitin, V. A. Kochelap and M. A. Stroscio: Cambridge U. Press, New York, 1999.

** و. إ. بورود: جامعة نوتردام - نوتردام - إنديانا.

- العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, January 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

وهو ملائم ككتاب مدرسي في مستوى التخرج (وربما في مستوى متقدم قبل التخرج).

وخلاصة القول، فإن هذا الكتاب يقدم مدخلاً شاملاً لمبادىء الفيزياء في البنى النانوية وتطبيقاتها على النبائط. وينبغي أن يكون هذا الكتاب كنقطة بدء مفيدة لأولئك الأفراد الذين يريدون أن يتعلموا أشياء حول التفكير الجاري وآخر ما توصل إليه العلم والتقانة في الإلكترونيات النانوية.■

2- الفرن السحري:
البحث عن أصول الذرات

The Magic Furnace: The Search for the Origins of Atoms ★

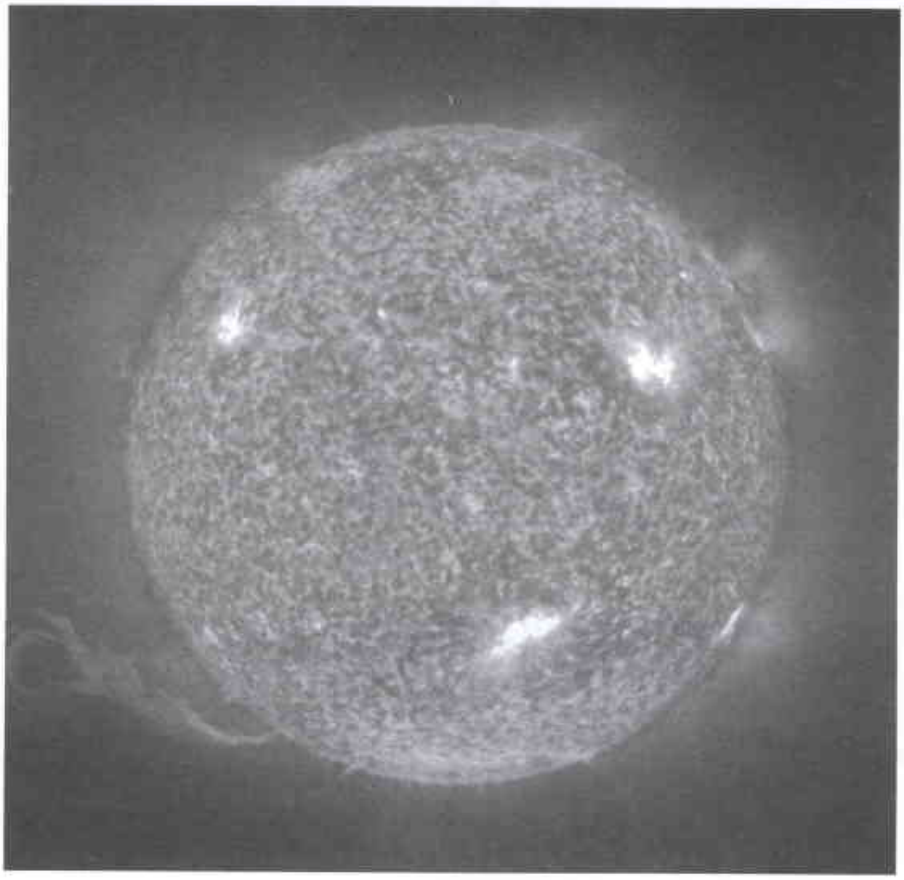
تأليف: م. تشاون
عرض وتحليل: هـ. آ. بيث**

يروي كتاب "الفرن السحري" قصة اكتشاف ولادة الذرات داخل النجوم. فهل هو كتاب جيد؟ لم أكن متأكداً بعد عندما قرأت ما يقرب من نصفه الأول. ولكن النصف الثاني الذي يناقش تركيب النوى الذرّية جيد جداً. كان مؤلف الكتاب ماركوس تشاون M. Chown أكثر الناس سعادة عندما كان يروي القصص الشخصية للعلماء وإنجازاتهم. إن وصف اكتشاف غوستاف كيرشوف G. Kirchoff بأن لكل عنصر طيفاً مميزاً، وتحديده للعناصر في طيف ضوء الشمس، يجعل القراءة ممتعة ومشوّقة. لقد وصل الكتاب إلى ذروته في الإمتاع عندما تحدث عن عمل فريد هويل F. Hoyle وويلي فاولر W. Fowler اللذين اكتشفا أن بعض الذرات قد تشكلت عند الانفجار العظيم واستمر تشكل الذرات الأخرى في النجوم.

