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 الثامن والسبعون | السنة السابعة عشرة | آذار–نيسان 2002

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 وغاياتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.

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

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمّعة من مصادر عدّة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول «تأليف، جمع، إعداد، مراجعة...» ويرفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

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

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

8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يُكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أم مختزلاً. وتستعمل في النص المؤلَّف أو المترجَم الأرقام العربية 3, 2, 1 أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلةٍ أو قانون أحرف أجنبية وأرقام فتكتب المعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.

9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالّة (★ , + , x ,o...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

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

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

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

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

14- توجه المراسلات باسم رئيس هيئة التحرير إلى العنوان التالي:

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

رسوم الاشتراك

الاشتراك السنوي للطلاب (200) ل.س – الاشتراك السنوي للأفراد (300) ل.س – الاشتراك السنوي للمؤسسات (1000) ل.س

الاشتراك السنوي للأفراد من خارج القطر العربي السوري (30) دولاراً أمريكياً. وللمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً – تتضمن الاشتراكات أجور البريد

بالنسبة للمشتركين من خارج القطر تُرسل 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

□ اليورانيوم المستنفد وسرطان الرئة. . . . . ر. ف. مولد. 7
وابيضاض الدم المحرّضان بالإشعاع
ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر

□ أنماط الانشطار النووي ولا تناظرات كتل الشظايا . . . . . ب. موڤّر وآخرون. 15
في فضاء التشوه خماسي الأبعاد
ترجمة هيئة التحرير

□ ليزرات الإلكترونات الحرّة: الوضع والتطبيقات . . . . . ب. ج. أوشيا، هـ ب. فروند. 23
ترجمة هيئة التحرير

□ المنظومات الفولطضوئية. . . . . ب. بولانجيه، د. ديتر. 31
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

□ الاقتراب من ليزرات الماس 37
□ النيكل يسبر الناقلية الفائقة. 38
□ إلكترونات وسواتل 40
□ الإلكترونات الملوّنة تحل لغز المغنطيسية الحديدية. 41
□ نشوء الأكسجين الجوي. 42
□ أسلوب سريع للوصول إلى طاقة الاندماج. 45
□ اليورانيوم المستنفد. 47
□ الأنابيب النانوية تصبح قذيفة. 50
□ الرواية المعقدة للهدروجين. 52

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

□ الخواص الحرارية الإحصائية للمادة النووية . . . . . د. سامي حداد 56
والتحول الطوري النووي سائل–غاز

□ تأثير الجهود العالية على استجابة كاشف GEM بمرحلتين . . . . . د. جمال الدين عساف 61

□ خفض محتوى الفلور في حمض الفسفور التجاري السوري. . . . . رم بيضون وآخرون 67
باستعمال السليكاجيل بثلاثة شروط مختلفة

□ التغيّرات الفصلية في محتوى أوراق النغث الشرقي. . . . . د. فواز كرد علي 78
والحور الأسود من الآزوت، وتثبيت الآزوت الجوي
في أنواع من النغث الخارجية المصدر، في سورية

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

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ تطوير الكود الهدروحراري HYDMN بما يلائم . . . . . .محمد البرهوم، سلمان محمد. 87
حالة المفاعل MNSR المستقرة

☐ تأثير بعض الأوساط الحمضية على استخلاص . . . . . د. جمال سطاس. 90
اليورانيوم بواسطة فسفات ثلاثي البوتيل وثلاثي دوديسيل أمين

☐ قياس الجرعة الإشعاعية بيولوجياً بتقانة تحليل الصيغة الصبغية. . . . . .د. وليد الأشقر. 91
في لمفاويات الدم المحيطي البشري (منحنى جرعة- أثر)

☐ دراسة العوامل المؤثرة في إنتاج الكالوس والبروتوبلاست. . . . . .د. بسام الصفدي، عماد النابلسي 92
وتجديد النباتات من مزارع الثوم النسيجية

☐ تقييم بعض المواد العلفية غير التقليدية للمجترات. . . . . .د. محمد راتب المصري 94
في الزجاج والعلاقة بين الغاز المنتج
ومعامل الهضم والكتلة الحيوية المكروبية

كتب حديثة مختارة

☐ كتاب العلوم . . . . . .(تأليف: ب. تالاك) 99
(عرض وتحليل: ف. بالكول)

☐ تاريخ الكتابة . . . . . (تأليف: س. روجر فشر) 100
(عرض وتحليل: م. بوب)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 108

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

اليورانيوم المستنفد وسرطان الرئة وابيضاض الدم المحرَّضان بالإشعاع*

ر. ف. مولد
سرّاي – المملكة المتحدة

ملخص

يستمر الاهتمام بالتقارير التي تنشر حول ابيضاض الدم والسرطانات الأخرى التي أصابت الجنود المشاركين في حرب الخليج الثانية عام 1991، أو في العمليات العسكرية التي جرت في البلقان. كما يستمر الاهتمام باحتمال كونِ اليورانيوم المستنفد أحد أسباب هذه الأمراض، حتى وإن كان هذا الاحتمال ضئيلاً. يشمل هذا التعليق نتائج دراسة أجريت في المملكة المتحدة حول حالات الوفاة بين الجنود الذين شاركوا في حرب الخليج الثانية، كما يقدم البيانات الإجمالية لمعدلات الوفاة بينهم، ولذلك فهو أكثر مصداقية من التقارير التي تعتمد على ما يتناقله الناس من روايات، رغم أنه لا يحوي معلومات حول معدلات التعرض لليورانيوم المستنفد. كما يحوي مقتطفات عن سرطان الرئة المحرّض بالإشعاع لدى العاملين في اليورانيوم، وكذلك ابيضاض الدم المحـرّض بالإشعـاع لـدى اليابانيين الناجين من قنبلتي هيروشيما وناكازاكي، والمرضى المصابين بالتهاب الفقار المقسط المعالَج بأشعة -X. ويختتم التعليق بعرض إحصاءات السرطان في العراق والتعليق عليها، وتقديم معلومات حول تلوث البيئة في كوسوفو، واستخدام ذخيرة اليورانيوم المستنفد هناك.

الكلمات المفتاحية: اليورانيوم المستنفد، ابيضاض الدم، سرطان الرئة، الجنود المشاركون في حرب الخليج.

اليورانيوم واليورانيوم المستنفد

لعنصر اليورانيوم الطبيعي طويل العمر ثلاثة نكليدات مشعّة. وقد بدأ استخدامه منذ الأربعينيات من القرن العشرين في صناعة الطاقة الذرّية بشكل رئيس، حيث تتكون قضبان الوقود في المفاعلات النووية من اليورانيوم 235 المكرَّر (عمر النصف له $10^6 \times 704$ سنة)، والنفايات الناتجة من تكريره هي اليورانيوم المستنفد. ويتألف اليورانيوم المستنفد بشكل رئيس من اليورانيوم 238 (عمر النصف له $10^6 \times 4470$ سنة). واليورانيوم 234 هو أحد نكليداته المشعة الأخرى (ويبلغ عمر النصف له 245000 سنة). وتبلغ الوفرة النسبية لليورانيوم 238: 99.2745%، ولليورانيوم 235: 0.7200%، ولليورانيوم 234: 0.0055%. ويحوي اليورانيوم المستنفد نسبة 0.2% من اليورانيوم 235 القابل للانشطار. وتبلغ كثافة اليورانيوم المعدني $19.05\ g\ cm^{-3}$، وهي أكبر من كثافة الرصاص البالغة $11.3\ g\ cm^{-3}$.

استخدامات اليورانيوم المستنفد

استُخدم اليورانيوم المستنفد منذ عشرين عاماً في صناعة الدروع، والقذائف المضادة لها في عدة دول، وذلك بسبب الكثافة العالية لليورانيوم المعدني. كما استخدم كثِقل موازن في الطائرات ذات الهيكل العريض كطائرات DC -10، والبوينغ 747. واستخدم أيضاً للتدريع في أجهزة العلاج من بعد. وقبل أن يبدأ استخدامه في هذه المجالات، كانت المجلة البريطانية للإشعاع British Journal of Radiology أول مجلة تنشر شيئاً حول استخدامه في تدريع أجهزة العلاج الإشعاعي [1]، وذلك في مقالها الذي نشر عام 1953، والذي يتحدث عن تعديل قنبلة راديوم لتتلاءم مع مصدر كوبالت 60 (^{60}Co).

سِمة الاشتعال التلقائي

إن معدن اليورانيوم قابل للاحتراق، فهو يشتعل بسرعة عندما ينقسم إلى أجزاء صغيرة في الهواء، وتعرف هذه الخاصية بالاشتعال التلقائي pyrophoricity. ولذلك فعندما يستخدم لأغراض عسكرية أو عند وجوده في حريق هائل أو تحطم طائرة قد تتشكل كميات ضخمة من الغبار الحاوي على خليط من أكاسيده التي ربما نبتلعها أو نستنشقها. فعلى سبيل المثال كانت طائرة البوينغ 747 التي اصطدمت بمجتمع سكني في مدينة أمستردام عام 1992 تحمل 282 كغ من اليورانيوم كثقل موازن، ولكن لم يتم العثور إلا على 130 كغ منه، وخلُصت لجنة التحقيق الهولندية إلى القول إن الكمية المتبقية قد انطلقت على شكل جسيمات يمكن أن يكون عمال الإنقاذ أو السكان المحلّيين قد استنشقوها [2].

السُمّية الكيميائية

نشرت وكالة سجلاّت الأمراض والمواد السامة تقريراً احتوى وصفاً مفصلاً لسمّية اليورانيوم [3]. وتتوفر المعلومات حول هذا الموضوع أيضاً

---

* نشر هذا المقال في مجلة *The British Journal of Radiology*, August 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

في آخر تقرير لمنظمة الصحة العالمية [4]. ويُظهر التقريران أن الخطر الرئيس لليورانيوم المستنفد هو كيميائي أكثر منه إشعاعي دون أدنى شك.

يؤثر اليورانيوم المبتَلَع تأثيراً رئيساً على الكلية [3-5]، وقد أُثبت تسبّب سميّته الكيميائية في إحداث خلل وظيفي فيها عند الحيوانات والإنسان. أما متلازمة حرب الخليج، وهي مجموعة من الأعراض والاضطرابات الطبية التي لا تتعلق بالكلية فقط، فمن الممكن أن يكون سببها عدة عوامل مجتمعة، وليس فقط التعرض لليورانيوم المستنفد. وقد ذكرت دراسة [6] أن التعرّض لليورانيوم في المجال $0.004\text{-}9\ \mu g\ kg^{-1}$ من وزن الجسم يؤثر على وظيفة الكلية تأثيراً مرتبطاً بمقدار الجرعة.

إن فحص البول هو الاختبار المعياري للتأكد من وجود اليورانيوم في الجسم. وفي دراسة لتسعة وعشرين جندياً أمريكياً تعرضوا لليورانيوم المستنفد في حرب الخليج، ولاثنين وعشرين لم يتعرضوا له، أُخذت عينات بكميات قليلة من البول في أوقات مختلفة من اليوم، ثم جمعت عينات أخرى لمدة 24 ساعة، وتم تحليلها. وتبيّن وجود ارتباط قوي بين قياسات العينات المجموعة عشوائياً بكميات قليلة والمعدّلة من أجل تركيز الكرياتينين، وبين العينات المجموعة لـ 24 ساعة ذات الكرياتينين [7]. بيد أن هذا الارتباط يضعف إذا انخفضت قيم اليورانيوم في البول عن $0.05\ \mu g\ g^{-1}$ من الكرياتينين، مما يدل على أن الاعتماد على العينات المأخوذة في أوقات مختلفة من اليوم قد لا يكون مستحسناً من أجل السكان الذين يُعتقد أنهم تعرضوا لسوية منخفضة من اليورانيوم [7].

الشكل 1– رسم على لوح خشبي يظهر طبيباً وممرضة يعتنيان بعامل منجم مريض في مشفى جوشيمثال عام 1518. ويمكن رؤية عملية استخراج اليورانيوم من المنجم في خلفية الرسم. اكتشف الصيدلاني مارتين كلابروث في الثمانينيات من القرن الثامن عشر أن استخدام الفلز الأسود ممكن لجعل الزجاج ملوناً بلون أصفر براق، واعتقد أنه يحوي معدناً جديداً. وقد تزامن ذلك مع اكتشاف ويليام هرشِل في عام 1781 لكوكب جديد في المجموعة الشمسية هو أورانوس، وقام كلابروث بتسمية اكتشافه الجديد نسبة إليه.

وتعد هذه النتيجة هامة لبرامج الحجب، وينظر عادةً إلى البيانات المأخوذة من تحليل عينات البول التي تجمع على مدى 24 ساعة ثم تُعدّل للحصول على إفراز الكرياتينين، على أنها أكثر البيانات مصداقية [8].

وللتأكد من التعرض لليورانيوم المستنفد ينبغي تحديد نسبة نظائر اليورانيوم الثلاثة في البول. فإذا كان اليورانيوم المستنفد موجوداً، ستكون نسبة اليورانيوم 235 منخفضة انخفاضاً غير طبعي في البول، وذلك لأن اليورانيوم المستنفد يحوي 0.2% من هذا النظير. أما اليورانيوم الطبيعي فيحوي 0.72% منه. ويمكن تحليل نسبة النظائر عن طريق مطيافية الكتلة للبلازما المقترنة بالتحريض (ICPMS) [9]. ومن الأفضل أن يكون حد الكشف من مرتبة $10\text{-}35\ ng\ l^{-1}$ [8]. بيد أن أكثر أشكال تحليل نظائر اليورانيوم تعقيداً والذي يستطيع قياس التراكيز الصغيرة لنظائر اليورانيوم قياساً أدق من أي اختبار آخر هو مطيافية الكتلة ذات التأين الحراري (TIMS). وتستخدم هذه المطيافية في الأبحاث الجيوكيميائية، ولكن يجب إثبات صلاحية استخدامه في الأبحاث التي تجرى على عينات بيولوجية، أما مطيافية الكتلة للبلازما المقرونة بالتحريض، فقد تم إثبات صلاحيتها سابقاً [8].

قياس اليورانيوم الموجود في العظام

كنتيجة لخواصه الأيونية يتنافس ثنائي أكسيد اليورانيوم (UO_2^{2+}) مع أيون الكالسيوم (Ca^{2+}) في آليات نقل محددة، ويتراكم في العظام تراكماً سريعاً [10]. ويتوضع حوالي 66% مما يحويه الجسم من اليورانيوم في الهيكل العظمي [11-13]، ويتراوح عمر النصف لخلوصه clearance بين 300 و5000 يوم طبقاً لنموذج حَرَكي دوائي ذي قسمين [14 و15]. وقد أظهر التقدم في كشف معادن الأثر الموجودة في العظم باستخدام الفلْورة بأشعة X- من النوع K، إمكانية استخدام هذه التقنية في تحليل اليورانيوم [16].

السُمّية الإشعاعية

لليورانيوم المستنفد سمّية إشعاعية ضئيلة مقارنة بسميّته الكيميائية. ويصعب تحديد مدى هذه السمّية بسبب الجرعات المنخفضة نسبياً التي تعرّض لها الجنود، مما جعل قياس الجرعات الإشعاعية الفردية ذات السويات المطلوبة غير متوفر. وقد اقترح مؤخراً إمكان قياس الجرعة الإشعاعية في مينا الأسنان بالتجاوب البارامغنطيسي الإلكتروني، ثم استخدامه في قياس الجرعات التي لا تقل عن 20 ملّي سيفرت [17].

تعتمد الجرعات الإشعاعية على عوامل عدة، كنمط التعرّض للإشعاع وطريقه (أي داخلي أو خارجي)، ومكان التعرّض له (مثلاً، داخل الدبابات التي قُصفت بقذائف اليورانيوم المستنفد، أو أثناء صناعة قذائف المدفعية الحاوية عليه)، وما إذا كان

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

الشكل 2– مناجم شنيبيرغ في ساكسوني. التقطت الصورة بين عامي 1946 و 1947 تقريباً في الفترة التي تعرف بالسنين العجاف، عندما كانت تقنيات العمل في المناجم بدائية. وقد ذكرت الكتب الألمانية المتخصصة بسرطان الرئة مصطلح سرطانِ رئةِ شنيبيرغ عام 1879.وأُعطي فلز بيشبليند هذا الاسم لأن بيش استخدمه بمعنى "الحظ السيء"، وكان هذا الفلز يلقى بكميات كبيرة في أكوام الخبث على أنه أحد الفضلات قبل ذلك.

توضع اليورانيوم في الرئتين على شكل أكاسيد أم معدن اليورانيوم. ويذكر التقرير السابع للجنة الدفاع التابعة للمملكة المتحدة، وعنوانه "أمراض الجنود في حرب الخليج" [18]، أنه: عندما يصيب اليورانيوم المستنفد هدفاً، "تتشكل منه حُلالة هوائية خزفية وتكون أبعاد العديد من جسيماته أقل من 10 مكرون، وتتراوح نسبة هذه الجسيمات في الحلالة بين 46% و70%، مما يعني أنها تُستنشق مباشرة. وتعدّ الجسيمات التي لا تتعدى أبعادها 2.5 مكرون خطيرة للغاية لأنها تتوغل عميقاً داخل الرئتين."

سرطان الرئة المحرّض بالإشعاع

عمال مناجم اليورانيوم والتعرّض للرادون

أجريت دراسات لمجموعات عدة من عمال مناجم اليورانيوم في الولايات المتحدة، وكندا وجمهورية التشيك خلال بضع سنوات. وقد قامت عدة هيئات بمراجعة نتائج هذه الدراسات مراجعة مفصّلة بما فيها هيئة مجلس الأبحاث الوطنية لدراسة آثار الإشعاع المؤيّن البيولوجية [19]. وقد خلُصت هذه الهيئة إلى القول إن التعرّض لسلسلة الرادون في مناجم اليورانيوم سببٌ للإصابة بسرطان الرئة، وتتطابق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسات سابقة. وبالإضافة إلى ذلك أجريت دراسات حول عمال مناجم اليورانيوم في فرنسا وأستراليا، ولكن فتراتها الزمنية كانت أقصر من فترات الدراسات التي أجرتها الدول السابقة الذكر.

كان اليورانيوم يستخرج من المناجم في ألمانيا الشرقية السابقة، وقد تم تشريح جثث 90% ممن توفي فيها عام 1989، أي قبل توحيد الألمانيتين. أما في ألمانيا الغربية فقد شُرّحت نسبة 10% من الجثث. ولذلك يوجد أرشيف مركزي شامل للأمراض تابع لشركة ويسمَت للمناجم في منطقتي ثورينجيا وساكسوني (الشكل 2) [20]. ويحوي هذا الأرشيف الفريد من نوعه عينات لأنسجة بشرية وسجلات عن 995 28 حالة تشريحية، منها 5974 حالة وفاة بأورام في الرئة، غطت الأعوام ما بين 1957 و 1994. وقد تم تحليل هذا الأرشيف وفق ثلاث فترات زمنية ضمت ثلاث شرائح من العينات، في الأولى 10303 عينة، وفي الثانية 2284 عينة، وفي الثالثة 227 عينة. تعرّض أصحابها للرادون* وفق المجالات 30-300، و5-100، و 1-4 [21] المعطاة بوحدات أشهر سوية العمل في العام الواحد.

تتصف الفترة الواقعة بين عامي 1946 و1954 بمعدلات عالية من التعرض للرادون، وباستخدام تقنيات بدائية للعمل في المناجم، مما أدى إلى تراكم غباره تراكماً كبيراً. أما بين عامي 1955 و 1970 فقد تحسنت ظروف العمل، فأضيفت التهوية الصناعية. وبين عامي 1971 و1989 أصبح التعرّض للرادون ضمن حدوده الدولية الموصى بها. وكان معدل الإصابة بسرطان الرئة خلال هذه الفترات الثلاث هو 34.0%، و22.8%، و17.2% على التوالي، ومعدل الإصابة بسرطانات أخرى هو 15.7%، و20.9%، و18.9% [23].

الصناعات المرتبطة باليورانيوم، والتعرّض لليورانيوم

قام معهد العلوم الطبية في أكاديمية الولايات المتحدة الوطنية مؤخراً بنشر تقرير أعدته لجنة تابعة له عن "حرب الخليج والصحة" [24]. ويراجع هذا التقرير دراسات أجريت حول العاملين في صناعات عديدة مرتبطة

* يعطى التعرّض الإشعاعي المتراكم بـ أشهر سوية العمل (WLMs) حيث تعرّف سوية العمل working level (WL) بـ 1.3×10^5 MeV لطاقة ألفا الكمونية باللتر الواحد من الهواء. و 1 WLM يكافىء التعرّض لـ 1WL في 170 ساعة [22].

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

باليورانيوم: عمال مطاحن اليورانيوم وعمال تخصيبه، و معالجته، وعمال المخابر، وعمال تصنيع المواد النووية. استنتجت اللجنة أن "هناك دليلاً محدوداً لكنه ذو دلالة على عدم وجود ترابط بين التعرّض لليورانيوم و سرطان الرئة عندما تكون نسبة التعرّض للجرعات التراكمية الداخلية أقل من 200 ملّي سيفرت أو 25 سنتيغراي. بيد أن الدليل غير كاف للجزم بوجود ترابط بينهما أو نفيه عندما يكون التعرّض التراكمي أكبر من النسب السابقة."

وأعادت اللجنة [24] ذكر رأي سابق متعلّق بالدراسات التي تجرى على عمال مناجم اليورانيوم [19]، فقالت: "من الصعب تفسير أثر اليورانيوم لأن العمال يتعرضون معه للرادون في الوقت ذاته." ويعد نقص المعلومات المتوفرة حول تعرّض العمال لدخان السجائر عاملاً آخر يعيق إمكانية تحديد الأثر النسبي لليورانيوم.

ابيضاض الدم المحرَّض بالإشعاع

هيروشيما وناكازاكي

نعلم من معطيات القنبلة الذرّية أن الإشعاع قد يُحرّض ابيضاض الدم. وقد أظهرت التقديرات المبنية على البيانات اليابانية [25] أن دور الكمون لهذا المرض كان سنتين ونصف السنة، ولذلك كانت زيادة الإصابات متوقعة بعد سنتين ونصف، ولوحظ ذلك بالفعل ملاحظة واضحة بعد مرور خمس سنوات على سقوط القنبلتين الذرّيتين.

بيد أننا لا نستطيع الاعتماد على هذه المعلومات وحدها لاستنتاج وجود اللوكيميا كامنةً في الجسم، لأن المتابعة الشاملة لحالة الناجين من قنبلتي هيروشيما وناكازاكي لم تبدأ إلا بعد 5 سنوات من سقوطهما.

التهاب الفَقَار المقسوط

إن التهاب الفقار المقسوط ankylosing spondylitis ورم حميد عولج باستخدام أشعة -X. قام براون ودُل [26] عام 1965 بتقصي حالات الوفاة الناتجة عن السرطان وأمراض أخرى لدى مجموعة من المرضى الذين عولجوا بين عامي 1935 و 1954 في 81 مركزاً للعلاج الإشعاعي. وذكرا في تقريرهما ضخامة عدد حالات الوفاة الناجمة عن سرطان الدم وفقر الدم اللاتنسّجي بعد علاجهما، وأن حالات الوفاة الناتجة عن أمراض السرطان في المناطق المشعّة تشعيعاً عالياً ازدادت إلى الضعف تقريباً بعد معالجتها خلال فترة تمتد من 6 إلى 15 سنة. وقد أجرى سميث ودُل تحليلاً آخر لهذه المجموعة من المرضى عام 1982 [27]، وأخذا في الحُسبان جرعات العضو الإشعاعية التي خضع لها 14111 مريضاً بالتهاب الفقار المقسوط عولجوا بأشعة -X لفترة علاجية واحدة.

وكان أحدث مرجع عن سرطان الدم في هذه المجموعة قد ورد لدى ويس وآخرين عام 1995 [28]، فقد وجدوا أن حالات الوفاة الناجمة عن هذا المرض بين المرضى المشعّعين كانت ثلاثة أضعاف النسبة المتوقعة طبقاً للإحصاءات الوطنية. وقد وجد المؤلفون ذلك بعد متابعة حالات المرضى حتى 1 كانون الثاني عام 1992. كما وجدوا أن نسبة الوفيات الفعلية بسبب سرطان الدم (وليس السرطان اللمفاوي المزمن) إلى المتوقعة بسببه وصلت إلى أعلى حد لها بعد العلاج الأوّلي بفترة تتراوح بين سنة وخمس سنوات. وقدروا معدل الخطورة النسبية للإصابة بهذا المرض بـ 7.00، وذلك بعد التعرض لجرعة 1 غراي لفترة تتراوح بين سنة و25 سنة، واستخدموا نموذجاً أسيّاً خطّياً في هذا التقدير.

سرطانا الرئة والدم لدى جنود حرب الخليج الثانية

تعتمد حالات سرطاني الرئة والدم المذكورة في التقارير المتعلقة بالجنود في حرب الخليج الثانية اعتماداً أساسياً على الروايات التي يتناقلها الناس، وليس على أبحاث تجرى على هذين المرضَين وفقَ خطة منظّمة. ولم يثبت بعد حدوث إصابات أكثر من المعدل المتوقع بنسبة كبيرة. وقد استُنِد سابقاً إلى تقرير معهد العلوم الطبية في الأكاديمية الوطنية للولايات المتحدة [24] وما استنتجه بالنسبة للتعرض إلى اليورانيوم، وسرطان الرئة، ومستويات الجرعات الداخلية؛ فهذا التقرير لم يأتِ على ذكر سرطان الدم في الفهرس كأحد الموضوعات الهامة، مؤكّداً على عدم وجود دليل على الارتباط بين اليورانيوم المستنفد وبينه.

ضحايا "القذائف الأمريكية الصديقة"

تجري الآن دراسة استطلاعية للمجندين الأمريكيين الذين كانوا ضحايا "قذائف اليورانيوم المستنفد الصديقة" في حرب الخليج. وبدأت هذه الدراسة بثلاثين مجنداً ثم ارتفع العدد إلى ستين، وما زال في أنسجة 15 واحداً منهم شدف اليورانيوم المستنفد، كما أنهم يطرحون تراكيز عالية من اليورانيوم في البول، ولم يصب أي منهم بسرطان الدم أو الرئة [29، 30].

دراسة لحالات الوفاة بين جنود حرب الخليج

وجد ماكفارلن وآخرون [31] في تقرير أعدوه حول حالات الوفاة بين 000 53 جندي مشارك في حرب الخليج الثانية من المملكة المتحدة، أن عدد الوفيات بينهم كان أكبر من مجموعةٍ مقارنة بهم، إلا أن نسبة الزيادة صغيرة جداً ولا ترقى إلى مستوى الأهمية المطلوب لذكرها في الإحصاءات، وكان المؤلفون قد تابعوا حالة هؤلاء المجندين حتى 31 آذار عام 1999، ودعوا هذه المجموعة بمجموعة الخليج. وتألفت مجموعة مقارنةٍ مماثلة في حجمها لمجموعة الخليج من مجندين لم يشاركوا في العمليات العسكرية ولكنهم من نفس العمر، والجنس، والرتبة، ونوعية الخدمة، واللياقة البدنية، ودعيت هذه المجموعة بمجموعة إيرا، وكانت الزيادة في عدد الوفيات في مجموعة الخليج ناتجة عن الحوادث التي تعرضوا لها، وليس الأمراض. وتتفق هذه النتيجة مع حالة الجنود الأمريكيين المشاركين في حرب الخليج أو في نزاعات أخرى.

ويتم الآن تحديد هذه الدراسة لتشمل المجندين الذي تمت متابعة حالاتهم حتى 30 أيلول عام 2000 [32]، بيد أن النتائج لم تظهر للعيان إلا خلال أحد المؤتمرات. وتُظهر هذه النتائج تغيّراً طفيفاً عن سابقتها، فلا تزال حالات الوفاة الكثيرة الناجمة عن الحوادث، وخاصة حوادث الدراجات النارية موجودة. ويظهر منها أيضاً أن عدد الوفيات بسبب الأورام الخبيثة لدى مجموعة الخليج أقل من مجموعة إيرا. وقد قام بلاتشلي وآخرون في هذه الدراسة بتبويب أشكال السرطان المختلفة تبوياً مفصّلاً للمرة الأولى (كما يبدو في الجدول 1). بيد أنه من المبكر بالنسبة

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

لنا استنتاج أي شيء منه سوى عدم وجود دليل على كبر عدد الوفيات الناجمة عن السرطان بين مجندي المملكة المتحدة، وذلك بسبب صِغَر عدد الوفيات الناجمة عن كل نوع من السرطان على حدة.

إحصاءات حالات السرطان العراقية

لم تدرج الوكالة الدولية لأبحاث السرطان الإحصاءات العراقية في المجلدات التي تنشرها بانتظام عن "حالات السرطان في خمس قارات". ولا تتوفر البيانات المتعلقة بهذا الموضوع منشورةً إلا في تقرير حول مؤتمر عقد في بغداد عام 1998. ويتضمن هذا التقرير الإحصاءات المأخوذة من مشافي الموصل قبل حرب الخليج وبعدها (أي بين عامي 1989و 90 والعامين 1997 و 98)، وبعض البيانات المتعلقة بالقوات العسكرية العراقية [34].

الإحصاءات المتعلقة بمرضى الموصل

كان العدد الإجمالي لحالات السرطان المسجلة في مشافي الموصل جميعها 200 حالة بين عامي 1989 و90، و894 حالة بين عامي 1997 و98. وكانت نسبة إصابة الذكور بسرطان الرئة 20.5% (أي 25 من بين 122 حالة) بين عامي 1989 و90، و25.7% (أي 129 من بين 501 حالة) بين عامي 1997 و98. أما نسبة إصابة الإناث فكانت 2.6% (أي حالتان من بين 78 حالة) بين عامي 1989 و90، و3.6% (أي 14 حالة من بين

الجدول 1– عدد الوفيات الناجمة عن الأورام الخبيثة بدءاً من 1 نيسان عام 1991 وحتى 30 أيلول عام 2000 (منقولة عن المرجع [32]).

رمز (ICD 9)	موضع الورم الخبيث	المجموعة	المدروسة
		الخليج	إيرا
208 - 140	جميع المواضع	66	72
141	اللسان	1	1
142	الغدد اللعابية	1	1
146	الحلقوم	1	0
150	المريء	3	0
151	المعدة	1	3
153	القولون	3	8
154	المستقيم، والمستقيم السيني الموصل، والشرج	1	1
155	الكبد وأقنية الصفراء الموجودة داخله	2	1
157	البنكرياس	2	2
161	الحنجرة	1	0
162	الرغامى، والقصبة الهوائية، والرئة	11	16
163	الجَنَبَة (غشاء الجنب)	1	0
164	التوتة (الغدة الصعترية)، والقلب، والمنصف	0	1
170	العظام والغضروف المفصلي	3	2
171	الأنسجة الرقيقة الموصلة وغيرها	2	0
172	الميلانوم	3	2
174	الثدي (عند النساء)	0	3
175	الثدي (عند الرجال)	1	0
183	المبيض وملحقات الرحم الأخرى	0	1
185	البروستات	0	1
189	الكلية وأقسام الجهاز البولي الأخرى	1	1
191	الدماغ	11	11
192	أجزاء أخرى وغير محددة من الجهاز العصبي	0	1
193	الغدة الدرقية	1	0
199	أورام خبيثة دون تحديد موضعها	3	7
200	الغَرَنان اللمفي والشبكي	0	1
201	داء هدجكن	2	1
202	سرطانات الغدة الدرقية والنسيج البلعمي الأخرى	5	3
204	السرطان اللمفي	1	1
205	السرطان النخاعي	5	3

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

393) بين عامي 1997 و98. وكانت نسبة الإصابة بسرطان الدم لدى الذكور والإناث سوية 11% (أي 22 حالة من بين 200) بين عامي 1989 و90، و10.6% (أي 894/95) بين عامي 1997 و98. وهذه الأعداد هي نسب مئوية لا يمكن مقارنتها بنِسب الإصابات بالسرطان بين كل 100 000 شخص من سكان الموصل والمناطق المحيطة بها. وهي متشابهة في كلتا الفترتين، وقد تكون هناك أسباب عدة للزيادة في أرقامها الكلية، لكن يجب عدم ربطها بالتعرض لليورانيوم المستنفد كما تذكر وسائل الإعلام أحياناً. وقد عَلّق سيكورا [35] على هذه الزيادة بعد زيارته العراق قائلاً: "ربما يكون تزايد سرطان المعدة عائداً إلى سوء التغذية ونقص مرافق تخزين الطعام، وهناك تزايد واضح في حالات سرطان الدم التي وصلت إلى ثلاثة أضعافها في المقاطعات الجنوبية، وهي مواقع جبهات حرب الخليج الثانية الرئيسة."

الإحصاءات العسكرية

يذكر تقرير عام 1998 [34] الأرقام السنوية الكلية لسرطان الرئة بين عامي 1991 و97 لدى الموظفين في الجيش المعرضين لانفجارات قذائف اليورانيوم المستنفد، وهذه الأرقام هي 4، و6، و 39، و40، و41، و40، و40، أما عدد الإصابات بسرطان الدم فهو 10، و28، و45، و53 و65، و70، و40. وكان عدد الخاضعين للدراسة 1425 شخصاً منهم جنود وموظفون آخرون في الجيش. بيد أن بيانات الدراسة لم ترد في التقرير، كما أنه لم يُعرّف الأشخاص الذين خضعوا لها تعريفاً وافياً على الرغم من أنها تُعَدّ دراسة حالة، ولذلك فإن نتائجها ليست ذات مصداقية كبيرة.

تأثير محتمل للمواد الكيميائية المسرطِنة

ربما يكون التعرض للمواد الكيميائية المسرطنة أحد أسباب زيادة الإصابة بالسرطان في العراق. وإحدى هذه المواد المسرطنة التي تستخدم في الحرب العميل برتقال، والذي يُعرَف كواحد من الأسباب الوظيفية المسببة للسرطان النخاعي [36]. ويتعرض المرء له على أرض المعركة بعد أن أصبحت الحرب تعتمد على الآلة، لأن مخلفاتها تحوي هِدروكربونات محترقة احتراقاً جزئياً من الوقود والمتفجرات، واللدائن، والدّفوعات. ويضاف إلى ذلك في حرب الخليج حرائق النفط الكويتي، التي تسبَّب دخانها المحمول عن طريق الرياح بأضرارٍ رئوية معروفة نتجت عن أشكال السخام المتشكل وكمياته الكبيرة. كما أن هذا السخام يحوي كميات ضخمة من الهدروكربونات العطرية ذات الدورات المتعددة، وهي مواد مسرطنة معروفة. ولا يُعرَف أين كانت مواقع مخازن الأسلحة الكيميائية والبيولوجية العراقية، وهل انفجر أي منها. بيد أن استخدام الأسلحة الكيميائية في الحرب العراقية الإيرانية بين عامي 1981 و 1988 أمر مؤكد. وكان خردل الكبريت أحد المواد المستخدمة آنذاك، وتشمل آثاره البعيدة الأمد أضراراً بالجهاز المناعي، وتشوهات في المواليد، وتزايد الإصابات بسرطاني الدم واللمف.

اليورانيوم المستنفد في البلقان

تعرّضت مصافي النفط، ومرافق تخزينه، ومعامل السماد إلى أضرار بالغة خلال الصراع الذي دار في كوسوفو بين شهري آذار وحزيران عام 1999. ولذلك لا بُدَّ من أخذ التلوث البيئي الناجم عن ذلك بعين الاعتبار عند تقييم الآثار الصحية لهذا الصراع. وقد وجدت مواقع ملوثة بيئياً في أربع مدن هي بانسيفو، وكراجيو جيفاك، ونوفي ساد، وبور. وذكر أحد التقارير وجود صعوبة في بعض الأحيان في فصل المشاكل الصحية والبيئية السابقة عن تلك التي سبَّبها الصراع الأخير [37]. وقد وجد تلوث خطير سببه الزئبق، والديوكسين، ومواد سامة أخرى تراكم بعضها خلال بضع سنين هناك.

وقد أطلقت طائرات إي – 10 (A-10) الأمريكية قذائف اليورانيوم المستنفد، بيد أننا لا نعلم هل كانت صواريخ كروز تحويه كذلك [37]. وطبقاً لما أورده برنامج الأمم المتحدة للبيئة ومركز الأمم المتحدة الإنساني الخاص بحملة التوطين في البلقان [37] فإن "ما نعرفه حالياً من استخدام اليورانيوم المستنفد في كوسوفو، وربما في صربيا هو أننا لا نعلم كمية الأسلحة التي استُخدم فيها، أو المواقع التي استهدفتها." وقد وردت بعض المعلومات عن هذا الموضوع لاحقاً ورسالة وجهها الأمين العام لحلف الناتو إلى الأمين العام للأمم المتحدة في شباط عام 2000 ذكرت أن "31000 قذيفة يورانيوم مستنفد قد استخدمت في كوسوفو، أي 8401 كغ منه. بيد أن من المستحيل الآن تحديد كل الأمكنة التي أصابتها هذه القذائف تحديداً دقيقاً."

المراجع

REFERENCES

[1] Lederman M. Greatorex CA. A cobalt 60 telecurie unit. Br J. Radiol 1953:26:525 -32.

[2] Uijt de Haag PA. Smetsers RC, Witlox HW, Kraus HW. Eisenga AH. Evaluating the risk from depleted uranium after the Boeing 747-258F crash in Amsterdam. 1992. J. Hazard Mater 2000:76:39-58.

[3] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for uranium. Washington. DC: US Public Health Service, 1999.

[4] World Health Organisation. Depleted uranium: sources. exposure and health effects, WHO/SDE/ PHE/01.1. Geneva: Department of Protection of the Human Environment. WHO, 2001.

[5] Wrenn M. Durbin PW. Howard B. Lipsztein J. Rundo J. Still ET. Metabolism of ingested U and Ra. Health Phys 1985:48:601-33.

[6] Zarnora ML. Tracy BL, Zielinski JM. Meyerhof DP, Moss MA. Chronic ingestion of uranium in drinking water: a study of kidney bioeffects in humans. Toxicol Sci 1998;43:68-77.

[7] McDiarmid MA. Hooper FJ, Squibb K. McPhaul K. The utility of spot collection for urinary uranium

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

determinations in depleted uranium exposed Gulf War veterans. Health Phys 1999;77:261-4.

[8] United Kingdom Ministry of Defence. The introduction of an appropriate voluntary screening programme as a result of concerns on depleted uranium: an invitation to professional and official bodies to comment on technical issues, D/SG(Pol) 350/6/7. London: Ministry of Defence, 2001.

[9] Ejnik JW. Carmichael AJ. Hamilton MM. MeDiarmid M. Squibb K. Boyd P, et al. Determination of the isotopic composition of uranium in urine by inductively coupled plasma mass spectrometry. Health Phys 2000;78:143-6.

[10] Arsenault AL. Hunziker EB. Electron microscopic analysis of mineral deposits in the calcifying epiphyseal growth plate. Calcif Tissue Int 1988:42. 119-26.

[11] International Commission on Radiological Protection. Limits for intakes of radionuclides by workers. ICRP publication 30. Oxford: Pergamon Press. 1979.

[12] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 3. Ingestion dose coefficients, ICRP publication 69. Oxford: Pergamon Press, 1995.

[13] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 4. Inhalation dose coefficients. ICRP publication 71. Oxford: Pergamon Press, 1996.

[14] World Health Organisation. Guidelines for drinking water quality. Addendum to Vol. 2 Health criteria and other supporting information. Geneva: WHO. 1998.

[15] Kathren RL. McInroy JF. Moore JH. Dietert SE. Uranium in the tissues of an occupationally exposed individual. Health Phys 1989:57:17-21.

[16] O'Meara JM. Chettle DR. McNeill FE. Webber CE. The feasibility of measuring bone uranium concentrations in vivo using source excited K x-ray fluorescence. Phys Med Biol 1997:42:1109-20.

[17] Mould RF. Radation dose from depleted uranium can now be measured. Br. Med J 2001;322:865-6.

[18] Defence Committee. House of Commons. 7th Report. Gulf veterans' illnesses. London: The Stationery office 2000.

[19] National Research Council Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation. Health effects of exposure to radon-BEIR VI. Washington DC: National Academy Press. 1999.

[20] Spiethoff A. Wiethege T. Hollstein M. Wesch H. German uranium miners studies-evaluation of the central archive of the Institute of Pathology at Stollberg, first results. Appl Occup Environ Hyg 1997;12:964-9.

[21] Wesch H. Wiethege T. Spiethoff A. Wegener K. Müller KM. Mehlhorn J. German uranium miner study-historical background and available histopathological material. Radiat Res 1999:152(Suppl. 6): S48-S51.

[22] Wiethege T. Wesch H. Wegener K. Müller KM. Mehlhorn J. Spiethoff A. et al. German uranium miner study-pathological and molecular genetic findings. German Uranium Miner Study, Research Group Pathology. Radiat Res 1999;152(Suppl. 6): S52-S55.

[23] Kreuzer M. Muller KM. Brachner A. Gerken M. Grosche B. Wiethege T, et al. Histopathologic findings of lung carcinoma in German uranium miners. Cancer 2000:89:2613-21.

[24] Fulco CE, Liverman CT. Sox HC, editors. Gulf war and health. Vol. 1. Depleted uranium. pyridostigmine bromide. sarin, and vaccines. Washington DC: National Academy Press. 2000.

[25] Shigematsu I. Ito C. Kamada N. Akiyama M. Sasaki H. editors. A-bomb radiation effects digest. Hiroshima: Hiroshima International Council for Medical Care of the Radiation Exposed, 1993.

[26] Brown WM. Doll R. Mortality from cancer and other causes after radiotherapy for ankylosing spondylitis. Br Med J 1965:5474:1327-32.

[27] Smith PG. Doll R. Mortality among patients treated for ankylosing spondylitis after a single treatment course with X-rays. Br Med J (Clin Res Ed) 1982:284:449-60.

[28] Weiss HA. Darby SC. Fearn T. Doll R. Leukemia mortality after X-ray treatment for ankylosing spondylitis. Radiat Res 1995:142:1-11.

[29] McDiarmid MA. Keogh JP. Hooper F.J. McPhaul K. Squibb K. Kane R, et al. Health effects of depleted uranium on exposed Gulf war veterans. Environ Res 2000:82:168-80.

[30] McDiarmid MA. Depleted uranium and public health. Br Med J 2001:322:123-4.

[31] Macfarlane GJ. Thomas E. Cherry N. Mortality among UK Gulf War veterans. Lancet 2000:356:17-21.

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

[32] Blatchley NF. Bolton P, Walpole L. Accidental deaths among UK Gulf veterans: discharge from the Armed Forces and other risk factors. In: The Research Working Group: Military and Veterans Health Coordinating Board Conference on Illnesses among Gulf war veterans: a decade of scientific research; 2001 January 24-26: Alexandria. USA. poster abstract A-11.

[33] Parkin DM. Whelan SL. Ferlay J. Raymond L. Young J. editors. Cancer incidence in five continents. Vol. VII, IARC Scientific Publication 143. Lyon: International Agency for Research on Cancer. 1997.

[34] Lopez D. editor. Conference on health and environmental consequences of depleted uranium used by U.S. and British forces in the 1991 Gulf war: 1998 December 2-3: Hotel Al-Rashid. Baghdad.

[35] Sikora K. Cancer services are suffering in Iraq. Br Med J 1999:318:203.

[36] Austin A, Deizell E, Cole P. Benzene and leukaemia. A review of the literature and a risk assessment. Am J Epidemiol 1988;127:419-39.

[37] United Nations Environment Programme and the United Nations Centre for Human Settlements (Habitat) Balkans Task Force. The Kosovo conflict consequences for the environment and human settlements. Geneva: UNEP/ UNCHS, 1999.■

☆ ★ ☆

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

أنماط الانشطار النووي ولا تناظرات كتل الشظايا في فضاء التشوه خماسي الأبعاد★

ب. مولّر، د. ج. مادلاند، أ. ج. سايرك
القسم النظري - مختبر لوس ألاموس الوطني - لوس ألاموس - نيومكسيكو - الولايات المتحدة الأمريكية
أ. لواموتو
قسم علم المواد - معهد أبحاث الطاقة الذرّية - اليابان

ملخص

يمكن وصف النوى التي تخضع للانشطار بسطح طاقة كامنة متعدد الأبعاد يعمل على توجيه تطور الشكل النووي- من الحالة الأساسية، مروراً بنقاط سرجية متوسطة وأخيراً وصولاً إلى تشكيلات من شظايا (أجزاء) انشطار منفصلة. إن الحسابات التي أُجريت حتى الآن لا تزال تعاني من نقص في التقصّي عن وضع وسطاء الشكل ذات بعدية كافية ليتمخض عنها معالم في سطح الطاقة الكامنة (كالنهايات الصغرى المتعددة، والوديان، ونقاط السرج والضهرات (م: ضهرة) ridges التي تقابل مشاهدات مميزة لعملية الانشطار. في هذا العمل نحسب ونحلل تضاريس الطاقة الكامنة ذات خمسة أبعاد مبنية على شبكة ذات 2 610 885 نقطة تشوه. وقد وجدنا أن معالم الانشطار المشاهدة- كتوزعات كتل الشظايا الناتجة عن الانشطار والطاقة الحركية، وعتبات الطاقة المختلفة من أجل انشطار تناظري ولا تناظري- ذات صلة وثيقة بالمعالم الطبولوجية في صور الطاقة ذات الأبعاد الخمسة المحسوبة.

الكلمات المفتاحية: ضهرة (ج: ضهرات)، انشطار نووي، لاتناظري، تناظري، كتلة، طاقة العتبة.

عندما تنقسم نواة ثقيلة إلى شظيتين في انشطار نووي، يبرز سؤالان أساسيان عن العملية تحدّيا الباحثين منذ اكتشاف عملية الانشطار قبل أكثر من 60 عاماً. السؤال الأول هو: ما هي عتبة الطاقة اللازمة للتفاعل، والسؤال الثاني هو: ما هي التغيرات في الشكل التي تقتضيها عملية الانتقال من منظومة نووية واحدة إلى نواتين شظيتين بنتين منفصلتين؟ هذان السؤالان مترابطان بصورة حميمة. فالطاقة الكامنة لنواة كتابع للشكل تعرّف صورة في فضاء تشوه متعدد الأبعاد. وفي هذه الصورة، تمثل طاقة أخفض الشعاب (الممرات) الجبلية، أو النقاط السرجية، التي تصل الحالة النووية الأساسية مع المنطقة الموافقة للشظايا المنفصلة، طاقة العتبة لعملية الانشطار.

النظريات السابقة والنتائج

إن أولى النظريات في الانشطار، التي طرحها في عام 1939 مايتنر Meitner وفريش Frisch [1] و بور Bohr و ويلر Wheeler [2]، فسّرت تحطيم اليورانيوم إلى شظيتين أخف متساويتين تقريباً في الحجم بنموذج يستخدم قطرة سائلة مشحونة ذات توتر سطحي. ولقد شوهد هذا التحطيم قبل أشهر فقط من ذلك من قبل هان Hahn و ستراسمان Strassmann [3] في التفاعل $n+U$. في هذا النموذج الجهري تصبح القطرة أقل استقراراً بصورة مطّردة بالنسبة للتشوه عندما يزداد العدد الذرّي Z. وعندما يصبح $Z\approx 100$ تُفقَد الاستقرارية فقداً تاماً. أما بخصوص نوى الأكتينيد الأخف قليلاً، فإن حاجز الانشطار بين شكل الحالة الأساسية وتشكيلة الشظايا المنفصلة يصبح منخفضاً انخفاضاً كافياً الأمر الذي يجعل الانشطار التلقائي، العائد للاختراق الكمومي لحاجز الانشطار الذي يفرضه ميكانيك الكم، يحدث باحتمال يمكن قياسه. يمكن أن يُحرّض الانشطار أيضاً بإثارة النواة إلى طاقات فوق طاقة الحاجز. وعلى سبيل المثال، يمنح نترون حراري يسقط على ^{235}U طاقة تكفي لإثارة النواة المركّبة ^{236}U إلى ما فوق الحاجز.

في استخدام رائد لأول حاسوب رقمي إلكتروني ENIAC في عام 1947، قام فرانكل Frankel و ميتروبوليس Metropolis [4] بالتحري والدراسة لبعض المظاهر الأساسية لنموذج القطرة السائلة الجهري. وعيّنا بصورة خاصة أشكال النوى المنشطرة عند عتبات النقاط السرجية saddle-point thresholds. وفي الستينيات من القرن الماضي ظهر نموذج محسّن جداً للطاقة الكامنة النووية كتابع للشكل. في هذا النموذج الجهري- المجهري تتألف الطاقة الكامنة من مجموع حدّين الأول جهري يتبع للشكل (قطرة سائلة) والثاني مجهري (جسيم واحد). وعلى مدى الثلاثين عاماً الماضية وفّر النموذج تبصّراً معتبراً لفهم البنية النووية. فعلى سبيل المثال، تمّ الحصول على أوصاف محسّنة لحالات الانشطار الإيزوميري (المماكب) (المتساوية في A و Z) ونقاط سرج الانشطار اللاتناظريّ الكتلة mass-asymmetric- fission saddle points،

★ نشر هذا المقال في مجلة *Nature*, Vol 409,15 February 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وُحسبت الكتل النووية لنوى في المنظومة الدورية بدقة وسطية للجذر التربيعي لمتوسط المربعات (r.m.s) تبلغ حوالي 0.7 MeV [13-5].

إن الطاقة المجهرية، التي حُسبت باتباع الطريقة التي طورها ستروتينسكي Strutinsky [6،5]، والتي تمثّل تعديلاً لطاقة "قطرة السائل" المجهرية المتغيّرة ببطء للنواة، ترجع إلى وجود بنية كمومية في النواة. وفيما يتعلق بالخواص الكيميائية من المعروف جيداً أن بعض العناصر، مثل الغازات النبيلة، تكون مستقرة بطريقة غير عادية كما أنها لامتفاعلة، وذلك نظراً للتشكيلات الإلكترونية المستقرة بشكل خاص والتي تحدث من أجل عدد من الإلكترونات يساوي 2 و 10 و 18 و 36 و 54 و 86 إلكتروناً، وهي الموافقة للغازات He و Ne و Ar و Kr و Xe و Rn. وتحدث، عند هذه الأعداد، فجوات كبيرة في طيف سويات الطاقة توافق المدارات الإلكترونية الفردية. تؤدي قوانين ميكانيك الكم إلى استقرار متزايد في النوى عند فجوات توافق "أعداداً سحرية" نووية nuclear magic numbers للبروتونات والنترونات، ونظراً للفروق بين القوى الكهرمغنطيسية الصرفة التي تعين السويات الإلكترونية والقوى النووية، فإن "الأعداد السحرية" القليلة الأولى للنوى الكروية هي 2 و 8 و 20 و28 و 50 و 82 لكلٍ من البروتونات والنترونات. وعلى أية حال، ورغم أن الآثار تكون هي الأكبر من أجل النوى "السحرية"، فإن التصحيحات المجهرية لنموذج القطرة السائلة البسيط للنوى تحدث إلى حدٍّ ما في كل النوى. عمّم ستروتينسكي [6،5] مفهوم الأعداد السحرية بحيث يمكننا أن نحسب وبدقة التصحيح (الطبقي) المجهري المحدد تماماً لطاقة القطرة السائلة من أجل أي شكل ولأي عدد من الجسيمات. إن جزء الطاقة النووية الكلية المتعلق بالتصحيح الطبقي هو المسؤول عن الوديان المتعددة والنهايات الصغرى ونقاط السرج والقمم التي تظهر في سطوح الطاقة الكامنة متعددة الأبعاد العامة كتوابع للشكل النووي. لقد تمّ في هذه السطوح، ومن أجل بعض النوى في عملية وضع الوسطاء ذات الشكل المحدود، تبيان أن "الطبقات" أو المناطق ذات الطاقة المنخفضة بصورة غير مألوفة تقابل أعداداً سحرية في شظايا انشطار منفصلة تظهر نفسها كوديان عميقة في سطح الطاقة الكامنة النووية قبل الانقسام إلى شظيتين بنتين منفصلتين بوقت طويل [14-17]. لكن السؤال عن مدى مساهمة الضهرات في استقرار هذه الوديان كان غير واضح في هذه الحسابات التخطيطية السابقة ذات البعدية الأخفض. في الماضي كانت خواص الانشطار تُربط، في أغلب الأحيان، بنماذج طاقة ارتباط شظايا الانشطار المنفصلة ونماذج الوديان داخل نقطة التماس. إلاّ أن الوديان بحد ذاتها لا تحدّد الحالة النهائية للنواة المنشطرة. إن الحالات النهائية الموافقة لثلاث شظايا أو أكثر هي في كثير من الحالات مفضلة من الناحية الطاقية أكثر من الحالات الموافقة لشظيتي انشطار نهائيتين. وفي هذه الحالات تنقسم النواة رغم ذلك إلى شظيتين فقط. ويحدث هذا لأن الحاجز الكائن بين الحالة الأساسية ووادي الانشطار الثنائي يساند مثل هذه الانقسامات وتفصل ضهرةٌ الوادي الثنائي عن الوادي الثلاثي، رغم أن الآثار الدينامية قد تؤثر أيضاً على الانقسام. نفحص هنا أي السروج تصل الحالة الأساسية بالوديان المتنوعة ذات الشظيتين التي تنبثق في المراحل المتأخرة من عملية الانشطار، وما هي ارتفاعات الضهرات التي تسمح أو تمنع الحركة بين الوديان.

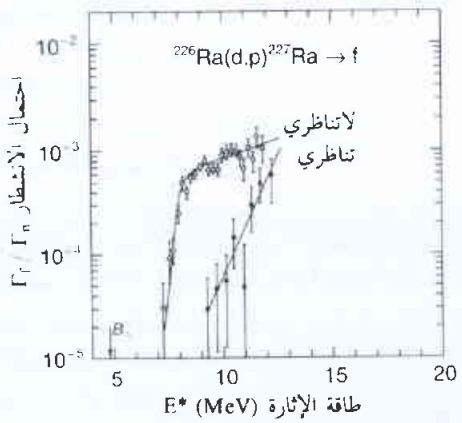
أسرار لم تُحلّ

نحن الآن قادرون بطريقتنا الجديدة على تفسير عدد من المعالم المميّزة الهامة جداً للانشطار والتي لم تُحلّ من قبل، وهذه تشمل:

1- تبدي النوى الواقعة تحت منطقة الأكتينيد مباشرة والقريبة من ^{228}Ra نمطين للانشطار [18-21]. يوضح الشكل 1 معطيات تجريبية تمّ الحصول عليها من أجل ^{227}Ra في المرجع 19. في أحد الأنماط، وهو النمط ذو طاقة العتبة الأخفض، يكون توزع كتلة الشظايا لاتناظرياً وتكون الطاقة الحركية الكلية للشظية أعلى بحوالي 10 MeV من النمط الآخر المتناظر [19]. وعند طاقات إثارة معينة يؤدي هذان النمطان إلى بنية ذات ثلاث قمم لافتة للنظر لمنحنى توليد كتل الشظايا. من المجموع الكلي للمعطيات التجريبية يستنتج المؤلفون في المرجع 19 ما يلي: "وهكذا يبدو أنه بعد التعيين البدائي للصفة التناظرية أو اللا تناظرية للانشطار الذي تمّ مسبقاً عند الحاجز، أن المركّبتين تسلكان مساراً مختلفاً من دون أن يحدث تراكب أو بتراكب طفيف في التطور من الحاجز إلى تركيبة الانشطار".

2- تبدي النوى الواقعة فوق النهاية العليا لمنطقة الأكتينيد تغيّرات مفاجئة مع عدد النكلونات (العدد الكتلي) في خصائص الانشطار، وتظهر في بعض الأحيان صفة ذات نمطين في النواة نفسها. فتوزع كتلة الشظية، على سبيل المثال، يتغير تغيراً حاداً من لاتناظري الكتلة من أجل ^{256}Fm إلى تناظري الكتلة من أجل ^{258}Fm مصحوباً بزيادة متعالقة في الطاقة الحركية الكلية (TKE) للشظية بمقدار يبلغ حوالي 35 MeV. لكن ^{258}Fm يبدي أيضاً النمط اللاتناظري بطاقة حركية كلية (TKE) أقل مع احتمال صغير: يتميّز انشطار مثل هذه النوى ويوصف على أنه ثنائي النمطية bimodal.

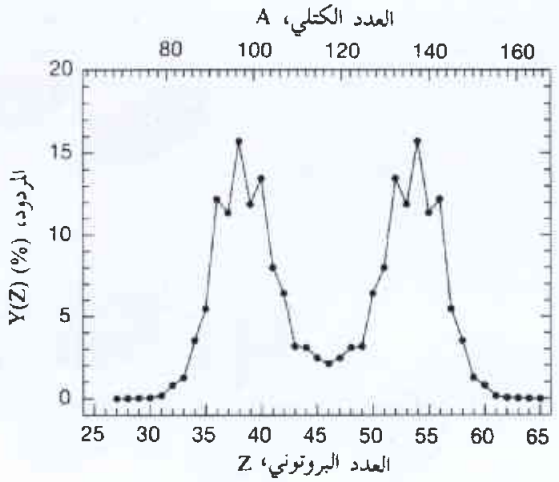
3- على امتداد منطقة الأكتينيد وتحت Fm، تنقسم النوى بالقرب من خط استقرار B في انشطار تلقائي أو محرَّض بطاقة منخفضة إلى شظية ثقيلة بكتلة قريبة من 140 وشظية خفيفة بكتلة تنزاح مع الكتلة



الشكل 1- احتمالا الانشطار اللاتناظري والتناظري من أجل ^{227}Ra كتابعين لطاقة الإثارة في النواة المنشطرة. تشير d هنا إلى دوترون، و p إلى بروتون، و B_n إلى طاقة الربط في النترون، و Γ_n و Γ_f يتناسبان مع احتمال إصدار النترون واحتمال انشطاره على الترتيب. تبيّن المعطيات أن نمطي الانشطار المتميزين يتواجدان في النواة، أي: نمط لاتناظري ونمط آخر تناظري، وتكون طاقة العتبة للنمط الأخير أعلى بمقدار 1-2 MeV.

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

الكلية للنواة المنشطرة. يبيّن الشكل 2 توزعاً نموذجياً لشحنة (كتلة) شظية الانشطار. وضمن استراتيجيتنا الجديدة من أجل تطبيق الطريقة الجهرية- المجهرية على فضاءات ذات بعدية عالية. يمكن فهم كلّ ظواهر الانشطار المشاهدة هذه بدلالة سطوح الطاقة الكامنة النووية المحسوبة باستخدام خمس درجات حرية لأشكال النواة مختارة بصورة مناسبة.

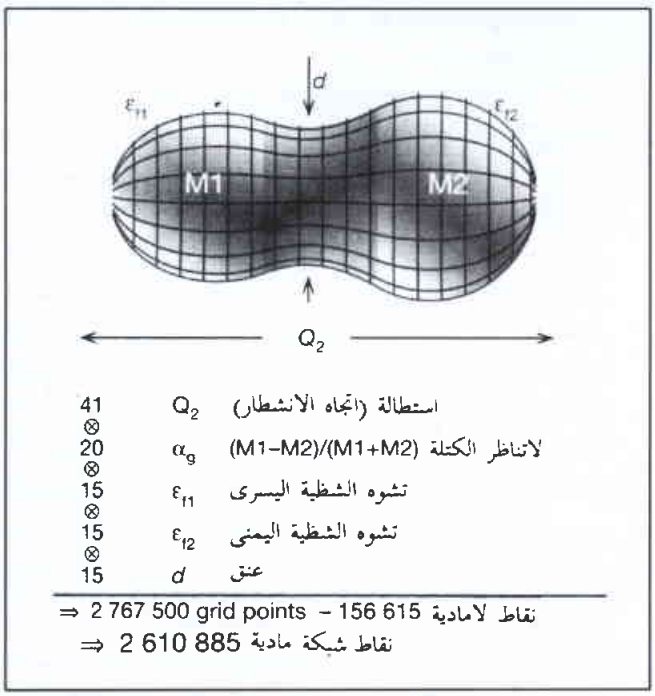


الشكل 2– مردود الشحنة النووية في انشطار ^{234}U المحرّض كهرطيسياً، من المرجع 28. حوّلت المعطيات إلى توزع مردود الكتلة قبل إصدار النترونات (المحور العلوي) باقتراض أن النسبة بروتون/نترون Z/N هي نفسها في كلٍ من الشظيتين المنشطرتين كما في النواة الأصلية.

طريقة جديدة

لم يحصل أي تقدم يذكر في وصف التضاريس التي تبيّن الطاقة الكامنة للانشطار، منذ أوائل السبعينيات [5-11]، على الرغم من تقديم كثير من الحسابات القائمة على 1000 نقطة أو نحوها في فضاء تشوّه. لقد تعلّمنا أنه كي نصف بدقة تحوّل شكل نووي واحد إلى شظيتين لهما كتلتان مختلفتان وتشوهان مختلفان- كأن تكون إحداهما شظية تشبه ^{132}Sn والأخرى شظية مشكّلة بعدد كتلي A قريب من 100- فإننا نحتاج إلى خمسة وسطاء شكل مستقلة على الأقل. ولقد كان يُظن من قبل أن بعض الطرائق، مثل حسابات هارتري- فوك Hartree-Fock المنسجمة ذاتياً (انظر المناقشة في المرجع 22) والمقيدة بالنسبة لمتحول واحد، كانت تأخذ في الحسبان وتلقائياً كلّ درجات حرية الشكل الإضافية. وفي طرائق أخرى، تدعى متعددة البعدية أيضاً، عُرضت الطاقة المحسوبة على هيئة أكِفة مخططات تسوية للطاقة بدلالة درجتي حرّية للشكل، حيث جُعلت الطاقة عند كلّ نقطة أصغرية بالنسبة لإحداثيات الشكل الإضافية. لا ينتج عن أي من الطريقتين وصف صحيح لبنية سطح الطاقة الكامنة للانشطار الكلّي متعدد الأبعاد. وفي الحقيقة، إنهما على درجة من عدم الدقة لاتقل عن عدم دقة الحسابات ثنائية البعد، كما نوقشت بتفصيل أوسع في المرجع 22. ولكي ننشئ بنية للفضاءات متعددة الأبعاد، من الضروري أن نحسب الطاقات المقابلة لكل التراكيب الممكنة فيزيائياً لوسطاء التشوّه، التي تؤدي إلى فضاءات طاقة كامنة لعدة ملايين نقطة بدلاً من 1000 نقطة فقط أو نحو ذلك.

إننا ندرس بالتفصيل هذا الفضاء الذي تساهم فيه 2 610 885 نقطة تعرّف شبكة مؤلفة من إحداثيات شكل خماسية البعد. من أجل الطاقة الكامنة نستخدم نموذج قطرة السائل ذات المجال المحدود الجهري- المجهري مع حدّي ويغنر Wigner و °A التابعين للشكل، كما جاء في المرجعين 12 و 16 على التوالي . وعلى وجه التحديد، إن إحداثيات الشكل الخمس هي: (1) المطال، ويعبر عنه بدلالة عزم رباعي أقطاب الشحنة Q_2؛ (2) قطر العنق d؛ (3) تشوه الشظية الوليدة اليسرى ϵ_{F1}؛ (4) تشوه الشظية الوليدة اليمنى ϵ_{F2}؛ و (5) لاتناظر الكتلة α_g، كما هو مبيّن في الشكل 3. يعطى عزم رباعي أقطاب الشحنة كما يعطى عزم ^{240}Pu وبالشكل نفسه عندما تؤخذ النواة بالاعتبار، بحيث يُحذف أثر حجم النواة. إن كتلتي الجسمين الطرفيين (أو الحجمين، بصورة مكافئة) M1 و M2 هما كتلتا الشظيتين الوليدتين اليسرى واليمنى فيما لو أُكملتا إلى شكلين مغلقين. إن



الشكل 3– عملية وضع وسطاء الشكل خماسي الأبعاد المستخدمة في حساباتنا للطاقة الكامنة. تشير درجات الرمادي المختلفة إلى السطوح الثريعية الثلاثة لعملية وضع وسطاء الشكل في حساباتنا. المشتق الأول مستمر عند كل تقاطعات السطوح. تشير الدوائر التي عليها إشارة الضرب × إلى أن الفضاءات الأحادية البعد الخمسة لكل إحداثي تتحد (تُضرب معاً) لتولد فضاءً خماسي الأبعاد فيه 2 767 500 نقطة شبكة. إلا أن الأشكال المقابلة لعزوم رباعيات أقطاب محددة لاتوجد من أجل اتحادات معينة لوسطاء الشكل الأخرى. فعلى سبيل المثال، لايمكن أن يتحقق عزم رباعي أقطاب يساوي الصفر من أجل أشكال لها أطراف مشوهة جداً. يوجد في شبكتنا 156 615 من هذه النقاط "اللامادية". وهكذا، يبقى لدينا 2 610 885 شكلاً حسبنا من أجلها فعلاً الطاقة الكامنة. لقد وضعنا الإحداثيات اللامتناظرة بصورة تفصل بينها مسافات متقاربة بحيث نكون قادرين على تحديد أشكال النقاط السرجية المرغوبة، قريباً من العدد البروتوني السحري للشظية ومن العدد النتروني، الذي قد لا يظهر في شبكة ذات تباعد أكثر تناثراً. من أجل ^{240}Pu يقابل التباعد تغيراً قدره 2.4 وحدة في الأعداد الكتلية للشظايا الوليدة.

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

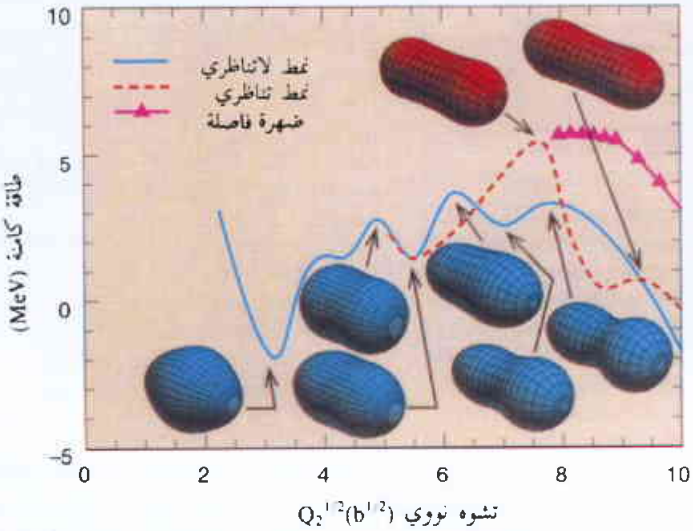
الشظايا الوليدة هي أجسام ذات تكور جزئي تُميَّز تشوهاتها بوسيط نيلسون رباعي القطب ∈ [7]. وهي موصولة وصلاً سَلِساً بوساطة مجسم شبه كروي (كرواني) جزئي أو مجسم قطع زائد دوراني. إن طريقتنا مبنية على تأثر مجهري واقعي قائم [12، 23]، وتسلك الطاقة سلوكاً مضبوطاً عندما يتطور الشكل من إحدى النهايات لشكل وحيد يوافق الحالة الأساسية للنواة إلى النهاية الأخرى لتشكيلات الانشطار التي توافق شظيتي انشطار ابنتين متماستين. ونعني بكلمة "مضبوط" أن النموذج مُعَدٌّ بحيث نحصل على الطاقة ذاتها من أجل تشكيل الشظيتين المتماستين سواء تمّ حساب الطاقة كما في حال نواة وحيدة ومشوّهة جداً، أو مثل حساب طاقة النواتين المتماستين [16]. نتعرّف على بنىً هامة في فضاء الطاقة الكامنة خماسية الأبعاد المحسوبة عن طريق تدفقات (جداول) ماء تخيلية [24] في خمسة أبعاد [22]. ونحصل على طاقة نقطة السرج الحرجة و على الشكل الموافق بتعقب أثر تدفق الماء التخيلي هذا عبر نقاط السرج عندما تُملأ عدة نهايات صغرى تدريجياً بالماء.

إذا علمنا تعيين طاقات العتبة للانشطار والأشكال النووية المقابلة لمواقع نقاط السرج، فإننا ننتقل إلى السؤال الأساسي الثاني ألا وهو: ما هي تغيّرات الشكل الداخلة في الانتقال من نواة وحيدة إلى نواتي شظيتين ابنتين منفصلتين؟ هل توجد بُنى في سطح الطاقة الكامنة تؤدي إلى انشطار متعدد الأنماط كما في انشطار توزع الكتلة ثلاثي القمم المعروف جيداً في انشطار ^{228}Ra [19]؟ للبحث عن مثل هذه البُنى نسأل عما إذا كان يوجد أودية لصفة معايرة بصورة واضحة تجري في اتجاه الانشطار لتزايد Q_2. أي: نحن نعيّن كلّ النهايات الصغرى في الفضاء رباعي الأبعاد المتبقي لتشوهي الشظيتين وحجم العنق ولاتناظر الكتلة وذلك من أجل عشر قيم ثابتة أو أكثر لـ Q_2 فيما وراء مجال السرج الخارجي. لقد وجدنا أن هنالك، في العادة، واديين (وأحياناً أكثر) متميّزين في المنطقة الكائنة وراء منطقة السرج الثاني، واحد يقابل لاتناظر الكتلة α_g يبلغ حوالي $[140-(A-140)]/A$ وواحد يقابل تناظر الكتلة $\alpha_g = 0$. لفهم مغزى هذين الواديين من الضروري أن نعيّن تفاصيل أكثر عن الترابط فيما بينهما في فضاء طاقة التشوه الخماسي الأبعاد.

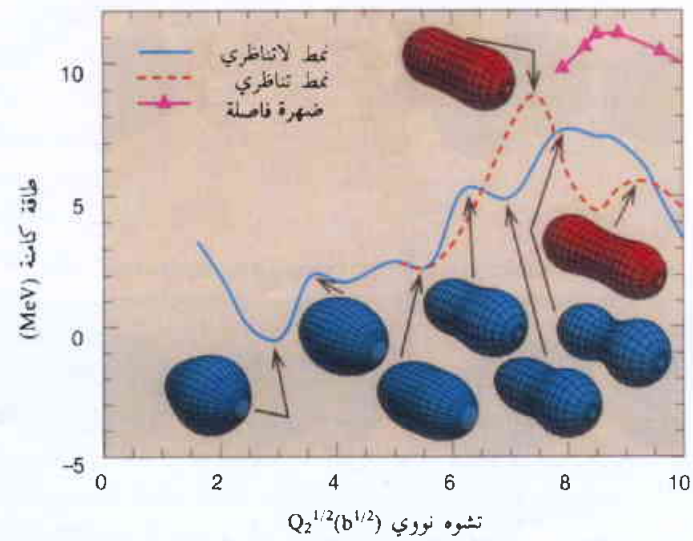
إن تغيير خوارزمية الفيضان يسمح لنا بتحديد أن نقاط السرج المنفصلة تزودنا بمداخل إلى الواديين و تحدد الطاقات الخاصة لنقاط السرج هذه. وبمجرد أن يتعين أخفض سرج يمكننا أن نسدّ تدفق الماء خلال منطقة السرج. كما يمكننا أن نسدّ كلياً تدفق الماء فيما وراء نهاية عظمى مختارة Q_2. وهذا يمنع الماء من التدفق أسفل أحد الواديين وفوق "الطريق الجلفي" في الوادي الآخر. ولكي نحدد ارتفاع الضهرة بين الواديين على امتداد طولهما الكلي، من أجل كل Q_2 ثابتة، ندرس الفضاء المتبقي رباعي الأبعاد الذي يقابل الواديان فيه النهايتين الصغريين وتقابل الضهرة السرج الفاصل بينهما. نستخدم خوارزمية التدفق في أربعة أبعاد لنحدد موضع هذا السرج / الضهرة.

أسرار محلولة

كأمثلة على بنى كنّا قد وجدناها في سطوح الطاقة الكامنة خماسية الأبعاد المحسوبة نبيّن في الشكلين 4 و 5 بعض وديان الانشطار ومعالم ضهرات فاصلة حصلنا عليها من أجل ^{228}Ra و ^{234}U. يهيمن الانشطار اللا تناظري في الحالتين، لأن الحاجز المؤدي إلى الوادي اللاتناظري هو الأخفض، في وفاق مع التجربة. يبلغ تصحيح الطبقة عند نقاط السرج المؤدية إلى وديان الانشطار اللاتناظري، حوالي نصف القيمة المحسوبة من أجل الشكل الكروي في السوية الطاقية الأساسية لـ ^{132}Sn، في حين يكون تصحيح الطبقة عند نقاط السرج المؤدية إلى وديان الانشطار التناظري مساوياً للصفر أساساً. إن البنى الثنائية الوادي المحسوبة لسطح الطاقة



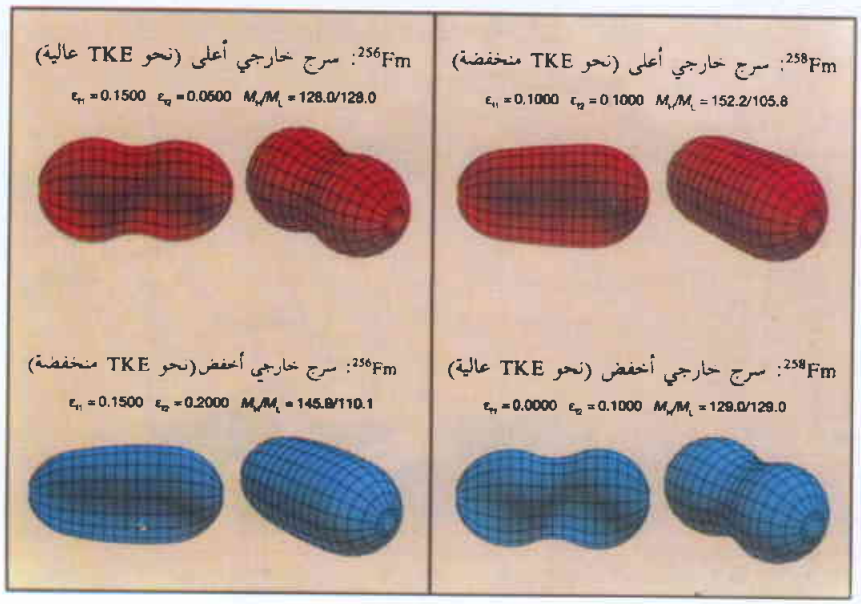
الشكل 4– أودية الطاقة الكامنة المحسوبة وضهراتها وأشكال نووية مقابلة من أجل ^{228}Ra. يوجد مساران للانشطار: مسار لاتناظري ومسار تناظري. للمسار التناظري نقطة سرجية للانشطار أعلى، وتشير الأشكال الأكثر استطالة في الوادي وراء النقطة السرجية إلى أن الطاقات الحركية الكلية للشظية في النمط التناظري تكون أخفض من تلك التي في النمط اللاتناظري. من أجل طاقات إثارة فوق السرج التناظري بقليل تكون الضهرة التي تفصل الواديين عالية بما يكفي لتبقي النمطين منفصلين تماماً.



الشكل 5– أودية الطاقة الكامنة المحسوبة وضهراتها وأشكال نووية مقابلة من أجل ^{234}U. يوجد مساران للانشطار: مسار لاتناظري ومسار تناظري. للمسار التناظري نقطة سرجية للانشطار أعلى، وتشير الأشكال الأكثر استطالة وراء النقطة السرجية إلى أن الطاقات الحركية الكلية للشظية في النمط التناظري تكون أخفض من تلك التي في النمط اللاتناظري. الضهرة بين الواديين ليست، بكل تأكيد، مرتفعة بما يكفي كي تسمح لنمطين منفصلين بالنشوء.

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

الكامنة تؤدي إلى معالم الانشطار ثنائي النمطية الملاحظة في هذا المجال من النوى [19 ، 21]. تقع قمة الضهرة العالية التي تفصل بين الواديين لـ ^{228}Ra عند قيمة أعلى بـ 2.47 MeV من سرج الدخول إلى الوادي التناظري. لذلك فهي تُبقي على نمطي الكتلة التناظري واللاتناظري منفصلين تماماً عند طاقات إثارة منخفضة حتى يحدث انشطار، أما من أجل ^{234}U فإن الضهرة الفاصلة الأخفض وهي تقع تقريباً عند الطاقة نفسها التي لسرج الدخول إلى الوادي التناظري، تسمح للمركّبة التناظرية أن ترتد جزئياً أو كلياً إلى الوادي التناظري قبل الانشطار. إن الأشكال المطوطة، التي حُصل عليها في الوادي التناظري، متوافقة مع الطاقات الحركية الأخفض للشظية الملاحظة في نمط الانشطار التناظري بالنسبة للنمط اللاتناظري، الذي نحصل من أجله على أشكال أكثر اندماجاً. تنشأ الطاقات الحركية للشظية من الدفع الكولوني الذي يصبح فعالاً بصورة أساسية بُعيد الانقسام إلى شظيتين منفصلتين. إن مراكز الشظايا المتماسة والأكثر استطالة تكون أكثر تباعداً من مراكز الشظايا المتماسة والمتراصة. لذا فإن الطاقات الحركية العالية للشظايا تشير إلى تشكيلات انشطار متراصة، في حين تشير الطاقات الحركية المنخفضة إلى تشكيلات انشطار أكثر استطالة.



الشكل 6– أشكال نقاط سرجية عديدة من أجل ^{256}Fm و ^{258}Fm محسوبة على الشبكة في المرجع 22 . رُسم منظران لكل شكل محسوب؛ منظر جانبي ومنظر من زاوية. فمن أجل ^{258}Fm تقابل طاقة أخفض نقطة سرجية تشكيلاً متراصاً لشكل تناظري الكتلة، يقابل بشظاياه الوليدة شبه الكروية المشاهدات التجريبية للطاقات الحركية العالية لشظايا الانشطار، والانشطار تناظري الكتلة. هنالك نمط ضعيف ملاحظ للانشطار ذي الطاقة الحركية الضعيفة يقابل انشطاراً في وادٍ يسهل الوصول إليه عبر السرج المحسوب الأعلى في الجزء الأعلى الأيمن من الشكل. أما من أجل ^{256}Fm، فإن المرتفعات المحسوبة لهذين السرجين تكون معكوسة، داعمة بذلك كلاً من الطاقات الحركية الضعيفة لشظايا الانشطار ولاتناظر الكتلة للشظايا، بتوافق تام مع المشاهدات التجريبية. يشير الاختصار (Total Kinetic Energy TKE) إلى طاقة حركية كلّية.

تبدي النوى في المنطقة المجاورة لـ ^{258}Fm تبدي أيضاً معالم انشطار ثنائي الشكلية [25]. لقد كنّا في السابق نعرف بصورة مؤقتة البنى الثنائية الشكلية في سطوح طاقة كامنة محسوبة ثنائية البعد [15 ، 16]، ولكن تأكد لنا الآن فقط أن هذه التفسيرات تبقى محققة عندما يوسع هذا الحساب من بعدين إلى خمسة أبعاد. وبخصوص ^{256}Fm و ^{258}Fm وجدنا صنفين متميزين من نقاط السرج مبيّنة في الشكل 6. فمن أجل ^{256}Fm يشير شكل السرج الأخفض إلى أنه يقابل انشطاراً بطاقة حركية كلّية (TKE) منخفضة وطبيعية مماثلة لما هو ملاحظ في انشطار الأكتينيدات الأخف. لكن توجد نقطة سرجية أخرى، وهي التي حسبناها فوجدنا أنها أعلى من النقطة السرجية المنخفضة بـ 0.30 MeV. تبيّن نقطة السرج هذه أنها تقابل مساراً يؤدي إلى انشطار تناظري بتشكيلات انشطار متراصة وطاقات حركية أعلى للشظايا. أما من أجل ^{258}Fm فإن الصنف الأخير من النقطة السرجية هو النقطة السرجية الأخفض. وهكذا فإننا نعيد توليد نقطة الانتقال الملاحظة تجريبياً بين الانشطار اللاتناظري ذي الطاقة الحركية الكلّية (TKE) المنخفضة والانشطار التناظري ذي الـ TKE العالية [25].

من أجل استطالات بين نقطة السرج لحاجز الانشطار الخارجي والانشطار (الانقسام) يمكننا ومن غير لَبس أن نعيّن وادياً لاتناظري الكتلة من أجل معظم نوى الأكتينيد. لقد عرّفنا وسيط لاتناظر الكتلة لشبكة التشوّه α_g (قارن مع الشكل 3) بأنه:

$$\alpha_g = \frac{M_1 - M_2}{M_1 + M_2} \qquad (1)$$

حيث M_1 و M_2 هما الحجمان داخل السطحين التربيعيين للجسمين الطرفيين فيما لو أُكملا لتشكيل جسمين شبه كرويين لهما سطح مغلق closed-surface spheroids. إذا ابتعدنا ما فيه الكفاية في الوادي اللاتناظري الكتلة، ولنقل عند $Q_2 = 64$ b، حيث 1b هو 1 barn، وهو يقابل 10^{-28} m^2، فإن النوى المنشطرة يكون لها دوماً أعناق ظاهرة بشكل جليّ (انظر الشكلين 4 و 5). وعليه، من المفيد مقارنة لاتناظر الكتلة في الشكل غير المنفصل في الوادي اللاتناظري الكتلة مع كتلتي الشظيتين النهائيتين الثقيلة والخفيفة M_H و M_L.

رغم أننا نستطيع توقع أن تكون M_1 و M_2 قريبتين من كتلتي الشظيتين النهائيتين وذلك من أجل أشكال ذات أعناق ظاهرة بشكل جليّ، فإننا لانستطيع أن نقارن مباشرة M_1 و M_2، مع كتلتي الشظيتين المنشطرتين الملاحظتين M_H و M_L، لأن الأولى لاتساوي بالضبط مجموع الحجم النووي الكلي أو الكتلة A. وعلى أية حال، إذا قمنا بعملية تدريج scaling لـ M_1 و M_2 وأدّى مجموعهما إلى العدد الكتلي

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

الكلي A فإننا نستطيع أن نقارن مباشرة لاتناظر الكتلة لشكل الوادي مع كتلتي الشظيتين الملاحظتين الثقيلة والخفيفة، ونحصل على

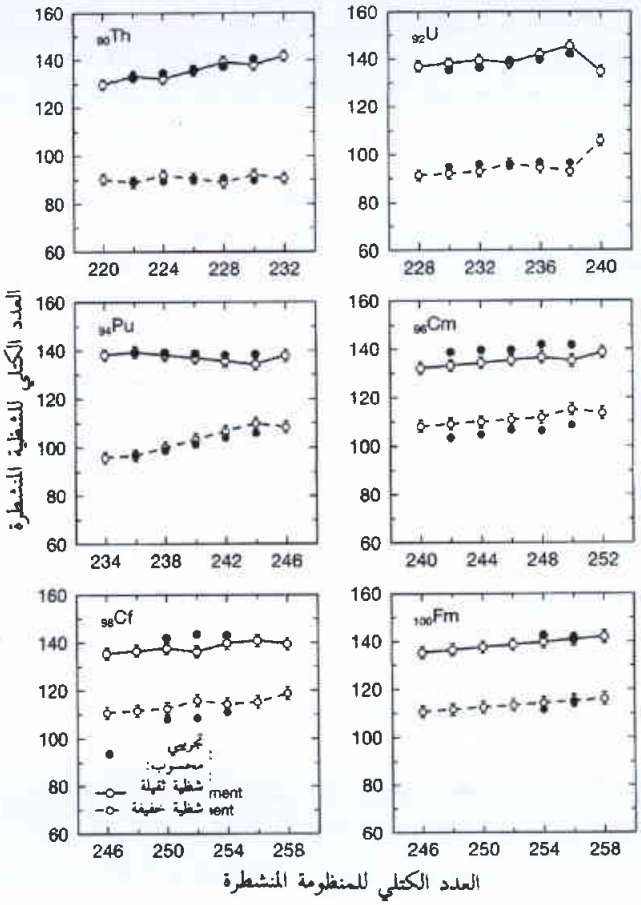
$$M_L{}^{calc} = r_s M_1 = A\frac{1+\alpha_g}{2},\ M_H{}^{calc} = r_s M_2 = A\frac{1-\alpha_g}{2}$$

و (2)

$$r_s = \frac{A}{M_1 + M_2}$$

حيث r_s هو عامل التدريج scaling factor لنواة تحتوي على A نكلون. إن التدريج يكافيء إعادة توزيع الكتلة في منطقة العنق إلى الكتلتين اليسرى واليمنى بصورة متناسبة مع حجميهما المقابلين. إن مقدار الكتلة في هذا التوزع الذهني يكون صغيراً ، وهو حوالي 10-20 نكلوناً.

نستخدم التعاريف الواردة في الشكل 7 لمقارنة كتلتي شظيتي الانشطار الثقيلة والخفيفة المحسوبتين، بناءً على خصائص وادٍ يقع عند $Q_2 = 99$ b، مع معطيات تجريبية من أجل الأوضاع الوسطى لقمم الكتلة



الشكل 7- انقسام الكتلة الوسطى المحسوب (مرسوم بدوائر بيضاء) والمقيس (مرسوم بدوائر سوداء) [26-28] في انشطار لاتناظري لسلسلة من النظائر الزوجية من Th و U و Pu و Cm و Cf و Fm. تقابل شرائط الأخطاء على النقاط المحسوبة قيم تباعد لاتناظر الكتلة على شبكة إحداثيات شكل متعددة الأبعاد. المعطيات هي من أجل الانشطار التلقائي عندما تكون متوفرة، وإلا فالمعطيات من أجل انشطار محرَّض بطاقة منخفضة هي المستخدمة. تستخرج النتائج المشاهدة التجريبية لشظية ثقيلة عند عدد كتلي $A \approx 140$ وشظية خفيفة بكتلة توافق ما تبقى من النواة الأصلية. لكن الانحرافات عن هذا الحكم التجريبي استُنتجت أيضاً بواسطة الحسابات التي أُجريت.

الثقيلة والخفيفة في توزعات كتل الشظايا [26-28] لمجال من النظائر الزوجية من Th و U و Pu و Cm و Cf و Fm. إن نتائجنا المحسوبة على وفاق ممتاز مع المعطيات التجريبية، بانحراف وسطي قدره 3.0 نكلوناً فقط. ونجد، على وجه الخصوص، أن كتلة الشظية الثقيلة ثابتة تقريباً وقريبة من $A = 140$ من أجل كل العناصر وكل النظائر المدروسة. وتبعاً لذلك فإن كتلة الشظية الخفيفة، التي تحتوي على ما تبقى من كتلة النواة المنشطرة، تعتمد على العدد الكتلي للمنظومة التي تقوم بالانشطار، وهذا اتفاق ممتاز آخر مع المعطيات التجريبية.

مناقشة

لقد تمَّ الحصول على النتائج النظرية الجديدة في الانشطار النووي والمقدمة هنا في ضوء نموذجنا للبنية النووية العيارية [29،30] والذي طُبِّق أيضاً على حساب الكتل النووية [12]، وحواجز تأثر الأيونات الثقيلة [31]، اضمحلال β النووي [32]، والاصطناع النووي في الأوساط النجمية [33]، بدون إجراء تغيير في النموذج أو وسطائه بالنسبة لتعاريفها عام 1992 في المرجع 12 . لقد استخدمنا نسخة FRLDM (1992) [12] من نموذج الطاقة الكامنة، بدلاً من نسخة FRDM (1992) [12] لأن الأخيرة غير ملائمة لأشكال ذات أعناق ظاهرة بشكل جليّ. إننا حسبنا صوراً للطاقة الكامنة خماسية الأبعاد من أجل 138 نواة زوجية- زوجية بدءاً من Pb وحتى Fm. إن تحليلنا لهذه الصور، والتي لم يُناقش منها أعلاه بالتفصيل سوى بعض الأمثلة فقط، يسمح لنا باستخلاص الاستنتاجات التالية:

(1) توجد مسارات انشطار مضاعفة من أجل معظم النوى.

(2) يسيطر مساران من أجل الراديوم ونوى الأكتينيد الخفيفة: أحدهما لامتناظر الكتلة والآخر متناظر الكتلة. تقابل هذه المسارات نماذج انشطار مختلفة، كتلك التي يبيّنها الشكل 1.

(3) إن الفرق في الطاقة بين النقاط السرجية المتناظرة واللامتناظرة من أجل Ra ونوى الأكتينيد الخفيفة في سطوح الطاقة الكامنة التي حسبناها يبلغ 1-2 MeV، وهو ما يتفق مع الفروق المخمَّنة تجريبياً في طاقات حرجة (عتبة) لهذين النمطين [19-21، 34].