المشكلة في النصف الأول من الكتاب هي أن المؤلف لم يميّز بوضوح كافٍ بين النتائج الجديدة والمهمة وتلك النتائج المعروفة تماماً. وهكذا عند مناقشة عمل آرثر إدينغتون A. Eddington عن النجوم يكتب قائلاً "يعمل الغاز على توليد ضغط عالٍ"، مع أن المعروف منذ زمن روبرت بويل R. Boyle عام 1662 بأن للغاز ضغطاً يتناسب مع كثافته ومع درجة حرارته. وما كان يجب على إدينغتون أن يبدأ بعمله على الغازات لو لم يكن عالماً بهذه الحقيقة.

يصف تشاون دورة الكربون - نتروجين وسلسلة البروتون - بروتون حيث يتحول فيهما الهدروجين إلى هليوم. ولكن بالرغم من أنه أخبرنا بأن دورة الكربون - نتروجين حسّاسة لدرجة الحرارة، فإنه لم يخبرنا بأن درجة الحرارة عند مركز النجم (التي يمكن أن تصل إلى 40 مليون درجة كلفن) تعتمد على المادة التي شكلت حجمه. ولكن بعد ذلك بفترة طويلة يخبرنا المؤلف فقط بأن المادة النجمية لا تشبه المادة على الأرض، وأنها على الغالب من الهدروجين. وهذا يخفض درجة الحرارة المحسوبة في مركز الشمس من 40 إلى 13 مليون درجة كلفن.

ينتهي كتاب "الفرن السحري" بوصف إخباري عن كيفية تشكل الذرات في المادة الساخنة جداً عند الانفجار العظيم، وفي بواطن النجوم



الأصول الملتهبة: تستمر الذرّات بالتشكل في الباطن الحار للنجوم.

★ By M. Chown ,Oxford University Press: 2001.
** هـ. آ. بيث: أستاذ الفيزياء في جامعة كورنيل - أزاكا - نيويورك - الولايات المتحدة الأمريكية.
- العرض والتحليل: عن مجلة *Nature*, Vol. 411, 21 June 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

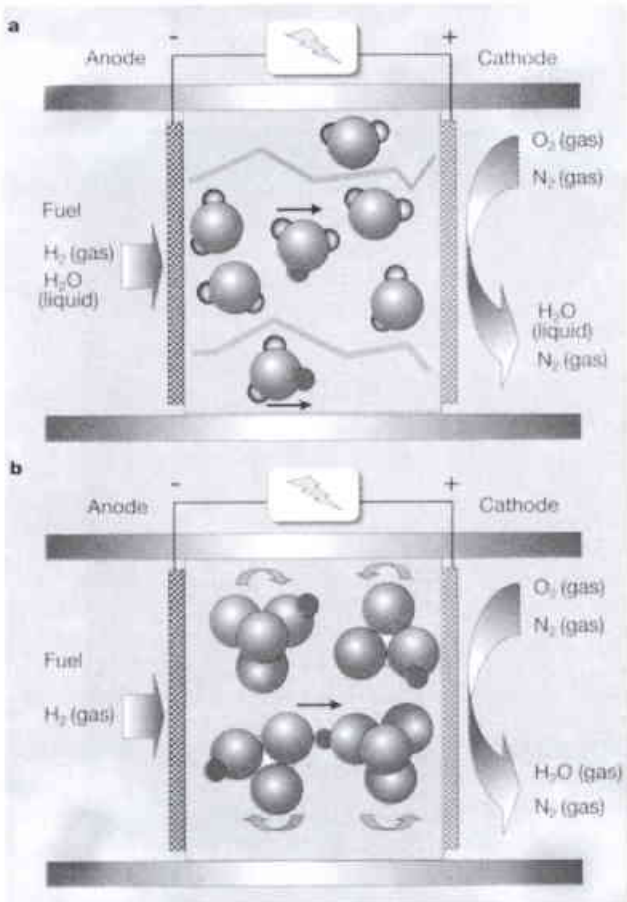
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الأقل سخونة. وهو يوضّح لماذا صنع الانفجار العظيم عنصر الهليوم فقط، ولماذا يوجد حوالي 25% (وزناً) من الهليوم في الكون.