(4) وجدنا من أجل الراديوم ^{228}Ra والنوى المجاورة أن مسارات الانشطار المتناظرة واللامتناظرة منفصلة تماماً بواسطة ضهرة مرتفعة تمتد من السرج إلى الانشطار. وهكذا تكون حساباتنا الخماسية الأبعاد قد حققت الاستنتاجات التجريبية التي توصَّل إليها المرجع 19 ومفادها أنه عند طاقات إثارة منخفضة يوجد مسارا انشطار يكون تراكبهما قليلاً أو معدوماً.

(5) يُستنتج من المشاهدات التجريبية لانشطار العناصر الأخف من Fm أن الطاقة الحركية الوسطى من أجل النمط اللامتناظر تكون أعلى مما هي عليه في النمط المتناظر بمقدار 10-15 MeV [18، 19، 35]. إن اختلافات الشكل التي حسبناها من أجل نوى ناشئة في أودية لاتناظرية الكتلة وتناظرية الكتلة متفقة وصفياً مع هذه الاختلافات في الطاقات الكامنة للنمطين.

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

(6) إن أشكال وطاقات نقطة السرج من أجل ^{256}Fm و ^{258}Fm متفقة مع الانتقال الملاحظ تجريبياً بين انشطار ذي طاقة حركية كلّية (TKE) منخفضة لاتناظرية وانشطار ذي TKE عالية تناظرية تحدث بين ^{256}Fm و ^{258}Fm.

(7) إن انقسام الكتلة الملاحظ منذ مدة طويلة في الانشطار اللا تناظري الكتلة بكتلة شظية ثقيلة ثابتة تقريباً بالقرب من $A = 140$ أُعيد الحصول عليه بصورة مقنعة في حساباتنا.

اقترح مايتنر Meitner [16] مبكراً منذ عام 1950 تفسيراً لانقسامات الكتلة المشاهدة في الانشطار بدلالة بنية طبقات الشظية. لقد بيّنا هنا أن انقسام الكتلة ليس هو وحده الذي يتأثر ببنية الطبقات. إن بنية الطبقات تخلق كذلك أنماطاً مختلفة من الانشطار، يتميز كل نمط منها بطاقة نقطته السرجية ، وانقسام كتلته، وطاقته الحركية .

إن سطح الطاقة الكامنة للانشطار خماسي الأبعاد عند نقاط السرج الخارجية العديدة وما وراءها يُعدّ صورة مهيبة (مفروضة) تعترضها أودية عميقة وضهرات شاهقة. إن طبقات الشظية تؤثر بعمق على طبوغرافية هذه الصورة قبل أن تنقسم المنظومة إلى شظايا انشطار متناثرة بوقت طويل.

المراجع REFERENCES

[1] Meitner, L. & Frisch, O. R. Disintegration of uranium by neutrons: A new type of nuclear reaction. Nature 143, 239-240 (1939).

[2] Bohr, N. & Wheeler, J. A. The mechanism of fission. Phys. Rev. 56, 426-450 (1939).

[3] Hahn, O. & Strassmann, F. Uber den Nachweiss und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. Naturwissenschaften 27, 11-15 (1939).

[4] Frankel, S. & Metropolis, N. Liquid- drop model of fission. Phys. Rev. 72, 914-925 (1947).

[5] Strutinsky, V. M. Shell effects in nuclear masses and deformation energies. Nucl. Phys. A 95, 420-442 (1967).

[6] Strutinsky, V. M. Shells in deformed nuclei. Nucl. Phys. A 122, 1-33 (1968).

[7] Nilsson, S. G. et al. On the nuclear structure and stability of heavy and superheavy elements. Nucl. Phys. A 131, 1-66 (1969).

[8] Pashkevich, V. V. The energy of non- axial deformation of heavy nuclei. Nucl. Phys. A 133, 400-404 (1969).

[9] Moller, P. & Nilsson, S. G. The fission barrier and odd-multipole shape distortions. Phys. Lett. 31B, 283- 286 (1970).

[10] Brack, M. et al. Funny hills: The shell- correction approach to nuclear shell effects and its applications to the fission process. Rev. Mod. phys. 44, 320-405 (1972).

[11] Nix, J. R. Calculation of fission barriers for heavy and superheavy nuclei. Annu. Rev. Nucl. Sci. 22, 65-120 (1972).

[12] Moller, P., Nix, J. R., Myers, W. D. & Swiatecki, W. J. Nuclear ground- state masses and deformations. Atom. Data Nucl. Data Tables 59, 185-381 (1995).

[13] Aboussir, Y., Pearson, J. M., Dutta, A. K. & Tondeur, F. Nuclear- mass Formula via an approximation to the Hartree- Fock method. Atom. Data Nucl. Data Tables 61, 127-176 (1995).

[14] Moller, P. & Nix, J. R. Potential- energy surfaces for asymmetric heavy- ion reactions. Nucl. Phys. A 281, 354-372 (1977).

[15] Moller, P., Nix, J. R. & Swiatecki, W. J. Calculated fission properties of the heaviest elements. Nucl. Phys. A 469, 1-50 (1987).

[16] Moller, P., Nix, J. R. & Swiatecki, W. J. New developments in the calculation of heavy- element fission barriers. Nucl. Phys. A 492, 349-387 (1989).

[17] Armbruster, P. Nuclear structure in cold rearrangement processes in fission and fusion. Rep. Prog. Phys. 62, 465-525 (1999).

[18] Britt, H. C., Wegner, H. E. & Gursky, J. C. Energetics of charged particle- induced fission reactions. Phys. Rev. 129, 2239-2252 (1963).

[19] Konecny, E., Specht, H. J. & Weber, J. in Proc. Third IAEA Symp. Phys. Chem. Fission Vol. II, 3-18 (International Atomic Energy Agency, Vienna, 1974).

[20] Ohtsuki, T., Nakahara, H. & Nagame, Y. Systematic variation of fission barrier heights for symmetrical and asymmetric mass divisions. Phys. Rev. C 48, 1667-1676 (1993).

[21] Nagame, Y. et al. Bimodal nature of low energy fission of light actinides. Radiochim. Acta 78, 3-10 (1997).

[22] Moller, P. & Iwamoto, A. Realistic fission saddle- point shapes. Phys. Rev. C 61, 47602-1-4 (2000).

[23] Moller, P., Nix, J. R. & Kratz, K.-L. Nuclear properties for astrophysical and radioactive- ion- beam applications. Atom. Data Nucl. Data Tables 66, 131-343 (1997).

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

[24] Mamdouh, A., Pearson, J. M., Rayet, M. & Tondeur, F. Large- scale fission- barrier calculations with the ETFSI method. Nucl. Phys. A 644, 389-414 (1998).

[25] Hulet, E. K. et al. Bimodal symmetrical fission observed in the heaviest elements. Phys. Rev. Lett. 56, 313-316 (1986).

[26] Hoffman, D. C. & Hoffman, M. M. Post- fission phenomena. Annu. Rev. Nucl. Sci. 24, 151 207 (1974).

[27] Dematte, L., Wagemans, C., Barthelemy, R., Dhondt, P. & Deruytter, A. Fragments' mass and energy characteristics in the spontaneous fission of Pu-236, Pu-238,Pu-240, Pu-242 and Pu-244. Nucl. Phys. A 617, 331-346 (1997).

[28] Schmidt, K. H. et al. Relativistic radioactive beams: A new access to nuclear- fission studies. Nucl. Phys. A 665, 221-267 (2000).

[29] Bolsterli, M., Fiset, E. O., Nix, J. R. & Norton, J. L. New calculation of fission barriers for heavy and superheavy nuclei. Phys. Rev. C 5, 1050-1075 (1972).

[30] Krappe, H. J., Nix, J. R. & Sierk, A. J. Unified nuclear potential for heavy-ion elastic scattering, fusion, fission, and ground-state masses and deformations. Phys. Rev. C 20, 992-1013 (1979).

[31] Moller, P. & Iwamoto, A. Macroscopic potential-energy surfaces for arbitrarily oriented, deformed heavy-ions. Nucl. Phys. A 575, 381-411 (1994).

[32] Moller, P. & Randrup. J. New developments in the calculation of β-strength functions. Nucl. Phys. A 514, 1-48 (1990).

[33] Kratz, K. L., Bitouzet, J. P., Thielemann, F. K., Moller, P. & Pfeiffer, B. Isotopic r-process abundances and nuclear-structure far from stability: implications for the r-process mechanism. Astrophys. J. 403, 216-238 (1993).

[34] Kudyaev, G. A., Ostapenko. Yu. B. & Smirenkin, G. N. Thresholds and saddle shapes in symmetric and asymmetric fission in the vicinity of Ra. Sov. J. Nucl. Phys. 45, 951-958 (1987).

[35] Zhao, Y. L. et al. Experimental verification of two deformation paths in the mass division process of actinides. J. Alloys Comp. 271, 327-330 (1998).

[36] Meitner, L. Fission and nuclear shell model. Nature. 165, 561 (1950).

[37] Hayes, B. Dividing the continent. Am. Sci. 88, 481-485 (2000).■

☆ ★ ☆

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

ليزرات الإلكترونات الحرّة: الوضع والتطبيقات*

ب. ج. أوشيا
معهد أبحاث البلازما - جامعة ماريلاند - الولايات المتحدة الأمريكية
هـ ب. فرولد
التعاون الدولي لتطبيقات العلوم - ماكلين - الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

تتألف ليزرات الإلكترونات الحرّة من حزمة إلكترونية منتشرة خلال حقل مغنطيسي دوري. تستخدم مثل هذه الليزرات في الوقت الحاضر في أبحاث علوم المواد، والتقانة الكيميائية، وعلوم الفيزياء الحيوية، والتطبيقات الطبية، ودراسات السطوح، وفيزياء الحالة الصلبة. إن ليزرات الإلكترونات الحرّة ذات الاستطاعة الوسطية العالية والأطوال الموجية الأقصر هي قيد التطوير والتحسين. ويتراوح مجال التطبيقات المستقبلية بين المعالجة الصناعية للمواد والمنابع الضوئية لأشعة X- اللّينة والقاسية.

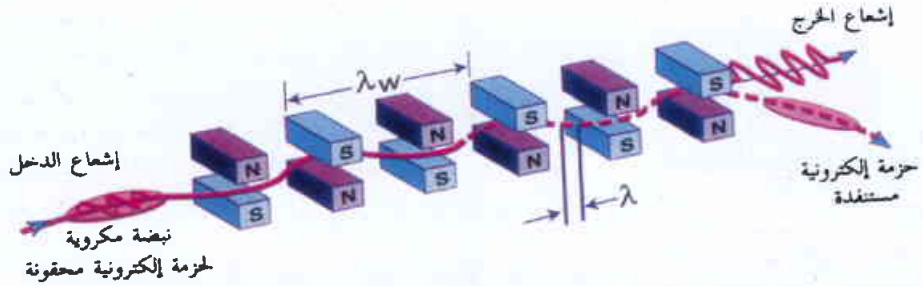
الكلمات المفتاحية: إلكترونات حرّة، تحزيم، ليزر، محرك ثقلي، مموّج.

إن ليزرات الإلكترونات الحرة Free - Electron Lasers (FELs) قادرة على العمل في مجال الطيف الكهرطيسي كاملاً، وهي تملأ بسرعة الفجوات الطيفية التي تتركها المصادر التقليدية [1]. لقد جرى تشغيلها بدءاً من الأمواج المكروية ووصولاً إلى مجالات فوق البنفسجي الخلائية باستطاعات وسطية تصل إلى عدة كيلوواطات واستطاعات ذروة تصل إلى جيغاواط. يوجد في الوقت الحاضر مجالان رئيسان من أجل تطوير ليزر الإلكترونات الحرّة FEL في المستقبل: استطاعة وسطية أعلى وأطوال موجية أقصر.

تتألف FELs من حزمة إلكترونية منتشرة خلال حقل مغنطيسي دوري (يدعى المموّج undulator) (الشكل 1). تستخدم المموّجات أيضاً في مصادر ضوء السنكروترون اللامترابط. تحدث الليزرة لأن المموّج والإشعاع يتحدان لتوليد موجة خفقان (وهي بصورة أساسية نموذج تداخل يدعى الموجة المحرّكة الثقلية) سرعتها أبطأ من سرعة الضوء ويمكنها أن تتواقت مع الإلكترونات. وتعدّ مجموعة راكبي الأمواج تشابهاً جيداً لها. فإذا ما بقي راكبوا الأمواج مستقرين يكون فرق السرعة بينهم وبين الموجة كبيراً، ولاتفعل الموجة الواردة أكثر من أن تتركهم صاعدين هابطين عند مرورها. ولكنهم إذا "مسكوا الموجة" بالتغديف paddling لمماشاة السرعات، فإنه يستطيعون اكتساب طاقة من الموجة. هذا هو الأساس الفيزيائي لليزر الإلكترونات الحرّة، ماعدا أن طور الإلكترونات يتم إختياره لتضخيم الموجة، وهكذا فإن الوضع أكثر شبهاً براكبي الأمواج الدافعين للموجة مما يزيد من سعتها.

إن سويات الطاقة المتقطعة في الليزرات التقليدية ليست عاملاً في FELs حيث تحصل انتقالات الطاقة الإلكترونية بصورة متصلة. تُنقل الطاقة الحرارية التي تُسخّن الوسط الليزري بسرعات الصوت (حوالي 10^3 متر/ثا) في الليزرات التقليدية، ولكنها، في ليزرات الإلكترونات الحرّة، تُنقل بسرعة الضوء تقريباً (حوالي 10^8 متر/ثا). وبهذا في حد ذاته، تكون FELs أكثر تشبيهاً لأنابيب الموجة السائرة منها إلى الليزرات التقليدية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن ليزرات الإلكترونات الحرّة قابلة للتوليف باستمرار وقادرة لذروات واستطاعات وسطية عالية ويمكن أن تنتج أنواعاً واسعة من أشكال نبضية. تمثل هذه التطورات الحديثة في الـ FEL استعادة نشاط النبائط الإلكترونية الخلائية كمصادر للإشعاع المترابط [2].

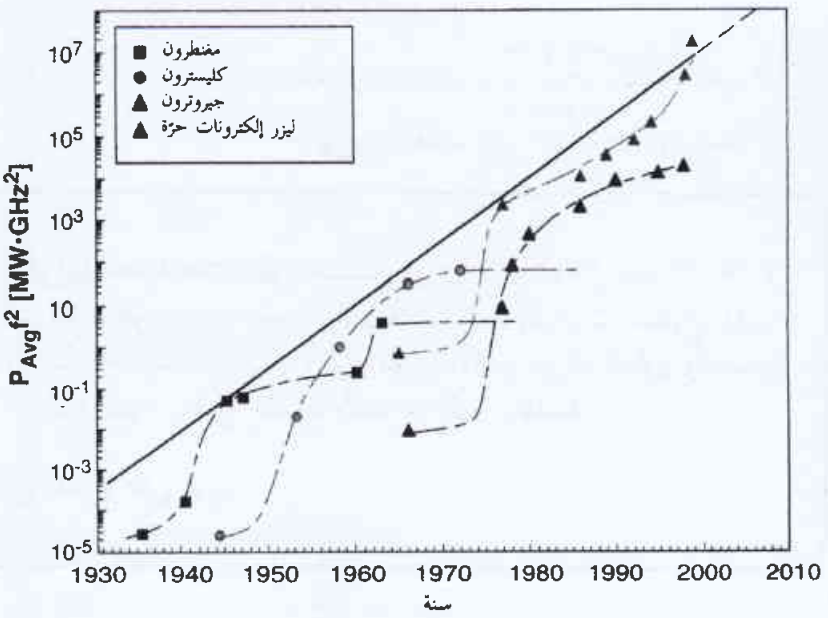
إن الاستطاعة الوسطية لـ FEL في ازدياد. ففي النمط المستمر، تمّ الحصول على رقم قياسي لاستطاعة وسطية مقدارها 1.7 كيلوواط عند طول موجة يساوي 3μm [3]. وتمّ الحصول أيضاً على سويات استطاعة مشابهة تصل إلى 2 كيلوواط بواسطة نبضة ضخمة تزيد عن 1 ملّي/ثا عند الأشعة تحت الحمراء [4]. تبلغ الاستطاعة الوسطية العالية المطلوب التوصل إليها عدة عشرات من الكيلوواطات عند الأطوال الموجية تحت الحمراء وحتى فوق البنفسجية. وتكون التشكيلة الأكثر احتمالاً عبارة عن هزاز مسيّر بمسرع خطي ذي تواتر راديوي (rf-linac). يمكن معايرة سرعة تحسين مولّدات الخلاء للإشعاع المترابط باستخدام كثافة الاستطاعة (وهي



الشكل 1– توضيح تخطيطي للتأثر بين الحزمة الإلكترونية والمموّج في FEL بمموّج مستوٍ.

* نشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol.292, 8 June 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



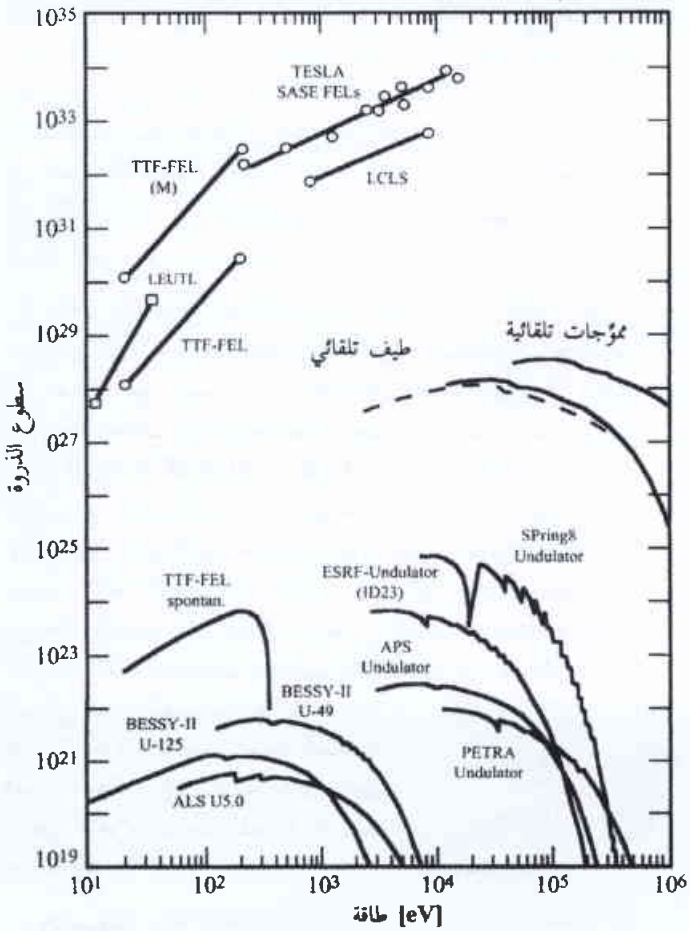
الشكل 2– تَقَدُّم في التحسينات لأنواع من المصادر الإلكترونية الخلائية للإشعاع المترابط. كما قيست بواسطة تطور جداء الاستطاعة الوسطية ومربع التواتر (مأخوذ من [2]).

حاصل جداء الاستطاعة الوسطية ومربع تواتر الإشعاع) كمعامل جودة. يبيّن تطور كثافات الاستطاعة في المغنطرون والكليسترون والجيروترون والـ FELs (الشكل 2) [5] أن تطور المغنطرون السريع بدأ في الأربعينيات من القرن الماضي وبلغ حدوده القصوى حوالي عام 1950، حيث تبعه تطور الكليسترون على المنوال نفسه خلال منتصف السبعينيات من القرن الماضي. إن أنفاق الحزمة في الجيروترون وفي FELs أكبر، مما أدى إلى زيادة في سعة القدرة المتعامل معها. وبالرغم من وجود حدود تقانية لكل نبيطة، فإن مُغلِّف النبائط المختلفة يزداد بصورة أسيّة ويعطي تقديراً تقريبياً لسرعة التقدم. لم يتم بعد الوصول إلى الحدود القصوى لليزرات الإلكترونات الحرّة، ويجري بناء مشروع في مختبر توماس جيفرسون T. Jefferson [3] ليصل إلى 10 كيلوواط.

اقترحت ليزرات إلكترونات حرّة قابلة للتوليف ذات أشعة X- قاسية كمصادر ضوء رباعية الجيل [6 و 7]. والميزة الكبيرة لهذه الليزرات أنها تنتج ضوءاً مترابطاً أكثر سطوعاً بعدة مراتب من الضوء اللامترابط المنتج من السنكروترونات التي استُخْدِمت في الأجيال الثلاثة السابقة لمصادر الضوء. وُجّهت ليزرات الإلكترونات الحرّة ذات الطول الموجي القصير بصورة رئيسية نحو تطبيقات بحوث أشعة X- عند الأطوال الموجية التي تصل إلى 1 أنغستروم، وهذا موضّح بسطوع الذروة لمجال واسع للسنكروترونات المستخدمة حالياً والأداء المتوقع لـ FELs (الشكل 3) [7]. ونتيجة لذلك، فإن التطبيقات في مجال أشعة X- ستخضع إلى اضطراب مشابه لذلك الذي تبع اختراع ليزرات الأشعة المرئية.

إن هزّازات FEL فوق البنفسجية التي تستخدم حلقات تخزين إلكترونية، هي قيد التشغيل حالياً [8]. ونوعية الحزمة الإلكترونية في الحلقات الحديثة ممتازة مما يجعل الهزازات ملائمة كمسيّرات من أجل FEL المرئية وفوق البنفسجية. ولكن يبدو أن الحدود المتعلقة بإصدارية الحزمة والتيار وتقانة المرآة تحدد أصغر طول موجي يمكن إنجازه بحوالي 100 Å في حلقة تخزين FELs [8].

يُشار إلى أحد المخططات التي لاتتطلب مرايا كأنه إصدار تلقائي ذاتي التضخيم (SASE). وهنا يجري تضخيم ضجيج الطلقة على حزمة الإلكترون في مرور وحيد خلال مموِّج طويل. إن جميع ليزرات الإلكترونات الحرّة ذات أشعة X-، المبينة في الشكل 3 هي ضمن هذا الصنف. على أية حال، هنالك احتمالات مخططات بديلة، فمثلاً، إذا استمر التقدم في أنواع أخرى من ليزرات أشعة X- [9]، فعندئذ يكون احتمال التوصل إلى مضخِّم استطاعة هزّاز رائد (MOPA) ممكناً. وبالإضافة إلى ذلك، فهنالك مخططات توليد توافقية تحت الدراسة في بروكهافن



الشكل 3– سطوع الذروة لـ FELs أشعة X- ومموّجات من أجل إشعاع تلقائي في منشأة TESLA Test، بالمقارنة مع مصادر إشعاع سنكروترون. يعبر عن السطوع بفوتونات $mm^{-2}.\ mrad^{-1}.\ s^{-1}$ بكل 0.1% من عرض العصابة. وللمقارنة، يبيّن الشكل أيضاً الطيف التلقائي لمموّجات FEL أشعة X-. يدل الوسم TTl-FEL على قيم التصميم من أجل FEL في منشأة TESLA-TEST مع (M) من أجل نسخة الأصل المصممة [28].

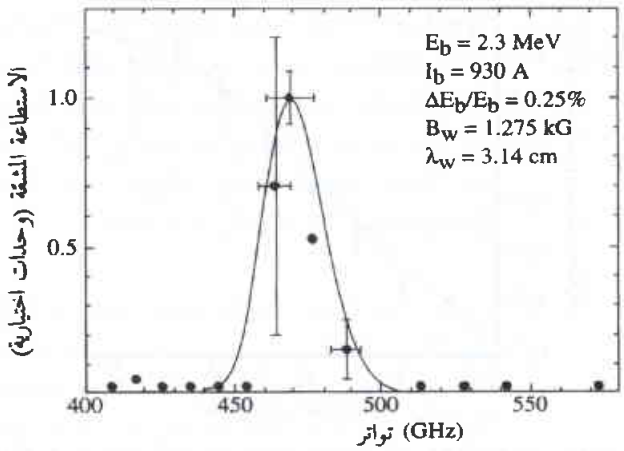
[10] وفي المختبر الوطني في أرغون [11]، حيث يجري استخدام ليزر نشط عند توافقية جزئية لطول موجة خرج مطلوب لإطلاق عملية التضخيم.

تاريخ ليزرات الإلكترونات الحرّة

تمّ في بداية الخمسينيات من القرن الماضي التحقق من الإصدار التلقائي عند أطوال الأمواج المرئية والإشعاع المترابط للأمواج المكروية [12] باستخدام مسرّع خطي ذى تواتر راديوي ومموّج. وفي الفترة الواقعة بين عام 1957 وعام 1964، تمّ إثبات الميزر حر الإلكترون الذي يطلق عليه اسم أويترون "ubitron" (من أجل تآثر الحزمة المموّجة)، والذي أنتج استطاعات ذروة بلغت 150 كيلو واط عند طول موجي يبلغ 5mm [13]. ثم فتّرت أبحاث ليزر الإلكترونات الحرّة حتى السبعينيات من القرن الماضي عندما استؤنفت وفق أسلوبين مختلفين ولكنهما متمّمان لبعضهما البعض، معتمدين على تبعثري كومبتون ورامان المحرّضين على التوالي. يحصل نظام تبعثر كومبتون عندما يكون تيار الإلكترونات صغيراً إلى حد كافٍ بحيث يكون كمون الشحنة الفضائية للحزمة أصغر من الكمون المحرّك الثقلي. ويحصل نظام تبعثر رامان عندما يكون تيار الإلكترونات كبيراً إلى حد كافٍ بحيث يكون كمون الشحنة الفضائية أكبر من الكمون المحرّك الثقلي. وفي عام 1971 اقتُرحت نبيطة ضوئية أُشير إليها فيما بعد بإسم "ليزر الإلكترونات الحرة" [14]، حيث تعمل بنظام كومبتون، والتي دفعت إلى القيام بتجارب على مضخمات وهزازات عند الأشعة تحت الحمراء القريبة [15 و 16]. كانت ليزرات الإلكترونات الحرّة لرامان رائدة في العديد من المختبرات في العالم [17 - 19] وكانت تعمل عند أطوال موجية مكروية وملّيمترية. كانت هذه هي ليزرات الإلكترونات الحرّة ذات الإصدار التلقائي الذاتي التضخيم SASE FELs الأولى بالرغم من أن المصطلح "المضخمات فائقة الإشعاعية كان قد استُعمل بشكل عام.

ظهر تطوير الإصدار التلقائي ذاتي التضخيم الأول عند أطوال موجية من مكروية وحتى تحت الحمراء البعيدة (تقريباً من 6 ملّيمتر حتى 600 مكرومتر)، وهذه النبائط كانت تعمل إما على أنظمة رامان أو تخوم أنظمة رامان/ كومبتون. وهي بهذا فقد استعملت بشكل تقليدي حزماً إلكترونية منخفضة الطاقة نسبياً (أقل من نحو 3.5 MeV) وتياراً عالياً (حتى نحو 1kA). أثبتت هذه التجارب الكثير من الفيزياء الأساسية، مثل القيود على سطوع الحزمة الإلكترونية، وتدرج سرعات النمو مع بارامترات الحزمة والمموّج، وإشباع عملية SASE، والتقلبات من طلقة إلى طلقة في طيف الخرج. ولربما كانت أكثر تجارب SASE الكاملة من هذا النوع قد أُنجزت عند طول الموجة 600 مكرومتر، وهذا يعني عند الحدود بين الانتشار الموجّه والضوئي - وأثبتت اتفاقاً جيداً بين المشاهدات وبين النظرية والمحاكاة [19]. وبصورة خاصة كانت الأسية في الاستطاعة مع الإشباع قد لوحظت مباشرة وتبيّن أنها على اتفاق جيد مع المحاكاة، ولوحظت تقلبات طلقة إلى طلقة من 1 إلى 3 في المئة في الاستطاعة و$\pm 10\%$ في طول الموجة. يبين الشكل 4 طيف الخرج في هذه التجربة.

دفع الاهتمام في SASE FELs أشعة X- [20] إلى الرغبة الملحّة لإجراء تجارب عند الأطوال الموجية في المجالات تحت الحمراء والمرئية

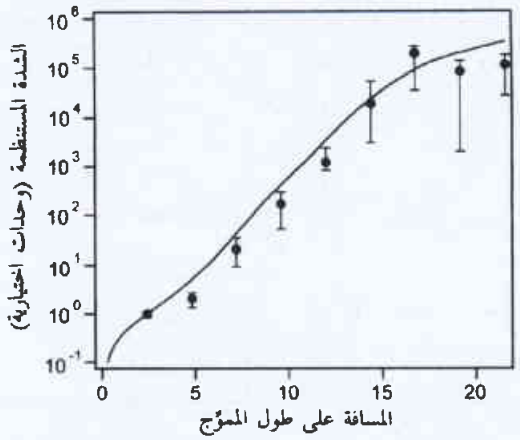


الشكل 4- طيف الخرج من SASE FEL, 600-μm في MIT [19]. تمثل النقاط القياسات. أما المنحني فهو نتيجة المحاكاة. والتقلبات طلقة إلى طلقة تنعكس على قضبان الخطأ.

وفوق البنفسجية لاختبار الفيزياء الأساسية والتقانة. لقد كان هذا النشاط مسيطراً في التجارب التي حققت كسباً عند أطوال موجية من 4 إلى 13 مكرومتراً عند الأشعة تحت الحمراء المتوسطة [21] وكسباً كبيراً عند أطوال موجية من 15 إلى 16 مكرومتراً [22 - 24]. وقد جعل من الممكن إجراء هذه التجارب باستخدام مدافع إلكترونات الكاتود الضوئي العالية السطوع، وتوضحت بذلك طريق العبور إلى أطوال موجية أقصر. لقد نُشر حديثاً عن إجراء تجارب عند أطوال الأمواج المرئية [25] وأطوال الأمواج فوق البنفسجية الخلائية [26].

كانت التجارب التي أُجريت على خط اختبار المموّج المنخفض الطاقة Low Energy Undulator Test Line (LEUTL) في مختبر أرغون الوطني أول تجارب SASE FELs عند أطوال الموجات المرئية والأطوال الموجية الأقصر للوصول إلى الإشباع ولملاحظة النمو الأسي مباشرة [27]. لقد جعل الأخير من الممكن تحقيق ذلك باستخدام المموّج المتقطّع سامحاً بوضع المحطات التشخيصية في الفرجات بين المموّجات. لقد تمّ الحصول على النتائج عند الطول الموجي المركزي 5300 أنغستروم (الشكل 5) من تجميع عدة طلقات فردية. وتصف هذه النتائج طاقة اجمالية وكذلك قياس سوية التقلبات حول هذه القيمة. يعكس اللاتناظر الطبيعة المنحرفة للإحصائيات من طلقة إلى طلقة. والخط هو النتيجة للمحاكاة العددية. والأسية واضحة في البيانات، ومن المقدر أن تصل الاستطاعة المشبعة إلى حوالي 30 MW. لقد تمّ استنظام نتائج المحاكاة لكي تمر من نقطة البيانات الأولى لأن الارتيابات في جودة الحزمة الإلكترونية تجعل المقارنات المفصلة للطاقة صعبة. وقد جرى تحقيق الإشباع، في الوقت الحاضر، في الأشعة فوق البنفسجية عند طول الموجة 3850 أنغستروم. وبالإضافة إلى ذلك، تمّ إثبات الليزرة الأولى في السنكروترون الإلكتروني الألماني [28] عند طاقة فوتون تبلغ 11 eV وسطوع ذروة يبلغ $6(\pm 4) \times 10^{25}$ photons s^{-1} $mrad^{-2}$ mm^{-2} بـ 0.1% من عرض العصابة.

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



الشكل 5– نمو الإشعاع (في واحدات اختيارية) من أجل SASE FEL 5300 Å في مختبر أرغون الوطني [27]. تعكس البيانات التقلبات طلقة إلى طلقة وكذلك التغيرات الجهرية في نقل الحزمة والمكاشيف.

يمكن أن تنشأ الصعوبات مع ليزرات الإلكترونات الحرّة ذات الإصدار التلقائي ذاتي التضخيم من التقلبات التي تحدث في طيف الخرج. وأحد البدائل هو التصميم النمطي باستخدام ليزر نشط عند توافقية جزيئة منخفضة للتواتر المطلوب لإطلاق سلسلة تضخيمات توافقية. إن هذا ممكن بسبب أن النمو التوافقي غير الخطي في FEL مُستير بقوة بتحزيم عند التواتر الأساسي [11 و 29]، ويستطيع أن يصل إلى سويات استطاعة تشكل نسبة مئوية قليلة من الاستطاعة عند التواتر الأساسي. يشبه الـ FEL بهذه الطريقة العديد من النبائط الإلكترونية الخلائية الأخرى، سواء استخدمت أنابيب عالية الفولطية أو الأنابيب الشبيكية في المضخمات السمعية لأنابيب الخلاء.

وإحدى الخطوات نحو هذا الهدف هي تجربة توليد توافقي [10] مؤلفة من مموِّجين مفصولين بعقبة مغنطيسية. يُحقن ليزر عالي الاستطاعة نشط مولَّف لكي يكون متجاوباً مع المموِّج الأول عند 10.6 مكرومتر بشكل متواقت مع حزمة إلكترونية. وهذا المموِّج ليس طويلاً بما يكفي للتأثير بصورة واضحة على الحزمة أو نبضة الليزر، ولكنه بالتأكيد يبدأ تحزيم الحزمة الإلكترونية التي تُعزَّز فيما بعد في العقبة الثنائية القطب. تحقن الإلكترونات بعد ذلك في المموِّج الثاني الذي يولَّف إلى التوافقي الثاني للّيزر النشط، والذي يؤدي كنتيجة للتحزيم السابق إلى نمو سريع للتوافق. تولّد هذه التجربة أكثر من 20 MW عند 5.3 مكرومتر. وبناءً على هذا المفهوم وباستخدام آلية التوافقية اللاخطية للتوصل إلى توافقيات أعلى، تخيّل الباحثون مصادر ضوء أشعة – X مبنية من سلسلة من هذه النسائق تصل بالتتابع في كل خطوة إلى أطوال موجية أقصر [30 و 31].

كانت المشاكل التقانية هي التي أخّرت تطور ليزرات الإلكترونات الحرّة العالية الاستطاعة والقصيرة الطول الموجي القائمة على أساس المسرّعات الخطية: وبصورة خاصة كان سطوع الإلكترون عامل التحديد الأساس، وكان الاختراق الأساسي هو تطوير مصادر الإلكترون الفوتوكاتودي المحوّل بالليزر (الحاقنات الضوئية) [32 و 33] لتحل محل الكاتودات الحرارية، محسّنة بذلك سطوع الحزمة الإلكترونية في المسرّعات الخطية ذات التواتر الراديوي بمقدار مرتبتين. استخدمت الحاقنات الضوئية بشكل روتيني في الأمواج القصيرة لـ FELs [7, 27, 34].

استفادت FELs ذات الاستطاعة الوسطية العالية أيضاً من تطبيق الحاقنات الضوئية. في بداية التسعينيات كان الحد الأقصى للاستطاعة الوسطية من أجل FEL يساوي 11 واط [35]. أثبتت تجربة في بوينغ [36] قابلية الحاقنات الضوئية لإنتاج استطاعة حزمة إلكترونية وسطية عالية وجودة حزمة عالية (160 kW و 5 MeV) بحاقن ضوئي مصمم كمسيّر من أجل FEL عالي الاستطاعة. إن استعادة الطاقة من حزمة إلكترون مستنفد، هي أيضاً تقانة مهمة من أجل تطبيقات الاستطاعة الوسطية العالية، وتَعِد، عند اقترانها مع الناقلية الفائقة لليزرات الخطية ذات التواتر الراديوي، بـ FELs عالية الاستطاعة الوسطية. إن هذه التقانات مطلوبة للوصول إلى استطاعات وسطية قريبة جداً من 2 kW عند الأشعة تحت الحمراء المتوسطة [3 و 4].

فيزياء ليزرات الإلكترونات الحرّة

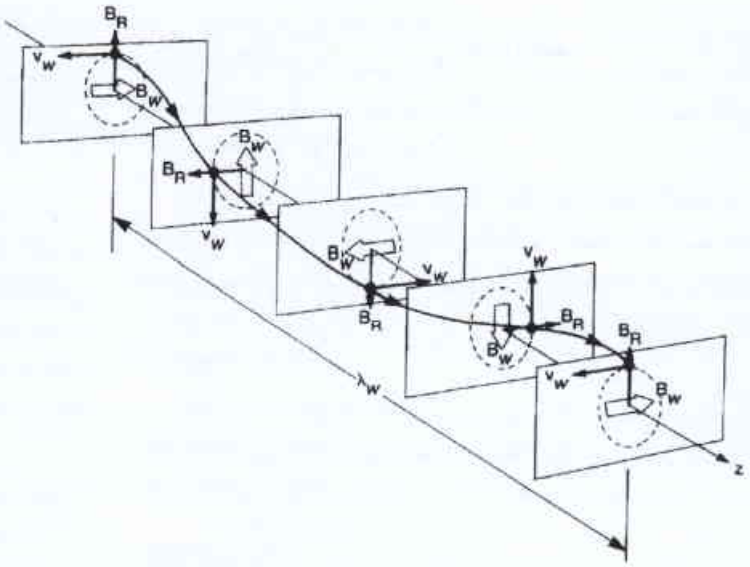
يتوسط المموِّج التآثر بين الإلكترونات والفوتونات في ليزرات الإلكترونات الحرّة. وتتناسب شدة الإشعاع غير المترابط مع عدد الإلكترونات بوحدة الطول الموجي. ويحصل الإصدار المُحرَّض عندما تُشكل الإلكترونات حزماً مترابطة على طول الموجة، وعندئذ يكون عدد الفوتونات الصادرة متناسباً مع مربع عدد الإلكترونات. يحصل التحزيم لأن للموجة المحرّكة الثقلية التواتر نفسه (ω) كالإشعاع، ولكن العدد الموجي يساوي مجموع الأعداد الموجية للحقول الكهرطيسية (k) ولحقول المموِّج (k_w) ومن هنا، فإن موجة الخفقان تسير ببطء أكبر من الموجة الضوئية وتستطيع أن تكون متزامنة مع الإلكترونات عندما تساوي سرعة الطور للموجة المحرّكة الثقلية سرعة الحزمة الإلكترونية (υ_b) أي أن $\upsilon_b = \omega/(k + k_w)$.

و لفهم كيفية تشكل الموجة المحرّكة الثقلية، اعتبر أن حركة الإلكترون كما هو مبيّن في الشكل 6 [1] من أجل مموِّج لولبي حيث يكون الحقل عمودياً على محور التناظر ويدور 360° في دورة واحدة. يمارس هذا الحقل قوة على الإلكترونات صانعة زوايا قائمة مع اتجاه الحقل ومع سرعة الإلكترون مما يجعلها تفرض مساراً لولبياً متخلفاً بزاوية 180° عن طور المموِّج. ولكل من السرعة المحورية والسرعة العرضانية مقدار ثابت، ويكون طول الموجة المتزامن:

$$\lambda = (1 + a_w^2)\frac{\lambda_w}{2\gamma_0^2} = (1 + 0.872B_w^2\lambda_w^2)\frac{\lambda_w}{2\gamma_0^2} \qquad (1)$$

حيث $a_w(=eB_w/m_ec^2k^2_w)$ بارامتر شدة المموِّج. يُقدّر دور المموِّج λ_w بالسنتيمترات، وتدل B_w على سعة المموِّج (بالتسلات)، وتكون $\gamma_o = 1 + E_b/m_ec^2$ من أجل الطاقة الحركية للإلكترون E_b (حيث m_ec^2 هي الطاقة السكونية للإلكترون). وتعطى جهة القوة المحرّكة الثقلية بالجداء الشعاعي بين سرعة الإلكترون العرضانية والحقل المغنطيسي للإشعاع. وإذا كان التطاور صحيحاً، فإن هذا الاتجاه يعاكس التدفق المحوري منتجاً تباطؤاً للإلكترون وتضخيماً للموجة.

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



الشكل 6– توضيح تخطيطي للحالة التجاوبية بين الحزمة والموجة في FEL مع مموّج لولبي [1].

إن التآثر في المموّج مشابه من الناحية الكيفية للتناظر المستوي، على أية حال، هنالك بعض الاختلافات لأن الحركة العرضانية تكون مستوية ولأن هنالك مركبة مهتزة للسرعتين العرضانية والمحورية. وبسبب هذا فإن الجذر التربيعي لمتوسط المربعات لمقدر المموّج هو الذي يحدد أداء FEL. وبهذا، يجب أن تكون شدة المموّج المستوي $\sqrt{2}$ مرة تقريباً أكبر من شدة المموّج اللولبي كي تحدِث تأثيراً مساوياً.

تتمُّ عملية التضخيم بصورة عامة على ثلاثة مراحل. المرحلة الأولى هي نظام كسب أولي منخفض قريب من إقلاع المموّج حيث تنمو الموجة بصورة تقريبية كمكعب المسافة. والمرحلة الثانية هي نمو أُسّي. يكون طول الأسية (أو الكسب) هو المسافة التي تزداد فيها الاستطاعة بعامل e (أساس اللوغاريتم الطبيعي). يجب أن يكون المموّج أطول من عدة أطوال كسب حتى يتقدم إلى ما بعد نظام الكسب المنخفض. وتبدأ المرحلة الثالثة اللاخطية عندما تصبح الإلكترونات مأسورة في الموجة المحرّكة الثقلية. ويحصل الإشباع عندما يتوازن عدد الإلكترونات المأسورة والفاقدة للطاقة لصالح الموجة مع عدد الإلكترونات الكاسبة للطاقة من الموجة. وفي الهزّازات المنخفضة الكسب، حيث لايتقدم التآثر إلى ما بعد نظام الكسب المنخفض، تنمو الموجة بشكل متزايد في كل مرور خلال المموّج. ومع ذلك، فإن الإشعاع ينمو إلى مستويات قادرة على أسر الحزمة الإلكترونية بعد عدة مرات من المرور خلال المموّج، وتكون آلية الإشباع شبيهة بما يحصل في النمو الأسي.

إن ما يُفقد بالانعراج في المضخمات وفي ليزرات الإلكترونات الحرّة ذات الإصدار التلقائي ذاتي التضخيم SASE FELs ذو أهمية كبيرة، فمن أجل الانتشار في الفضاء الحر، يتضاعف مجال الإشعاع في طول رايلي Rayleigh، واحد ويتوقف التضخيم بسبب انعراج الضوء خارج الحزمة. ومع ذلك فإن الحزمة الإلكترونية، توجه الإشعاع بآليتين مترابطتين تعرفان بتوجّه انكسار وكسب. توجّه الكسب هو التضخيم المفضل في منطقة الحزمة الإلكترونية وتوجّه الانكسار هو التبئير الإشعاعي نتيجة انزياح قرينة الانكسار بسبب استجابة العزل الكهربائي للحزمة الإلكترونية. وبكلمة أخرى، يقوم وسط كسب ليزر الإلكترونات الحرّة بمهمة ليف ضوئي لحصر الضوء. ومع ذلك، فإن التوجه الضوئي غير مهم في الهزّازات أو عند الأطوال الموجية للأمواج المكروية حيث يكون الإشعاع محصوراً إما بالمرايا أو بموجّه الموجة.

يمكن لنمو الإشعاع أن يتأثر بصورة عكسية من أجل حزم إلكترونية نبضية بمؤثرات مترابطة تدعى "الانزلاق" و"الوسن". تحصل هذه التأثيرات لأن سرعة المجموعة تكون أكبر من سرعة الإلكترون المحورية، وبسبب تأخر الحزمة خلف نبضة الإشعاع. ولهذا يتوقف تضخم الحافة المسيِّرة للنبضة، وبالتالي تبدأ النبضة بالاضمحلال نتيجة الفقد الجداري والانعراج. يكون الانزلاق مكبّرا لأن الحزمة الإلكترونية تُبطىء النبضة الضوئية إلى ما تحت سرعة المجموعة في الخلاء. وبالإضافة إلى ذلك، تتأخر الاستجابة الإلكترونية بسبب ضرورة توفر مسافة ما لبدء التحزيم قبل أن يبدأ النمو بشكل جدّي. وكنتيجة إلى ذلك، تبدأ الحافة المسيّرة للنبضة الضوئية بعملية التحزيم، مع أن الحافة الخلفية هي التي تستأثر بالجزء الأكبر مسبّبة تشويهاً في النبضة الضوئية.