إننا نكتشف لماذا يوجد وفرة من الذرات حتى الوزن الذرّي للحديد، وقليل من الذرات للأوزان الذرّية الأعلى، وكيف تشكلت هذه الذرات في النجوم من إضافة نترونات إلى النوى الموجودة واحداً فواحد. وأخيراً أخبرنا الكتاب كيف تهرب الذرات المتولدة في النجوم إلى داخل الوسط البينّجمي لتشكل نجوماً جديدة.■

☆ ★ ☆

الغلاف الثاني



خلايا وقود تستخدم النقل البروتوني

a- خلية وقود بـ كهرليت من البوليمير

b- خلية وقود بـ كهرليت من الحمض الصلب

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

In the third experiment, 75 females were used in 3 groups, S, P and C. Detection of pregnancy was done using ultrasound pregnancy detector, 50-60 days post mating. Females in group S showed oestrus signs and were mated within 12-48 h post sponge withdrawal. Whereas, oestrus and mating occurred within 19 days post the second injection of prostaglandin for the group P, and within 16 days post the introduction of bucks for the group C. Using ultrasound pregnancy detector, it was possible to detect pregnancy, 47-61 days post mating with an accuracy of 93.3 %.

Key Words

reproduction, pregnancy diagnosis, progesterone, radioimmunoassay, Damascus goats, sponges, prostaglandin, breeding season.

⋆ A short report on a laboratory scientific study achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of syria.

NODULATION, DRY MATTER PRODUCTION, N_2 FIXATION IN FABABEAN AND CHICKPEA AS AFFECTED BY SOIL MOISTURE AND POTASSIUM FERTILIZER⋆

F. KURDALI; F. AL-AIN AND M. AL-SHAMMA

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

ABSTRACT

The impact of three rates of K-fertilizer (0, 75 and 150 kg K_2O_5 ha^{-1}) on nodulation, dry matter production and N_2 fixation by fababean (Vicia faba) and chickpea (Cicer arietinum) was evaluated in a pot experiment. The plants were subjected to three soil moisture regimes (low, 45-50 %; moderate, 55-60 % and high 75-80 % of field capacity). Water restriction drastically affected dry matter production, nodulation and N_2 fixation by both plant species. The effect of water stress on N_2 % fixed was more prominent in chickpea (11-58 %) than in fababean (68-81 %) under low and high % of field capacity, respectively. Plant species differed in their response to K-fertilizer in enhancing growth by overcoming the stress conditions. The higher level of K fertilizer increased both dry matter production and total N_2 fixed in fababean, but did not have any impact on chickpea. % N_2 fixed, however, appeared to be unaffected by K fertilizer in alleviating drought stress in both plant species.

Key Words

potassium, water stress, N_2 fixation.

⋆ A short report on a field exploratory experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of syria.

☆ ★ ☆

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

TITRATION OF AMMONIUM CARBONATE, AMMONIUM BICARBONATE AND AMMONIA BY POTENTIOGRAPH METER*

J. STAS, S. KHORFAN AND W. RAFOUL

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

ABSTRACT

This work shows the possibility of titrating ammonium salts (carbonate, bicarbonate, carbonate + bicarbonate) by dissolving a known weight from it in double distilled water and, then titrate it with hydrochloric acid standard solutions using Metrom potentiograph. This method is fast, accurate and enables us to control the molarity of ammonium carbonate solution used to strip uranium from the organic phase 0.3 M D_2EHPA + 0.075 M TOPO in the second extraction cycle. Since any change in the molarity of ammonium carbonate (0.52 - 0.48 M) and ammonium hydroxide 0.05 M causes an emulsion, which is not desirable in solvent extraction.

Key Words

titration, ammonium carbonate, ammonium bicarbonate, ammonia, potentiograph meter

* A short report on a laboratory scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of syria.

CONTROL OF REPRODUCTION, PREGNANCY DIAGNOSIS, MONITORING OF PROGESTERONE SECRETION IN DAMASCUS GOATS*

M. R. AL-MERESTANI

Department of Animal Production, Faculty of Agriculture, University of Damascus, P. O. Box 30621, Damascus, Syria

M. ZARKAWI

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

M. WARDEH

Department of Studies of Animal Wealth, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, P. O. Box 2440, Damascus, Syria

ABSTRACT

This study included 3 experiments and was carried out on 228 female Damascus goats. In the first experiment, 75 female Damascus goats were used in 3 groups, sponges (S), prostaglandin (P), and control (C). Oestrus appeared during 36-72 h post sponge withdrawal, whereas appeared during 165 ± 154 hours and 9.5 ± 4 days for the does in groups P and C, respectively. Birth rates were 217, 191 and 178 % for groups S, P and C, respectively. Using radioimmunoassay for the determination of progesterone, 21-22 days post mating, it was possible to diagnose early pregnancy, with an accuracy of 90.5. This accuracy increased to 93.4 %, 40-44 days post mating.

The second experiment was performed outside the normal breeding season. Seventy-eight females were used in 2 groups, S and C. All treated does showed oestrus signs following the treatment, whereas, non of the untreated animals showed any sign of oestrus. Progesterone level, measured in the control group, indicated and confirmed the existence of an oestrus period during June. Progesterone level was very low, averaging 0.02 ± 0.03 nmol/l, indicating no active corpora lutea.

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

THE EFFECT OF NATURE AND CONCENTRATION OF MINERAL SALTS ON THE CLOUD POINT CURVE FOR $C_{12}EO_6$ EXTRACTANT*

M. ALIBRAHIM

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

ABSTRACT

The effect of different salts, sodium carbonate, sodium chloride and potassium chloride was investigated on the cloud point curve for aqueous extractant solution Hexa ethylene glycol mono-n-dodecyl ether $C_{12}EO_6$.

The results have indicated a lowering of the cloud point curve and critical temperature toward the lowest degrees of temperature, when the concentration of each salt increases.

The results have showed that the anion of each salt, plays an active role, by lowering the cloud point curve. But the effect of the cation is very weak, the importance of this effect can be summarized as follows:

$Na_2CO_3 > NaCl > KCl$

where the effect of the NaCl is nearly similar to the effect of KCl on the cloud point.

Key Words

nonionic extractant, isotropic phase, cloud point, micelle

* A short report on a scientific research achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of syria.

THE POSSIBILITY OF USING PLASTIC DETECTORS CR-39 AS AN UV DOSIMETERS*

R. SHWEIKANI, G. RAJA AND A. A. SAWAF

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

ABSTRACT

Plastic solid state nuclear track detectors (SSNTDs), in which tracks of charged particles (protons upwards) can be revealed by suitable chemical etching, are currently being used in a number of disciplines including nuclear physics, geology, and cosmic-ray physics.

It has been reported that irradiating plastic detectors with gamma rays or UV (Which do not themselves make tracks) can affect the properties of track registrations on these detectors [1]. Many studies were performed to use CR-39 for gamma dosimetry and UV detection. Bulk and Track etching rates were used as an indication for this effect [2-3]. Also, UV-VIS and FTIR Spectroscopy were used to study the effect of X-rays on CR-39 [4].

In this work, the effect of solar ultra violate (SUV) and ultra violate type A (UVA) on CR-39 detectors were studied. This was done using three techniques: 1- tracks diameters and densities, 2- UV-VIS spectrometry and 3- FTIR spectrometry. The detectors were divided into two groups, the first was exposed to UV First and then to alpha particles, the second group was exposed in reverse i.e. Alpha first and UV second.

Results showed that the effect of UVA on CR-39 was not clear using the three techniques. While, the effect of SUV was clear when using UV-VIS and FTIR spectrometric, and not clear when using track parameters.

Key Words

plastic detector, CR-39, track diameter, UV, UV-Vis, FTIR

* A short report on a laboratory 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

REPORTS

MATHEMATICAL MODELING OF HYBRID CO_2 LASER*

B. ABDUL GHANI, M. HAMMADI
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A Teller-Landau six-temperature model describing the dynamic emission of single mode TEA CO_2 laser has been adapted. This model has been also used to describe the mechanism of obtaining relatively high-power output pulses from hybrid TE-TEA or CW-TEA CO_2 laser consisting of high and low-pressure sections. The suggested mathematical model allows to investigate the mechanism which limits the TEA oscillation to single longitudinal mode (SLM) due to the narrow gain bandwidth of low-pressure section, and also to study the effect of the laser input parameters on the smooth output laser pulse parameters. In addition, numerical solutions of non-linear rate equation system of the suggested model are quantitatively discussed. The solutions describe the radiation field intensity, the population inversion, and the energy transfer processes. The calculated values of maximum peak power, total energy in pulse, pulse width, etc... are in a good agreement with the observed experimental values.

Key Words

modeling; hybrid; CO_2 laser.

* A short report on scientific research achieved in the Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.

DETERMINATION OF ISOMERIC YIELDS RATIO OF NB-95 IN THE FISSION OF THORIUM-232 WITH REACTOR NEUTRINOS*

O. ALHASSANIEH, M. GHAFAR, N. SALMAN
Department of Physics, Atomic Energy Commission P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The isomeric ratio yield and the root mean square of angular momentum of ^{95}Nb (0.65, 7.5 h) from the reactor neutron induced fission of ^{232}Th were determined. Thorium nitrate samples were irradiated in the Syrian MNSR - reactor for various time intervals, γ- Spectroscopy was used for yield determination. The root mean square of angular momentum (J_{rms}) was calculated according to the Madland-England model and to the Rudstam model.

Key Words

isomeric ratio yield , angular momentum, fission of thorium, niobium-95

* A short report on a laboratory scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of syria.