يعتبر الانزلاق والوسن من الأشياء المهمة في الهزّازات، التي تستخدم الحزم الإلكترونية النبضية، حيث يجب أن يكون زمن الانزلاق أقل من دوام النبضة. ولكي يحصل التزامن بين الإلكترون والنبضات الضوئية يجب أن يكون زمن الفصل بين نبضات الحزمة مساوياً لزمن الرحلة ذهاباً وإياباً للنبضات الضوئية في التجويف. ويعبر عن هذا بتوليف التجويف. وبسبب تباطؤ النبضة بالحزمة يجب أن يكون طول التجويف أقصر مما هو مبيّن بالرحلة ذهاباً وإياباً في التجويف في الخلاء.

تعتمد الكفاءة على التشكيل النوعي. ففي الهزّاز المنخفض الكسب تكون الكفاءة (η) متناسبة عكسياً مع عدد دورات المموّج (N_w) و$\eta \approx 1/2N_w$، وتبلغ الكفاءات التقليدية أكثر من حوالي 1% إلى 2%. وإذا إستُدِق المموّج لتعويض تباطؤ الإلكترون، فحينئذ يمكن أن نحصل على كفاءات عالية. وتصل أعلى كفاءة أُثبت وجودها عند أطوال الأمواج الضوئية إلى 5% عند طول الموجة 10μm [34]. يبدو، من حيث المبدأ، أن الكفاءات الضوئية حتى 20% معقولة ومحتملة. قدرت الكفاءة في مضخمات استطاعة هزاز رائد MOPAs و SASE FELs العالية الكسب بالمتطلبات التي تفقد فيها الإلكترونات طاقة توازي ضعف الفرق بين سرعة الحزمة وسرعة طور المحرك الثقلي. وتكون الكفاءة هنا متناسبة مع حاصل جداء بارامتر شدة المموّج لـ 2/3 الاستطاعة والجذر التكعيبي لتيار الحزمة، وتكون متناسبة عكسياً مع طاقة الحزمة. وتكون الكفاءات من أجل منظومات SASE أشعة X- المأخوذة بعين الاعتبار صغيرة، لكن استطاعات الذروة التي تبلغ حوالي 10 GW مع ذلك ممكنة. وأخيراً، فإن كفاءة القابس الجداري يمكن تعزيزها باستعادة الطاقة.

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

البحوث الأساسية والتطبيقية بليزرات الإلكترونات الحرة

في الوقت الذي نضج فيه ليزر الإلكترونات الحرّة، كان هنالك نمو جوهري في عدد من الجهود للاستفادة من الإشعاع. لانستطيع أن نغطي جميع مجالات البحوث التي تستخدم FELs والتي هي قيد التنفيذ أو المزمع القيام بها، ولكننا نستطيع أن نناقش أصنافاً رئيسة.

تقوم دراسات عديدة بفحص قابلية تطبيق الـ FELs لإنجاز بحوث علمية أساسية [38 و 39]. تقوم هذه الدراسات بتحديد التطبيقات التي لاتوجد فيها منافسة حقيقية على الـ FEL بفضل قابلية التوليف، وطول نبضة قصير، وطاقة نبضة مكروية/استطاعة ذروة، واستطاعة وسطية، وقابلية التزامن من أجل جهود سبر المضخة، وعرض العصابة، ونوعية الحزمة.

يتفوق ليزر الإلكترونات الحرّة على غيره كأدوات بحث عند أطوال موجية ما دون المليمتر والأشعة تحت الحمراء البعيدة لأنها تولّد نبضات عالية الشدة ولأن المنافسة من حولها قليلة جداً. تتضمن الدراسات قياسات الإثارات الرئيسة في منظومات المادة الكثيفة حيث من الممكن إدخال الإثارات الرئيسة كالبلازمونات والفونونات والمغنونات والانتقالات مابين العصابات الجزئية ومن الممكن إجراء السبر الخطي المباشر لأنماط العيوب والسطوح البينية المخفية بانتقائية الرابطة [40]. يمكن لقياس توزعات الطاقة وأشكال الخطوط أن تمكّن من تحرّي الاقتران النمطي وتبديد الطاقة في استمرارية الإلكترون أو الفونون للركازة. من الممكن إثارة أنماط منخفضة التواتر في الجزيئات الحيوية الكبيرة كالحموض النووية والبروتينات في الأشعة تحت الحمراء البعيدة من أجل دراسات مشابهة لتدفق الطاقة.

تعمل معظم ليزرات الإلكترونات الحرّة المتوفرة في مجال الأشعة تحت الحمراء المتوسطة. وتستطيع الليزرات المكتبية المتوفرة أن تشبع رغبة الباحثين من أجل العديد من الاستخدامات عند أطوال موجية أقل من حوالي 10 ميكرومتر. وينكبّ المستخدمون على الـ FELs عندما يحتاجون إلى التوليف أو إلى سرعات إعادة مرافقة لاستطاعة ذروة عالية، وعند حاجتهم لنبضات دقيقة وحادّة (معدّلة التواتر). وتتجه الهزّازات البارامترية الضوئية (OPOs) أيضاً لتكون عروض عصاباتها بشكل يمكن مقارنتها مع عروض فورييه Fourier الخاص بها. وبالرغم من المنافسة فإن هذا كان مجالاً خصباً للباحثين الراغبين باستخدام FEL. لقد قام العديد من الباحثين بمزامنة خرج FEL مع مصدر إشعاع آخر من أجل قياسات في هذا المجال من طول الموجة. ومن أمثلة التجارب التي أجريت عند الأشعة تحت الحمراء المتوسطة والمستفيدة من خواص FELs الفريدة، دراسات دينامية البروتين وديناميات عيوب الهدروجين [41].

توجد تقنية جبارة تدعى توليد مجموع تواترات (SFG). وهنالك أمثلة مبكرة تشمل قياسات SFG على سطح البلاتين في الميتانول باستخدام نبضات ليزر الإلكترونات الحرّة 5μm وليزر متزامن. وفي اختبارات أخرى، استخدم FEL من أجل مراقبة سبر مضخة لتأثيرات شبيكة عابرة مترابطة من أنصاف نواقل ضيقة الفرجة العصابية ومعاملات لاخطية ثلاثية المرتبة وأزمنة استرخاء إلكتروني في آبار كمومية من GaAs-A1GaAs. استخدمت تقنية توليد مجموع التواترات SFG أيضاً لتعيين هوية الربط، ومراقبة الكثافة عندما يتوضع البولي يوريثان على زجاج عائم لتبيان أن التآثر السطحي يعدّل هندسة الفلّورين عندما يجري توضّعه على الذهب، ولوصف الديناميات الاهتزازية لأحادي أكسيد الكربون على سطح بيني كهركيميائي [42].

تتضمن الدراسة في علم الحركة انتقالات الطاقة الاهتزازية في الجزيئات. لقد فتح هذا الأمر صنفاً جديداً من التجارب لدراسة كيمياء انتقاء النمط التي تتطلب نبضات قصيرة عالية الاستطاعة تثير الاهتزازات الجزيئية (انظر كمثال التفكك المتعدد الفوتون انتقائي النظير لحمض النمل والنتروميتان [43]).

لقد دُرِست الطواعية اللاخطية من المرتبة الثانية لبنى عصابة النقل والبئر الكمومي (QW) لعصابة التكافؤ المستخلصة من التداخل بين حقول المدروج الثاني (التوافقية الثانية) لركازات الآبار الكمومية وGaAs بواسطة التبعية السمتية لاستطاعة المدروج الثاني. وهذا هو أول إثبات لتوليد تواتر الفرق للإشعة تحت الحمراء الوسطية في أي بئر كمومي [44].

ومن بين الدراسات المكثفة التي جرت في منشأة FELI في اليابان [45]، توجد إثارات تجاوبية للاهتزازات الجزيئية، وانقطاعات عصابة الوصلات اللامتجانسة لنصف الناقل، وفصل النظائر. وقد أصبح مستعملو منشآت هذا المختبر أكثر المنتجين في العالم إذ زوّدوا في العام الماضي أكثر من 2000 ساعة زمن حزمة.

تُوبعت تطبيقات ليزرات الإلكترونات الحرّة في الجراحة، وبيّنت الدراسات، التي أجريت في جامعة فاندربيلت، أن أطوال موجات FELs القريبة من 6.45 مكرومتر، والمطابقة لعصابة امتصاص الأميد II للبروتينات ملائمة بصورة خاصة وبشكل جيد لقطع النسيج الناعم [46]. وفي بعض الحالات، يمتد التخريب المرافق فقط إلى عمق 10 مكرومتر في النسيج من حدود القطع. بشّرت FEL بمقدرتها على نجاح شق غلاف العصب البصري في الأرانب دون قطع العصب البصري الذي تحته [47]. وكانت أول عملية جراحية للإنسان بواسطة ليزر الإلكترونات الحرّة هي استئصال نسيج من ورم دماغي حميد. وهنالك تجارب قيد التنفيذ حالياً في جامعة فاندربيلت على عمليات جراحية عينية تجعل من FEL تقنية تضاهي التقنيات التقليدية لتثقيب غلاف العصب البصري. وقد قام الباحثون في منشأة FELI اليابانية باستئصال وبتقسية المواد السِنيّة ودرسوا المعالجات الدينامية الضوئية. إن إمكانية توليف ليزر الإلكترونات الحرّة واستطاعته وقابلية تغيير نبضته جعلت منه أداة بحث فعّالة في الفيزياء الحيوية.

وبالرغم من وجود ليزرات تقليدية عديدة عند المجالات المرئية وفوق البنفسجية القريبة، فإن ليزر الإلكترونات الحرّة له الأفضلية عندما يتطلب الأمر استطاعة وسطية عالية وعندما تكون الكلفة بالفوتون الواحد لها دور مهم في الموضوع. لقد اقترحت التطبيقات التجارية استعمال FEL ذي الاستطاعة الوسطية العالية في تسخين سطح البوليميرات من أجل تجميل شكلها. والمفتاحية في ذلك هي التوصل إلى استطاعة وسطية عالية (100 كيلوواط) بكلفة معقولة بالفوتون الواحد (أقل من 0.01 دولار بالكيلو جول الواحد). وبتجميل الخشونة في ألياف متعدد الإستر والنايلون، بحيث يمكن جعلها أنعم ومحبة للماء وأكثر قابلية للأصبغة [48].

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

لقد تمّ بليزر الإلكترونات الحرّة ذي حلقة التخزين الفائقة ACO في فرنسا، العامل باستطاعة وسطية مقدارها 0.1 واط عند المجال من 3500 إلى 4300 أنغستروم، المجاز اضمحلالات تفلور مستقطبة قابلة للفصل زمنياً على نيكوتيناميد أدينين دينكلوتيد تميم الإنظيم (NADH) المختزل في محلول مائي باستخدام عَدّ فوتون أحادي. إن ميزة استخدام FEL على حلقة تخزين تكون في التزامن الطبيعي مع إصدار سنكروتروني في مغانط منحنية. لقد استخدم هذا في دراسة ديناميات الاسترخاء للحالة المثارة. وفي تجارب أخرى، جرى قياس تأثير الفولطية الضوئية للسطح على Si(111) وتعديلات حني العصابة الإلكترونية الناتجة باستخدام الإصدار الضوئي القابل للفصل زمنياً [49]. تتضمن الجهود الحالية التأين الضوئي للهليوم المثار وإثارة FEL للحاملات الضوئية وإنتاج الشظايا الضوئية في الأشعة تحت الحمراء والامتصاص العابر في خلايا الورم المثارة.

وأما في مجال أشعة -X، فقد اقترحت سلسلة من التجارب باستخدام منبع ضوئي مترابط للمسرّع الخطي (LCLS) [39] عند أطوال موجية من 1.5 إلى 15 أنغستروم، حيث يستخدم FEL كمسبر لاإتلافي لتحريض تأثرات لاخطية أو للحصول على مادة تحت شروط حدّية من درجة الحرارة والضغط. هنالك خمسة أبواب عامة للتجارب المقترحة: الفيزياء الذريّة، دراسات البلازما والمادة الكثيفة الساخنة (مادة مع كثافات سائلة أو صلبة ولكن بدرجات حرارة يمكن مقارنتها مع طاقة فيرمي Fermi أو بلازمات قوية الاقتران)، دراسات بنيوية على جسيمات أحادية وجزيئات حيوية، كيمياء فيمتوية، وديناميات نانوية القياس في المادة الكثيفة.

أما في الفيزياء الذرّية، فيمكن إجراء تجارب مثل تشكل ثقب قلب متعدد في الذرات (كما أشير بإنتاج إلكترونات أوجيه Auger المفرطة التابعية)، التأين المتعدد الفوتونات لإلكترونات الطبقة K، وإمكانية إحداث انفجارات كولون Coulomb العملاقة في العناقيد الذرّية.

إن الضرر الإشعاعي في الوقت الحاضر هو العامل الحدّي في الدراسات البنيوية للعيّنات البيولوجية. تعتمد معظم مثل هذه الدراسات التي تستخدم أشعة -X على أشكال بلّورية من الجزيئات الحيوية لتضخيم إشارة بواسطة انعكاسات براغ Bragg، وبالتالي فهي محدودة بالجزيئات الجهرية التي يمكن أن تتبلور. ففي التدفقات العالية المتوقعة يمكن دراسة البلّورات النانوية والعناقيد النانوية للبروتينات، وكذلك دراسة الفيروسات. هنالك إمكانية إجراء التصوير المقطعي الطبقي بانعراج أشعة -X لكل الخلايا. ومن الممكن، بنبضات أشعة -X العالية الشدة والقصيرة جداً إجراء تصوير جزيئي حيوي لجزيئات أحادية كبيرة قبل أن تحطم المحركاتُ المحرّضة للضرر العينات [50]. إن حذف المتطلبات من أجل البلّورات من شأنه إزالة معوقات الأبحاث الرئيسة.

سوف يكون لليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة -X المقترحة قدرة فصل من مقياس طول الروابط الجزيئية ومقاييس زمن من رتبة الاهتزازات الجزيئية. وهذا ماسيسمح بالمراقبة المباشرة لعمليات التفاعل مثل التفكك الضوئي لجزيئات معزولة غازية الطور، وتحطم الرابطة المحرض بالكيمياضوئية، وإعادة الاتحاد، والتحولات البنيوية في عمليات التركيب الضوئي. تستلزم دراسات الديناميات النانوية القياس تراكب المقاييس المختلفة للزمن والطول. وتتضمن التقنيات التي يمكن أن تكون مطيافية ترابط فوتون أشعة -X ومطيافية ذات شبيكة ممررة لـ أشعة -X، التي يمكن استخدامها لدراسة دينامية البوليميرات المتشابكة، والديناميات الزجاجية، وديناميات النمط الجماعي في السوائل والغازات.

الخلاصة

إن أغلب مشاريع ليزر الإلكترونات الحرّة هي قيد التصميم وتُوجه نحو تطبيقات جديدة مثيرة لهذه التقانة. وتحقيق استطاعة وسطية مقدارها 2 كيلوواط عند الأشعة تحت الحمراء القريبة [3] فتح الباب أمام تطبيقات استطاعة وسطية عالية في معالجة المواد. وإن استمرار التطور في تقانة FEL العالية الاستطاعة عند الأشعة فوق البنفسجية ولّد اهتماماً كبيراً من قبل الصناعة. ستكون ليزرات FELs ذات الطول الموجي الفائق القصر مكوّناً مهماً في الجيل القادم لمصادر الضوء التي ستنتج إشعاعاً مترابطاً قصير النبضة لإشعاعات -X اللينة والقاسية. إن التحديات التقنية في هذا المجال كبيرة بصورة خاصة، ولكن التطورات الحديثة في تقانة المسرّعات الخطية وحلقة التخزين جعلت الحدود الجديدة في كليهما مغرية ويمكن الوصول إليها.

ستكون ليزرات FELs أيضاً مهمة عند أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء البعيدة التي تبلغ عدة عشرات إلى عدة مئات من المكرومترات، حيث لايتوفر إلا القليل من مصادر النبضات القصيرة والشديدة. ويقع في هذا المجال العديد من التجاوبات الجزيئية ذات الفائدة الحيوية التي لم يتم استقصاؤها والتحري عنها. ويمكن أن تكون ليزرات FELs هذه متراصة بحيث تلائم منضدة ضوئية وتكون مناسبة من أجل الاستخدام الشخصي للباحث.

المراجع REFERENCES

[1] H. P. Freund, T. M. Antonsen jr., Principles of Free-Electron Lasers (Chapman & Hall, London, ed. 2, 1996).

[2] H. P. Freund, G. R. Neil, Proc. IEEE 87, 782 (1999).

[3] G. R. Neil et al., Phys. Rev. Lett. 84, 662 (2000).

[4] E. J. Minehara et al., Nucl. Instrum. Methods A445, 183 (2000).

[5] This is updated from a plot that appeared in R. K. Parker, R. H. Abrams jr., Proc. SPIE 791; 2 (1987).

[6] LCLS Design Group, LCLS Design Report (NTIS Doc. No. DE98059292, National Technical Information Service, Springfield, VA, 1998).

[7] J. Rossbach, Nucl. Instrum. Methods A375, 269 (1996).

[8] M. Poole, Synchrotron Radiat. News 13, 4 (2000).

[9] D. Korobkin et al., Phys. Rev. Lett. 81, 1607 (1998).

[10] L. H. Yu et al., Science 289. 932 (2000).

[11] H. P. Freund et al., IEEE J. Quantum Electron. 36, 275 (2000).

[12] H. Motz et al., J. Appl. Phys. 24. 826 (1953).

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

[13] R. M. Phillips, Nucl. Instrum. Methods A272, 1 (1988).
[14] 1. M. J. Madey, J. Appl. Phys. 42. 1906 (1971).
[15] L R. Elias et al., Phys. Rev. Lett. 36, 717 (1976).
[16] D. A. G. Deacon et al., Phys. Rev. Lett. 38, 892 (1977).
[17] V. L Granatstein et al., Appl. Phys. Lett. 30, 384 (1977).
[18] T. J. Orzechowski et al., Phys. Rev. Lett. 54, 889 (1985).
[19] D. A. Kirkpatrick et al., Phys. Fluids B 1, 1511 (1989).
[20] R. Bonifacio, C. Pellegrini, L. M. Narducci, Opt. Commun. 50, 359 (1984).
[21] R. Prazeres et al., Phys. Rev. Lett. 78, 2124 (1987).
[22] M. Hogan et al., Phys. Rev. Lett. 80, 289 (1998).
[23] D. C. Nguyen et al., Phys. Rev. Lett. 81, 810 (1998).
[24] A. Tremaine et al., Phys. Rev. Lett. 81, 5816 (1998).
[25] S. V. Milton et al., Phys. Rev. Lett. 85, 988 (2000).
[26] J. Andruszkow et al., Phys. Rev. Lett. 85,3825 (2000).
[27] S. V. Milton et al., Science, in press.
[28] J. Rossbach, personal communication.
[29] Z. Huang, K. J. Kim, Phys. Rev. E 62, 7295 (2000).
[30] S. G. Biedron et al., Nucl. Instrum. Methods, in press.
[31] J. Wu, L. H. Yu, Nucl. Instrum. Methods, in press.
[32] R. L. Sheffield, in AIP Conference Proceedings 184 (1988), vol. 2, pp. 1500-1531.
[33] K. Batchelor et al.. Nucl. Instrum. Methods A318, 372 (1992).
[34] P. G. O'Shea et al., Phys. Rev. Lett. 71, 3661 (1993).
[35] C. A. Brau. Nucl. Instrum. Methods A318, 38 (1992).
[36] D. H. Dowell et al., Appl. Phys. Lett. 63, 2035 (1993).
[37] D. W. Feldman et al., Nucl. Instrum. Methods A285, 11 (1989).
[38] National Research Council, "Free electron lasers and other advanced sources of light," in Report of the Committee on Free Electron Lasers (National Academy Press, Washington, DC, 1994).
[39] For more information on the proposed LCLS experiments, see www-ssrl.slac.stanford.edu/lcls.
[40] S. J. Allen et al., Nucl. Instrum. Methods A358, 536 (1995).
[41] M. Budde et al., Phys. Rev. Lett. 85, 1452 (2000).
[42] A. Peremans et al., Nucl. Instrum. Methods A375, 657 (1996).
[43] A. K. Petrov et al., in FEL and Its Applications in Asia, T. Tomimasu, E. Nishimika, T. Mitsuyu, Eds. (Ionics, Tokyo, 1997), p. 245.
[44] H. C. Chui et al., Appl. Phys. Rev. Lett. 66, 265 (1995).
[45] T. Tomimasu et al., in FEL and Its Applications in Asia, T. Tomimasu, E. Nishimika, T. Mitsuyu Eds. (Ionics, Tokyo, 1997), p. 65.
[46] G. Edwards et al., Nature 371, 416 (1994).
[47] K. Joos et al., Lasers Surg. Med. 27, 191 (2000).
[48] M. J. Kelley, Proceedings of SPIE Conference (FEL Challenges), 13 to 14 February 1997. San Diego, CA (SPIE Press, Bellingham, WA, 1997), pp. 240-244.
[49] M. E. Couprie et al., Nucl. Instrum. Methods A375, 639(1996).
[50] R. Neutze, Nature 406, 752 (2000).
[51] Funded in part by a grant from the U.S. Naval Research Laboratory.■

☆ ★ ☆

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

المنظومات الفولطضوئية★

ب. بولانجيه، د. ديتر
شركة "جنك" - إدارة البحث التقاني - مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية - كاداراش

ملخص

فيما وراء النسيقة module التي تحمل الخلايا المعرّضة للشمس، يمر استثمار الكهرباء الفولطضوئية "بمنظومات" يتطلّب تطوّرها في المستقبل، من أجل كل مركّب من مركباتها، جهداً بحثياً لتحسين اقتصادها ووثوقيتها. صحيح أن تخزين الكهرباء يشكّل بصورة خاصة الحلقة الأساسية غير أنّ الضغط الرئيس، الذي يلقي بثقله على هذا الفرع التقاني، هو ضرورة تخزين الكهرباء بين فترات التشميس. وتبحث مفوضية الطاقة الذرية الفرنسية فيما تبحث في نمذجة عمل المنظومات الفولطضوئية وذلك بدمج تطورات خصائص التخزين مع مرور الزمن.

الكلمات المفتاحية: نسيقة فولطضوئية، كهرباء فولطضوئية، بطارية.

الحدّ البيني بين المستخدِم والمصدَر

المنظومة الفولطضوئية تواصُلٌ بين المستخدِم والمصدَر. إنها تنظّم الطاقة الملتقطة بالنسائق الفولطضوئية بحسب أنماط التطبيقات. وبالإضافة إلى تجميع نسائق فولطضوئية، هنالك مموج يتيح تحويل التيار الكهربائي المستمر إلى تيار متناوب من أجل استخدامه على الشبكة الكهربائية: وعند ذلك يمكن للمستخدِم استهلاك الطاقة التي ينتجها أو إعادة ضخها عبر الشبكة الكهربائية فيما إذا كانت شروط الشراء من قبل مستثمر الشبكة مناسبة له، على سبيل المثال. ويمكن للمُموّج أن يُشغّل مضخة في حالة منظومة ضخ تدعى ضخ "على مدى سطوع الشمس": وهكذا يُضغط الماء في خزّان حُدّدت سعته بحسب احتياجات القرية خلال النهار، ويستعاد عند الطلب.

إذا كان من الضروري تخزين الطاقة الكهربائية المنتجة، فستكون هنالك حاجة إلى إدخال موقع للتخزين. تتم إدارة هذا الموقع إذاً عن طريق منظّم: ينشحن الموقع عندما يسمح التشميس بذلك، ويُغذّي الخدمات عندما يكون ذلك ضرورياً. يتيح مثل هذا التخزين تعويض تعاقب النهار والليل وكذلك أيام متعدّدة متتالية من الشروط المناخية السيئة من جهة، ومن جهة أخرى يتيح الاستجابة لاحتياجات قدرة أعلى من التي يزوّدها بصورة فورية المولّد الفولطضوئي.

الحلول الهجينة

تتعقّد هندسة البناء من أجل تطبيقات أكثر أهمية:

فمن أجل تجنّب تهيئة موقع تخزين كبير جداً وبالتالي مكلف، يمكن استعمال مولّد كهربائي إضافي مثل مجموعة توليد كهربائية. عندئذٍ ستكون هذه المجموعة منظومة فولطضوئية تدعى "هجينة"، أي تجمع ما بين مولّد فولطضوئي ومصدر طاقة اعتيادي أو غير اعتيادي. وإذا كانت الشروط المناخية مناسبة يمكن التفكير حتى بجمع عدة مصادر من الطاقات المتجدّدة (فولطضوئية وريحية أو مكرومائية).

منشأة معدّة لتغطية الاحتياجات من الكهرباء والماء لمخيّم العطل للمراهقين في أليس سبرينغ في أجمة أسترالية. فهي تجمع بين نسائق شمسية فولطضوئية ومجمع للبطاريات ومجموعة توليد كهرباء ومضخة ووحدة إزالة الملوحة وخزّان للماء العذب.

★ نشر هذا المقال في مجلة *CLEFS CEA*, No. 44, HIVER 2000-2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

تهدف محاور البحث والتطوير في كل هذه المنظومات بصورة رئيسة إلى تخفيض سعر تكلفة الخدمات المقدّمة. ويتحصّل هذا التخفيض بتغيير المزدوجة تكلفة/ أداء للمركبات المكوّنة للمنظومة وكذلك أيضاً عن طريق عوامل أكثر شمولية لإدارة المنظومات وهندسة بنائها.

منزل ثانوي في أواسط فنلندة مغذّى بكهرباء تولدها منظومة فولطضوئية تعطي في الصيف حوالي 5.6 كيلوواط ساعة في اليوم. تؤمّن النسائق الفولطضوئية على السطح أيضاً وظيفة غطاء وعزل.

يمثّل المولّد الفولطضوئي، من حيث ترتيب أهمية تكاليف الاستثمار الأولية لمنظومة فولطضوئية هجينة مثلاً، 35% في المتوسط، وتمثّل منشأة البطاريات 20% والمركّبات الأخرى 20%، ومصادر الطاقات الإضافية (المجموعة المولّدة للكهرباء) 10%، والتسهيلات اللوجيستية والتركيب 15%. إنّ دمج تكاليف الصيانة والتدخّل واستبدال المواد (منشأة التخزين مثلاً) يقلب تقويم التكاليف المسماة تكاليف "دورة الحياة" حيث تمثّل منشأة البطاريات فيها 50% والمولّد الفولطضوئي 20% ومصادر الطاقة الإضافية 15% والمركّبات الأخرى 10%، والتسهيلات اللوجستية والتركيب 5%.

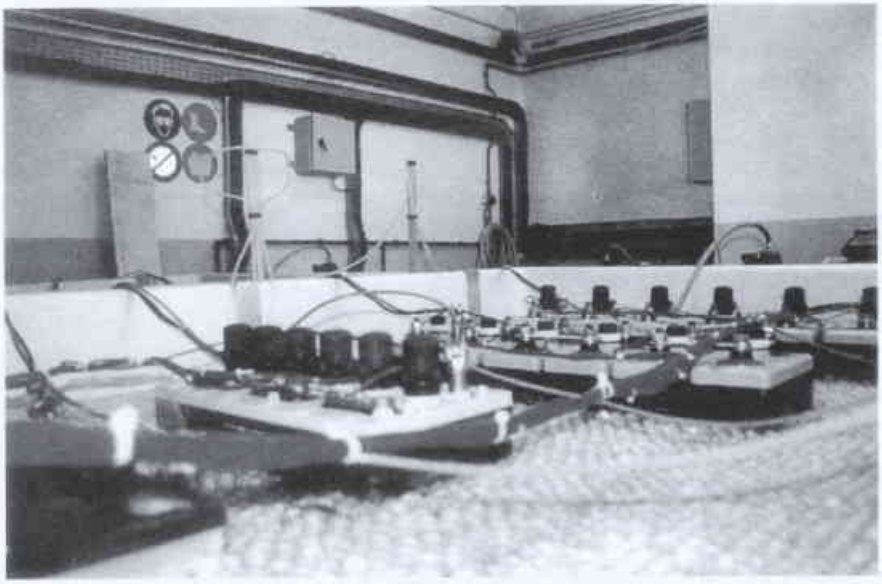
يؤثّر البحث في النسائق الفولطضوئية تأثيراً مباشراً على تكاليف المنظومات من حيث زيادة أداء تحويل الخلايا ومردودها (استطاعة أكبر من أجل سعر ثابت) مثلما يؤثّر على إنقاص تكاليف الإنتاج بالعمل على طرائق التصنيع (نسيقة فولطضوئية أقل تكلفة باستطاعة مكافئة، انظر المقال "نسائق الخلايا الشمسية الفولطضوئية: من السليسيوم البلّوري إلى الطبقات الرقيقة" في العدد 77 من مجلة عالم الذرّة). من المعقول في الوقت الحاضر أن نقدّر وجود هامش من الكسب يتيح تخفيض 30% من تكاليف المنظومة الكاملة. أمّا المحوران الآخران من البحث الأكثر أهمية فلا يجب أن يهملا، إذ يقدّر الكسب المحتمل على منشأة التخزين بنحو 50% فيما إذا كان بالإمكان مثلاً مضاعفة مدة حياة البطارية. أمّا فيما يتعلق بالمركّبات الأخرى فيجب تخفيض خسائر التحويل، حيث تكون المموّجات المسماة المموجات "الشمسية" أفضل أداءً من المموّجات العادية "المستعملة"، إذ يصل مردودها إلى 95% من أجل استهلاك بدون حمولة لبضعة أجزاء من المئة من استطاعتها الاسمية، في حين أن مردود المموّجات من أجل تغذية مستمرّة يتجاوز بالكاد 80% مع استهلاك بدون حمولة أعلى بمرتبة واحدة من المقادير. ويكون السعر تبعاً لذلك.

موثوقية وإدارة التدفقات الطاقية وهندسة التصاميم الجديدة

في حالة المنظومات الكاملة تكون العتلة التقانية الرئيسة التي تقود أعمال البحوث بصورة أساسية من ثلاث مراتب: المرتبة الأولى، تتعلق بموثوقية المنظومات. وهي على المدى القصير أو المتوسّط إحدى وسائل الأعمال الأكثر فعّالية: يُقصد في ذلك مثلاً تخفيض تكرار الصيانة في المواقع المنعزلة أو إعطاء مجموعة المركّبات مدة حياة طويلة بقدر مدة حياة النسائق الفولطضوئية. وهذا يمر عن طريق معرفة أفضل لموثوقية المنظومة وإقامة أجهزة للمراقبة ولمساعدة المستخدم ولكن أيضاً عن طريق شيء من توحيد مقياسية المركّبات ووجود مقاربة لضمان الجودة والمعايرة. ويهدف جزء من دراسات مجموعة الطاقات المتجددة في مؤسسة كاداراش "جنك" إلى تحضير معايير عالمية لاختبارات المنظومات.

أمّا العتلة الثانية فهي إدارة التدفقات الطاقية: يبدو هذا الحل، على المدى المتوسّط، الأكثر وعداً. فهو يرتكز على استعمال التدفقات الطاقية بصورة أفضل لكل المركّبات مع محاولة جعل إنتاج النسائق الفولطضوئية قريبة جداً من استطاعتها القصوى وذلك بالتفتيش عن معرفة أفضل باستراتيجية إدارة البطاريات وذلك بتجميع المصادر الطاقية بصورة أمثل بغية تفضيل استخدام الطاقات المتجدّدة بالتلاؤم مع اقتصاد أمثل. يكوّن في الوقت الحاضر تنفيذ طرائق إدارة متوقّعة، أي بهدف توقّع الحالة المستقبلية للمصادر أو للمنظومة، محوراً مهماً للدراسات الجارية في "جنك".

وأمّا العتلة الثالثة فتطبّق على هندسة التصميم الإجمالي للمنظومة: وهي بكل تأكيد النقطة الأكثر تجديداً التي ستعطي منتجات سيكون تصميمها بعيداً عن تصميم المنظومات الأولى. وهذا الاتجاه واضح جداً



بطاريات قيد الاختبار المتسارع في شركة "جنك" التابعة لمفوضية الطاقة الذرية الفرنسية /كاداراش.

من أجل تطبيقات من نمط "الاقتران مع الشبكة". وهناك منتجات أكثر تنوعاً يجري تطويرها من أجل إتاحة دمج أسهل وعلى شكل نسائق في الأبنية: قرميد وأردواز وأغطية "شمسية"، ونوافذ في السطوح أو واجهات أبنية نصف شفافة وحتى مركّبات متعددة الوظائف تضمن في الوقت نفسه وظيفة واحدة أو عدة وظائف مثل الصلادة الميكانيكية للبناء والعزل والحماية الشمسية والتقاط الطاقة الحرارية وإنتاج الكهرباء الفولطضوئية. وهذه هي أيضاً الحالة من أجل التطبيقات الأخرى حيث ستسمح الاستجابات التقنية للمنتَج النهائي ليتلاءم بصورة أفضل مع الاحتياجات، وحتى ايجاد تطبيقات جديدة.

إذا كانت التحسينات التي طرأت على المنظومات الكاملة ترتبط نسبياً مع إجراءات التجديد التقاني فإن الكسب المتوقع في مجال التخزين الكيميائي الكهربائي، مثل مجال التحويل الفولطضوئي الذي جرت دراسته من قبل، هو من نشاط البحث الصاعد.

تخزين الكهرباء ذات الأصل الفولطضوئي

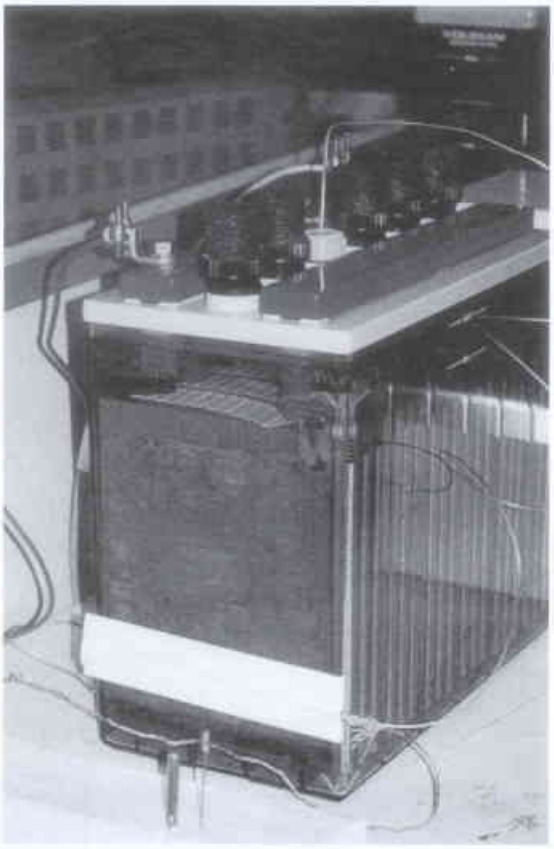
تحتاج مولّدات الكهرباء الفولطضوئية المستقلّة إلى تخزين كهربائي لتأمين تغذية مستمرة تقريباً بالطاقة مهما كانت تتابعات التشميس. وبحسب التطبيقات فإنّ هذه التغذية ستؤمَّن مثلاً خلال يومين أو ثلاثة أيام من أجل بعض المنظومات المنزلية الصغيرة، وخلال نحو 15 يوماً من أجل التطبيقات المهنية مثل المنارات والطافيات البحرية المضيئة.

أنماط مختلفة من البطاريات

تستدعي التطبيقات المختلفة بطاريات ذات تقانة مختلفة بغية ضمان الخدمة المؤداة. ومن بين هذه التقانات بطارية الرصاص المعروفة منذ أكثر من مئة عام، والتي تقدّم في الوقت الحاضر ولسنوات طويلة إضافية الاستجابة الأفضل من حيث السعر ومدة الحياة. ويمكن أن تُجهَّز بعض المواقع، حيث تكون متطلبات الاستثمار والظروف المناخية قاسية، ببطاريات النيكل والكادميوم، ولكن تكلفتها الكبيرة لاتتيح تعميم استخدامها. وتقدّم المزدوجات الجديدة (أيون الليثيوم وهدرور معدن الليثيوم) حلولاً مهمة للتطبيقات المحمولة ذات القدرة الضعيفة، ولكنّها في الوقت نفسه غالية الثمن.

لقد أجريت تجارب في بعض البلدان الشمالية (ألمانية وفنلندة) لاستخدام البيل ذي الوقود كمولّد مرافق لتخزين عادي. ففي هذه الحالة يتم التخزين باحتياطات من الهدروجين الذي تنتجه محلّلات كهربائية تتغذّى من مولّدات فولطضوئية. وهذا الشكل من التخزين بين الفصلي لايقدم تفريغاً ذاتياً. فإذا كانت الأسعار منافسة بما يكفي من أجل تعويض المردود الضعيف الحالي لهذه التقانة، فإنّ هذه الأخيرة ربما تتيح، عند خطوط العرض لدينا، حلّ المشكلات المتعلقة بتغيّرات إنتاج الكهرباء بين الصيف والشتاء.

ستستخدم المنظومات المستقلة بطاريات رصاص ذات ألواح مستوية من نمط الإقلاع من أجل منشآت باستطاعة ذروة مقامة تقارب مئة واط. ستجهّز المنشآت الأكثر أهمية ببطاريات ذات ألواح أنبوبية أكثر ملاءمة للدورة اليومية بتكلفة كيلوواط ساعة مخزّن أكبر بمرة ونصف إلى مرتين. يجهّز هذا النمط من البطاريات المنشآت بعدة مئات من الواط إلى عدة كيلوواطات ذروة وجميع التطبيقات المهنية لأسباب تتعلق بالوثوقية والأمن (ترحيل هرتزي للتلفزيون والاتصالات والمنارات البحرية). تستخدم بطارية الرصاص "الكتيمة" بصورة رئيسة في بيئات مقيّدة لاتتيح إلاّ صيانة متباعدة الزمن مثل تجهيزات الطافيات البحرية المضيئة أو في المنشآت المحصورة.



تجارب على النموذج الأولي لبطارية شركة "جنك".

يساهم التخزين ضمن منظومة فولطضوئية بجزء لابأس به في التكلفة الكلية للاستثمار باستبدالاته المتعاقبة أثناء مدة حياة المنظومة. في الواقع وبحسب تقانة بطاريات الرصاص واستخدامها، فإنّ مدة حياتها يمكن أن تتغيّر من سنتين إلى 15 سنة. وبالإضافة إلى ذلك فإنّ التكلفة الكلية للتخزين لاتتبع الانخفاض نفسه الذي يتم الحصول عليه في المركّبات الأخرى لمنظومة فولطضوئية. إن أحد الأهداف الحالية هو مضاعفة مدة حياة البطاريات الرخيصة الثمن ذات التصميم القريب من بطاريات الإقلاع وإطالة عمر البطاريات الصناعية من النمط الثابت ذات الألواح الموجبة الأنبوبية حتى 20 سنة. ولتنفيذ ذلك يتوجه البحث على المستوى الصناعي نحو تصميم منتجات جديدة أكثر ملاءمة لمتطلبات التطبيقات الفولطضوئية.

إدارة أفضل لحياة البطاريات

إن محور العمل الثاني يعنى بتحسين منظومات إدارة البطارية، ويتم ذلك بالحفاظ على البطارية بجعلها تعمل في مجالات حالة الشحن الأقل إلزاماً. وتتطلّب هذه التحسينات معرفة أفضل للتردّي الملاحظ على الموقع. وتتيح الأعمال الجارية في الوقت الحاضر في شركة "جنك" في إطار عقود

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

مع شركتي "أدم" وكهرباء فرنسة والمفوضية الأوربية والصناعيين، تجديد ودراسة البارامترات المؤثرة التي هي أصل آليات التردّي.

فالأضرار الملاحظة على البطاريات المستخدمة هي بصورة أساسية الكبرتة الصلبة وعدم تماسك المواد الفعالة وعلى نطاق أقل تآكل الإلكترودات. ولإدارة هذه الأعمال بصورة أفضل يمتلك المختبر وسائل في آلية دورية عملية الشحن والتفريغ وفي دراسة الكيمياء الكهربائية وفي الخواص الضوئية والكيميائية. وتتيح المعارف المكتسبة نمذجة هذه الآليات ودمجها في خوارزميات الإدارة التكيفية التي ستطوّر مع الإجهادات الحقيقية التي تتعرّض لها البطارية المعرضة إلى شروط استثمارية خاصة. وسوف يدار هذا الاستثمار بحسب حالته الخاصة وسلوكه الخاص وليس بحسب البارامترات الموضوعة سلفاً عند إقامته، وهذا الذي سيساهم في تحسين الخدمة الناتجة وإطالة مدة حياة التخزين ■

☆ ★ ☆

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

أخبار علميّة

1- الاقتراب من ليزرات الماس*

تستخدم معظم النبائط، التي تُصدر الضوء عند الأطوال الموجية فوق البنفسجية والمرئية، بدءاً من العارضات المرئية إلى خزن البيانات الضوئية، المواد الثنائية II-VI و III-V، حيث تدل الأعداد الرومانية على عناصر المجموعات الرئيسة من II إلى V في الجدول الدوري. وكلما كانت الفرجات العُصَابية للمواد العازلة أكبر تكون الأطوال الموجية للضوء الصادر أقصر. الأطوال الموجية الأقصر مرغوبة لأنها تتيح من الناحية الكمونية خزن بيانات أكثر، إلاّ أن إيجاد مواد ملائمة عند هذه الأطوال الموجية يصبح أكثر صعوبة. وهكذا كانت الليزرات الزرقاء تمثل تحدياً أكبر بكثير من الليزرات الحمراء أو الخضراء إلى أن طوّر أكاساكي Akasaki (من جامعة ميجو) وناكامورا Nakamura (من صناعات نيتشيا الكيميائية) ليزراً أزرق في درجة حرارة الغرفة قائماً على GaN الذي يصدر عند أطوال موجية دون الـ 450 nm [1]. تصنع شركة نيتشيا حالياً كميات تجارية من الليزرات الزرقاء، وتقوم مجموعات كثيرة في أنحاء العالم بتطوير مُصدِرات ضوء ومكاشيف ضوئية قائمة على GaN مع توقعات تجارية واعدة [1].

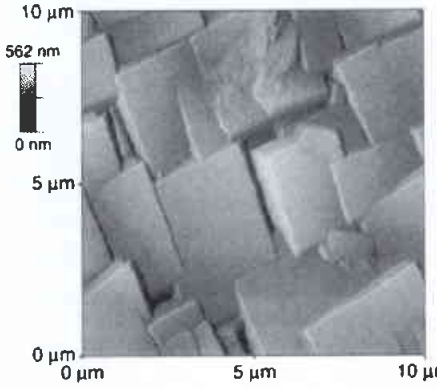
من أجل إصدار ضوء حتى عند أطوال موجية أقصر، فإن الماس من الناحية الكمونية يُعدّ مادة واعدة بسبب كبر فرجته العُصَابية (حوالي 5.5 eV). وعلى أية حال، إن التفاؤل بإلكترونيات الماس قد خفّ نتيجة الصعوبة في تصنيع بلّورة الماس الأحادية بطريقة توضع كيميائي للبخار (CVD)، الضرورية للحصول بشكل كافٍ على حركية عالية لحاملات الشحنة من أجل التطبيقات الإلكترونية. تشير التقارير الحديثة إلى أنه من الممكن تجاوز هذه المشاكل في وقت قصير. نشر كوازومي Koizumi وزملاؤه [2] تقريراً عن وصلة الماس على الماس (متجانسة التنضد) من النوع pn صنعت بطريقة CVD وتصدر عند الطول 235 nm. يُعدّ هذا التقرير مَعْلَماً مُهمّاً ومتمّماً لتقارير شركة طوكيو للغاز وشركة كوب ستيل المشابهة.

جرى تحسين الخواص الإلكترونية لأفلام الماس CVD بشكل مستمر على مدى العقد الأخير. فقد شُذّبت تقانات الإنماء، وجرى تقدّم ملازم لذلك على مناهج التطعيم التي تُستخدم لتوليف الناقلية الكهربائية. فمثلاً، يؤدي التطعيم بالفسفور إلى زيادة عدد الإلكترونات المتاحة للنقل (الطُعْم من النوع – n)، في حين يؤدي التطعيم بالبور في النقل العائد للثقوب (الطُعْم من النوع – p).