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

CHANGES IN BIOGAS PRODUCTION DUE TO DIFFERENT RATIOS OF SOME ANIMAL AND AGRICULTURAL WASTES*

M. R. AL-MASRI

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

ABSTRACT

The biogas production and some biochemical parameters of anaerobic fermentation at 30 °C for 40 days were studied for eight experimental groups of fermentation media, as affected by two factors: (1) the type of the animal waste (sheep waste, S and goat waste, G), and (2) the ratio of waste to olive cake which constitutes four levels (100:0 for S1 and G1; 80:20 for S2 and G2; 60:40 for S3 and G3 and 40:60 for S4 and G4). The results indicated that there was a significant decrease ($P < 0.05$) in the biogas production with an increase in the proportion of olive cake in place of animal waste. However, there was a significant increase in the biogas production for the S4 treatment compared with G4, reflecting an effect induced by the type of animal waste. The biogas production amounted to(l / kg VS / 40 d): 62 (S1), 53 (S2), 49 (S3), 40 (S4), 58 (G1), 50 (G2), 44 (G3) and 25 (G4). The reduction in total solid (TS) weight, volatile solids (VS), neutral-detergent fiber decreased significantly ($P < 0.05$) with the increase in olive cake proportion in the digester. The reductions in VS were (% in DM): 58.2(S1), 37.8(S2), 26.6(S3), 22.6(S4), 58.1(G1), 36(G2), 33.4(G3), 14.4(G4). The rates of energy consumption were (MJ / kg DM / 40 d): 15.36(S1), 10.12(S2), 7.84(S3), 6.68(S4), 14.16(G1), 9.68(G2), 8.41(G3), 3.29(G4).

Key Words

biogas, sheep waste, goat waste, olive cake, anaerobic digestion.

* This paper appeared in *Bioresource Technology*, 2000.

THE 9 JULY 551 AD BEIRUT EARTHQUAKE, EASTERN MEDITERRANEAN REGION*

R. DARAWCHEH, M. R. SBEINATI

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

C. MARGOTTINI, S. PAOLINI

Italian Agency for New Technology, Energy and Environment, P.O. Box 65 - 00044 Frascati, Rome, Italy

ABSTRACT

Analysis of the Byzantine Primary and secondary sources for identifying the historical earthquakes in Syria and Lebanon reveals that a large earthquake (Ms = 7.2) occurred in July 9th, 551 AD along the Lebanese littoral and was felt over a very large area in the eastern Mediterranean region. It was a shallow - focus earthquake, associated with a regional tsunami along the Lebanese coast, a local landslide near Al - Batron town, and a large fire in Beirut. It caused heavy destruction with great loss of lives to several Lebanese cities, mainly Beirut, with a maximum intensity between IX - X (EMS - 92). The proposed epicentre of the event is offshore of Beirut at about 34.00°N, 35.50°E, indicating that the earthquake appears to be the result of movement along the strike-slip left-lateral Roum fault in southern Lebanon.

Key Words

seismology, historical earthquakes, historical primary sources, Lebanon.

* This article appeared in *Journal of Earthquake Engineering*, 5 June, 2000.

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

SEPARATION OF ^{99m}Tc FROM ^{99}Mo BY USING TOPO-KEROSENE SUPPORTED LIQUID MEMBRANE*

T. YASSINE

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

ABSTRACT

Transport of $^{99m}TcO_4$ ions across TOPO - kerosene based supported liquid membrane was investigated at different concentrations of phosphoric acid as a feed solution and different concentrations of TOPO in the membrane. Where 0.9% NaCl aqueous solution was used as a stripping solution. The flux of TcO^-_4 ions across this liquid membrane varied with the concentration of both H_3PO_4 and TOPO. The best permeability coefficient was obtained at concentrations, $[H_3PO_4] = 3$ mole l^{-1} and $[TOPO] = 0.5$ mole l^{-1} ($P = 2.08 \times 10^{-9}$ m^2 s^{-1}). The results were utilized for the separation of ^{99m}Tc from ^{99}Mo, where a selective and effective separation was obtained since no ^{99}Mo transport across this liquid membrane was noticed while a high rate of ^{99m}Tc transport took place.

Key Words

supported liquid membrane, technetium -99m, molybdenum -99, tri octyl phosphine oxide

* This paper appeared in *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 246, No. 3, 2000

THORON CONTRIBUTIONS IN RADON MEASUREMENTS IN THE ENVIRONMENT*

R. SHWEIKANI

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

S. A. DURRANI

School of Physics & Space Research, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, U.K

ABSTRACT

SSNTDs have found wide use for the determination of indoor radon levels. Most of these types of detector involve filtration, which assumes that any thoron present will decay completely before the alpha particles from the gas itself and its daughter products can be registered on the plastic surface. A surface barrier detector (SBD) was placed at the same position as, and instead of, the plastic detector employed in a routine measurement. An active method of measuring ambient thoron concentrations has been devised.