المواد الذاتية (غير المطعمة) والمواد المطعمة بالبور من النوع – p متاحة بيسر من خلال التطعيم في الموضع أثناء الإنماء بطريقة CVD أو بزرع أيوني بعد النمو. تزداد حركيات الثقوب من حوالي $50\text{-}100\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ في أفلام متعددة البلّورات موجهة عشوائياً إلى حوالي $280\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ في أفلام الماس موجهة مُنمّاة على سطوح من السليكون. إن حركية الثقب البالغة $300\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$، التي أوردها كوازومي وزملاؤه من أجل وصلتهم المتجانسة التنضد، هي من الرتبة نفسها لهذه الأفلام الماسية العالية التوجيه المنمّاة على السليكون. تُبدي هذه الأفلام اللامتجانسة نمواً عمودياً ولها كثافات عيوب منخفضة في الحبّات وحدود حبّات مسطّحة الزاوية.

يمكن توقع تحسينات أخرى على الخواص الإلكترونية. فمثلاً ادّعى كوب ستيل K. Steel حركيات ثقوب تصل إلى $1400\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ من أجل الأفلام المتجانسة التنضد. إن استخدام ركازات مثل البلاتين قد يمكّن من التوصل إلى حركيات ثقوب لبلّورة أحادية من الماس الطبيعي (تبلغ حوالي $1800 - 2400\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$). نشر شريك Schreck وزملاؤه مؤخراً تقريراً عن تنوية معززة منحرفة على الايريديوم [3]. يبدو أن التقنيتين الأخيرتين ناجمتان عن حدود الحبّات المندمجة التي يمكن أن تكون "شفافةً" لنقل حاملات الشحنة.

وبعكس المطعّمات من النوع – p، فإن دمج الفسفور مع مطعّمات أخرى من النوع – n (بهدف الحصول على مانح مسطح) في الماس لم تكن فعّالة، وكان هذا الأمر هو العائق الأساسي أمام نبائط الماس الثنائية القطب. كانت المقاربات الرئيسة في التطعيم في الموضع أو الزرع البارد لأيونات الفسفور المتبوع بالتلدين الحراري السريع. استخدم كوازومي وزملاؤه التطعيم بالطور الغازي في تصنيع منطقتي وصلتهما p-n. وبينما استُعملت الطبقة Ti/ Au لإحداث تماس كهربائي في الطبقة من النوع – p، فقد شُكّل تماس أومي منمذج للمنطقة من النوع – n وذلك بزرع Ar^+ لتشكيل مصفوفة من نقاط غرافيتية. يؤدي زرع ذرّات غاز نادر في شبيكة الماس إلى ناقلية من النوع – n. على أية حال، إن سلوك النوع – n ترافق مع توليد عيوب في الفرجة العُصَابية. يجب تقليل هذه العملية إلى الحد الأدنى لتجنب الناقلية المحرّضة بالعيوب، وتعويض المطعم، أو تشكل معقدات شاغر المطعّم.



الماس المتنضد: تبيّن صورة مجهر القوة الذرّية هذه السطيحيات النموذجية لأفلام الماس المتنضدة المنماة على السليكون بطريقة CVD. وكما بيّن كوازومي وزملاؤه، يمكن لأفلام الماس المطعّم بشكل مناسب على الماس أن تشكّل وصلات pn مصدرة للضوء في مجال الأشعة فوق البنفسجية.

أعلن أوكانو Okano وزملاؤه في البداية [4] عن إنتاج أفلام ماس متعددة البلّورات من النوع – n مطعمة بالفسفور. لقد أعلنوا عن حركيات حامل تبلغ حوالي $50\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$، وهي أخفض قليلاً مما أفاد به كوازومي وزملاؤه التي تبلغ $60\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$. ادّعى ساكاكوشي

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol 292, 8 June 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

Sakaguchi ومعاونوه عام 1999 [5] تطعيم مسطح من النوع n – باستعمالهم الكبريت كمطعّم. في البداية، كان من الصعب تكرار النتائج، ولكن الدليل على التطعيم بالكبريت قد أُعلن عنه حالياً من قِبَل مجموعات أخرى. فمثلاً، أفاد شتوتسمان Stutzman ومعاونوه بوجود حركيات إلكترون تبلغ $250\ cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ عند الدرجة 290 كلفن. هنالك مجال واسع من أجل تحسينات أخرى في وصلات من النوع p-n لماس CVD مصدرة للضوء.

يختلف الماس الطبيعي بخواصه الذاتية مقارنة مع الماس CVD. وعلى الرغم من صعوبات معالجة الماس الكتلي، فإن وجود المتضمنات والشوائب، وعيوب النتروجين المتوزع غير المنتظم -الأكثر أهمية- تحطّ من الخواص الإلكترونية. تُعدّ البلّورات من النوع IIb نصف الناقلة الحاوية على البور نادرة، ومهما حدث، فإن مطعم البور غير متوزع بشكل متجانس وهو سائد على طول مقدمات النمو.

يمكن نسبياً لبلّورات أحادية صغيرة من الماس أن تُنمى توالدياً في ضغط مرتفع ودرجات عالية من الحرارة، ولكن حتى الوقت الحاضر، فإن التلوث ببلّورات المعادن الانتقالية وبمعقدات النتروجين والكداسات كان مشكلة في إنماء ماس عالي الدرجة الإلكترونية باستخدام هذه الطريقة. لقد جرى تحسين العملية باستخدام مستأصلات النتروجين (مواد مستخدمة لإزاحة الشوائب)، ولكن من المبكر جداً التنبؤ فيما إذا كان الماس العالي الضغط والعالي درجة الحرارة سيُستخدم بشكل واسع في الإلكترونيات النشطة أو فيما إذا كانت المواد ملائمة للديودات الماسية المصدرة للضوء.

حتى الآن، يُعدّ التوضع الكيميائي للبخار من أكثر الطرائق الواعدة للأفلام الماسية من أجل استخدامها في إلكترونيات الماس، كما أثبت من الوصلة التي أفاد بها كوازومي وزملاؤه [2]. وقد تكون التنبؤات [1] بسوق يبلغ 1.3 بليون دولار لنبائط إلكترونية وإلكترونية ضوئية قائمة على GaN خلال سنوات قليلة أقل من المتوقع. ولليزرات الماسية فوق البنفسجية مستقبل واعد مشابه. فمثلاً، ستُعزِّز التطبيقات المفتاحية في خزن بيانات DVD بمثل هذا الليزر. وهنالك تصور لتطبيقات عديدة أخرى.

المراجع REFERENCES

[1] Blue Lasers Lighting Up New Markets in Displays, Optical Storage, Medical Devices, and More, Report D219 (Technical Insights, Frost & Sullivan, NY, November 2000).

[2] S. Koizumi, K. Watanabe, M. Hasegawa, H. Kanda, Science 292, 1899 (2001).

[3] M. Schreck, F. Hörmann, H. Roll, J. K. N. Lindner, B. Stritzker, Appl. Phys. Lett. 78, 192 (2001).

[4] K. Okano et al., Appl. Phys. A51, 344 (1990).

[5] I. Sakaguchi et al., Phys. Rev. B 60, 2139 (1999).

[6] M. Stutzman, personal communication.■

2- النيكل يسبر الناقلية الفائقة*

تخترب المغنطيسية عادة الناقلية الفائقة، ولكن إيلاج ذرّة نيكل مغنطيسية في ناقل فائق عالي درجة الحرارة له بشكل يبعث على الدهشة تأثير طفيف على الجوار المحيط بموقعها.

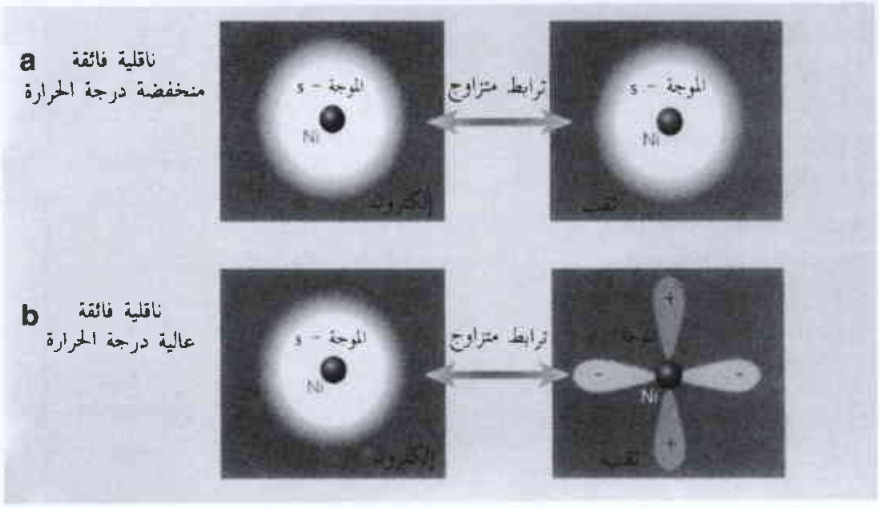
تنشأ خواص النواقل الفائقة غير العادية من السلوك المترابط للإلكترونات عندما تتدفق مجتمعة بشكل زوجي. توجد خاصتان أساسيتان للإلكترونات في الناقل الفائق وهما شحنتها السالبة، التي تبقيها بصورة عادية مفصولة بعضها عن بعض، وسبيناتها التي يمكن اعتبارها كقضيب مغنطيسي صغير متجه إما إلى الأعلى أو إلى الأسفل. إذا تجاوزت الإلكترونات ذات السبينات المتعاكسة تدافعها المتبادل، فإنها تستطيع تشكيل أزواج كوبر Cooper وتنساب بدون مقاومة - وهذا جوهر الناقلية الفائقة. إحدى الطرائق المفيدة في استكشاف خواص الناقل الفائق تكون في تغيير الترابط المتزاوج هذا.

يؤدي تطبيق حقل مغنطيسي إلى تعطيل تزاوج الإلكترونات، وبالتالي إنقاص الطاقة اللازمة لتحطيم أزواج كوبر، وبذلك تنخفض درجة حرارة الانتقال التي تصبح فيها المادة فائقة النقل. إن تطبيق حقل مغنطيسي كبير بشكل كافٍ يمكن أن يؤدي أيضاً إلى تعطيل التزاوج إلى حدٍ تكفّ فيه المادة عن أن تبقى فائقة النقل. إن إضافة ذرّة مغنطيسية مفردة إلى ناقل فائق تولّد تأثيراً مشابهاً، رغم أن الاضطراب في الناقل الفائق يكون متوضعاً قرب الذرّة المغنطيسية. يصف هدسون Hudson وزملاؤه [1]، في مجلة Nature عدد حزيران 2001، تأثير إضافة ذرّة نيكل مغنطيسية إلى ناقل فائق عالي درجة الحرارة. يؤدي النيكل إلى اضطراب ضعيف في جواره المحيط، مما يوحي بإمكانية استخدام هذه الشائبة كمسبر غير عدائي للسلوك الفائق النقل على المقياس النانوي.

يحصل الترابط المتزاوج في الناقل الفائق عندما يمسك إلكترون حر إلكتروناً بسبين معاكس، مشكلاً معه زوج كوبر تاركاً وراءه "ثقباً" ذا شحنة موجبة في بحرٍ من إلكترونات الناقل الفائق. يُدعى هذا المزيج من الإلكترونات الأصلية والثقب المتروك وراءه "شبه جسيم بوغوليوبوف Bogoliubov". تكون طبيعة أزواج كوبر، وبالتالي شبه جسيم بوغوليوبوف، مختلفة بشكل كبير في النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة عنها في النواقل الفائقة التقليدية. في النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة يدور الإلكترونان في زوج كوبر حول بعضهما البعض بسرعة لزيادة انفصالهما، وهذا يخفض كلفة الطاقة للحصول على جسيمين

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 411, 21 June 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1– أشباه جسيمات في ناقل فائق. إلكترون مرتبط مع ذرّة شائبة كالنيكل (Ni) يمتزج مع ثقب لتشكيل شبه جسيم بوغوليوبوف منخفض الطاقة. a) يكون تناظر التابع الموجي لمركّبة الإلكترون وتناظر التابع الموجي لمركّبة الثقب، في ناقل فائق تقليدي كالنيوبيوم، متماثلين. ففي كل منهما تناظر موجة – s (كروي). b) إن الإلكترونات التي تشكّل أزواج كوبر، في ناقل فائق عالي درجة الحرارة، مثل الذي درسه هدسون وزملاؤه، تدور بعضها حول بعض حتى تحافظ على المسافة فيما بينها ولتخفض تدافعها المتبادل. تنعكس طبيعة الموجة – d لاندفاعهما الزاوي في تناظر الموجة – d لمركّبة ثقب شبه الجسيم المرتبط به.

سالبي الشحنة قريبين من بعضهما البعض. الدوران المتبادل للإلكترونات في زوج كوبر موسوم باندفاع زاوي s، p أو d، تماماً كالإلكترونات التي تدور حول النواة في الذرّة. إن الدوران السريع للزوج الإلكتروني يسبب أيضاً لشبه جسيم بوغوليوبوف أن يملك شكلاً مميزاً. وإذا كانت مركّبة الإلكترون لشبه الجسيم مرتبطة بذرّة نيكل، فإن مركّبة الثقب يجب أن تدور بسرعة حول ذرّة النيكل بطريقة تعكس طبيعة أزواج كوبر [2] (الشكل 1). وهكذا فإن الثقب في الناقل الفائق المنخفض درجة الحرارة سيكون له تناظر الموجة – s، في حين سيكون له في الناقل الفائق العالي درجة الحرارة تناظر الموجة – d.

إن ذرّة النيكل المطمورة في الناقل الفائق العالي درجة الحرارة والتي درسها هدسون وزملاؤه [1] تبدو بالتأكيد لجذب إلكترونات. فحص المؤلفون المنطقة حول ذرّة النيكل مستخدمين المجهر النفقي الماسح (STM) الحسّاس لكثافة الحالات الإلكترونية قرب الشائبة. لقد لاحظوا طاقتي شبه جسيم جديدتين متميزتين قريبتين من ذرّة النيكل تقابلان شبهي جسيم بوغوليوبوف بسبينين متعاكسين. وهكذا تكون تجربة هدسون وزملائه شاهداً مباشراً على أشباه جسيمات لها سبينات متميزة متشكلة قرب ذرّة الشائبة المفردة. كما لاحظوا بشكل منفصل أيضاً مركبات الإلكترون والثقب لكل شبه جسيم بتغيير فولطية الـ STM من الموجب (التي يولج فيها الإلكترون في داخل الناقل الفائق) إلى السالب (التي يولج فيها الثقب). تؤكد النتائج بشكل مباشر وللمرة الأولى أن مركبة الثقب لها تناظر الموجة – d المتوقع للناقل الفائق العالي درجة الحرارة.

توحي نتائج هدسون وزملائه أن تأثير ذرّة النيكل المغنطيسية على الجوار المحيط بموقعها في الناقل الفائق العالي درجة الحرارة ضعيف بشكل مدهش رغم تأثيرها القوي على الخواص الشاملة مثل درجة حرارة انتقال النواقل الفائقة. فمن أجل ناقل فائق تقليدي كالنيوبيوم، تُخمِد الذرّات المغنطيسية المطمورة في العمق بقوة أيضاً درجة حرارة الانتقال، ولها تأثير ضعيف إذا وضعت على السطح [3]. وهنالك ذرّات شوائب أخرى في النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة، كالزنك اللامغنطيسي، لها تأثير مشابه للنيكل على درجة حرارة الانتقال. لكن القياسات المبكرة لأشباه الجسيمات قرب ذرّة الزنك [4] بيّنت تشوهات مثيرة للجوار المحيط بموقعها. افتقرت أشباه الجسيمات المشاركة للزنك أيضاً إلى أية مركبة إلكترونية. توحي هذه الاختلافات أنه من الممكن قرب ذرّة الزنك وجود تأثرات إلكترونية إضافية تخفض بقوة الترابط المتزاوج.

بيّنت دراسات عديدة أن النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة المطعمة بالنيكل تسلك سلوكاً مختلفاً عن تلك المطعمة بذرّات أخرى. ولكن قياسات هدسون وزملائه أظهرت وللمرة الأولى أنه من الممكن لذرّات الشوائب أن توجد في النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة بدون أن تحطم الناقلية الفائقة في محيط موقعها بشكل مثير. اقترح المؤلفون أن لنتائجهم تضمينات من أجل فهم آلية التزاوج التي هي أساس الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة – لا سيما إذا كانت تملك أصلاً مغنطيسياً. لا يزال من المبكر جداً تفضيل آلية على أخرى، مع أن أهمية قياساتهم تتجاوز هذه المسائل المباشرة.

ينزاح تركيز الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة نحو السلّم النانوي، ولا سيما إلى تأثير البنى الصغيرة في الناقل الفائق على تشكيل أزواج كوبر. إن خواص النيكل تجعله أداة مثالية من أجل استكشاف الناقلية الفائقة على السلّم النانوي. ففي التقانة الطبية، تُربط الواسمات المشعّة إلى جزيء لمتابعة حركته، وهنا يمكن استخدام ذرّات النيكل كـ "واسمات تزاوج" من أجل المحيط اللامتجانس في الناقل الفائق. وإذا ما اعتُقِدَ أن وجود جسم معين في الناقل الفائق، كذرّة الزنك أو خط الحقل المغنطيسي، يحطم الترابط المتزاوج على مسافة أبعد بكثير من المسافة الذرّية، فإنه من الممكن زرع ذرّات النيكل في جوار ذلك الجسم. وعندها يمكن، باستخدام تقنيات المجهر النفقي الماسح، مراقبة السلوك غير الطبيعي لأية أشباه جسيمات منخفضة الطاقة نشأت قرب ذرّة النيكل.

إن ذرّات النيكل الموضوعة في المناطق التي لا يوجد فيها ترابط متزاوج، ستُبرز فقط مركّبة الإلكترون لأشباه الجسيمات المرافقة لها. كما أن مركّبة الثقب المشابهة، التي تظهر فقط خلال التزاوج المترابط، لن تكون مرئية. يمكن للمرء أيضاً تصوّر الحالات التي ستفقد فيها أشباه الجسيمات العادية الموجودة في المعادن، وهي غالباً ما تكون إلكتروناً صرفاً أو ثقباً صرفاً، ترابطها الذاتي. فمثلاً، ينحل الإلكترون نفسه في جسيمين غريبين "السبينون" والهولون، في حالة الفصل سبين – شحنة. من المحتمل

في هذه الحادثة أن لا تترافق مركّبة الإلكترون ومركّبة الثقب مع ذرّة النيكل.

قدّم هدسون وزملاؤه [1] إثباتاً مذهلاً على تأثيرات التشويشات القصيرة الأمد في النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة. وبتحسن طرائق تطعيم النواقل الفائقة وتعديل سطوحها، فإن احتمالات حث ودفع النواقل الفائقة بالسلّم النانوي ستنمو بشكل أكبر.

المراجع REFERENCES

[1] Hudson, E. W. et al., Nature 411, 920 - 924 (2001).

[2] Flatté, M. E. & Byers, J. M. Solid State Phys. 52, 137 - 228 (1999).

[3] Yazdani, A., Jones, B. A., Lutz, C. P., Crommie, M. F. & Eigler, D.M. Science 275, 1767 - 1770 (1997).

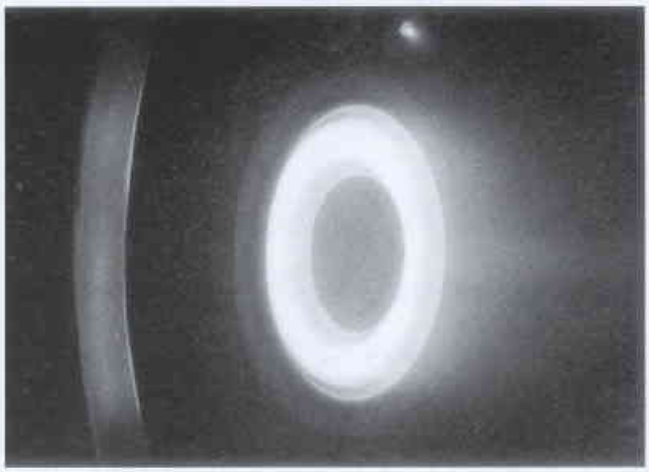
[4] Pan, S. H. et al. Nature 403, 746 -750 (2000).■

3- إلكترونات وسواتل★

سوف تضبط سواتل المستقبل حركتها بفضل محرّكات ذات دفع أيوني. ففي سلوك الإلكترونات يكمن سرّ فعّاليتها. هناك نموذج رياضياتي جديد يتصدى لهذه المشكلة القديمة: مشكلة العلاقة بين العالمين المجهري والجهري

استخدمت المحرّكات ذات الدفع الأيوني غير القادرة على التغلّب على الجذب الأرضي، والتي اختُبرت على المسبار " ديب سبيس Deep Space"، التابع لـ ناسا، داخل الفضاء النجمي. فقد صمّمت هذه المحرّكات لتحل محلّ المحرّكات ذات الاحتراق التقليدي على سواتل الأجيال القادمة. فهي تستخدم الدفع الناجم عن تسارع غاز، وعادةً يكون غاز الكزينون الذي يُؤيّن قبل ذلك بفضل حقل كهربائي تولّده مولّدات شمسية. وهي أكثر فعّالية بنحو 10 مرات من المحرّكات التقليدية، ولا تتعدّى سوية دفعها بضع مئات من الواط، أمّا تشغيلها فيبقى أيضاً صعباً وهناك جهود كبيرة تقوم بها الصناعة لتحسين أدائها. ويرتكز تشغيل محرّكات الدفع الأيوني على التحكم بالسلوكية المجهرية للإلكترونات. وهنا نتجابه مرة أخرى مع اللاتناهي في الصغر الذي ينظّم بصورة مباشرة العالم الجهري.

على الصعيد المجهري (المكروي) تتكون الطبيعة من جسيمات أولية غير قابلة للتمييز بالعين المجردة. فهي مثلاً الذرّات أو الجزيئات في غاز من الغازات، أو الإلكترونات في بلّورة من البلّورات، وتصعب ملاحظتها في



في محرّك دفع أيوني يتم الحصول على الدفع بتسارع الأيونات على طول امتداد حقل كهربائي. إنّ أكثر من 90% من الغاز المحقون يكون مؤيّناً ويساهم في الدفع. يُرى في الأعلى محرّك سنكما Snecma PPS1350 في تجربة التحمّل.

حياتنا اليومية. فالمنظومات الجهرية (الماكروية) التي حولنا (غاز وسائل إلخ..) تتكوّن من عدد كبير جداً منها، وخواصها التي يمكن لحواسنا أن تتلقاها، كلزوجة سائل مثلاً، هي في الواقع النتائج المباشرة لسلوكيات الجسيمات المجهرية الفردية التي تتألف منها. والآليات الفيزيائية التي تنظّم العلاقة بين العالم المكروي والعالم الماكروي تنتمي إلى الميكانيك الإحصائي، وهو فرع من الفيزياء يستخدم كثيراً القواعد والصيغ الرياضياتية.

فمع أعمال الفيزيائي النمساوي لودويك بولتزمان L.Boltzmann (1844-1906) تطوّر الميكانيك الإحصائي تطوراً كبيراً. ومنذ ذلك التاريخ لم تتوقّف دراسة وصياغة العلاقات بين العالمين المجهري والجهري. فالخواص الماكروية للسوائل والغازات تميّزت إذن ببارامترات دعيت معامِلات النقل. ولزوجة سائل ما ليست إلا مثالاً جيداً عليها. إذا أضفنا الماء إلى وعاء، تتشكّل دوامات تستمر بعض الوقت قبل أن تختفي. وقوى اللزوجة هي التي تسهم في إعادة السائل إلى حالة التوازن، فاللزوجة تميّز إذاً سرعة العودة إلى التوازن لسائل ما حيث يكون حقل السرعة في البداية غير متجانس. وتكون القيمة العددية لمعاملات النقل على علاقة مباشرة مع الطبيعة المكروية للجسيمات وبصورة أدق مع تآثراتها المتبادلة. وهكذا فإنّ لزوجة غاز من الغازات مثلاً تختلف بحسب سلوك الجزيئات عند تصادمها المتبادل، مثل تصادم كرات البلياردو الصلبة أو تصادم كرات لعبة التنس اللينة. وبالعكس تتيح هذه الاختلافات سبر خواص تآثر الجزيئات بقياس استجابة الغاز إلى الاستثارات الخارجية.

النماذج الرياضياتية

من المهم في حالة الدفع الأيوني تعرّف سلوك الإلكترونات في المحرّك. ويتأثر هذا السلوك بعوامل متعدّدة: تصادم الإلكترونات مع الذرات والأيونات داخل الحيّز أو تصادمها على جدران الحصر المكوّنة من الخزف، أو وجود حقول كهربائية ومغنطيسية إلخ... ومن أجل وصف هذا السلوك

★ نشر هذا الخبر في مجلة *La Recherche*, No. 341, April 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

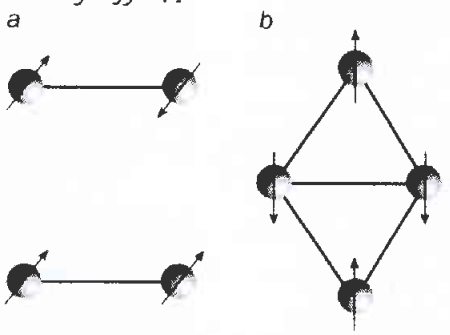
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

المعقد تمّ تطوير نموذج رياضياتي جديد دعي SHE (وهو مختصر لكلمات إنكليزية تعني التطوير وفق التوافقيات الكروية) يسمح في الوقت نفسه برؤية التوزع المكاني والطاقوي للجسيمات. أصبح توقّع فعّالية التأيّن بدقة متزايدة ممكناً بإجراء الحساب خلال بضع دقائق على حاسوب بسيط.

يكون الحساب الفعّال لمعاملات النقل أحد نشاطات النظرية الحركية للسوائل والغازات. وهذه النظرية أساسية من أجل العديد من التطبيقات الصناعية (إلكترونيات وهندسة الطرائق الصناعية، الاحتراق والتقانات الفضائية إلخ ...). وفي تطوير محرّكات الدفع الأيوني، يمكن للأبحاث التي تُجرى في هذا المجال إطالة وجود الإنسان في الفضاء.■

4- الإلكترونات الملوّنة تحل لغز المغنطيسية الحديدية*

عرف الفيزيائيون منذ عهد بعيد أن السلوك المغنطيسي ينشأ من العزوم المغنطيسية البالغة الصغر أو "السبينات" المحمولة بالإلكترونات. وقد تكون هذه السبينات متجهة إما إلى الأعلى أو إلى الأسفل. ويمكن للمواد، اعتماداً على التآثرات سبين - سبين، أن تكون ذات مغنطيسية حديدية (أي أن جميع السبينات متجهة إلى الاتجاه نفسه)، أو ذات مغنطيسية حديدية مضادة (أي أن السبينات المتجاورة متجهة إلى اتجاهين متعاكسين). فالحديد مثلاً مغنطيس حديدي، بينما تكون مركبات الأصل لمواد النحاسات الفائقة النقل العالية درجة الحرارة مغانط حديدية مضادة. هنالك أيضاً ميل للسبينات لأن تتراصف بانخفاض درجة الحرارة.



(a) الحالات السبينية المفضلة (ممثلة بالأسهم) لتشكيل من لونين مختلفين (أحمر وأزرق). تميل الإلكترونات من اللون نفسه أكثر لتصطف بحيث تتوجه سبيناتها إلى اتجاهات متعاكسة، وفي غضون ذلك، تميل سبينات الإلكترونات المختلفة اللون لتتراصف باتجاه الأعلى متوازية مع بعضها بعضاً. (b) لقطة لرباعية سبينات ملونة. يكون للإلكترون ذي السبين المتجه إلى الأعلى ضعف الاحتمال في أن تكون سبينات جيرانه متجهة إلى الأسفل من أن تكون متجهة إلى الأعلى.

ومع ذلك، فإن أكسيد الليثيوم والنيكل مادة فريدة جداً. فبالرغم من أنها تظهر ذات مغنطيسية حديدية، فإن من المتعذر على السبينات أن تتراصف بشكل كامل. لقد كان هذا السلوك لعدة سنوات أمراً مشوقاً ولكنه مثير للجدل. ومنذ عهد قريب طبق أناتول ستيبانوف A. Stepanov وزملاؤه من جامعة إكس - مرسيليا في فرنسة، حقلاً مغنطيسياً مهتزاً للتحقق من سبينات الإلكترونات - وهي تقنية تعرف باسم التجاوب السبيني الإلكتروني. فوجدوا شذوذات مغنطيسية تقتضي ضمناً بأن التآثر سبين - سبين يتغير من مغنطيسية حديدية مضادة في درجات الحرارة العالية إلى مغنطيسية حديدية عند حوالي الدرجة 300 كلفن، ثم يعود ثانية إلى مغنطيسية حديدية مضادة تحت الدرجة 40 كلفن (ف.ريناود وزملاؤه 2001، مجلة Phys. ReV. lett 86).

تشير النتائج إلى أن الإلكترونات تملك خاصة أخرى بالإضافة إلى السبين وهي اللون "Colour". تصف درجة الحرية الإضافية هذه مدار الإلكترون حول النواة.

تعود قصة الخواص المغنطيسية لأكسيد الليثيوم والنيكل إلى الثمانينيات من القرن الماضي.

المادة شبه ثنائية البعد مع سبينات على مواقع النيكل مشكلة شبيكة مثلثية الشكل. وفي عام 1985، اعتبرها كيشير وهيراكاوا K. Hirakawa، من جامعة طوكيو آنذاك، مرشحة أن تكون "حالة رابطة تكافؤية تجاوبية"، وهي حالة، كان قد اقترحها منذ اثني عشر عاماً فيل أندرسون P.Anderson، من أجل سبينات المغنطيسية الحديدية المضادة. وحالة الرابطة التكافؤية التجاوبية هي حالة يكون فيها كل سبين متجه إلى الأعلى متزاوجاً مع سبين متجه إلى الأسفل. ترقص هذه الأزواج من الإلكترونات وفق ميكانيك الكم، متبادلة السبينات مع أقرانها ومتبادلة الأقران مع أزواج آخرين. وفي هذه الحالة، تتراصف السبينات على مسافات قصيرة فقط. الحقيقة أن الافتقار إلى ترتيب مغنطيسي طويل المدى كان مفهوماً جديداً في المغنطيسية.

في عام 1996 وجد ميكيو تاكانو M. Takano من جامعة كيوتو في اليابان وزملاؤه، أن السبينات المتجاورة في عينات عالية النقاوة من أكسيد الليثيوم والنيكل تميل لأن تصطف بشكل متوازي بعضها مع بعض مفضّلةً ذلك على متوازٍ الاصطفاف المتضاد التوازي كما هو متوقع. (ولزيادة في الاهتمام أجريت التحسينات على جودة العينة باستخدام أكسيد الليثيوم والنيكل في كاتودات بطاريات أيونات الليثيوم القابلة للشحن ثانية). وفوق ذلك، فقد وجدوا أن السبينات لا تصطف جميعها إلى الأعلى متوازية بعضها مع بعض في الدرجات المنخفضة من الحرارة كما كان متوقعاً. الحقيقة لقد بقي على ما يبدو سبب اصطفاف سبينات المغنطيسية الحديدية لمسافات قصيرة فقط غامضاً.

بدأ الاهتمام النظري بالنتائج المترتبة عن ألوان الإلكترون على منظومات السبين منذ عقود قليلة. ففي معظم المواد المغنطيسية يكون الإلكترون موضوع الدراسة في مدار أحادي وله لون واحد. ولذلك فإن درجة حرية "اللون" مجمدة، ولكن بالنسبة إلى أكسيد الليثيوم والنيكل هنالك مداران وبالتالي لونان (أحمر وأزرق). وخواص الإلكترونات الحمراء والزرقاء متشابهة جداً، فيما عدا أن التآثر سبين - سبين يعتمد على ألوان الإلكترونات. يكون هذا التآثر من أجل الإلكترونات المختلفة اللون ذا

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

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

مغنطيسية حديدية، ويكون من أجل الإلكترونات المتشابهة اللون ذا مغنطيسية حديدية مضادة (الشكل a).

يُدخل التراوج سبين - لون سلوكاً مغنطيسياً جديداً، يبدو غير طبيعي في منظومة سبينية لها لون واحد فقط، ويستطيع أن يفسّر التغيرات في التآثر سبين - سبين الذي وصفه ستيبانوف وزملاؤه. إن إعادة توزيع اللون في الشبيكة يمكن أن تعكس التآثر سبين - سبين كما اقترحوا.

لا بد أن تكون فيزياء الدرجات المنخفضة للسبينات الملونة ممتعة. فيستطيع الإلكترون أن يتّخذ واحدة من الحالات الأربع الممكنة وهي سبين متجه إلى الأعلى أو متجه إلى الأسفل و لون أحمر أو لون أزرق. اقترح المؤلف وزملاؤه أن هذه الحرية يمكن أن تؤدي إلى حالة كمومية جديدة مترابطة منسجمة (ي لي Y.Li وزملاؤه، Phys. ReV. lett عام 1998، و م. فان دين بوش M. van den Bossche وزملاؤه. Eur. Phys عام 2000). يميل كل إلكترون في هذه الحالة إلى أن يتجمع مع ثلاثة إلكترونات أخرى لها سبينات مختلفة أو ألوان مختلفة. وهكذا تقايض الإلكتروناتُ السبيناتِ والألوان ضمن الرباعية وتبادل شركاءها مع الرباعيات الأخرى، بطريقة مشابهة إلى حد كبير كما تفعل الأزواج في حالة الرابطة التكافؤية التجاوبية (انظر الشكل b).

تبدو نظريتنا منسجمةً مع تجارب درجات الحرارة المنخفضة، بما فيها التجربة الحديثة التي أجراها ستيبانوف ومعاونوه. تتنبأ النظرية بأن كل إلكترون سبينه متجه إلى الأعلى تكون أرجحيته في أن يجاور إلكتروناً سبينه متجه إلى الأسفل ضعف أرجحية أن يكون مجاوراً لإلكترون سبينه متجه إلى الأعلى. وهكذا تكون حصيلةُ تآثر السبين - سبين مغنطيسيةً حديدية مضادة - وهذا ما يتفق مع قياسات التجاوب السبيني الإلكتروني، التي تعود إلى ستيبانوف ومعاونيه.

يمكن أن يعزى عكس التآثر سبين - سبين، الذي أدى إلى التغير الملاحظ في السلوك من المغنطيسية الحديدية إلى المغنطيسية الحديدية المضادة في الدرجات المنخفضة من الحرارة، إلى تشكل هذه الحالة الرباعية. ففي هذه الحالة تتراصف السبينات في اتجاهات متعاكسة على طول مسافة قصيرة فقط، وهو السلوك المنسجم مع القياسات الحرارية التي قام بها يوشيو كيتاوكا Y. Kitaoka من جامعة اوساكا في اليابان ومعاونوه عام 1998. لقد لاحظوا أن السعة الحرارية لأكسيد الليثيوم والنيكل تتغير بشكل سلس مع درجة الحرارة، واستنتجوا أنه لا يوجد تراصف سبيني على مسافات طويلة.

ومنذ الأيام المبكرة للميكانيك الكمومي، فإن منظومات سبين المغنطيسية الحديدية المضادة الكمومية لفتت اهتمام كبار الفيزيائيين بما فيهم هايزنبرغ W. Heisenberg وهانز بيثه H. Bethe. جرى تنشيط البحث في أكسيد الليثيوم والنيكل بعد توقع فيل أندرسون لحالة الرابطة التكافؤية التجاوبية. تقترح التجارب الحديثة لستيبانوف ومعاونيه أنه يمكن أن يكون أكسيد الليثيوم والنيكل في الحقيقة على شاكلة هذه الحالة المترابطة حيث تقوم الألوان فيها بمشاركة السبينات في الرقص الكمومي.■

5- نشوء الأكسجين الجوي*

منذ أمد طويل، والجيولوجيون والبيولوجيون التطوريون يتساءلون عن الزمن الأول الذي أصبح فيه الأكسجين الجوي وافراً وعن السرعة التي تمكن بها هذا العنصر من الوصول إلى تركيزه الحالي. وقد مكنت دراسات رائدة قام بها كلاود، في مجال فلزات الحديد واليورانيوم المُرجعة والمؤكسدة [1] مقرونةً بدراسات لاحقة لأحفوريات مكروية وترب قديمة [2]، من إقناع معظم المراقبين بأنه طرأ تزايد مفاجيء على تركيز الأكسجين الجوي خلال الفترة الواقعة ما بين 2200 و 2400 مليون سنة ماضية. ولكن ظل بعض الجيولوجيين في ريبة من تحديد هذا الزمن [3] حيث أتاحت البيانات الجيوكيميائية والبيولوجية المجال مفتوحاً لتفسيرات بديلة.

وفي الآونة الأخيرة، ظهر دليل جيوكيميائي جديد ليُزيح الكثير من الارتياب المتعلق بزمن النشوء الأول للأكسجين في الغلاف الجوي. وقد بيّن فاركوار وزملاؤه [4] أن نسب نظائر الكبريت في صخور يزيد عمرها عن 2300 مليون سنة تعدّ أمراً غير شائع. ففي الصخور الأحدث، يكون الفرق في الوفرة بين النظيرين ^{33}S و ^{32}S مساوياً تقريباً لنصف فرق الوفرة بين النظيرين ^{34}S و ^{32}S. إنّ مثل هذا التقسيم النظائري المعتمد على الكتلة mass-dependent isotope fractionation ينجم عن عدد من التفاعلات المائية الكيميائية والكيميائية الحيوية. لكن نظائر الكبريت في صخور يزيد عمرها عن 2300 مليون سنة تنحرف بشكل دائم عن خط التقسيم النظائري المعتمد على الكتلة.

ويُعتقد أن التقسيم النظائري المستقل عن الكتلة، الذي يلاحظ في هذه الصخور، ينجم فقط عن التفاعلات الكيميائية الضوئية الغازية الطور، كما هو الحال في التحلل الضوئي لثنائي أكسيد الكبريت SO_2 [4].

ففي غلاف جوي ذي تركيز عالٍ بالأكسجين، كما هو الحال في الغلاف الجوي الحالي، لا يُحتمل أن تلاحظ البصمة النظائرية لمثل هذه التفاعلات في الرواسب؛ ذلك أن غالبية الغازات الكبريتية المُصدَرة إلى الجو تتأكسد متحولة إلى حمض كبريت يتراكم في المحيط على صورة كبريتات منحلّة SO_4^{-2}. أمّا في الغلاف الجوي ذي التركيز المنخفض بالأكسجين، فيمكن للكبريت أن يُزاح منه بعدد من حالات الأكسدة تراوح ما بين $(H_2S)^{-2}$ و $(H_2SO_4)^{+6}$ (انظر الشكل) [5]. وهكذا فإن احتمال انتقال نمط تقسيم مستقل عن الكتلة إلى الرواسب يكون أعلى بكثير في غلاف جوي ذي تركيز منخفض بالأكسجين. وتتفق مجموعتان مستقلتان من بيانات نظائر الكبريت الرسوبية [6،7] مع بيانات فاركوار وزملائه [4] وتدعم بشكل قوي الفرضية القائلة بأن الانتقال من غلاف جوي خالٍ إلى غلاف جوي محتوٍ على الأكسجين قد حصل قبل حوالي 2300 مليون سنة.

وهكذا، تم تحديد، وبشكل جيد نسبياً، زمن النشوء الأول للأكسجين الجوي؛ لكن السؤال ما الذي تسبب في قدح هذا النشوء يبقى موضع

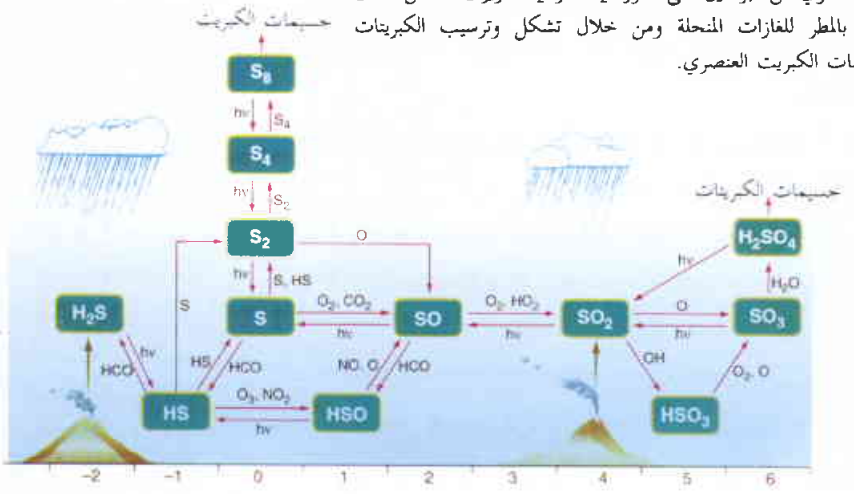
* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol. 293, 3 August 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

نقاش مستعر. هذا، ويتفق الباحثون على أن أول إنتاج للأكسجين كان بفعل البكتريات الزرق cyanobacteria، وهي المتعضيات أوليات النوى الوحيدة (البكتريات والأركيات) القادرة على الاصطناع الضوئي الأكسجيني. لكنه يعتقد أن ظهور البكتريات الزرق قد حصل قبل حوالي 2700 مليون سنة، وذلك اعتماداً على دليل من واسمات حيوية ضمن صخور رسوبية محفوظة جيداً [8]. (في الآونة الأخيرة، أضحت موضع المساءلة [10] ادعاءات سابقة أفادت بوجود البكتريات الزرق قبل 3500 مليون سنة [9]). إذاً، ما سبب وجود فجوة، تمتد 400 مليون سنة كحد أدنى، بين ظهور البكتريات الزرق وأول نشوء للأكسجين في الغلاف الجوي؟

قد يأتي حل اللغز من التركيب النظيري لعنصر الكربون في الكربونات الرسوبية والذي ظلّ بشكل أساسي ثابتاً خلال معظم العصور الجيولوجية. وهذا يقترح أن الكربون العضوي كان ينطمر بمعدل ثابت على الأقل منذ 3200 مليون سنة [11]. وإذا كان هذا الكربون العضوي نتاجاً لعملية التركيب الضوئي، فإن إنتاج الأكسجين النهائي لا بد أنه كان، حينذاك، ثابتاً أيضاً (أو بتعبير أدق كان ضرورياً بقاء هذا الإنتاج متناسباً مع معدل إصدار CO_2 البركاني). إذا كان ما سبق ذكره صحيحاً،

الكيمياء الضوئية للكبريت في الغلاف الجوي البدائي منقوص الأكسجين. يُشار إلى حالة أكسدة الكبريت على طول المحور الأفقي. ينبعث الكبريت إلى الغلاف الجوي من البراكين على صورة SO_2 وH_2S، ويزال منه من خلال الغسل بالمطر للغازات المنحلة ومن خلال تشكل وترسيب الكبريتات وجسيمات الكبريت العنصري.



لا بد والحالة هذه أن يكون التغير قد حصل في بالوعة تصريف O_2 وليس في مصدر إنتاجه، الأمر الذي يوحي بدوره إلى كون التفسير الخاص بزمن نشوء الأكسجين جيولوجياً وليس بيولوجياً.

اقترح كاتلينغ Catling وزملاؤه [12] في مقالة نشرت في مجلة Science, Vol 293, Aug. 2001 أن الذي تسبب في الانتقال من غلاف جوي منخفض الأكسجين إلى آخر مرتفع الأكسجين هو حدوث هروب معزز للهدروجين إلى الفضاء نتيجة ظهور تراكيز عالية من الميثان (CH_4) في الغلاف الجوي خلال الفترة الواقعة ما بين نهاية الحقب الأركي Archean (الحقب الطاعن في القدم) وبداية الحقب البروتيروزوي Proterozoic (حقب الحياة الأولية)- أي قبل فترة تمتد ما بين 3000-2300 مليون سنة. وكما هو معروف منذ وقت طويل [13]، لا بد للهدروجين أن يهرب سريعاً من أجواء منخفضة الأكسجين وغنية بالغازات المرجعة، مثل H_2 و CH_4. إن الغالبية الضخمة من هدروجين الكرة الأرضية اندمجت في البداية داخل هذا الكوكب على صورة ماء. وهكذا نجد أن هروب الهدروجين إلى الفضاء قد تسبب في حدوث تراكم نهائي للأكسجين فوق رقعة ما على كوكب الأرض. وقد انخرط كاتلنغ وزملاؤه في جدل مفاده أن معظم الهدروجين الهارب كان قد نشأ أصلاً عن انطلاق غاز الهدروجين من البراكين وأن الأكسجين، المخلّف وراءه أدّى إلى زيادة تدريجية في حالة التأكسد للمعطف العلوي للأرض. ومع مضي الوقت، أصبحت الغازات البركانية أكثر تأكسداً وبلغت الذروة عند التحول إلى غلاف جوي غني بالأكسجين فور تفوّق إنتاج الأكسجين النهائي بفعل التركيب الضوئي على البالوعة البركانية volcanic sink. ويبدو أن الفكرة الأخيرة كانت خاطئة؛ حيث تشير بيانات ذات علاقة بمحتوى الفاناديوم والكروميوم في الصخور البازلتية القديمة وصخور الكوماتيت Komatites (وهو نوع خاص من الصخور الاندفاعية المحتوية على نسبة عالية من أكسيد المغنيزيوم MgO) إلى أن حالة التأكسد لمعطف الأرض لم تتغير بشكل ملموس مع الزمن [15].

وأضاف كاتلينغ وزملاؤه إلى الجدل آنف الذكر معلومتين جديدتين قد تساعدان على إنعاشه ولو بشكل مختلف إلى حد ما. بالنسبة للمعلومة الأولى، اقترح أن سرعة هروب الهدروجين قد تعزّزت إلى حد بعيد بتراكم الميثان الحيوي المنشأ في الغلاف الجوي خلال الحقب الأركي؛ وكذلك اقترحوا أن معظم هذا الميثان قد نشأ عن طريق التحلل اللاهوائي لمادة عضوية مصنعة بالتركيب الضوئي. وهكذا، كان التفاعل الإجمالي: $CO_2 + 2H_2O \rightarrow CH_4 + 2O_2$. وإذا كان معدل استهلاك O_2 أسرع من معدل استهلاك CH_4 - وهو أمر لا بد أن يكون قد حصل فعلاً كي يبقى الجو خالياً من الأكسجين - فلا بد والحال هكذا من وصول الميثان الجوي إلى تراكيز بلغت 0.1 % أو أعلى من ذلك. ويتفق هذا السيناريو مع دليل يفيد بأن مناخ الحقب الأركي الأعلى كان دافئاً على الرغم من وجود تراكيز منخفضة من غاز CO_2 في الغلاف الجوي [16]. ويُعدّ CH_4 غاز دفيئة جيداً ويمكن أن يزود بالدفء الضروري [17].

أما بشأن المعلومة الثانية، طرح كاتلينغ وزملاؤه مقولة مفادها أن O_2 المخلّف بعد هروب الهدروجين إلى الفضاء قد تم استهلاكه إلى حد كبير بوساطة تأكسد القشرة القارية، الأمر الذي سبّب بدوره تغيراً في حالة تأكسد الغازات المتحررة بفعل عمليات التحول المنخفضة الحرارة. ومرة أخرى، حدث الانتقال إلى غلاف جوي أكسجيني عندما تفوق إنتاج الأكسجين النهائي بفعل التركيب الضوئي على دخل الغازات المرجعة إلى

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

الغلاف الجوي. على أية حال، تبقى حالة التأكسد لمعطف الأرض غير متغيرة، مما يزيل بالتالي التعارض الحاصل مع بيانات الفاناديوم والكروميوم.

وقد تفحص كاتلينغ وزملاؤه الفرضية التي وضعوها من عدة زوايا مختلفة واستطاعوا بذلك تقديم حجة قوية؛ لكن النموذج الذي قدموه يتطلب إضافة بعض التفصيلات. ولربما يكمن أهم هذه التفصيلات في السؤال المطروح: كيف أصبح الأكسجين المصنع بالتركيب الضوئي متحداً داخل القارات؟ بالطبع، لم يكن هذا ممكن الحدوث بوساطة تجوية تأكسدية مباشرة لأن ذلك يتعارض مع حتمية وجود فلزّي اليورانينيت uraninite والبيريت pyrite الحطاميين داخل الرواسب الأركية [1]. وقد أُضيف إلى القارات بعض الحديد المنحلّ الذي تأكسد داخل المحيط وترسب على صورة تشكيلات عصابية للحديد، لكن معظمه انتهى إلى التوضع في الأعلى داخل معطف الأرض [12]. وكان حتمياً أن يؤدي تحرر الغازات الاستحالية المرجعة إلى أكسدة القشرة القارية في حال كون هذه الغازات متولدة فقط عن أنواع مُؤكسَدة مثل H_2O و CO_2 وليس من مادة عضوية؛ وهذا يتطلب تفاعلات أكسدة للقشرة منخفضة الحرارة لم يجر توصيفها من قبل الباحثين.

وفي الواقع، يمكن للطبيعة المتغيرة لعمليات أكسدة القشرة أن تكون المفتاح لحل كامل المعضلة. إن الحفاظ على تراكيز منخفضة للأكسجين الجوي، خلال الفترة ما قبل 2300 مليون سنة الماضية في مواجهة معدلات حديثة لتوليد الأكسجين، يتطلب آليات أكسدة لمواد القشرة لا يساهم فيها الأكسجين الحر أو الكبريتات، اللذان يعتقد أن كليهما كانا على حالة نادرة الوجود.

ويُطلق على عملية كتلك التي سبق ذكرها، والتي تحدث فوق قاع البحر في الوقت الحاضر، اسم عملية "تَسَرْبُن serpentinization"، حيث تشكل الصخور البازلتية الغنية بالمغنيزيوم فلزات السربنتين serpentine* minerals أثناء التبدل المائي ذي درجة الحرارة المنخفضة [18]، وهي عملية تصادف غالباً في مناطق الفوالق على طول امتداد ضهرات وسط المحيط بطيئة التوسع [19]. وفي هذه العملية يتأكسد جزئياً الحديد الحديديّ (ثنائي التكافؤ) المنطلق من صخور البازلت ليشكل الماغنتيت magnetite. وفي حال كون الماء هو العامل المؤكسِد، يكون التفاعل الإجمالي على النحو التالي: $3FeO + H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + H_2$. وفي حال وجود CO_2 ينتج CH_4 كبديل. ويجري انغراز معظم هذه الصخور ثانية إلى داخل معطف الأرض، لكن ذلك قد لا يكون مهماً من وجهة نظر موازنة الأكسدة الجوية. هذا، وتولّد عملية التسرْبُن غازات مرجِعة. وفي حال كون القاع الأركي للبحر غنياً بالحديد والمغنيزيوم وفقيراً بالسليكا، وبسبب درجات الحرارة العالية للمعطف والانصهار الجزئي المتزايد تحت ضهرات وسط المحيط، كان حتمياً، والحالة هذه، أن تكون معدلات توليد H_2 و CH_4 أعلى مما هي عليه في الوقت الحاضر. وكبديل آخر لما سبق ذكره، ربما أدت درجات الحرارة الأعلى للمعطف إلى ضهرات وسط المحيط أقل عمقاً وإلى موائع مصارف حرّمائية ثنائية الطور two-phase hydrothermal vent fluids أكثر سخونة، وكلاهما سيحرّضان على تحرر حديد الحديدي المنحل [20]. وعندئذ، سيكون تأكسد هذا النوع من الحديد ليشكل تشكيلات عصابية للحديد بمثابة بالوعة للأكسجين أضخم مما كان مقدَّراً لها [21].

ربما اشتركت العمليتان المذكورتان آنفاً معاً في عزل قدر من الأكسجين كافٍ لمنع انتشار الأكسجين في الغلاف الجوي قبل 2300 مليون سنة. وقد يكون نشوء الأكسجين عند هذا الزمن مرتبطاً بالتبريد التدريجي الذي حصل لباطن الأرض. وحسب اقتراح كاتلينغ وزملائه [12]، لا بد أن ارتفاعاً مفاجئاً في أكسجين الغلاف الجوي قد حصل عندما انخفض تدفق الغازات المرجعة إلى سوية دون معدل إنتاج الأكسجين النهائي بالتركيب الضوئي. ولا بد أن البحث في أنماط تركيب القشرة القديمة للمحيطات والقارات وحالات أكسدتها سيتيح لنا أن نحدد أيّاً من هذه العمليات المتنوعة كانت الأهم.

المراجع REFERENCES

[1] P. E. Cloud, Am. J. Sci. 272, 537 (1972).

[2] J. C. G. Walker et al., in Earth's Earliest Biosphere:Its Origin and Evolution, J. W. Schopf, Ed. (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1983), pp. 260-290.

[3] H. Ohmoto, Geology 24, 1135 (1996).

[4] J. Farquhar, H. Bao, M. Thiemans. Science 289, 756 (2000).

[5] J. F. Kasting, K. J. Zahnle, J. P. Pinto, A. T. Young, Origins Life 19, 95 (1989).

[6] S. J. Mojzsis et al., paper presented at the Eleventh Annual V. M. Goldschmidt Conference, Hot Springs, VA, 20 to 24 May 2001.

[7] G. Hu, D. Rumble, personal communication.

[8] J. J. Brocks, G. A. Logan, R. Buick, R. E. Summons, Science 285, 1033 (1999).

[9] J. W. Schopf, Science 260, 640 (1993).

[10] M. D. Brasier, O. R. Green, A. Steele, J. F. Lindsay, in Earth System Processes Abstracts (Geological Society of America, Boulder, CO, 2001), p. 66.

[11] L. R. Kump, J. F. Kasting, M. E. Barley, Geol. Geochem. Geophys. (on Line) 2, http://146.201.254.53/publicationsfinal/researchletters/2000GC000114/fs2000GC000114. html (2001).

* serpentine سربنتين، عبارة عن مجموعة فلزات حديدية مغنيزية سليكاتية مائية مشكلة لصخور خضراء أو صفراء مائلة إلى الأخضر، أو رمادية مائلة إلى الأخضر، ولها التركيب الكيميائي $(Mg,Fe)_3Si_2O_5(OH_2)_4$.

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

[12] D. C. Catling, K. J. Zahnle, C. P. McKay, Science 293, 839 (2001).

[13] J. C. Walker, Evolution of the Atmosphere (Macmillan, New York, 1977).

[14] J. F. Kasting, D. H. Eggler, S. P. Raeburn, J. Geol. 101, 245(1993).

[15] D. Canil, Nature 389, 842 (1997).

[16] R. Rye, P. H. Kuo, H. D. Holland, Nature 378, 603 (1995).

[17] A. A. Pavlov, J. F. Kasting, L. L. Brown, K. A. Rages, R. Freedman, J. Geophys. Res. 105, 11981 (2000).

[18] M. E. Berndt, D. E. Allen, W. E. Seyfried, Geology 24, 351 (1996).

[19] M. Cannat, f. Geophys. Res. 98, 4163 (1993).

[20] W. E. Seyfried Jr., D. R. Janecky, Geochim. Cosmochim. Acta 49, 2545 (1985).

[21] L. R. Kump, H. D. Holland, Geochim Cosmochim. Acta 56, 3217 (1992).■

6- أسلوب سريع للوصول إلى طاقة الاندماج*

يمكن للطاقة النووية أن تحل مشاكل الطاقة في العالم، لكن إمكاناتها لم تستخدم بعد. هل يمكن لطريقة جديدة في إشعال كرة دقيقة من وقود ذي كثافة عالية أن تجعل الحلم حقيقة؟

إن عجز الطاقة الذي حصل مؤخراً في كاليفورنيا قد ألقى الضوء على الهشاشة الكامنة لمصدر الطاقة في عالم ذي نشاط اقتصادي متزايد. في النهاية لا بد أن ينضب احتياطي مخزون الوقود الأحفوري، لكن التسخين العالمي من إصدارات CO_2 يجعل الاعتماد على الوقود الأحفوري محفوفاً بالمخاطر حتى ولو كان مخزونه باقياً إلى الأبد. لذا فإن مصادر الطاقة الخالية من انبعاث CO_2 مهمة. ويُعد الاندماج النووي أحد هذه المصادر الأكثر جذباً، لكن الحصول على الطاقة من هذه العملية قد ثبتت صعوبته. يكتب كوداما Kodama وآخرون [1] عن أول بيان لمفهوم جديد في الاندماج يدعى الإشعال (القدح) السريع fast ignition الذي قد يقدم مساراً أفضل إلى طاقة الاندماج.

إن الاندماج النووي يمد شمسنا بالطاقة كما يمد النجوم والأسلحة النووية الحرارية بها أيضاً، فما الذي يمنع من استخدامه كمصدر للطاقة؟ لقد كان الجواب منذ أمد طويل "لا شيء من حيث المبدأ". يوجد الدوتريوم نظير الهدروجين ($_1D^2$) بصورة طبيعية في الماء، معطياً مصدراً للوقود غير محدود بصورة أساسية. إن اندماجه في النظير تريتيوم، $_1T^3$، يجعله يمتلك الحصيلة الأعظم من الطاقة لكل كتلة من الوقود (وتبلغ 17.6 مليون إلكترون فولط لكل حادثة اندماج) من أي مصدر طاقة معتبر. ورغم أن التريتيوم لا يوجد بصورة طبيعية لكن إنتاجه يتم بسهولة من الليثيوم الموجود في الطبيعة بوفرة، ضمن تفاعل ولود تحرّضه نترونات من عملية الاندماج. وفضلاً عن ذلك، وخلافاً للانشطار النووي، فإن وقود الاندماج D-T نفسه ليس له منتجات تفكك مشعّة طويلة العمر. إن المشكلة الوحيدة في طاقة الاندماج هي أنها تجعل بنية المفاعل ذات نشاط إشعاعي، ولكن هذه المشكلة يمكن تخفيفها باستخدام مواد ذات عدد ذري منخفض في بناء المفاعل.

إن العقبة الأساسية أمام إحراز تقدم هي أن الاندماج النووي الحراري يتطلب درجة حرارة تصل إلى 50 مليون درجة مئوية، مما يؤدي إلى مشاكل علمية وتقنية لتوليد الاندماج في شروط متحكم بها. هناك طريقان يجري اكتشافهما. ففي طاقة الاندماج المحصور مغنطيسياً (MFE)، يتم حصر مئات من الأمتار المكعبة من بلازما D - T بكثافة أقل من $10^{-9}g\,cm^{-3}$ بواسطة حقل مغنطيسي عند ضغط أقل من 10 ضغط جوي ومسخّنة حتى درجة حرارة الاندماج.

والغاية من ذلك هي خلق بلازما متوهجة في الحالة المستقرة steady - state burning plasma والتي يضاف إليها وقود طازج، كما يجري في فرن.

أما في الاندماج المحصور عطالياً، فيتم ضغط قشرة كروية من جليد D-T الصلب يبلغ قدّها بضعة ملّيمترات لمدة 10^{-8} ثانية، إلى مئات الغرامات في السنتيمتر المكعب عند ضغط أكثر من 100 جيغا ضغط جوي.

يحدث الاشتعال في بقعة ساخنة صغيرة ومركزية، ومن ثم يعمل الإشعال (الاحتراق) الحراري النووي على استهلاك كل ما تبقى من الوقود، حيث يستمر حصر التفاعل لأقل من 10^{-10} ثانية بواسطة العطالة لوحدها. الهدف هو توليد انفجارات مكروية microexplosions متكررة، على غرار ما يجري في محرك احتراق داخلي.

ظل البحث مستمراً لأكثر من أربعة عقود في طاقة الاندماج المحصور مغنطيسياً (MFE). وحتى الآن كان الإنجازان التوأم لها هما: الأول عرض 11 ميغا واط لتوليد طاقة الاندماج لمدة 0.7 ثانية، والثاني 16 ميغا واط لمدة ثانية واحدة في منشآت موجودة في الولايات المتحدة وأوربا. وفي كلا هذين الاختبارين كان خرج استطاعة الاندماج أقل من دخل الاستطاعة بصورة ملحوظة، لكن هذه الدراسات وغيرها قد استخدمت

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 412, 23 August 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

لتصميم آلات (ماكينات) يؤمل لها أن تبلغ شروط البلازما المتوهجة باستطاعة اندماج تتجاوز استطاعة الدخل.

تجري الآن مفاوضات دولية حول كيفية تقييم التصاميم المختلفة، والمساهمة في كلفة مشروع كهذا.

وبالمقارنة، فإن الاندماج المحصور عطالياً (ICF) لا يزال مجالاً فتياً. وهو يستخدم دافعاً driver، إما أن يكون ليزراً عالي الاستطاعة أو حزمة أيونية ذات استطاعة عالية، كي يضغط ويشعل (يقدح) الوقود. ويجري حالياً في الولايات المتحدة وفرنسا بناء ليزرات بحجم الاستاديوم stadium sized lasers (وحدة طول تبلغ حوالي 60 قدماً إنكليزياً، أو ملعب مدرّج)، ستقوم بتوليد نبضات ليزر بطاقات تصل إلى 2 ميغا جول في غضون بضع نانو ثانية. تُصمَّم هذه الليزرات [2] من أجل الاندماج المحصور عطالياً حيث تبلغ نسبة طاقة الاندماج إلى طاقة الليزر حوالي 15/1.

الإشعال السريع [3] هو نهج جديد للاندماج المحصور عطالياً؛ إذ بإمكانه أن يحقق أمرين في آن معاً: الأول يمكنه توليد نسبة أعلى بكثير لخرج طاقة الاندماج إلى دخل طاقة الدافعة، والثاني تخفيض الدقة اللازمة للدافعة ولحبة الوقود. ورغم أن الإشعال السريع لا يزال في مرحلة الدراسة، لكن هذه الميزات تجعله جذاباً لبناء محطات طاقة من نوع الاندماج المحصور عطالياً (ICF) [4].

إن مشاريع الليزر بطاقة ميغا جول الحالية تتطلب انتظاماً استثنائياً للضغط الدافع، وكبسولات وقود فائقة النعومة وكروية. وهذه الدقة العالية ضرورية لتوليد بقعة الإشعال المركزية الساخنة. يمكن تحقيق الشروط اللازمة، مبدئياً، في تجارب حادثة مفردة لكنها تطرح مشاكل تقنية واقتصادية من أجل عملية روتينية لمحطة طاقة ICF بحوادث إشعال تحدث عشر مرات في الثانية.

إن مفهوم الإشعال السريع يتجنب هذه المصاعب بفصل عمليات ضغط الوقود عن توليد البقعة الساخنة (الشكل 1). يقوم ليزر أو حزمة أيونات في البدء بضغط قشرة كروية من الوقود. وبعدئذ تُبأر نبضة ليزرية استطاعتها 10 بيتا واط (= 10^{16} واط) [5] وتدوم 10 بيكو ثانية على الوقود لتشكل بقعة ساخنة في طرفه في اللحظة التي يكون فيها الوقود في قمة انضغاطه. ينتج التسخين عن الإلكترونات المسرعة بالليزر والتي تتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء، أو عن بروتونات متولدة بالليزر، كما جاء في أحدث اقتراح بهذا الصدد [6].

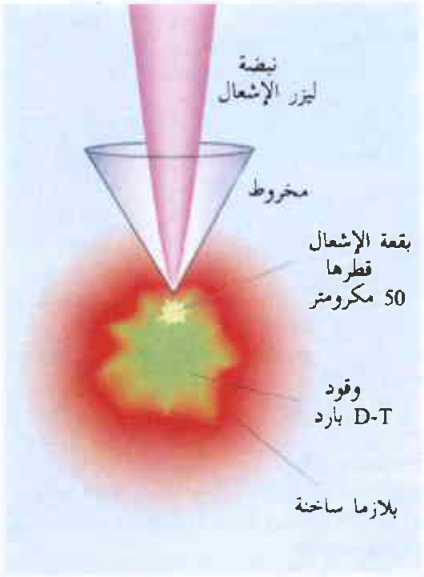
يستخدم الإشعال السريع كثافات وقود أخفض بخمس مرات من الـ ICF التقليدي. تسمح الطاقة الأخفض الموظَّفة في الانضغاط بالوصول إلى قيمة أعلى لنسبة خرج طاقة الاندماج إلى دخل الطاقة الدافعة تبلغ 300/1. كما أن ضغط الوقود المنخفض وغياب البقعة المركزية الساخنة يعني أيضاً متطلبات شديدة على نعومة وكروية كبسولة الوقود وانتظام الضغط الدافع. لكن فهمنا للفيزياء التي تتناول مفهوم الإشعال السريع أقل نضجاً من فهمنا لِـ ICF التقليدي. والمطلوب مزيد من العمل على التفاعلات ليزر - بلازما النسبوية، كما يلزم انتشار تيارات بقيمة جيغا أمبير لإلكترونات تسير في فرق كمون قدره ميغا فولط [7]. إن كفاية تحويل القدرة من نبضات الليزر القصيرة إلى البقعة الساخنة في البلازما المضغوطة يعد وسيطاً حاسماً لم يتم قياسه بعد بدقة أو التنبؤ به، ولكن يجب أن يصل إلى 20% كي تنجح الخطة.

تعد التجربة التي قام بها كوداما وزملاؤه الأولى التي تضم توليد مادة مضغوطة في انفجار داخلي مسيَّر بالليزر مع تسخين لمدة بيكو ثانية بواسطة نبضة ليزرية وُقِّتت كي تتطابق مع انضغاط ذروة. إن هذا اختبار على نطاق محدود لمفهوم الإشعال السريع ويستخدم قشرة كروية صغيرة من البوليستيرين المُدَوْتَر deuterated polystyrene لتحاكي جليد D-T.

ولما كان الهدف لا يحتوي على التريتيوم، فإنه يولّد اندماجاً من نوع D-D بدلاً من الاندماج D-T. تُشكَّل القشرة حول مخروط ذهبي أجوف لتؤمن مساراً يوصل حزمة المُشْعِل (القادح) إلى الوقود، المضغوط إلى قطر يبلغ 40 مكرومتر عند 50 g cm^{-3} (الشكل 1).

كانت نتائجهم الأولى مشجعة، فحصيلة النترونات الحرارية النووية من اندماج D-D ازدادت عشرة أضعاف بالتشعيع عند الانضغاط في الذروة بنبضة ليزر قصيرة طاقتها 60 جول. وهذا يعني أن 1% من ارتفاع الحرارة اللازم للإشعال قد تم الوصول إليه باستخدام 0.1% فقط من الطاقة اللازمة للحزمة القادحة. كما أنهم لاحظوا أن نبضة الليزر الأطول ذات الطاقة 1200 جول التي تدفع (تسيِّر) انضغاط الوقود ينبغي زيادتها لتصل إلى 2800 جول لتحقيق الزيادة نفسها في الحصيلة النترونية بدون تسخين نبضة الليزر القصيرة التي طاقتها 60 جول - وبذلك تلقي الضوء على كفاية طريقة الإشعال السريع. ويقترح التحليل الأولي كفاية (مردود) انتقال طاقة أكثر من 20% من ليزر النبضة القصيرة إلى تسخين اللب المضغوط، الذي يعد كافياً لإشعال سريع كلي.

لو أمكن تعزيز هذه الكفاية في التسخين بواسطة تجارب باستخدام نبضات إشعال ليزرية بطاقة 500 جول واستطاعة تبلغ 1 بيتا واط، وهي التي خطط لها في هذا العام



الشكل 1- مفهوم الإشعال السريع. كتلة كروية الشكل تقريباً من بلازما الدوتيريوم - تريتيوم (D-T) يتم تشكيلها بواسطة الانفجار الداخلي لقشرة كروية جوفاء من D-T حول مخروط معدني أجوف. هناك ليزر استطاعته بيتا واط مسلّط ومبأر على رأس المخروط يخلق حزمة كثيفة من الإلكترونات تتحرك بسرعة تقارب سرعة الضوء، والتي تُشعل (تقدح) الوقود D-T. اختبر كوداما وآخرون [1] هذه الفكرة لأول مرة في تجربة إشعال فرعي مخفضة بنسبة معينة باستخدام بوليمير مُدَوْتَر كي يحاكي حبة الوقود D-T. تستخدم تجربتهم نبضة ليزرية قصيرة طاقتها 60 جول (باستطاعة 0.06 بيتا واط وعرض 1 بيكو ثانية) لتزيد عدد حوادث الاندماج إلى عشرة أضعاف بالنسبة للتجربة ذاتها التي تنجز بدون النبضة التي طاقتها 60 جول.

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

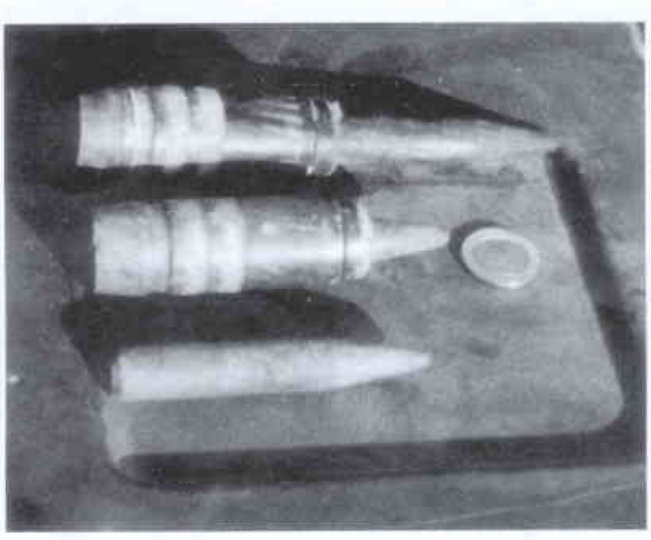
كوداما ورفاقه من أجل المستقبل، فإن الإمكانات المتوقعة لإشعال سريع كلي على المدى الأطول ستكون جيدة. إن زيادة طاقة الدافعة الليزرية حتى تصل إلى ميغا جول، قد يؤدي إلى كسب طاقة يعادل 300 ضعف، وقد يكون باعثاً لجهود جادة في كل أنحاء العالم لإنتاج طاقة اندماج بالإشعال السريع. لكن خبرتنا مع مشاريع طاقة الاندماج الأخرى يجب أن تلطف من حماسنا بشأن الإشعال السريع. وفي مرحلة مبكرة كهذه ينبغي أن يُنظَر إلى هذه الطريقة الجديدة من طاقة الاندماج على أنها واعدة، لكنها تبقى تأمّلية وتخمينية إلى أن يتم إنجاز عمل أكثر.■

7- اليورانيوم المستنفد*

الوقاية من جميع مصادر الإشعاع المؤيّن المحتملة عن طريق تطوير أحدث معايير السلامة وتطبيقها.

اليورانيوم المستنفد ناتج ثانوي لعملية صنع الوقود الخاص بنماذج معينة من المفاعلات والأسلحة النووية. ويصنع هذا الوقود عن طريق إغناء اليورانيوم الطبيعي لزيادة كمية النظير U-235، الذي يُعدّ مسؤولاً عن الانشطار النووي. و يُدعى الخليط الذي يتبقى بعد استخلاص اليورانيوم المغنى "اليورانيوم المستنفد"، لأن فيه كميات قليلة من النظيرين اليورانيوم U-235 و U-234. إن النشاط الإشعاعي لليورانيوم المستنفد أقل من نشاط اليورانيوم الطبيعي بنسبة 60%، بيد أن سلوكهما الكيميائي هو نفسه. واليورانيوم المستنفد معدن كثيف جداً، مما يجعله ملائماً لكثير من الاستخدامات التجارية كصابورة في السفن والطائرات.

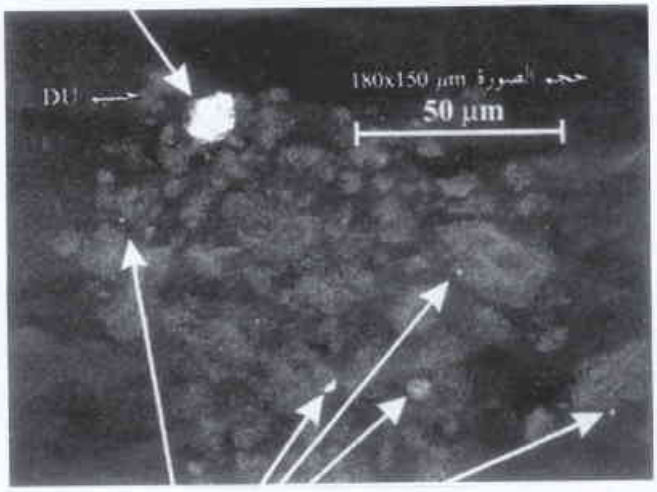
يستخدم اليورانيوم المستنفد أيضاً لصنع القذائف المضادة للدروع. وقد استُخدمت قذائفه أول مرة خلال حرب الخليج الثانية عام 1991، ثم استُخدمت حديثاً في النزاع الذي تدخلت فيه وحدات من حلف الناتو في كوسوفو. وقد تزايد القلق من إمكانية تسبّب اليورانيوم المستنفد الموجود في القذائف بأضرار صحية للأشخاص الذين يعيشون ويعملون في تلك المناطق، أو بأضرار للبيئة. ويمكن أن تكون هذه الأضرار ناجمة عن خصائصه الكيميائية أو الإشعاعية.



قذائف اليورانيوم المستنفد المستخدمة خلال حرب كوسوفو.

إن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية (IAEA) مفوضة تفويضاً محدداً، طبقاً لنظامها الأساسي بوضع معايير الوقاية من الإشعاع المؤين، وسلامة مصادره، وتوفير سبل تطبيق هذه المعايير؛ وذلك باستشارة وكالات الأمم المتحدة وغيرها من الوكالات المعنية بالأمر والتعاون معها. وقد طورت الوكالة المعايير الدولية الأساسية للسلامة من أخطار الإشعاع المحتملة بالاشتراك مع منظمة الصحة العالمية، ومنظمة العمل الدولية، ومنظمة الأغذية والزراعة. تُعنى هذه المعايير، التي يُرمز لها بـ BSS، بالكثير من الحالات التي تؤدي إلى التعرض للإشعاع فعلاً، أو يمكن أن تؤدي إليه، كالخطر الإشعاعي الذي يشكّله اليورانيوم المستنفد. تضع BSS الحدود للتعرض إلى أي مزيج من نظائر اليورانيوم، بما فيها تلك التي توجد في اليورانيوم المستنفد. وقد ارتكزت هذه الحدود على توصيات هيئتين استشاريتين لهما خبرة في هذا المجال وهما الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) التي ترشدنا إلى كيفية الوقاية من الإشعاع، ولجنة الأمم المتحدة العلمية لآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) التي تُقَيّم الآثار الصحية الناجمة عن الإشعاع. وتختلف الحدود التي تضعها BSS للعاملين في مجال الإشعاع والناس الآخرين، ولكنها تُطبق على أي استخدام أو ممارسة ينطويان على الإشعاع المؤين.

وضعت BSS حدوداً لجرعة الإشعاع السنوية التي يجوز للمرء التعرض لها، وتبلغ 1 ملّي سيفرت للناس العاديين، و 20 ملّي سيفرت للعاملين في الإشعاع. وإذا كان الأمر يتعلق باليورانيوم المستنفد، فإن تحديد تجاوز الجرعة لهذه الحدود أو عدمه يتطلّب دراسةَ مجموعة ممثلة من



صور لجسيمات من اليورانيوم المستنفد (تمثلها المناطق المضاءة) التقطت بمجهر إلكتروني ماسح. مجهز بكاشف التفلور بأشعة X مبدد الطاقة.

* نشر هذا الخبر في نشرة *International Atomic Energy Agency*. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الأشخاص وحساب جرعاتها المحتملة الناجمة عن التعرّض لجسيمات اليورانيوم المستنفد تحت الظروف الخاصة الموجودة في منطقتهم.

إن التحليل المخبري جزء هام في عملية تحديد الجرعات المحتملة من مصادر الإشعاع البيئية. ولابد من جمع العيّنات التي يشتبه بتلوثها إشعاعياً من بيئتها الطبيعية. وتشمل هذه العيّنات في حالة اليورانيوم المستنفد التربةَ، أو الأشجار، أو أية منشآت قُصفت بقذائفه. ويملك مخبر سايبرسدورف التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرّية القدرة على جمع العيّنات واختبارها للكشف عن وجود تنوع كبير من النظائر المشعة فيها. وتدعم هذا المخبر شبكةٌ عالمية من المخابر ذات الخبرة في هذا المجال. ويُعدّ جمع العيّنات من بيئتها الطبيعية ومعالجتها جيداً أمراً حيوياً وهاماً للحصول على نتائج ممتازة. ويتم فحص العيّنات بعد وصولها إلى المخبر مباشرة للبحث عن آثار النشاط الإشعاعي فيها. ويُستخدم في مخبر سايبرسدورف مطياف غاما كأحد الأجهزة المستعملة من أجل هذه الغاية. وفي حال اكتشف الفحص الأولي نشاطاً إشعاعياً في العينة، تؤخذ هذه الأخيرة لتُعالَج وتُفحص فحصاً أشمَل باستخدام تقنيات إشعاعية كيميائية لتحديد مصدره وكمّيته تحديداً أكثر دقة.

أُسست شبكة المخابر التحليلية (ALMERA) التابعة للوكالة والتي ترصد النشاط الإشعاعي في البيئة. عام 1999.

يشترك في هذه الشبكة ثمانون مخبراً في 65 دولةً. وتستطيع هذه المخابر تقديم العون للوكالة في تقييم الوضع الإشعاعي في المناطق المتأثرة بانبعاثات إشعاعية وصلت إليها عن طريق الصدفة أو استهدفتها عمداً.

ففي حالة اليورانيوم المستنفد من المهم أيضاً تحديدُ خواصه الفيزيائية (أي حجم جسيماته)، لأن أكثر طرق التعرض له شيوعاً هي من استنشاق جسيمات صغيرة منه.

إن الكيمياء الإشعاعية، التي تستخدم في تحديد ماهية النكليدات المشعة الموجودة في العيّنة وكمّيتها، تتطلب تحليلاً إتلافياً للعينة. وتعتمد المعدّات والتقنيات المستخدمة فيها على العناصر الموجودة في العيّنة، كحجم جزيئاتها ووزنها ونوعية الإشعاع الذي تصدره (أي هل هو إشعاع ألفا، أو بيتا، أو غاما). وفي حالة النظائر الثقيلة كاليورانيوم، وبعد معالجة العينة وإذابتها يُستخدم مقياس الطيف الكتلي للبلازما المقرونة بالتحريض في تحليل العينة للتأكد من وجود اليورانيوم المستنفد فيها، ويمكن لهذا المطياف اكتشاف أصغر الكمّيات من نظائر اليورانيوم، كما يستطيع التمييز بين اليورانيوم الطبيعي والمستنفد عند مستوى بضعة أجزاء من التريليون جزء (في محاليل العيّنات).

قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرّية بالتعاون مع منظمات أخرى تابعة للأمم المتحدة بتقييم حالات من التلوث البيئي بالإشعاع لمعرفة ما إذا كانت تتطابق مع حدود الإشعاع التي وضعتها BSS أم لا، وفي مناطق مثل بولينيزيا الفرنسية، وجزر المارشَل، وكازاخستان، وبحركارا على سبيل المثال. كما شارك مخبر سايبرسدورف في عدد من الجهود المبذولة لرصد مجموعة كبيرة من العناصر المشعة الموجودة في البيئة، كتلك الموجودة في تشيرنوبل مثلاً و الجزر المرجانية موروروا/فانغاتوفا و سميبالاتنسك.

إن قيام الوكالة بتقييم الإشعاع الموجود في منطقة ما يتطلب تَقَدُّم إحدى الدول الأعضاء فيها بطلب رسمي تُحدّد فيه تحديداً جيداً الوضع الإشعاعي المطلوب تقييمه بدقة (وغالباً ما يتم ذلك عن طريق لجنة لتقصّي الحقائق ترسل سلفاً)، وتتم الموافقة على الترتيبات المالية بعد ذلك.

وفي حال تمّ تطبيق هذه الشروط سيكون لدى الوكالة الخبرة اللازمة لوضع دراسة دولية وتنسيقها بغية تقييم الوضع الإشعاعي. وتُجرى هذه الدراسة عادةً على أربع مراحل:

- تحديد مصدر الإشعاع عن طريق برنامج رصد بيئي.
- تحديد طرق انتقاله المحتملة من البيئة إلى الإنسان.
- تقييم جرعات الإشعاع التي تعرضت لها عينة من الأشخاص.
- التأكد من تطابق الجرعات مع معايير الأمان الأساسية BSS الدولية.

فإذا برهنت مثل هذه الدراسة على عدم وجود تطابق مع معايير BSS، توصي الوكالة بالإجراءات الوقائية الممكنة، وإذا كان عدم التطابق كبيراً إلى حدٍ قد يسبب أضراراً صحية فإن منظمة الصحة العالمية ستكون المسؤولة عن علاجها.

إن معايير الأمان الأساسية BSS لا تضع معايير محددة تساعد في إقرار الإجراءات التي يجب اتخاذها من أجل تطهير المناطق التي استُخدمت فيها أسلحة اليورانيوم المستنفد. بيد أن الهيئة الدولية للوقاية من

شاركت الوكالة الدولية للطاقة الذرّية بدراسة أجراها برنامج الأمم المتحدة للبيئة في تشرين الثاني عام 2000. شملت الدراسة 11 موقعاً استُخدمت فيها ذخائر اليورانيوم المستنفد أثناء الحرب في كوسوفو. وخَلُصت هذه الدراسة إلى القول إن تلوث سطح الأرض يقتصر على المناطق التي لا تبعد أكثر من عدة أمتار عن أماكن القذائف الخارقة الملقاة، وعلى النقاط الملوثة تلوثاً مركّزاً نَجَم عن اصطدام هذه القذائف.

وقامت البعثة بتحديد عدد من النقاط الملوثة، بيد أن تلوث معظمها كان طفيفاً. كما خَلُصت إلى أن هذه النقاط لا تشكل خطورة كبيرة فيما يخص إمكانية تسرب الإشعاع إلى الهواء، أو الماء، أو النبات؛ وذلك لأن سويات الإشعاع الموجودة في هذه النقاط منخفضة جداً. أما الخطر الحقيقي الوحيد فيتمثل في لمس إحدى هذه النقاط مما سيؤدي إلى تلوث اليدين والمخاطرة بانتقال التلوث إلى الفم، أو ابتلاع بعض التراب الملوث. ويوصي برنامج الأمم المتحدة للبيئة باتباع نهج وقائي في تحديد المواقع التي قد يبقى فيها اليورانيوم، وتقييم الحاجة لتطهيرها، وذلك رغم قلة الخطورة التي تشكلها هذه المواقع. كما يوصي البرنامج بإجراء دراسات أخرى حول التلوث البيئي بعيد المدى الذي يحتمل حدوثه، وحول تلوث مناطق أخرى في كوسوفو باليورانيوم المستنفد.

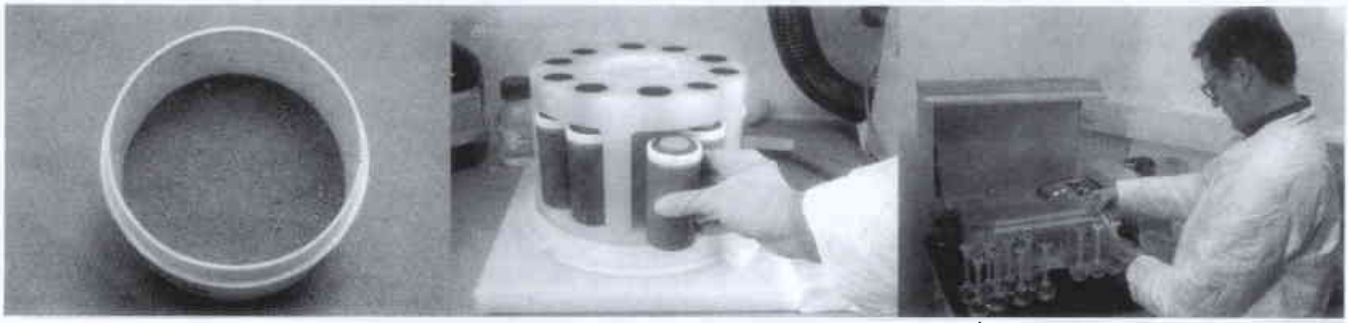
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

طريق التلوث	الجرعة الفاعلة التقديرية	ملاحظات	هل من مبرّر للتدخل؟
التعامل مع قذائف اليورانيوم المستنفد.	عشرات الملّي سيفرت.	بني التقرير على معدل الجرعات التي كانت على تماس مع الجلد والتي تراوحت بين 2 و 2.5 ملّي سيفرت في الساعة، وذلك بفرض أن الشخص يلمس مصدر الإشعاع لفترة تبلغ 10% من الوقت الكلي. وهذه الظروف مشابهة لما يتعرض له من يكون داخل دبابة مليئة بقذائف اليورانيوم المستنفد.	ربما يكون التدخل ضرورياً.
استنشاق الحلالة الهوائية لليورانيوم المستنفد.	بضعة ملّي سيفرت.	جرعات قد يتعرض لها من يستنشقون الغبار عند دخول العربات العسكرية التي أصابتها قذائف اليورانيوم المستنفد.	إن مقدار الجرعة يجعل من الواجب النظر في موضوع التدخل.
التعرض لليورانيوم المستنفد في البيئة.	أقل من 1 ملّي سيفرت.	تشمل الجرعات ما يستنشقه المرء من الحلالة الهوائية لليورانيوم المستنفد أو ما يبتلعه منها، وتقاس الجرعة ببضعة مكروسيفرت، حتى في المناطق القريبة من جبهات القتال.	إن الجرعات أقل من الحد المسموح به لعامة الناس وهو 1 ملّي سيفرت، وربما يكون قريباً من السويات التي تعدّها الوكالة الدولية "استثنائية" بسبب صغرها.

مسح للمناطق التي استخدمت فيها أسلحة اليورانيوم المستنفد في كوسوفو للعثور على آثار الإشعاع.

الإشعاع ICRP وضعت معايير للجرعات يمكن تطبيقها من حيث المبدأ على مثل هذه الإجراءات. وتُبنى قرارات عدة متعلقة بالوقاية من الإشعاع على حد الجرعة السنوية البالغ 1 ملّي سيفرت للعامة. وقدّمت ICRP دليلاً يستخدِم مقياساً لمستوى الجرعات يساعد على اتخاذ القرارات العملية في الكثير من المواقف.

إن من الواجب تبرير التدخّل لتطهير أية منطقة من الإشعاع طبقاً لحالة كل منطقة على حدة. فلا يمكن للإرشادات المعدّة سلفاً حول حدود الجرعة أن تقدِّم أكثر من العَون على اتخاذ القرارات، ولا يجوز لعامل واحد أن يطغى على الآخرين فيها. وبناءً على هذه الشروط أوصت ICRP بنهج جديد للتدخل يُبنى على أساس الجرعات الفردية الفاعلة. فعندما تتجاوز الجرعة الفردية الفاعلة حد المئة سيفرت يكون التدخل "مُبَرّراً دائماً تقريباً"، أما إذا كانت الجرعة أكثر من 15 ملّي سيفرت فالتدخل "قد يكون ضرورياً"، "في حين" لا يكون التدخل مُبَرّراً" عندما تكون الجرعات أقل من 1 ملّي سيفرت.



تحليل يُجرى في مخبر سايبرسدورف لعيّنات تربة أُخذت من مناطق في كوسوفو حيث اكتشف اليورانيوم المستنفد في كوسوفو. إلى اليسار: عينة من التربة؛ إلى الوسط: معالجة العيّنات؛ إلى اليمين: تحليل العيّنات باستخدام مقياس الطيف الكتلي للبلازما المقرونة بالتحريض.

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

إن من الضروري إجراء تقييم لجرعات اليورانيوم المستنفد التي تعرّض لها الأشخاص، ثم مقارنتها بإرشادات ICRP وذلك من أجل تقرير وجود المبرّر لاتخاذ الإجراءات الوقائية (بما فيها عملية التطهير). يُظهر الجدول الجرعات التي يحتمل أن يتعرض لها القاطنون في المناطق المتأثرة باليورانيوم المستنفد، وتبدو هذه الجرعات منوعة طبقاً لتنوع طرق التعرض للإشعاع، وهي جرعات نظريةٌ، بُنيت على افتراضات محافظة.