Key Words

surface barrier detector, NRPB dosimeter, can technique, thoron and radon diffusion, filtration.

* This paper appeared in *Radiation Mesurements*, Vol. 25, Nos 1-4, pp. 615-616, 1995.

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

Simulation for the training purposes of both real and accelerated time for normal and abnormal conditions can be accomplished with the model. The simulator is user friendly with operator.

Key Words

simulator, MNSR, C^{++} Builder.

⋆ This paper appeared in *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 36, No. 4, pp. 379-385, 2000.

REFLECTION COEFFICIENT DETERMINATION OF THE COMPLEX RESONATOR MIRRORS IN SOLID STATE LASER⋆

M. SOUKIEH, M. HAMMADI

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

V. V. ZHUKOVSKII

Institute of Molecular and Atomic Physics National Academy of Science, Minsk, Belarus

ABSTRACT

On the Basis of pulse-energy measurement of Nd-YAG laser emission, the reflection coefficient of complex mirror is determined as a function of pumping energy and resonator parameters. It is shown that the reflection coefficient of complex mirror has the tendency to stabilize with increasing pumping energy above the threshold energy. The practical interest of this work is to determine the reflection coefficient of resonant mirror without using calibrated mirrors.

Key Words

reflection coefficient, solid state laser, complex mirrors, threshold energy, intracavity spectroscopy

⋆ This paper appeared in *Optics and Lasers in Engineering*, 2000.

DISEQUILIBRIUM OF URANIUM ISOTOPES IN SOME SYRIAN GROUNDWATER⋆

A. ABDUL-HADI, O. ALHASSANIEH, M. GHAFAR

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

ABSTRACT

Uranium concentration in groundwater samples from three areas of Syria was determined using α-spectrometry and Instrumental Neutronic Activation Analysis (INAA). It was in the range of 0-6.13 μg/l in the phosphate areas, and lower than 1 ppb in the volcanic areas. The activity ratio of $^{234}U/^{238}U$ was investigated, and disequilibrium of uranium isotopes was found to occur ($^{234}U/^{238}U = 0.522.02$). The excess of ^{234}U was calculated. This excess can be interpreted by higher mobility of ^{234}U, which more readily forms the soluble $(UO_2)^{2+}$ ion in comparison with ^{238}U, most of which remains in the insoluble 4+ state. This excess increases with increase in uranium concentration.Thorium concentration was measured using INAA, it was found to be in the rang 0-1.15 μg/1.

Key Words

uranium; thorium; concentrations; disequilibrium; activity ratio $^{234}U/^{238}U$; solubility; mobility.

⋆ This paper appeared in *Applied Radiation and Isotopes*, 2001.

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

of repeated unit cells of copper strips and split ring resonators on interlocking strips of standard circuit board material. By measuring the scattering angle of the transmitted beam through a prism fabricated from this material, we determine the effective n, appropriate to Snell's law. These experiments directly confirm the predictions of Maxwell's equations that n is given by the negative square root of $\varepsilon.\mu$ for the frequencies where both the permittivity (ε) and the permeability (μ) are negative. Configurations of geometrical optical designs are now possible that could not be realized by positive index materials.

Key Words

negative index of refraction, metamaterial, left-handed material (LHM).

★This article appeared in *Science*, Vol. 292, 6 April 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

INTEGRATED CIRCUITS★

J. MULLINS

is a freelance science writer and regular contributor to New Scientist. All graphics are designed by Nigel Hawtin.

ABSTRACT

We've come a long way from the days of vacuum tubes. Since the first microprocessor was made in 1971, ever smaller and smaller computers have been possible, leading to a variety of inventions. So, how are integrated circuits built onto such tiny chips and what does the future hold?

Key Words

chip, depletion, doping, feature, photoresist, squeeze, switches.

★This article appeared in *New Sceintist*, 9 December 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

DYNAMIC SIMULATOR FOR THE MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR★

I. KHAMIS, M. B. ALSOUS, H. HAJ HASSAN, H. JOUHARA

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

ABSTRACT

A dynamic simulator for the Syrian Miniature Neutron Source Reactor (MNSR) was developed and implemented on a desktop computer using C^{++} Builder. Mathematical models for the main physical phenomena of reactor such as heat transfer and neutronics were developed on the basis of the lumped parameter approach and real experimental data fitting. Point model equations of reactor kinetics was employed and solved using fourth order Runge-Kutta integration procedure.

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

SURFING THE P53 NETWORK*

B. VOGELSTEIN
at the Howard Hughes Medical Institute and Johns Hopkins Oncology Center, Baltimore, USA
D. LANE
in the Department of Surgery and Molecular Oncology, Ninewells Hospital, University of Dundee, Dundee, UK
A. J. LEVINE
in the Laboratory of Cancer Biology, Genetics, and Molecular Biophysics, Rockefeller University, New York, USA

ABSTRACT

The p53 tumour-suppressor gene integrates numerous signals that control cell life and death. As when a highly connected node in the Internet breaks down, the disruption of p53 has severe consequences.

Key Words

p53 gene, oncogenes, repair genes, tumour suppressors, apoptosis, protein kinases, ubiquitin- mediated proteolysis, retinoblastoma protein.

*This article appeared in *Nature*, Vol. 408, 16 November 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

A LIGHT-EMITTING FIELD-EFFECT TRANSISTOR*

J. H. SCHÖN, A. DODABALAPUR, CH. KLOC, B. BATLOGG
Lucent Technologies, Bell Laboratories, Murray Hill, NJ 07974, USA

ABSTRACT

We report here on the structure and operating characteristics of an ambipolar light - emitting field - effect transistor based on single crystals of the organic semiconductor α- sexithiophene. Electrons and holes are injected from the source and drain electrodes, respectively. Their concentrations are controlled by the applied gate and drain - source voltages. Excitons are generated, leading to radiative recombination. Moreover, above a remarkably low threshold current, coherent light is emitted through amplified spontaneous emission. Hence, this three - terminal device is the basis of a very promising architecture for electrically driven laser action in organic semiconductors.

Key Words

light-emitting field-effect transistor, ambipolar FET, α - sexithiophene, excitons, optical amplifier.

*This article appeared in *Science*, Vol. 290, 3 November 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF A NEGATIVE INDEX OF REFRACTION*

R. A. SHELBY, D. R. SMITH, S. SCHULTZ
Department of Physics, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0350, USA

ABSTRACT

We present experimental scattering data at microwave frequencies on a structured metamaterial that exhibits a frequency band where the effective index of refraction (n) is negative. The material consists of a two-dimensional array

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

GRAPHITE POLYHEDRAL CRYSTALS*

Y. GOGOTSI, J. A. LIBERA, N. KALASHNIKOV
University of Illinois at Chicago, Department of Mechanical Engineering, Chicago, IL 60607, USA
M. YOSHIMURA
Tokyo Institute of Technology, Materials and Structures Laboratory, 4259 Nagatsuta, Midori-Ku, Yokohama 226, Japan

ABSTRACT

Polyhedral nano- and microstructures with shapes of faceted needles, rods, rings, barrels, and double-tipped pyramids, which we call graphite polyhedral crystals (GPCs), have been discovered. They were found in pores of glassy carbon. They have nanotube cores and graphite faces, and they can exhibit unusual sevenfold, ninefold, or more complex axial symmetry. Altough some are giant radially extended nanotubes, Raman spectroscopy and transmission electron microscopy suggest GPCs have a degree of perfection higher than in multiwall nanotubes of similar size. The crystals are up to 1 micrometer in cross section and 5 micrometers in length, and they can probably be grown in much larger sizes. Preliminary results suggest a high electrical conductivity, strength, and chemical stability of GPC.

Key Word

graphene, graphite, nanotube, polyhedral, pores.

*This article appeared in *Science*, Vol. 290, 13 October 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

URANIUM: FROM ORE TO CONCENTRATE*

C. A. GREY
Uranium Institute, 68 Knightsbridge London SW1X 7LT

ABSTRACT

The trend over the past 50 years, since large scale uranium mining and commercial uranium extraction began, has been an increase in cost efficiency, an increase in both worker safety and environmental safety, and an increase in the number of technical options available to the mining engineer and metallurgist. Any mining company's decision to follow a certain mining method or ore processing route is affected by a number of site - specific factors which include not only the geology of the deposit but also its size and location, availability of equipment and manpower, past processing experience of similar deposits, and cost. This paper will review step - by - step the range of mining methods and extraction processes currently in use at western and eastern uranium production centres, culminating in an easy to use reference table.

Key Words

ore mining, production, Uranium, product precipitation, ore processing, waste disposal, product drying and loading.