تدل هذه الجرعات النظرية على أن الإجراءات الوقائية الضرورية الوحيدة في المناطق التي دارت فيها النزاعات مسبقاً قد تكون إزالة الأسلحة التي تحوي اليورانيوم المستنفد والتي ما تزال على الأرض، وإبعاد المدرّعات والدبابات التي قصفت بقذائف اليورانيوم المستنفد لمنع الناس من التماس المباشر مع مصادر قد تكون ملوثة به. ويعتمد مدى انتشار هذه العملية على عوامل عدة، كعدد المناطق الملوثة ومواقعها، وعدد قذائف اليورانيوم، والأهداف التي قُصفت وما زالت موجودة حتى اليوم.

كما يمكن أن تشمل الإجراءات الوقائية حملةً إعلامية هادفة إلى تعريف القاطنين في هذه المناطق (بما فيهم العسكريين) بالمخاطر المحتملة لقذائف اليورانيوم المستنفد، وثنيهم عن جمع أية قذائف يجدونها. فليس من المرجح تبرير إجراء عملية تطهير واسعة، تشمل إزالة التربة أو فلترة مياه الشرب في المناطق الملوثة باليورانيوم، تبريراً يعتمد على مبدأ الوقاية من آثار الإشعاع الصحية. إن ما يتوفر لدينا من معلومات اليوم لا يدل على أن قذائف اليورانيوم المستنفد تشكل خطراً كبيراً على الصحة، وذلك من وجهة نظر طبية إشعاعية. لكنْ لم تُجرَ إلا دراسات محدودة في المناطق التي شهدت حروباً استُخدمت فيها أسلحة اليورانيوم المستنفد، ولذلك فإن إجراء دراسات وتقييمات أخرى لليورانيوم المستنفد في تلك المناطق سيزيد من ثقتنا بهذه الملاحظات.

وإلى جانب ما تجريه الوكالة الدولية للطاقة الذرّية من تقييم للوضع الإشعاعي فإنها تقوم بتطوير دورة تدريبية للدول الأعضاء فيها في التقنيات والطرائق التحليلية المستخدمة في كشف اليورانيوم المستنفد وقياسه في مناطق شهدت حروباً، و ستدّرب هذه الدورة المشاركين فيها على التعرف على اليورانيوم المستنفد، وتحديد صفاته، ورصد مصادره، وذلك باستخدام التدريبات العملية، و الدراسات الميدانية، والعمل المخبري. كما سيتعلم المشاركون كيفية انتقاء العيّنات والمعطيات ذات المصداقية، وكيفية وضع أساس لتقييم خطر أي تلوث به على الصحة، وكيف يقومون بوضع مخططات بيئية إشعاعية، ويقيّمون طريقة التلوث بالإشعاع. وتُعدّ المبادرات جزءاً من عمل الوكالة لتعزيز الوقاية من آثار الإشعاع الصحية في الدول الأعضاء فيها.■

8– الأنابيب النانوية تصبح قذفية*

لما كانت النبائط تتقلص وتصغر، فإن للأسلاك الدقيقة التي تنقل الإلكترونات قذفياً – أي بدون تبعثر – تطبيقات مثيرة. تستطيع أنابيب الكربون النانوية في الوقت الحاضر أن تفي بهذا الغرض على طول مئات وحتى آلاف من النانومترات، مقدِّمة نتائج مذهلة.

بغياب أية اضطرابات أخرى، سينتج عن أية موجة تصدم حاجزين نصف عاكسين أحدهما بعد الآخر، نموذج تداخل. يتكوّن هذا النموذج من اهتزازات منتظمة في شدة الموجة المرسلة عبر الحاجز المزدوج كتابع لطول الموجة. أثبت لياغ Liang وزملاؤه في مجلة Nature عدد حزيران 2001 [1]، وجود هذه الاهتزازات عند إرسال الإلكترونات خلال أنبوب كربون نانوي أحادي الجدار معدني (SWNT) طوله عدة مئات من النانو مترات محمول بين إلكترودين.

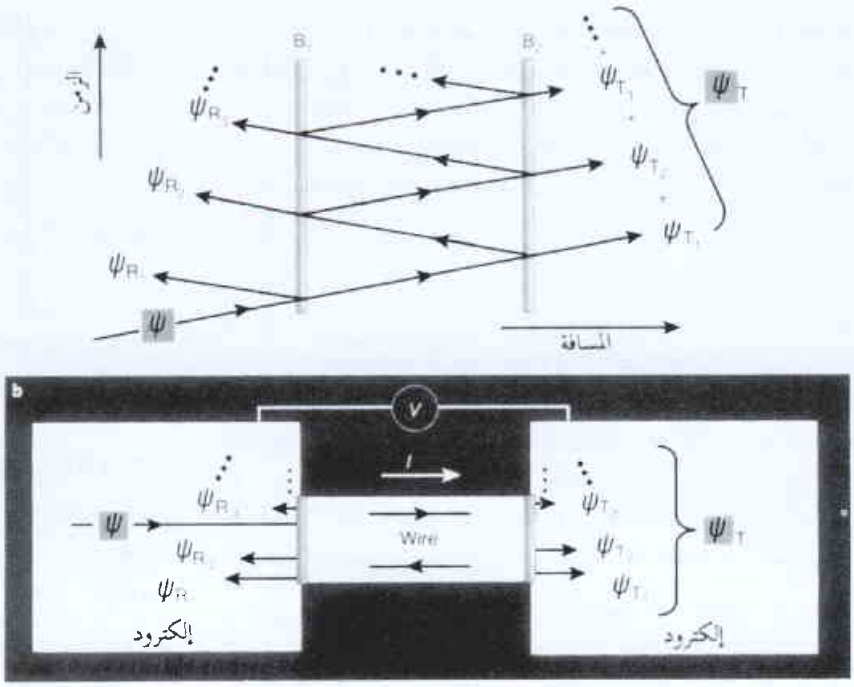
تُثبت هذه التجربة الطبيعة الموجية الكمومية للإلكترونات. وتبيّن أيضاً أن انتشار الإلكترونات في الأنبوب النانوي قذفيّ – خالٍ إلى حدٍّ كبير من التبعثر – عبر مسافات آلاف الذرّات. لقد تنبأنا نظرياً، منذ سنين قليلة خلت، بإمكانية الانتشار القذفي للإلكترونات عبر مثل هذه المسافات في أنابيب SWNTs المعدنية. وما صنعه لياغ وزملاؤه من نبيطة تعتمد على هذا المفعول حتى تقوم بعملها يؤكد هذه النتيجة [2] وغيرها من النتائج [2-6] التي تبيّن النقل القذفي خلال أنابيب الكربون النانوية المعدنية، ويُعدّ هذا إنجازاً مذهلاً.

يبيّن الشكل 1 ما الذي يحصل عندما تضرب الموجة ψ حاجزين متتابعين B1 و B2. توصف الموجة التقليدية أو الكمومية بسعتها وبطورها. تقرّر السعة ارتفاعات القمم والأغوار، ويقرّر الطور مواقعها في زمن معطى. في الشكل 1a، تختلف كل موجة جزئية مرسلة ψ_{T_n} عن الموجة الجزئية السابقة $\psi_{T_{n-1}}$ بانعكاسين إضافيين وبرحلة ذهاباً وإياباً بين الحاجزين. يخفض كل انعكاس داخلي سعة الموجة بمقدار كسري ثابت ويسبب تغيّراً ثابتاً في الطور. تضيف رحلة الذهاب والإياب بين الحاجزين تغيراً إضافياً في الطور مقداره $2\pi L/\lambda$، حيث تمثل L طول رحلة الذهاب والإياب؛ و λ الطول الموجي للموجة بين B_1 و B_2. تؤكد قواعد التراكب الموجي عندئذٍ أن شدة كامل الموجة المرسلة ψ_T، تكون تابعاً مهتزاً دورياً لـ $1/\lambda$ بدور محدد بـ L. وإذا كانت الموجة حزمة من الضوء تضرب مرآتين عاكستين بشكل جزئي، فإن النبيطة تكون عندئذ أساس مقياس تداخل فابري – بيرو Fabry-Perot [7] المستخدم بشكل واسع في علم الفلك والضوئيات من أجل قياسات الأطوال الموجية بشكل دقيق. أو يمكن أن تكون ψ موجة صوتية تصدم حائطين، أو موجة مائية عابرة فوق أكمتين في قاع البحر.

يمكن لـ ψ، في مظهره الكمومي، أن يكون التابع الموجي الذي يصف إلكتروناً في سلك كمومي قذفي بين إلكترودين، كما يبيّن الشكل 1b. وعندئذ ستُنتج الانعكاسات الجزئية على التماسات بين السلك والإلكترودين اهتزازات منتظمة في شدة موجة الإلكترون المرسلة الإجمالية من إلكترود إلى الآخر كتابع للطول الموجي للإلكترونات. إن الإطار النظري الذي طوره لانداوير Landauer و بوتيكر Buttiker [8] لوصف النقل الكهربائي في الأسلاك الكمومية يسمح لنا بربط هذه الشدة

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 411, 7 June 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



موجة تصدم حاجزين جزئيي الانعكاس. a، انعكاسات متعددة لموجة ψ، واردة على حاجزين B_1 و B_2. تصل الموجة إلى B_1 ثم تنشطر. ينعكس قسم منها راجعاً مباشرة مشكّلاً الموجة الجزئية ψ_{R1}. وتصل البقية إلى B_2 حيث تُرسل جزئياً مشكّلةً ψ_{T1}. وتعود البقية منعكسةً راجعةً إلى B_1 حيث تُرسل جزئياً مشكّلةً ψ_{R2}. تعود البقية إلى B_2 حيث تُرسل جزئياً مشكّلةً ψ_{T2}، وهكذا دواليك. تكون الموجة المرسلة كلية على يمين B_2، ψ_T، تراكباً لجميع الأمواج الجزئية المرسلة: $\psi_T = \psi_{T1} + \psi_{T2} + \ldots$. في هذه السلسلة تكون ψ_{Tn} قد اجتازت انعكاسين داخليين إضافيين وكذلك رحلة ذهاباً وإياباً بين الحاجزين مقارنة مع ψ_{Tn-1}. b، إرسال موجة إلكترونية، ψ، من خلال طول سلك قذفي بين إلكترودين مع تماسات جزئية الانعكاس. تجتاز موجة الإلكترون انعكاسات متعددة إلى الخلف وإلى الأمام على طول السلك بين سلكي إلكترودات التماس. يكون السلك القذفي في تجربة لينغ وزملائه أنبوب كربون نانوياً أحادي الجدار معدنياً طوله مئات من النانومترات.

المرسلة مباشرة إلى التيار الكهربائي، I، المار في مثل هذه المنظومة تحت فولطية مطبّقة V بين الإلكترودين.

يبيّن لينغ وزملاؤه في تجربتهم أن أنبوب الكربون النانوي أحادي الجدار SWNT المعدني الواقع بين إلكترودين، بتماسات انعكاسية ضعيفة، يبدي إختلافات بسيطة منتظمة في المناقلة التفاضلية G حيث، $G = dI/dV$، كتابع لـ V ولفولطية البوابة V_g. تتحكم الفولطية المطبّقة، V، بالطاقة الكلية التي ستدخل فيها الإلكترونات إلى الأنبوب النانوي، في حين تتحكم V_g بطاقتها الكامنة في الأنبوب النانوي. ومن أجل ذلك الغرض تتحكم كل من V و V_g بالطاقة الحركية للإلكترونات التي تسهم في التيار وبالتالي في طولها الموجي أيضاً. إن تحليل التداخل الموجي يُعدّ الآن أكثر تعقيداً، لأن هنالك حالتين كموميتين ممكنتين من أجل نقل الإلكترون خلال الأنبوب النانوي [9]، مع أن المبادىء تبقى نفسها.

إن أي تبعثر مهم في الإلكترونات داخل الأنبوب النانوي سيؤثر على سعات وأطوار أمواج الإلكترونات الجزئية المرسلة في الإلكترود البعيد، وبالتالي سيؤثر على نموذج تداخل المناقلة الملاحظ. وهكذا تقدّم نتائج لينغ وزملائه دليلاً على أن الإلكترونات تجتاز طول الأنبوب النانوي – مئات النانومترات أو آلاف الذرّات – قذفياً بدون تبعثر مهم. وهكذا يمكن الاعتقاد أن نبيطتهم تمثل جوفاً تجاوبياً من أجل الإلكترونات التي يعمل فيها SWNT المعدني كدليل موجة وتعمل فيها التماسات بين الأنبوب النانوي والإلكترودين كحواجز عاكسة ضعيفة، كما يبيّن نموذجهم.

إن النبائط، كنبيطة لينغ وزملائه، ممكنة الصنع، حتى ولو كان هنالك عدم انتظام كيميائي أو بنيوي متبق في الأنبوب النانوي. وهذا ينتج لأن الإلكترونات العابرة في الأنبوب النانوي لا تعاني من عدم الانتظام هذا، ولكنها تعاني من معدّل النعومة على محيط الأنبوب. وهذا يتضمن أن المسافة المميزة التي يمكن للنقل القذفي فيها أن يدوم في الأنبوب، l، ستزداد في الأنابيب الأكبر قطراً [2]. يوجد طبعاً بعض القيود العملية، كقابلية تداعي الأنابيب التي قطرها كبير جداً. ولكن هذه العلاقة بين l والقطر تعني أن الأنابيب المعدنية التي لها أقطار نانومترية، مثل التي استخدمها لينغ وزملاؤه، يمكن أن تكون قذفية على مسافة تزيد عن مكرومتر [2].

إن الزيادة في l كنتيجة لمعدّل أفضل من عدم الانتظام في الأنابيب الأكبر قطراً ممكنة فقط بسبب الخاصة الاستثنائية لـ SWNTs المعدنية: إن عدد الحالات الكمومية المتاحة لنقل الإلكترونات خلال الأنبوب لا تعتمد على قطره [2]. تسمح هذه الخاصة المفتاحية لإلكترونات النقل في الأنابيب الأكبر قطراً أن تستفيد من الحصول على معدّل أفضل على محيط الأنبوب بدون مجابهة حالات إضافية من أجل تبعثر راجع للإلكترون. ستظهر هذه الحالات الإضافية في الأسلاك المعدنية العادية في مقطعها العرضي المتزايد، مما يؤدي إلى إقصاء الفوائد المتوخاة من معدّل عدم الانتظام.

يمكن لـ SWNTs النصف معدنية (وهي فصيلة من الـ SWNTs ليست معدنية تماماً بسبب بنيتها الأصيلة) أن تتقاسم أيضاً هذه الخاصة مع الـ SWNTs المعدنية، وهكذا تُظهر علاقة مشابهة بين l والقطر. هذه الخاصة المفتاحية لـ SWNTs المعدنية مرتبطة أيضاً بصورة أساسية مع ثباتها تجاه تشوه بيرلز Peierls (وهو تحطم تناظر تلقائي سيحولها إلى أنصاف نواقل)، ومن هنا ستكون هذه الخاصة رئيسة بالنسبة للنقل [9]. إضافة إلى ذلك، فإن خواصها المتعلقة بها تعني أن النقل في SWNTs المعدنية يجب أن يكون غير حساس إلى عدم الانتظام البعيد المدى [9،5] والانحناء [10،2].

لقد زودتنا الطبيعة، مع SWNTs المعدنية، بدلائل موجة إلكترونية قوية ميكانيكياً و مرنة. تقترح الميزة القذفية لهذه الأسلاك النانومترية القطر أنها يمكن أن تكون مقاومة للهجرة الكهربائية – إعادة الترتيبات الذرّية

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

والانتشار - الناتجة عن القوى المحرّضة بالتيار على الذرّات الواقعة في مناطق تبعثر الإلكترون [11]. إن عطب الهجرة الكهربائية هو فشل الآلية المركزية في الأسلاك المعدنية التقليدية المستخدمة في مجموعة الدارات الإلكترونية، وهي تُعدّ من المشاكل الأكثر إزعاجاً التي واجهتها الصناعة الإلكترونية. ورغم أن النقل القذفي من خلال دليل موجة الأنبوب النانوي يظهر قوياً، إلا أنه سيتأثر بالبيئة المحيطة بالأنبوب على مسافات بعيدة بشكل كافٍ. ومن هنا، فإن نبائط كالتي صنعها ليانغ وزملاؤه - ولاسيما تلك التي تكون فيها المسافة الفاصلة بين الإلكترودين هي الأكبر - يمكن استخدامها كمقاييس انفعال منمنمة، أو كمكاشيف لكمّيات قليلة جداً من أنواع كيميائية غريبة. وإن القدرة الظاهرة لـ SWNTs المعدنية على إرسال أمواج إلكترونية كمومية بدون خسارة بالمعلومات يمكن أن توجه الانتباه أيضاً إلى الحقل البازغ في الحوسبة الكمومية.

المراجع REFERENCES

[1] Liang, W. et al. Nature 411, 665-669 (2001).

[2] White, C. T. & Todorov, T. N. Nature 393, 240-242 (1998).

[3] Tans, S. J. et al. Nature 386, 474-476 (1997).

[4] Frank, S., Poncharal, P., Wang, Z. L., & De Heer, W. A. Science 280, 1744-1746 (1998).

[5] Ando, T. & Nakanishi, T. J. Phys. Soc. Jpn 67, 1704-1713 (1998).

[6] McEuen, P. L., et al. Phys. Rev. Lett. 83, 5098-5101 (1999).

[7] Hecht, E. Optics (Addison-Wesley, Reading, MA, 1987).

[8] Büttiker, M., Imry, Y., Landauer, R. & Pinhas, S. Phys. Rev. B 31, 6207-6215 (1985).

[9] Mintmire, J. W. et al. Phys. Rev. Lett. 68, 631-634 (1992).

[10] Kane, C. L. & Mele, E. J. Phys. Rev. Lett. 78, 1932-1935 (1997).

[11] Todorov, T. N., Hoekstra, J. & Sutton, A. P. Phil. Mag. B 80, 421-455 (2000).■

9- الرواية المعقدة للهدروجين*

الهدروجين الجزيئي (H_2) هو أكثر الأنواع وفرة في الكون. ورغم أنه أيضاً أكثر الجزيئات بساطة، فإن حالاته الإلكترونية تبدي كثيراً من التعقّد المدهش. يُظهر الدليل للعيان إمكانية أن يلعب هذا التعقّد دوراً رئيساً ومفتاحياً في العمليات الفلكية التي تشمل H_2، مع تضمينات مهمة للتطور الكيميائي في الفضاء.

إن الهدروجين الذرّي (H)، الذي استهلّ انتقاله الفائق الدقة عند 1420 ميغاهرتز علمَ الفلك الراديوي الذرّي والجزيئي، يتخلل المادة الغازية المنتشرة في المجرّات، ولكنه يكون في المناطق البينجمية الكثيفة، بما فيها مراكز المجرّات، بشكل جزيئي. ومن سوء الحظ، يكون طيف الامتصاص للهدروجين H_2 الذي يمكن الحصول عليه من على الأرض ضعيفاً. يمكن رصد H_2 فقط من على سطح الأرض إذا كان يشكل غازاً مسخناً جداً، حيث يُرى إصدار اهتزازه بسهولة [1]. يمكن ملاحظة الأطياف الإلكترونية للهدروجين بالمراصد من خارج جو الأرض [2،3] (انظر الأشكال).

يمكن للحالة الإلكترونية لـ H_2 أن تكون بسيطة بشكل استثنائي. فحالته الأساسية $^1\Sigma_g^+$، التي هي النموذج التربوي للرابطة الكيميائية، قد عولجت تقليدياً بنظرية الرابطة التكافؤية أو نظرية المدار الجزيئي. إن تابع الطاقة الكامنة لهذه الحالة هو النموذج لتقريب بورن-أوبنهايمر Born-Oppenheimer وفقاً لإمكانية معالجة الحركة النووية والحركة الإلكترونية بشكل منفصل بسبب الاختلاف الكبير بين مقياسيّ زمني حركتيهما. إن الحالة الثلاثية المثارة $^3\Sigma_u$ تنافرية بشكل أساسي، والانتقالات الضوئية بين الحالتين المفردة والثلاثية ممنوعة إلى حدٍ كبير.

في هاتين الحالتين، تكون الذرتان (المعزولتان طاقياً)، في الحالة الأساسية H(1s). ومن ناحية ثانية، إذا أُثيرت إحدى هاتين الذرّتين، يصبح من الممكن الحصول على عددٍ كبير من الحالات الذرّية. وتصبح الحالات الإلكترونية لـ H_2 عندئذ معقّدة على نحو استثنائي، مع نهايات صغرى متعددة وتشابك قوي بين الحركة النووية والحركة الإلكترونية، بحيث يجري انتهاك تقريب بورن-أوبنهايمر ويصبح مفهوم منحنى الطاقة الكامنة لا فائدة منه.

إن السمات المميزة للحالات الإلكترونية لـ H_2 واستجابته الضوئية أكثر ما تُرى بشكل جلي في المناطق المنارة مثل السُحُب البينجمية المنتشرة أو المناطق التي تسود فيها الفوتونات قرب النجوم الساطعة. في هذه المناطق، يتحول الهدروجين الذرّي والجزيئي بينياً بسبب التفريق الضوئي لـ H_2 وإعادة الاتحاد السطحي [4] لذرّتين من الهدروجين. يوجد لحقل الإشعاع المجرّي نهاية علوية حادة عند 13.6 إلكترون فولط لأن الامتصاص من خلال التأين الضوئي للهدروجين الذرّي يترك قليلاً جداً من الإشعاع المصحوب بطاقة أعلى. إن طاقة التفكك للحالة الأساسية لـ H_2 تساوي 4.5 إلكترون فولط وأقل طاقة للحالات الضوئية المسموح بها لـ H_2 بالنسبة إلى 2H تساوي 10.2 إلكترون فولط. ومن هنا، فإن طاقات الفوتون المطلوبة من أجل التفريق الضوئي المباشر يجب أن تكون أكبر من 14.7 إلكترون فولط. وهذا يتجاوز الحد الأعلى الملاحظ، وبالتالي فإن التفريق الضوئي لـ H_2 يسير خلال طريق عالي اللاخطية وغير مباشر.

تحدث عملية التفريق الضوئي من خلال مرحلتين. يجري أولاً امتصاص الطاقة خلال الانتقالات المسموح بها بين الحالة الأساسية والحالتين المثارتين B و C. لهاتين الحالتين طاقتان محددتان بوضوح بين 11 و 13 إلكترون فولط. وهكذا، لا يتم فيهما إلّا امتصاص تواترات مُختارة من الإشعاع، وهي التواترات المحمدة أسياً، حاجبةً بذلك الجزء الداخلي من السحابة بواسطة الطبقة الخارجية. يكون فصل التوازن البيني النووي

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol 293, 3 August 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

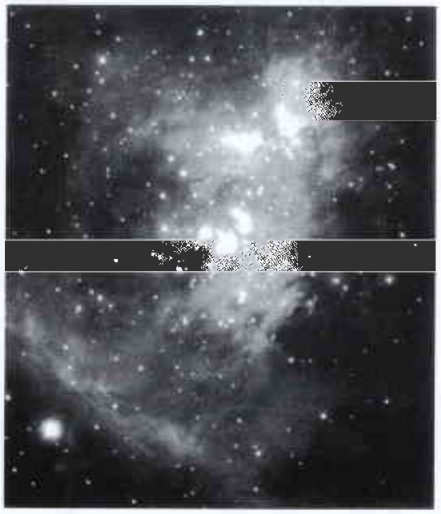
في B و C أكبر بكثير منه في الحالة الأساسية. لا تتحرك النواتان أثناء الامتصاص، ولكنهما تنفصلان فيما بعد. يتفكك جزيء H_2 عند إعادة الإصدار من الحالتين الاهتزازيتين المرتبطتين B و C إلى منطقة التفكك للحالة الأساسية عندما تكون النواتان قد تحركتا بعيداً منفصلتين بعضهما عن بعض بشكل كافٍ. تكون اللاخطية الكبيرة للمنظومة نتيجة امتصاص الخط الحاد. وهي محجوبة ذاتياً بسبب الحجوم الكبيرة من H_2.

إن للحالات الإلكترونية ذات الطاقة الأعلى لـ H_2 العديد من العواقب غير انفصالاتها النووية البينية المختلفة. تعتمد الاستجابة الضوئية لـ H_2 على حالاته الإلكترونية المثارة التي تكون معقّدة [5]. تكون كثافة سويات الطاقة الإلكترونية لذرّتين من H مرتبطتين بعضهما مع بعض ولكن إحداهما مثارة، مرتفعة جداً. يمكن للتآثر بين الذرّتين أن يمتد على مدى واسع جداً، ومتباين مثل $1/R^3$، حيث تدل R على الفصل النووي البيني. أما المدى الواسع الثاني للتآثر فهو للحالات الأيونية H^+H^-. يتقاطع المنحني الأيوني مع منحنى الحالة $H(1s)H(n=4)$ (حيث n العدد الكمومي الرئيس لـ H) عند مسافات بعيدة جداً. يحصل التقاطع للحالة الأيونية مع الحالة $n=3$ عند المسافة 20 أنغستروم، ومع الحالة $n=2$ عند المسافة 4 أنغستروم. وهكذا، يختلف سلوك تابع الموجة الإلكتروني مع المسافة النووية البينية، ويمكن أن يتغير بصورة حادة في جوار التقاطع. يمكن أن تنتج تقاطعات متعددة في الخلط المعقّد للحركة الإلكترونية والنووية.

لا تزال حالة H_2 الأولى التي تُعرف بأن لها نهايات صغرى متعددة توسم بـ EF بسبب الاعتقاد الذي كان سائداً في البداية بأنها تتألف من حالتين إلكترونيتين متميزتين هما E و F، وتبلغ المسافة البينية بينهما 1.01 و 2.31 أنغستروم بالترتيب. بيّن التحليل النظري [6] وجود منحنى كظيم أحادي. لقد قُبلت فكرة المصاوغات المتعددة على سطح كموني إلكتروني أحادي كمعيار للجزيئات المتعددة الذرّات ولكن اعتُقد أن ذلك نادر من أجل الجزيئات الثنائية الذرّة التي لها إحداثيات هندسية نووية أحادية. تُعرف حالياً حالات إلكترونية عديدة للتناظر $^1\sum_g^+$ مع نهايات صغرى متعددة [4]. يثبت النظرية والتجربة هذه الظاهرة من أجل التناظر الإلكتروني الثاني [7]. يملك منحنى الطاقة الكموني في المنظومة الأخيرة نهاية صغرى عند البعدين 1.05 و 5.7 أنغستروم. شوهد أيضاً التعقّد في سويات الطاقة الإلكترونية لـ H_2 في طواعيته الإلكترونية والمغنطيسية. وجرى توضيح المغنطيسية المسايرة المفاجئة في حالة واحدة [4] بأنها نتيجة الخلط مع حالة مثارة مجاورة. وصِف تأثير ستارك Stark الجزيئي أيضاً من أجل حالات مثارة من H_2 [8]. ينتج عزم ثنائي القطب الكهربائي الظاهر لهذه الحالات من الجوار القريب المألوف لحالات gerade و ungerade، أي الحالات التي تكون توابع الموجة فيها متناظرة وعكسية التناظر بالترتيب بالنسبة إلى عملية العكس.

غزارة الهدروجين الجزيئي: إن هذه الصورة المأخوذة لسديم كلايمان لو في أوريون بواسطة تلسكوب سوبارو في اليابان قد تشكلت بسبب إنبعاث الأشعة تحت الحمراء نتيجة الانتقال الاهتزازي للهدروجين الجزيئي من حالة الإثارة الأولى إلى الحالة الأساسية.

تعتمد تفعالية H_2 على الحالات الإلكترونية التي يمكن الوصول إليها. ومن بين العمليات الأسهل انتقال الإلكترون والبروتون. إن الكيمياء الغنية بالأنواع العضوية التي لوحظت من قِبَل علماء الفلك الراديوي [9] تحصل قبل كل شيء في السُحُب الجزيئية القاتمة الضخمة الكثيفة التي لا يمكن اختراقها بضوء النجوم. وهنا تبدأ العمليات الجزيئية بواسطة تأيين الأشعة الكونية لـ H_2 و He. ويكون He أكثر وفرة بألف مرة من CO.



سديم الجوزاء: يمكن في صورة الميّز الأخفض هذه من تلسكوب سوبارو رؤية كلايمان لو في أعلى الصورة من اليمين.

تُبدي التفاعلات الثانوية لنواتج الأيون، H_2^+ و He^+، مع H_2 المتعادل السائد، تعقّداً إلكترونياً. تؤدي التصادمات إلى تحول H_2^+ إلى H_3^+ بسهولة [10]. والتفاعلات $He^+ + H_2 \rightarrow HeH^+ + H$, $He + H_2^+$, أو $He + H + H^+$ الشديدة النشر للحرارة لا تحدث بصورة أساسية، في حين يحصل التفاعل $H_2^+ + He \rightarrow HeH^+ + H$ الأقل نشراً للحرارة إلى حدٍ كبير عند تواتر التصادم [11]. إن فقدان تفعالية H_2 مع He^+ هي التي تسمح لعلماء الفلك الراديوي بملاحظة الكيمياء العضوية البينجمية. إن أصل الأخير موجود في الإنتاج الوافر لأيونات الكربون بسبب التفاعل $He^+ + CO \rightarrow C^+ + O + He$. يضيف الأيون C^+ فعالية للأنواع العضوية الموجودة وبذلك يزيد في طول سلسلتها الكربونية معطياً كوناً جزيئياً مشوقاً وغنياً بالعضوية.

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

REFERENCES المراجع

[1] T. R. Geballe, ASP Conf. Ser. 41, 147 (1993).

[2] L. Spitzer, W. D. Cochran, A Hirshfeld, Astrophys. J. Suppl. Ser. 28, 373 (1974).

[3] D. C. Morton, Astrophys. J. 197, 85 (1975).

[4] O. Biham, I. Furman, V. Pirronello, G. Vidale, Astro-phys. J. 553, 595 (2001).

[5] J. Rychlewski, Adv. Quantum. Chem. 31, 173 (1999).

[6] E. R. Davidson, J. Chem. phys. 33, 1577 (1960).

[7] A. de Lange, W. Hogervorst, W. Ubachs, L. Wolneiwicz, phys. Rev. Lett. 86, 2988 (2001).

[8] J. Stark, Wien and Harms Handbuch d. Experimental-physik, vol. XXI (Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1927), p. 442.

[9] E. Herbst, Annu. Rev. Phys. Chem. 46, 27 (1995).

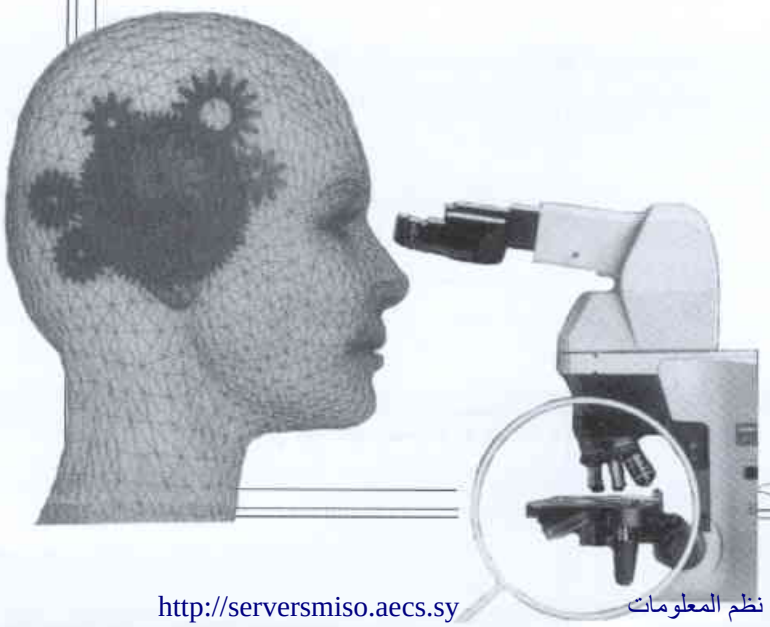
[10] B. J. McCall, T. R. Geballe, K. H. Hinkle, T. Oka, Astro-phys. J. 522, 338 (1999).

[11] B. H. Mahan, Acc. Chem. Res. 8, 55 (1970).■

☆ ★ ☆

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

ورقات البحوث



الخواص الحرارية الإحصائية للمادة النووية والتحول الطوري النووي سائل–غاز★

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

ملخص

تتم دراسة الخواص الحرارية الإحصائية للمادة النووية، المتناظرة واللامتناظرة، باعتماد نظرية الحقل الوسطي النسبوي عند درجة حرارة محدودة. يؤدي الوصف الإحصائي، الذي يستخدم الكمون القويم الشامل، إلى معادلة حالة تصف التحول الطوري النووي سائل – غاز على أنه من الدرجة الأولى. يتم التحول الطوري عند طاقة إثارة تتراوح بين 15-16 MeV للنكليون الواحد، وكثافة تتراوح بين 0.3-0.4 من كثافة إشباع المادة النووية المتناظرة. تتفق هذه النتائج مع الدلائل التجريبية الناتجة عن قياس توزع الشظايا في تفاعلات تصادم الأيونات الثقيلة.

الكلمات المفتاحية: نظرية الحقل الوسطي النسبوي، الكمون القويم الشامل، معادلة الحالة النووية، تفاعلات الأيونات الثقيلة، التحول الطوري النووي سائل – غاز.

مقدمة

تعددت الدراسات التجريبية والنظرية لتفاعلات الأيونات الثقيلة عند طاقات إثارة تتراوح بين بضع عشرات وبضع مئات الـ MeV للنكليون الواحد. أوضحت هذه الدراسات أن آلية التفاعل الأهم في مجال الطاقة هذا هي تداعي الجملة النووية إلى شظايا معقدة $Z \geqslant 3$ [1]. رغم الجهود التجريبية والنظرية المبذولة، ما تزال هذه الآلية غير واضحة تماماً. إلا أن الحدث الأساسي هو التحول الطوري سائل – غاز للمادة النووية [2].

دلت التحاليل، التي اعتمدت على قدر ملحوظ من البيانات التجريبية، على أن الآلية المؤدية إلى تداعي الجملة النووية إلى شظايا معقدة هي ذات طبيعة إحصائية، أي أن التحاليل التجريبية تدل على أن تعدد الشظايا يتعلق فقط بطاقة إثارة الجملة، وليس بطبيعة النوى المتصادمة أو بطاقة الصدم [1].

تمت دراسة الخواص الحرارية الإحصائية للمادة النووية في هذا العمل باعتماد نظرية الحقل الوسطي النسبوي عند درجة حرارة محدودة. استطاعت هذه النظرية باستخدام عدد محدود من الوسطاء إعطاء وصف كمي دقيق لخواص النوى الكروية والمفلطحة، القريبة من خط الاستقرار والبعيدة عنه [3].

تتضمن الفقرة 2 وصفاً مقتضباً لنظرية الحقل الوسطي النسبوي. تركز الفقرة 3 على الوصف الإحصائي للخواص الحرارية للمادة النووية باستخدام الكمون القويم الشامل، الذي يستخدم في اشتقاق معادلة الحالة ووصف التحول الطوري النووي سائل – غاز. تلخص الفقرة 4 النتائج الأساسية لهذا العمل.

نظرية الحقل الوسطي النسبوي

تأخذ الطاقة الذاتية في نظرية الحقل الوسطي النسبوي RMF مع الميزونات σ، ω، ρ [4] الشكل التالي:

$$\Sigma = \Sigma_s + \gamma^0 \Sigma_0 \ , \tag{1}$$

حيث Σ_s المركبة السُلَّمية للطاقة الذاتية و Σ_0 المركبة الشعاعية. وتنتج الطاقة الذاتية عن مجموع مساهمات الميزونات الثلاثة:

$$\Sigma_s^{(\sigma)} = -\frac{g_\sigma^2}{m_\sigma^2}\rho_s - \frac{g_2}{m_\sigma^2 g_\sigma}\left(\Sigma_s^{(\sigma)}\right)^2 - \frac{g_3}{m_\sigma^2 g_\sigma^2}\left(\Sigma_s^{(\sigma)}\right)^3 \tag{2}$$

$$\Sigma_0^{(\omega)} = +\frac{g_\omega^2}{m_\omega^2}\rho_B \ , \tag{3}$$

و:

$$\Sigma_0^{(\rho)} = \tau_3 \frac{g_\rho^2}{m_\rho^2}\left(\rho_p - \rho_n\right) \ . \tag{4}$$

$\tau_3 = +1$ بالنسبة للبروتونات، و$\tau_3 = -1$ بالنسبة للنترونات. m_i وg_i هما ثابتة ارتباط وكتلة الميزون i حيث $i = \sigma, \omega, \rho$. g_2 و g_3 ثوابت الاقتران اللاخطي.

عند درجة الحرارة المحدودة T تعطى الكثافتان السُلَّمية ρ_s والباريونية ρB بالعلاقتين [5]:

$$\rho_s = \frac{1}{\pi^2}\int_0^\infty p^2 dp \frac{M}{\varepsilon(p)}\left(f_-(p) + f_+(p)\right) \tag{5}$$

$$\rho_B = \frac{1}{\pi^2}\int_0^\infty p^2 dp \left(f_-(p) - f_+(p)\right) \tag{6}$$

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Acta Physica Polonica B*, Vol. 32, 14 February 2001.

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

حيث $\beta = 1/T$ و:

$$f_-(p) = \left(e^{\beta(\varepsilon(p)+\Sigma_0-\mu)}+1\right)^{-1} \quad (7)$$

$$f_+(p) = \left(e^{\beta(\varepsilon(p)-\Sigma_0+\mu)}+1\right)^{-1} \quad (8)$$

$$\varepsilon(p) = \left(p^2+M^2\right)^{1/2} \quad (9)$$

$$M = m_N + \Sigma_s \quad (10)$$

m_N هي كتلة النكليون. يحسب الكمون الكيميائي μ من العلاقة (6) باستخدام الكثافة المعطاة للباريونات ρB.

كثافة البروتونات ρ_p وكثافة النترونات ρ_n هما مركبتا الأيزوسبين الموجبة والسالبة للكثافة الباريونية $\rho B = \rho_p + \rho_n$ و δ هو عامل اللاتناظر المعرف بالعلاقة:

$$\delta = \frac{(\rho_n - \rho_p)}{\rho_B} \quad (11)$$

تعطى كثافة الطاقة بالعلاقة [6]:

$$e = \rho_v + \left(m_N + \frac{1}{2}\Sigma_s\right)\rho_s + \frac{1}{2}\Sigma_0\rho_B - \frac{1}{6}g_2\left(\frac{\Sigma_s}{g_\sigma}\right)^3 - \frac{1}{4}g_3\left(\frac{\Sigma_s}{g_\sigma}\right)^4 \quad (12)$$

حيث:

$$\rho_v = \frac{1}{\pi^2}\int_0^\infty p^4 dp \frac{1}{\varepsilon(p)}\left(f_-(p)+f_+(p)\right) \quad (13)$$

أما طاقة النكليون الواحد فهي معطاة بالعلاقة:

$$(E/A)(\rho_B,\delta,T) = e/\rho_B \quad (14)$$

تُعطى إنتروبية النكليون الواحد بالعلاقة [5]:

$$\sigma = \frac{-1}{\pi^2\rho_B}\int_0^\infty p^2 dp \quad [f_-(p)\ln f_-(p) + f_+(p)\ln f_+(p) + (1-f_-(p))\ln(1-f_-(p)) + (1-f_+(p))\ln(1-f_+(p))] \quad (15)$$

يعتمد هذا العمل مجموعة وسائط الاقتران NL3 المأخوذة من المرجع [3] في إجراء حسابات الحقل الوسطي النسبوي. يعرض الجدول 1 في آن واحد مجموعة وسائط الاقتران NL3، مع خواص إشباع المادة النووية الناتجة عن استخدامها.

التحول الطوري سائل – غاز في معادلة الحالة النووية

يظهر الشكل 1 تغير طاقة النكليون الواحد مع ارتفاع درجة الحرارة بالنسبة للمادة النووية المتناظرة. تُعرَّف طاقة إثارة النكليون الواحد

الجدول 1– مجموعة وسائط الاقتران NL3 وخواص إشباع المادة النووية الناتجة عن استخدامها. ρ_0 هي كثافة الإشباع النووي، a_v طاقة إشباع النكليون الواحد (الطاقة الحجمية)، a_4 الطاقة التناظرية، و M الكتلة المختزلة عند نقطة الإشباع.

Meson	σ	ω	ρ
$m_i(MeV)$	508.194	782.501	763
g_i	10.217	12.868	4.474
$g_2(fm^{-1})$	-10.431		
g_3	-28.885		
$\rho_0(fm^{-3})$	$a_v(MeV)$	$a_4(MeV)$	M/m_N
0.148	-16.299	37.4	0.60

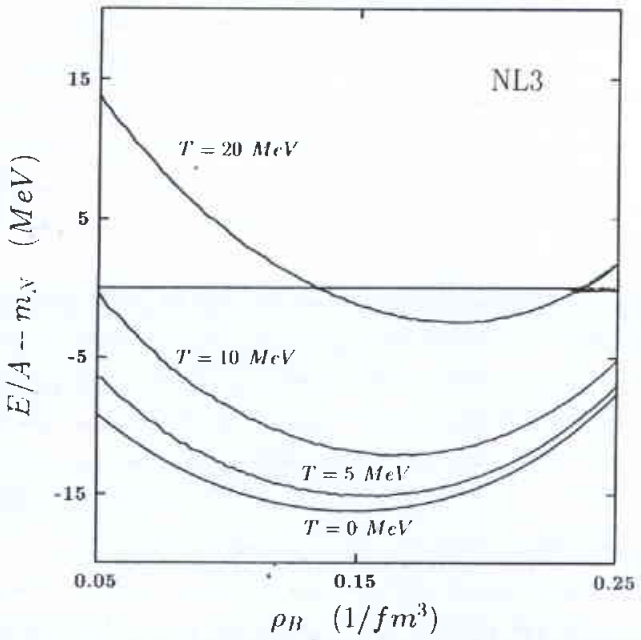
على أنها الفرق بين طاقة النكليون عند درجة الحرارة T وطاقته في الحالة الدنيا:

$$(E^*/A)(\rho_B,\delta,T) = (E/A)(\rho_B,\delta,T) - (E/A)(\rho_B,\delta,T=0) \quad (16)$$

يدل الشكل 1 على أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي عند الكثافات المنخفضة إلى طاقة إثارة للنكليون الواحد أعلى منها عند الكثافات المرتفعة. يتفق هذا مع النتائج اللانسبوية الواردة في المرجع [7].

يمكن استخلاص الخواص الحرارية الإحصائية لجملة ما من كثافة الكمون القويم الشامل لهذه الجملة:

$$\omega(T,\mu) = e - \mu\rho_B - T\sigma\rho_B \quad (17)$$



الشكل 1– تغير طاقة النكليون الواحد مع ارتفاع درجة الحرارة بالنسبة للمادة النووية المتناظرة.

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

يضم الحد الأخير $\sigma\rho_B$، نظراً لتعريف σ في العلاقة (15) على أنها إنتروبية النكليون الواحد. وبالتالي $\sigma\rho_B$ هي الكثافة الإنتروبية. بما أن الضغط يعطى بالعلاقة [8]:

$$p = -\frac{\partial \Omega}{\partial V} = -\omega \qquad (18)$$

حيث Ω الكمون القويم الشامل للجملة الإحصائية، وبما أن كلاً من الكمون الكيميائي μ، كثافة الطاقة e، وكثافة الإنتروبية $\sigma\rho_B$ يعطى عند درجة حرارة معينة بدلالة الكثافة الباريونية ρ_B وعامل اللاتناظر δ، فإننا نحصل على معادلة الحالة للمادة النووية:

$$p(\rho_B, \delta, T) = T\rho_B\sigma(\rho_B, \delta, T) + \rho_B\mu(\rho_B, \delta, T) - e(\rho_B, \delta, T) \qquad (19)$$

يعتبر التحول الطوري سائل - غاز للمادة النووية الحدث الأساسي الملاحظ في تفاعلات الأيونات الثقيلة، عند طاقات إثارة تتراوح بين بضع عشرات وبضع مئات الـ MeV للنكليون الواحد [2]. أعطت التجارب التي تم إجراؤها على مطياف علاء الدين ALADIN في مخابر الـ GSI في دارمشتات بألمانيا الاتحادية دليلاً واضحاً على حدوث هذا التحول الطوري [9]، وذلك عند دراسة المنحني الحراري الذي تم قياسه في تفاعلات تصادم Au+Au عند الطاقة 600 A MeV. لوحظ أن درجة الحرارة تبقى ثابتة عند القيمة T-5 MeV، عندما تتغير طاقة إثارة النكليون الواحد في المجال 4-10 MeV. ويمثل هذا المجال الطاقة المتأخرة latent heat لعملية التبخر.