*This article appeared in *The Nuclear Engineer*, Vol. 34, No. 1, 1993. It has been translated into Arabic by Dr S. D. Kharfan, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ MATHEMATICAL MODELING OF HYBRID CO_2 LASER. . . . . B. ABDUL GHANI, ... 92
M. HAMMADI

☐ DETERMINATION OF ISOMERIC YIELDS RATIO OF . . . . . O. ALHASSANIEH, ... 93
NB-95 IN THE FISSION OF THORIUM-232 M. GHAFAR, N. SALMAN
WITH REACTOR NEUTRINOS

☐ THE EFFECT OF NATURE AND CONCENTRATION OF . . . . . M. ALIBRAHIM. 95
MINERAL SALTS ON THE CLOUD POINT
CURVE FOR $C_{12}EO_6$ EXTRACTANT

☐ THE POSSIBILITY OF USING PLASTIC DETECTORS . . . . . R. SHWEIKANI, G. RAJA, . . . 96
CR-39 AS AN UV DOSIMETERS A. A. SAWAF

☐ TITRATION OF AMMONIUM CARBONATE, AMMONIUM . . . . . J. STAS, ... 98
BICARBONATE AND AMMONIA BY POTENTIOGRAPH METER S. KHORFAN, W. RAFOUL

☐ CONTROL OF REPRODUCTION, PREGNANCY DIAGNOSIS, ... M. R. AL-MERESTANI, ... 99
MONITORING OF PROGESTERONE SECRETION M. ZARKAWI, M. WARDEH
IN DAMASCUS GOATS

☐ NODULATION, DRY MATTER PRODUCTION, N_2 FIXATION . . .. . F. KURDALI, F. AL-AIN, ... 100
IN FABABEAN AND CHICKPEA AS AFFECTED BY SOIL M. AL-SHAMMA
MOISTURE AND POTASSIUM FERTILIZER

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ QUANTUM HETEROSTRUCTURES: . . . . . .BY: V. V. MITIN et al. 104
MICROELECTRONICS AND OPTOELECTRONICS OVERVIEW & ANALYSIS: W. POROD

☐ THE MAGIC FURNACE: . . . . . .BY: M. CHOWN. 105
THE SEARCH FOR THE ORIGINS OF ATOMS OVERVIEW & ANALYSIS: H. A. BETHE

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH. 116

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ GRAPHITE POLYHEDRAL CRYSTALS ..... Y. GOGOTSI et al. 7

☐ URANIUM: FROM ORE TO CONCENTRATE ..... C. A. GREY. 12

☐ SURFING THE P53 NETWORK ..... B. VOGELSTEIN et al 20

☐ A LIGHT-EMITTING FIELD-EFFECT TRANSISTOR ..... J. H. SCHÖN et al. 27

☐ EXPERIMENTAL VERIFICATION OF A NEGATIVE ..... R. A. SHELBY et al. 31
INDEX OF REFRACTION

☐ INTEGRATED CIRCUITS ..... J. MULLINS. 35

NEWS

☐ C_{60}— THE HOLE STORY ..... *NATURE* 42

☐ QUANTUM THEORY'S LAST CHALLENGE. ..... *NATURE* 43

☐ WATCHING AN ATOM TUNNEL ..... *NATURE* 49

☐ NUCLEI CRASH THROUGH THE LOOKING-GLASS. ..... *SCIENCE* 50

☐ AN EXPANDING VIEW OF PLUTONIUM. ..... *NATURE*. 52

☐ NEW ERA FOR QUANTUM ELECTRONICS. ..... *PHYSICS WORLD* 53

☐ A UNIVERSAL FACTORY OF IONS. ..... *LA RECHERCHE* 55

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ DYNAMIC SIMULATOR FOR THE MINIATURE. ..... I. KHAMIS et al. 62
NEUTRON SOURCE REACTOR

☐ REFLECTION COEFFICIENT DETERMINATION ..... M. SOUKIEH et al. 67
OF THE COMPLEX RESONATOR
MIRRORS IN SOLID STATE LASER

☐ DISEQUILIBRIUM OF URANIUM ISOTOPES IN ..... A. ABDUL-HADI et al 73
SOME SYRIAN GROUNDWATER

☐ SEPARATION OF ^{99m}Tc FROM ^{99}Mo BY USING ..... T. YASSINE. 74
TOPO-KEROSENE SUPPORTED LIQUID MEMBRANE

☐ THORON CONTRIBUTIONS IN RADON. ..... R. SHWEIKANI,. 78
MEASUREMENTS IN THE ENVIRONMENT S. A. DURRANI

☐ CHANGES IN BIOGAS PRODUCTION DUE TO DIFFERENT ..... M. R. AL-MASRI 80
RATIOS OF SOME ANIMAL AND AGRICULTURAL WASTES

☐ THE 9 JULY 551 AD BEIRUT EARTHQUAKE, ... R. DARAWCHEH et al 83
EASTERN MEDITERRANEAN REGION

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° 76 **16th Year** **NOVEMBER/DECEMBER 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