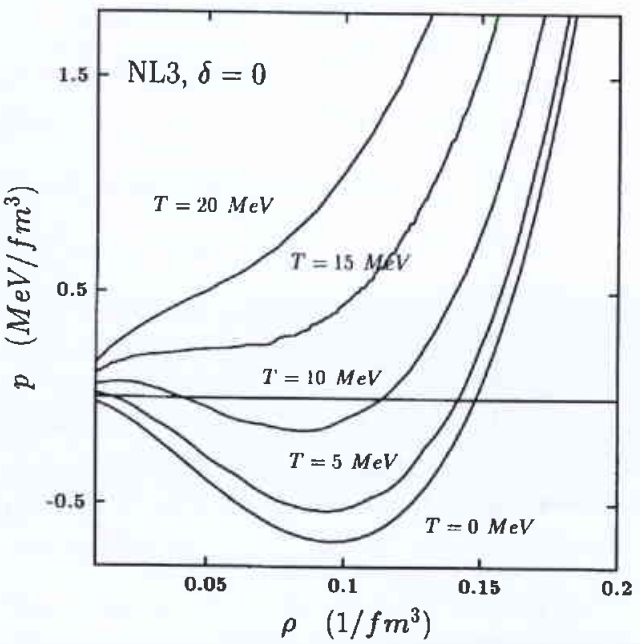
إن دراسة التحول الطوري النووي سائل - غاز باستخدام تفاعلات الأيونات الثقيلة مبنية على ثلاث فرضيات أساسية لاتزال بحاجة إلى الإثبات. الفرضية الأولى هي إمكانية تطبيق التوازن الحراري الديناميكي على جملة تتألف من بضع مئات من النكليونات. وتفترض الثانية حدوث توازن حراري منتظم قبل حدوث التشظي المتعدد. أما الفرضية الثالثة فهي أن توزع الشظايا يرتبط مباشرة بحالة التوازن الحراري المنتظم الذي تم بلوغه قبل التشظي. يمكن استخدام نماذج المجموعة القويمة canonical ensemble في وصف حوادث التشظي النووي [10] بناء على هذه الفرضيات. إن معادلة الحالة للمادة النووية، والناتجة عن نظرية الحقل الوسطي النسبوي، هي العنصر الأساسي في التحليل الحالي. تمتاز نظرية الحقل الوسطي النسبوي بأنها منسجمة حرارياً، أي أنها تتفق مع قواعد الديناميك الحراري وفرضية معدل الطاقة virial theorem [2]، مما يسمح بافتراض علاقة بين التحول الطوري في معادلة الحالة النووية، والتحول الطوري الفعلي الملاحظ في تفاعلات الأيونات الثقيلة. رغم أن هذا التحليل يبسط المسألة، إلا أنه يسمح بإعطاء وصف محدد للتحول الطوري من خلال تحديده للنقطة الحرجة، والتي يظهر عندها التحول الطوري [2,10,11].

يتوجب إضافة ملاحظتين قبل متابعة هذا العمل. ترتبط الأولى بإمكانية استخدام نظريات أكثر تطوراً من الحقل الوسطي النسبوي في دراسة التحول الطوري النووي سائل - غاز، كاستخدام نظرية بركنر - هارتري - فوك النسبوية Brueckner-Hartree-Fock RBHF على سبيل المثال [11]. إن إجراء حسابات عددية عند درجة حرارة محدودة باستخدام هذه النظرية ليس بالأمر السهل. كما أنه لا حاجة لإجراء مثل هذه الحسابات عند دراسة التحول الطوري النووي سائل - غاز، فنظرية RBHF تأخذ بعين الاعتبار تأثير الارتباط بين النكليونات، ويختفي هذا التأثير عندما تتجاوز درجة الحرارة حوالي 3 MeV، أي قبل ظهور التحول الطوري بكثير، وهذا ما يجعل نظرية الحقل الوسطي النسبوي الأنسب لدراسة هذا التحول.

ترتبط الملاحظة الثانية بإمكانية استخدام حسابات ديناميكية نسبوية، تصف التحول الطوري على أنه ثنائي البعد في حالة المادة النووية اللامتناظرة [2]. تسمح هذه الحسابات باستخدام قيمتين مختلفتين لعامل اللاتناظر في الطورين السائل والغازي، مما يؤدي إلى درجة حرية إضافية. إن قيمة عامل اللاتناظر ثابتة في الحسابات الإحصائية التي يستخدمها هذا العمل، أي أن لهذا العامل القيمة ذاتها في كلا الطورين. ستتم دراسة تأثير قيمتين مختلفتين لهذا العامل في الطورين على التحول الطوري في نهاية هذا المقطع.

يعرض الشكل 2 نتائج حسابات الضغط كتابع للكثافة الباريونية عند درجات حرارة مختلفة بالنسبة للمادة النووية المتناظرة. يدل الشكل على حدوث تحول طوري عند درجة حرارة قريبة من الـ 15 MeV.

تمَّ في هذا العمل تحديد درجة الحرارة الحرجة T_c، وهي درجة الحرارة التي يتم عندها التحول الطوري النووي سائل - غاز، بدقة قدرها ± 0.5 MeV. يتم تحديد الكثافة الحرجة ρ_c، وهي الكثافة عند نقطة انعطاف التابع $p(\rho B, T_c)$ بدقة قدرها ± 0.01 fm^{-3}. ويتم تحديد الضغط الحرج p_c، وهو الضغط عند الكثافة الحرجة ودرجة الحرارة الحرجة، بدقة قدرها ± 0.05 MeV/fm^3. كما يتم تحديد طاقة الإثارة الحرجة للنكليون الواحد E_c^*/A، وهي طاقة إثارة النكليون الواحد عند النقطة الحرجة، بدقة قدرها



الشكل 2- الضغط كتابع للكثافة عند درجة حرارة مختلفة بالنسبة للمادة النووية المتناظرة.

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

MeV ±0.5. يتضمن الجدول 2 الخواص الحرجة التي تم الحصول عليها عند قيم مختلفة لعامل اللاتناظر. يلاحظ انخفاض كافة المقادير الحرجة مع ازدياد قيم عامل اللاتناظر، بما يتفق مع النتائج اللانسبوية [7] ونتائج الحسابات الديناميكية [2].

الجدول 2– الخواص الحرجة الناتجة عن استخدام مجموعة وسائط الاقتران LN3 من الجدول 1 عند قيم مختلفة لعامل اللاتناظر δ. T_c هي درجة الحرارة الحرجة، ρ_c الكثافة الحرجة، P_c الضغط الحرج، و E_c^*/A طاقة الإثارة الحرجة للنكليون الواحد.

	$\delta = 0.0$	$\delta = 0.2$	$\delta = 0.5$
$T_c(MeV)$	15.0	14.0	11.5
$\rho_c(1/fm^3)$	0.05	0.05	0.04
$p_c(MeV/fm^3)$	0.20	0.20	0.15
$E_c^*/A(MeV)$	15.5	14.5	11.0

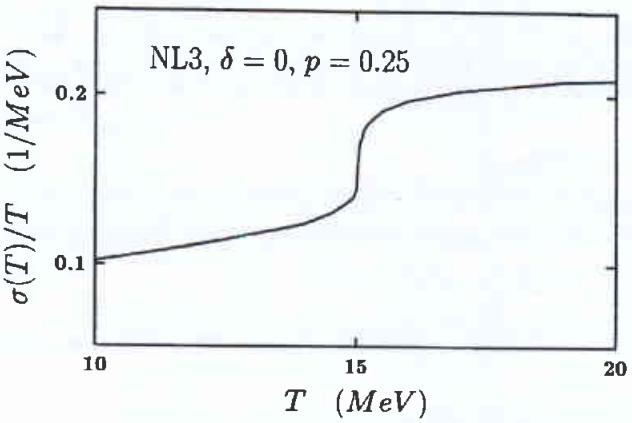
يلاحظ أن التحول الطوري يتم عند طاقة إثارة تتراوح بين 16-15 MeV للنكليون الواحد بالنسبة للمادة النووية المتناظرة، عند كثافة تتراوح بين 0.4-0.3 من كثافة إشباع المادة النووية. عند مقارنة هذه النتائج مع النتائج التجريبية الواردة في المرجع [9]، طاقة إثارة حوالي 10 MeV للنكليون الواحد وكثافة تتراوح بين 0.3 -0.15 من كثافة المادة النووية الاعتيادية، يجب مراعاة أن النوى المنتهية مكونة من عدد محدود من النكليونات، مما يؤدي إلى توسع التحول الطوري، وبالتالي إلى درجة حرارة حرجة أدنى منها بالنسبة للمادة النووية. بالإضافة إلى ذلك، إن النوى المنتهية غير محاطة بضغط خارجي يمنعها من التمدد مع ارتفاع درجة الحرارة، وهذا يؤدي إلى كثافة حرجة أدنى منها بالنسبة للمادة النووية.

تصبح الروابط بين النكليونات عند درجة الحرارة الحرجة أضعف من أن تؤثر على السلوك الحراري لهذه النكليونات، بحيث يزداد الضغط طرداً بازدياد الكثافة اعتباراً من درجة الحرارة هذه. هذا هو الوضع بالنسبة للمادة النترونية حتى عند درجة الحرارة T=0. التحول الطوري سائل – غاز غير ملاحظ إذاً بالنسبة للمادة النترونية، أو يمكن القول إن المادة النترونية مستقرة تجاه التحول الطوري. هذه النتيجة مشابهة للنتيجة التي تم الحصول عليها في الحسابات الديناميكية للمرجع [2]. توجد قيمة قصوى لعامل اللاتناظر، حوالي 0.9، تصبح المادة النووية بعدها مستقرة تجاه التحول الطوري.

يظهر الشكل 3 تغير إنتروبية النكليون الواحد مع ارتفاع درجة الحرارة تحت ضغط ثابت بالنسبة للمادة النووية المتناظرة. للإيضاح تم عرض σ/T. التحول الطوري هو من الدرجة الأولى، ويترافق بطاقة متأخرة:

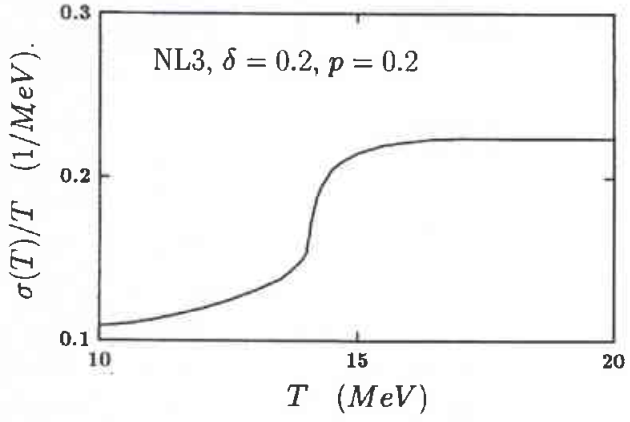
$$Q_L = T_c\ \Delta\sigma \qquad (20)$$

يجب منحها للجملة أثناء التحول، حيث Δσ تغير الإنتروبية عند درجة الحرارة الحرجة. يظهر الشكلان 4 و5 أن التحول الطوري هو من

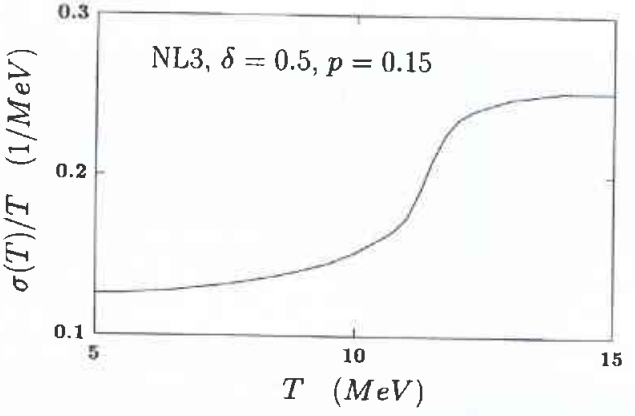


الشكل 3– تغير إنتروبية النكليون الواحد مع ارتفاع درجة الحرارة تحت ضغط ثابت بالنسبة للمادة النووية المتناظرة. للإيضاح يتم عرض σ/T.

الدرجة الأولى أيضاً بالنسبة للمادة النووية اللامتناظرة. إن استخدام قيمتين مختلفتين لعامل اللاتناظر في الطورين الغازي والسائل، كما في المرجع [2]، يمسح الشكل S للمنحنيات الظاهرة في الشكلين 4 و5، مؤدياً إلى تحول طوري من الدرجة الثانية بالنسبة للمادة النووية اللامتناظرة.



الشكل 4– مشابه للشكل 3، ولكن بالنسبة لـ δ=0.2.



الشكل 5– مشابه للشكل 3، ولكن بالنسبة لـ δ=0.5.

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

النتائج

تكون طاقة إثارة النكليون الواحد عند درجة حرارة معينة أعلى عند الكثافات المنخفضة.

تم استخدام الوصف الإحصائي باستخدام الكمون القويم الشامل في اشتقاق معادلة الحالة للمادة النووية. يتم التحول الطوري سائل – غاز عند طاقة إثارة تتراوح بين 15-16 MeV للنكليون الواحد، وكثافة تتراوح بين 0.3-0.4 من كثافة إشباع المادة النووية المتناظرة، بما يتفق مع الدلائل التجريبية. توجد قيمة قصوى لعامل اللاتناظر تصبح المادة النووية بعدها مستقرة تجاه التحول الطوري.

التحول الطوري من الدرجة الأولى سواء أكانت المادة النووية متناظرة أم لا متناظرة. يؤدي استخدام قيمتين مختلفتين لعامل اللاتناظر في الطورين الغازي والسائل إلى تحول طوري من الدرجة الثانية بالنسبة للمادة النووية اللامتناظرة.

المراجع REFERENCES

[1] R. Donangelo and S. R. Souza: Phys. Rev. C56, 1504 (1997).

[2] H. Müller and B. D. Serot: Phys.Rev. C52, 2072 (1995).

[3] G. A. Lalazissis, J. Kōnig, and P. Ring: Phys. Rev. C55, 540 (1997).

[4] B. D. Serot and J. D. Walecka: Adv. Nucl. Phys. 16, 1 (1986).

[5] S.Haddad and M. K. Weigel: J. Phys. G20, 593 (1994).

[6] D. Von-Eiff and M. K. Weigel: Phys. Rev. C46, 1797 (1992).

[7] C. Das, R. Sahu, and R.K. Tripathi: Phys. Rev. C48, 1056 (1993).

[8] L. D. Landau and E. M. Lifshitz: Statistical Physics (Pergamon: Oxford, 1969).

[9] J. Pochodzalla et al., Phys. Lett. 75, 1040 (1995).

[10] S. J. Lee and A. Z. Mekjian: Phys. Rev. C45, 1284 (1992); Phys. Rev. C56, 2621 (1997).

[11] H. Huber, F. Weber, and M. K. Weigel: Phys. Rev. C57, 3484 (1998).■

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

تأثير الجهود العالية على استجابة كاشف GEM بمرحلتين*

د. جمال الدين عساف
قسم الخدمات العلمية- هيئة الطاقة الذرّية- ص. ب 6091- دمشق- سورية

ملخص

تمَّ في هذا العمل إجراء اختبارات على كاشف نووي يعمل بالغاز، وهو عبارة عن عدّاد تناسبي مكوّن من عنصري الكشف GEM (مضاعف الإلكترونات الغازي) ومن ثلاث فولطيات عالية (High Voltages- HVs). تصف نتائج الاختبارات تأثير الفولطيات العالية على عمل الكاشف بغية معرفة القيم المثلى لها والتي تعطي أفضل طيف طاقة وأكبر قيمة للتضخيم. تمّت أيضاً مقارنة النتائج العملية نوعياً مع توابع حسابية تصف البارامترات المقيسة وتأخذ بعين الاعتبار مختلف العمليات الفيزيائية التي تحدث داخل الكاشف.

الكلمات المفتاحية: مضاعف الإلكترونات الغازي، كاشف نووي، فولطيات عالية، أشعة X.

مقدمة

إن عنصر الكشف GEM جرى وصفه لأول مرة من قِبَل ف. ساولي [1]. يتكون هذا العنصر من صفيحة معدنية مغطاة على وجهيها بمادة عازلة عضوية والكل مثقوب بكثافة عالية من الثقوب الصغيرة. يبيّن الشكل 1 بنية العنصر GEM مع خطوط الحقل الكهربائي الناتجة عن تطبيق فروق كمون كهربائية بين وجهيه، حيث نرى أنه يسود حقل كهربائي عالٍ جداً داخل الثقوب قد يصل إلى أكثر من 40 kV/cm. ونتيجة لذلك فإن الإلكترونات التي تنشأ من تأيين الغاز بواسطة الإشعاع في منطقة الانجراف (Drift zone) تدخل إلى الثقوب وتحصل عملية تضاعف لهذه الإلكترونات عبر ظاهرة التضاعف المتسلسل Avalanche وذلك بفضل الحقل الكهربائي العالي جداً داخل الثقوب. ينتج عن هذه العملية إلكترونات ثانوية يتجه معظمها إلى منطقة تحريض الإشارة Induction حيث يتم التقاطها من قِبَل الأنود مشكّلة عليه إشارة الكاشف. إن هذه الإشارة سريعة جداً لأنها تنتج من تحريض الإلكترونات فقط، وهذه إحدى أهم ميّزات الكاشف GEM [2].

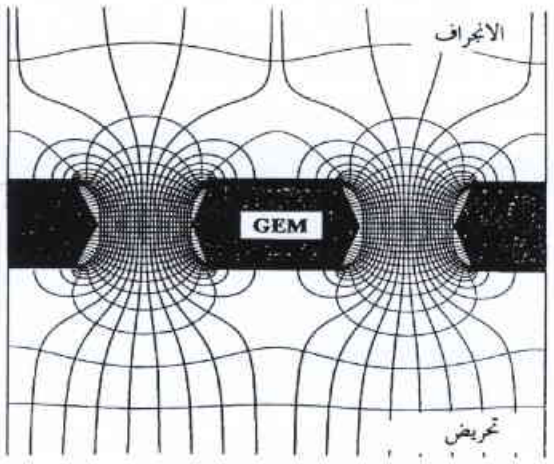
في الحقيقة إن كل عنصر كشف GEM يلعب دور مرحلة مضخم أولي للشحنات، لذلك فإنه للحصول على تضخيم أكبر، يمكن إضافة مراحل تضخيم أخرى مثل كاشف GEM المزدوج المشكّل من عنصري كشف GEM على التوالي موصولين إلى فولطيتين عاليتين منفصلتين [3]، أو وضع GEM متبوعاً بعناصر كشف وتضخيم أخرى مثل الحجرة التناسبية المتعددة الأسلاك (MWPC) [1] أو الحجرة الغازية ذات الشرائح الدقيقة (MSGC) [4]. إن عمل هذه النماذج في هذه الحالة يشبه عمل الأنبوب المضاعف الضوئي.

يهدف العمل المبيَّن في هذه الورقة العلمية إلى وصف أداء مرحلتي تضخيم GEM مع ثلاث فولطيات عالية منفصلة. اثنتان من هذه الفولطيات موصولتان إلى أقطاب الكاشف الخارجية وواحدة متصلة مع عنصري الكشف GEM. حصلنا بنتيجة الاختبارات العملية على معلومات مفصلة حول التضخيم وإشارة الكاشف كتابع للفولطيات العالية، وبالنتيجة تمَّ تحديد قيم الفولطيات العالية المناسبة للحصول على شروط عمل مثالية للكاشف. ضمن هذه الشروط يصبح الكاشف مهيأً للعمل ككاشف حساس للموضع وهو التطبيق الذي اختُرع من أجله.

قياسات ونتائج

وصف منظومة القياس

إن كلاً من عنصري الـ GEM المستخدمين هما عبارة عن صفيحة مربعة بأبعاد 50 × 50 mm من مادة الكابتون Kapton العضوية مغطاة من الجانبين بطبقة رقيقة من النحاس سماكتها 18 µm. تمَّ ثقب كامل

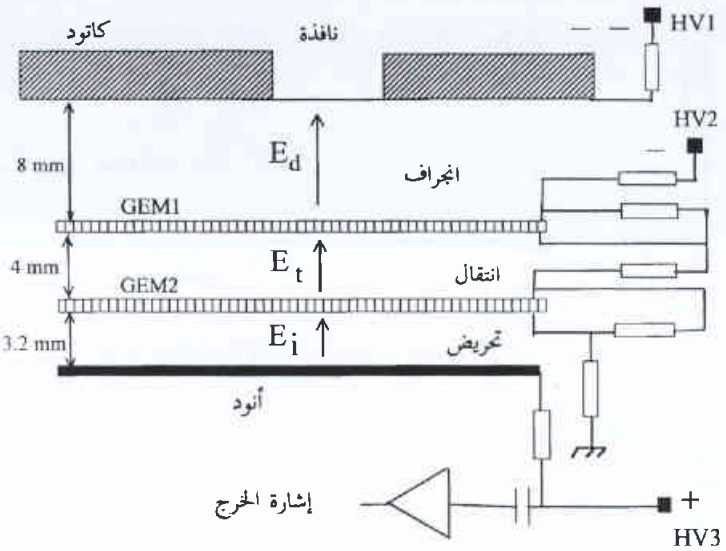


الشكل 1- خطوط الحقل الكهربائي والكمون في العنصر GEM.

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Radiation Measurements*, 2001.

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

الصفيحة بمجموعة من الثقوب الدائرية بقطر 70 µm وبتباعد بين كل ثقبين قدره 140 µm. صُنع كامل الصفيحة مع الثقوب في مخابر مركز الأبحاث CERN. إن تركيبة كامل الكاشف مبيّنة على الشكل 2 وهي تتألف من عنصري الكشف GEM1 و GEM2 تفصل بينهما مسافة 4 mm مشكلة منطقة الانتقال (Transfer zone)، أما المسافة بين GEM1 ونافذة دخول الإشعاع التي تساوي 8 mm فإنها تشكّل منطقة الانجراف. تبقى منطقة التحريض وهي تقع بين GEM2 والأنود بمسافة تساوي 3.2 mm.



الشكل 2- مخطط بنية الكاشف المكون من مرحلتي تضخيم GEM.

تتكون النافذة من مزيج لمادتي الميلار والكابتون (Mylar + Kapton)، وهي محكمة الالتصاق ميكانيكياً وكهربائياً بجسم الكاشف وموصولة مع الفولطية العالية HV1 مشكّلة بذلك قطب المهبط للكاشف. أما الفولطية العالية الثانية HV2 فقد تمّ وصلها إلى الوجوه الأربعة لـ GEM1 و GEM2 عبر مقاومات كهربائية بهدف خلق فروق كمون بين هذه السطوح. إن قيم هذه المقاومات ابتداءً من HV2 إلى النقطة المشتركة (كمون الصفر) هي على التوالي: 40 MΩ, 20, 20, 20, 20. بالنتيجة، إن فرق الكمون بين سطحي كل عنصر GEM يساوي $\Delta V_{GEM1} = \Delta V_{GEM2} = 0.1666$ HV2. وأخيراً فإن الفولطية العالية الثالثة HV3 تمّ وصلها إلى قطب الأنود وهو عبارة عن صفيحة ناقلة تمّ تشكيلها بتقنية صناعة الدارات المطبوعة نفسها.

في كل القياسات، كما يوضح أيضاً الشكل 2، قيست إشارة الكاشف عند مخرج المضخم الأولي الموصول إلى المصعد عبر سعة كهربائية. إن مطال الإشارة تمّت معايرته حيث أن كل 20 mV من المطال يكافىء تضخيماً ذاتياً للكاشف قدره 3×10^3. كان الإشعاع المكشوف عبارة عن أشعة X من المنبع ^{55}Fe، وكان الغاز المستخدم للكشف عبارة عن المزيج (85% Ar + 15% C_2H_2) تحت الضغط الجوي.

تأثير الفولطيات العالية على مطال الإشارة

كما يوضح الشكل 2، إن دور الفولطيات العالية هو توليد حقول كهربائية في مختلف أجزاء الكاشف. فالفولطيتان HV1 و HV2 تتسببان في نشوء الحقل E_d في منطقة الانجراف بين النافذة والصفيحة GEM1، كذلك فإن HV2 هو المسبب في نشوء الحقول العالية القيمة داخل ثقوب الصفيحتين وهما E_{h1} و E_{h2}، وهذه الفولطية تحدد أيضاً الحقل E_t داخل منطقة الانتقال. أما الفولطيتان HV2 و HV3 فهما الأساس في وجود الحقل E_i في منطقة تحريض الإشارة. إن المهمة الأساسية لكل من الحقول E_d، E_t، E_i هي تسريع الإلكترونات من مرحلة لأخرى، أما دور E_{h1} و E_{h2} فهو تعزيز ظاهرة الانجراف المتسلسل داخل صفائح GEM وحولها.

في هذه البنية يمكن ببساطة وصف قيم الحقول الخطية بالمعادلات التالية:

$$E_d = (HV1 - 0.833\ HV2)/0.8 \quad (1)$$

$$E_t = 0.416\ HV2 \quad (2)$$

$$E_i = (0.333\ HV2 + HV3)/0.32 \quad (3)$$

حيث E_d و E_t تقدران بـ kV/cm و HVs بالفولط (V). أما لوصف وحساب الحقول غير الخطية E_{h1} و E_{h2} فإننا بحاجة إلى برنامج حاسوبي للمحاكاة، حيث تبيّن أن القيمة العظمى لهذه الحقول تكون في منتصف الثقوب، ويمكن إعطاء معادلة بسيطة لها من أجل عنصر GEM واحد كما يلي [5]:

$$E_{hm} = a\Delta V_{GEM} + b(E_d + E_t) \quad (4)$$

حيث E_t, E_i, E_d تقدر بـ kV/cm و ΔV_{GEM} بالفولط، أما الثابتان a و b فيساويان على الترتيب 0.116 و 0.31.

في حالة كاشف يتكون من عنصرين GEM فإن القيم العظمى للحقول في ثقوب كل منهما هي:

$$E_{hm1} = a\Delta V_{GEM1} + b(E_d + E_t) \quad (5)$$

$$E_{hm2} = a\Delta V_{GEM2} + b(E_t + E_i) \quad (6)$$

استناداً إلى هذه المعادلات وبمعرفة أنه في نمط العمل العادي للكاشف فإن ΔV_{GEM} هي بحدود بضع مئات من الفولطات، وإن E_d، E_t و E_i لها قيم بحدود بضعة kV/cm. يمكن الاستنتاج أن مساهمة ΔV_{GEM} إلى E_{hm} أكبر من مساهمة مجموع الحقلين $E_t + E_d$. كذلك يمكن بيان مساهمة الحقول السابقة في تيار الأنود، حيث أن المرجع [5] قدّم أيضاً علاقة تحليلية تصف هذا التيار وهي:

$$I_a = AT1G1\ E_{xe1}1\ T2G2\ E_{xe1}2 \quad (7)$$

حيث:

- A ثابت يتعلق بالغاز وبتدفق الإشعاع.
- T الشفافية الكهربائية electrical transparency للعنصر GEM بالنسبة للإلكترونات، وهي تكون في كل مرحلة تابعة لنسب الحقول كما يلي: $T1 = f(E_{hm1}/E_d)$ $T2 = f(E_{hm2}/E_t)$.

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

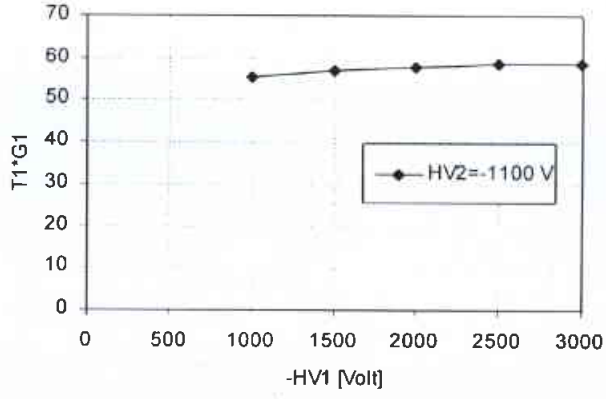
- E_{xe1} هي نسبة اقتلاع الإلكترونات من ثقوب عنصر GEM إلى المرحلة اللاحقة، وهي تكون في كل مرحلة تابعة لنسب الحقول كما يلي: $E_{xe1}1=f(E_t/E_{hm1})$، $E_{xe1}2=f(E_i/E_{hm2})$.
- G هي تضخيم المرحلة، وتزداد أسياً مع E_{hm} لكل مرحلة أي $G1=f(E_{hm1})$، $G2=f(E_{hm2})$. يمكن العودة إلى المرجع [5] من أجل المزيد من التفاصيل حول بنية هذه التوابع.

يتبين من المعادلة 7 أن الحدود T و G و E_{xe1} هي توابع لمختلف الحقول الكهربائية، وبالنتيجة فإن ربح الكاشف لا يتعلق فقط بقيم الحقول داخل الثقوب ولكن أيضاً بقيمها بين المراحل، أو بشكل دقيق بنسب الحقول، وهذا يعني أنه لا يجب الانتباه فقط إلى عملية الانجراف المتسلسل وإنما يتعدّاها أيضاً إلى عمليات انتقال الشحنات بين مختلف مناطق الكاشف، وهذا أيضاً ما تمت مناقشته من خلال أعمال حديثة [6,7].

بغية بيان التغير في مطال الإشارة نتيجة تغير الفولطيات العالية، تمّ إجراء ثلاثة قياسات، قورنت نتائجها مع الحدود المبيّنة في المعادلة 7 ولكل حالة.

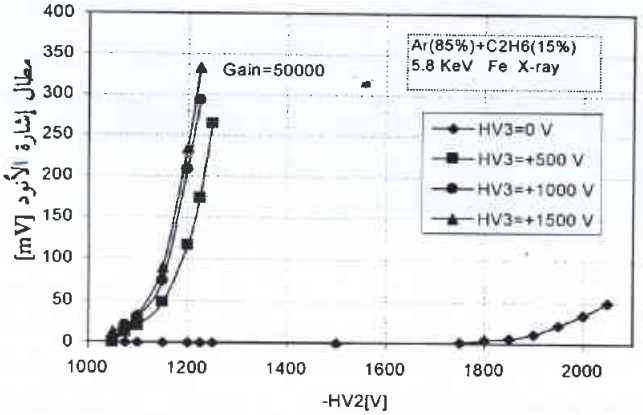
ففي القياس الأول دُرس تأثير HV1 على مطال الإشارة، حيث جرت مراقبة المطال مع زيادة تدريجية للفولطية HV1 ولم نلاحظ أي تغيير على هذا المطال. إن عدم تأثير HV1 على مطال الإشارة لا ينفي ضرورة تواجد قيمة دنيا لهذه الفولطية الضرورية لعمل الكاشف ولإنشاء الحقل الكهربائي E_d. كانت القيمة التي أعطت أفضل نتائج (أفضل مطيافية لإشارة الكاشف) هي HV1 = -3000 V والتي تمّ تثبيتها عند كل القياسات اللاحقة. حسب المعادلة 1 ومن أجل بدء عملية التضخيم المتسلسل، فإن العلاقة بين HV2 و HV3 يجب أن تكون من الشكل $HV3 > 1.25 \times HV2$. إن ذلك يمكّن الحقل الكهربائي E_d من دفع حاملات الشحنة لاسيما الإلكترونات نحو العنصر GEM1.

باستخدام نموذج المعادلة 7 ومن أجل قيم ثابتة لـ HV2 و HV3، فإن تغير إشارة الأنود في هذه الحالة يتناسب مع الجداء $T1 \times G1$، وهو ما تمّ حسابه باستخدام المعادلتين 1 و 5 وجرى إظهار منحنيه على الشكل 3، ومنه نرى تطابقاً جيداً مع النتائج التجريبية.



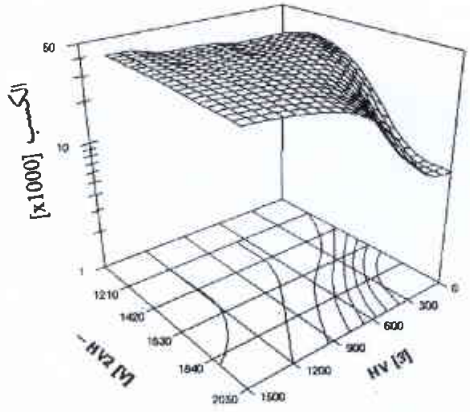
الشكل 3– تغير إشارة الأنود ممثلة بالحد (T1G1) كتابع للفولطية HV1 من أجل قيم ثابتة لـ HV2 و HV3.

أما مجموعة القياسات الثانية فكانت حول تأثير HV2 على مطال الإشارة من أجل عدة قيم لـ HV3. إن نتائج هذه القياسات مبيّنة على الشكل 4، والتي من خلالها نرى أن هذه المنحنيات لها شكل أسي شبيه بالمنحنيات التي تمثل استجابة كاشف العدّاد التناسبي، وهذا يبيّن التأثير الأساسي لـ HV2 (أي قيمة ΔV_{GEM}) على التضخيم كما هو مبيّن بالمعادلتين 5 و 6، حيث تُحدد القيمة العظمى لـ HV2 بالقيمة التي يحصل عندها انفراغات (discharge) في الغاز.



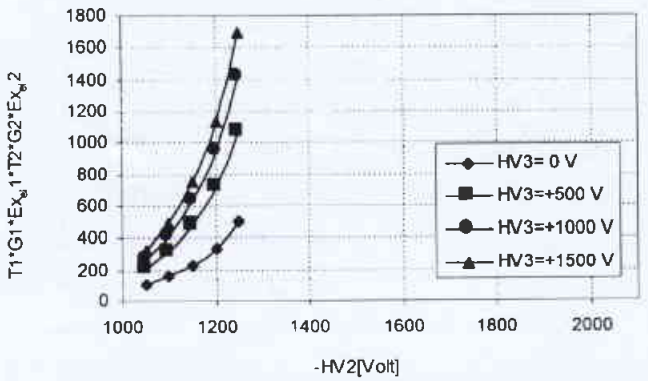
الشكل 4– مطال إشارة الأنود كتابع لـ HV2 من أجل عدة قيم لـ HV3. HV1 = -3000 V.

بالنسبة لتأثير HV3 في هذه الحالة، فإن تضخيماً صغيراً يمكننا الحصول عليه من أجل HV3=0V، ولكن أية زيادة طفيفة لهذه الفولطية تسبب انزياح المنحنى نحو اليسار (أي نحو القيم المنخفضة) مع زيادة في التضخيم، وهذا يبيّن الدور الذي يلعبه HV3 ليس فقط في منطقة التأين ولكن أيضاً في عملية التأين المتسلسل. يبيّن الشكل 5 تغير التضخيم كتابع لـ HV2 و HV3 من خلال منحنى ثلاثي الأبعاد. بالنتيجة، للحصول على تضخيم جيد مع عمل طبيعي للكاشف فإن HV3 يجب أن تكون ضمن مجال قيم مناسب. وهذا المجال يمكن استنتاجه من خلال الشكلين 4 و 5 حيث يقع بين القيمتين 1000 V+ و 1500 V+ من أجل



الشكل 5– تغير التضخيم الكلي للكاشف كتابع لـ HV2و HV3 في مخطط ثلاثي الأبعاد.

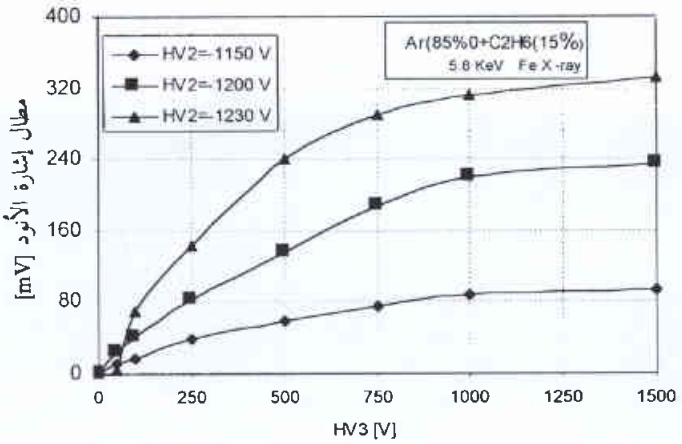
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



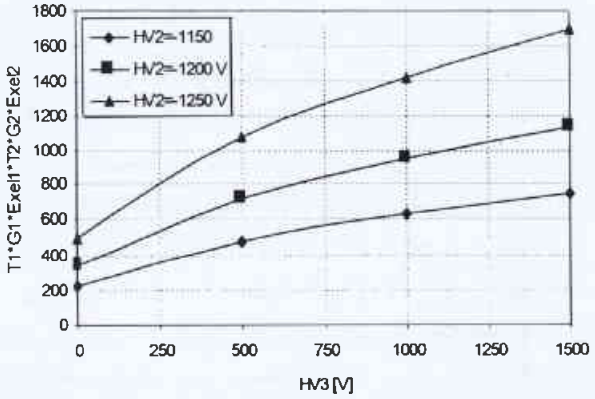
الشكل 6– علاقة الحد المحسوب T1G1 E_{xe1}1 T2G2 E_{xe1}2 (الذي يمثل نوعياً إشارة الأنود) بالفولطية HV2، من أجل عدة قيم لـ HV3 .HV1 = -3000 V.

قيمة لـ HV2 تساوي 1200 V-، وبنتيجة ذلك فإن $\Delta V_{GEM} = 200$ V. من أجل مقارنة هذه النتيجة مع الحسابات النظرية المفترضة فإن منحنى الشكل 6، يبيّن تابعية الحد المحسوب، الذي يحدد إشارة الأنود، مع الفولطية HV2. تمّ الحصول أيضاً على تشابه كيفي بين القيم المحسوبة والنتائج التجريبية باستثناء القيمة HV3 = 0، وهذا يمكن أن يكون ناتجاً عن أن بعض المحدّدات في توابع المعادلة 7 لا يمكن تطبيقها على الحالات كافة.

كان هدف القياس الثالث هو دراسة العلاقة بين مطال الإشارة والفولطية HV3 من أجل عدة قيم لـ HV2. من خلال نتيجة هذا القياس المبيّنة على الشكل 7 نرى أن مطال الإشارة يزداد مع زيادة HV3 حتى يصل إلى قيمة إشباع توافق التقاط كامل الشحنات بواسطة الأنود. تؤكد هذه النتائج على دور HV2 في زيادة الحقل الكهربائي داخل ثقوب GEM، ودور HV3 في منطقة تحريض الإشارة. بهدف المقارنة، يبيّن الشكل 8 المنحنيات النظرية كتابع لـ HV3 للمحدّدات المتناسبة مع مطال إشارة الأنود؛ وهنا أيضاً نرى تشابهاً كيفياً مع النتائج العملية.



الشكل 7– مطال إشارة الأنود كتابع لـ HV3 من أجل عدة قيم لـ HV2 .HV1 = -3000 V.



الشكل 8– علاقة الحد المحسوب T1G1 E_{xe1}1 T2G2 E_{xe1}2 (الذي يمثل نوعياً إشارة الأنود) بالفولطية HV3، من أجل عدة قيم لـ HV2 .HV1 = -3000 V.

يتبين من القياسات السابقة أن التضخيم الأعظمي الذي تمّ الحصول عليه هو بحدود 5×10^4، وهذا يتوافق مع قيم للحقل الكهربائي في مختلف المناطق مساوية إلى:

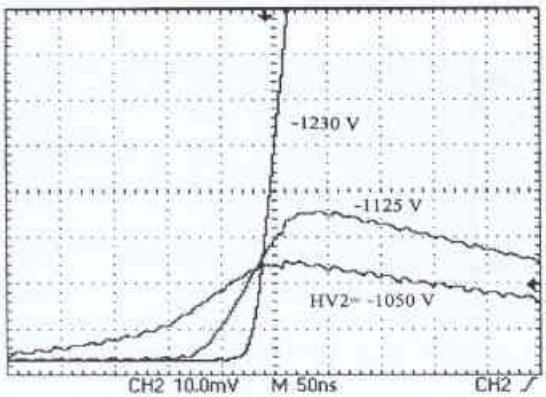
$$E_i = 5.7 \text{ kV/cm}, E_t = 0.5 \text{ kV/cm}, E_d = 2.5 \text{kV/cm}$$

تأثير الفولطية العالية على شكل الإشارة

بغية إكمال دراسة تأثير الفولطيات العالية على أداء الكاشف، تمّت ملاحظة أشكال إشارة الخرج ودراستها بواسطة راسم إشارة رقمي.

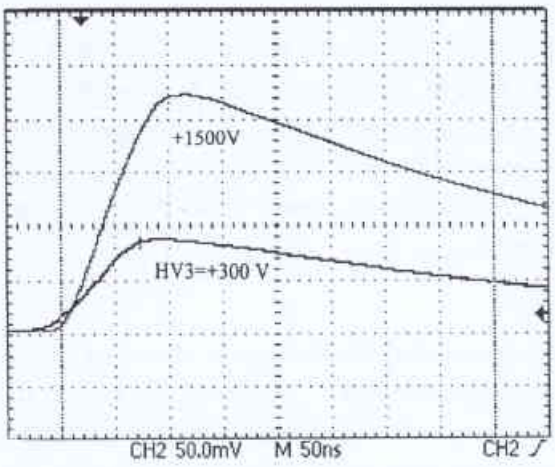
يهدف القياس الأول إلى معرفة تأثير HV2 وهو ما بيّنه الشكل 9، من خلال ثلاث إشارات توافق القيم التالية للفولطية HV2 1230 V-، 1125 V-، 1050 V-، وهي تمثل الإشارة عند تضخيم منخفض ومتوسط وعالي، على التوالي. من أجل القيمة المنخفضة 1050 V- فإننا نلاحظ زيادة في زمن الصعود، وهذه الظاهرة تختفي تدريجياً كلما زادت قيمة HV2، أي عندما تصبح ظاهرة التأين التسلسلي فعّالة، وهذا ما تؤكده زيادة مطال الإشارة.

في القياس الثاني تمّ تثبيت HV2 عند قيمة مناسبة تساوي 1230 V- فيما تمّ تغيير HV3 بين القيمتين 300 V+ و 1500 V+، وجرى تسجيل الإشارتين الموافقتين المبيّنتين على الشكل 10. يتبين من هذه الإشارات أن



الشكل 9– أشكال إشارة الأنود الموافقة لعدة قيم لـ HV2، من أجل قيم ثابتة لـ HV1 = -3000 V و HV3 = +500 V.

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



الشكل 10– أشكال إشارة الأنود الموافقة لقيمتين لـ HV3: 300 V + و 1500 V + من أجل قيم ثابتة لـ HV1 = -3000 V و HV2 = -1230 V.

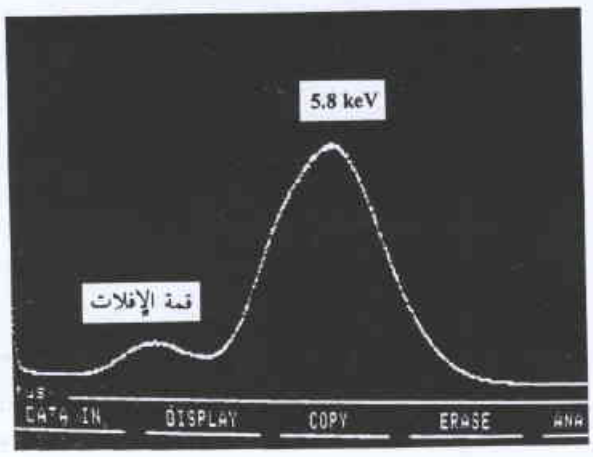
زمن صعودها يبقى ثابتاً ويساوي 100 ns، وهذا الزمن بالتعريف يمثل زمن انجراف الإلكترونات عبر منطقة التحريض، أو بكلمة أخرى فإن هذا الزمن لم يتأثر بتغير E_i بعد بدء عملية التأيين المتسلسل. في القياسين السابقين تغيرت قيمة E_i بين 1 و 5.7 kV/cm (انظر المعادلة 3). يتضح من خلال ذلك أنه عند هذه القيم للحقل E_i ومن أجل مزيج الغاز المستخدم فإن سرعة الإلكترونات electrons drift velocity في هذه المنطقة تبقى ثابتة. وهذا ما تؤكده المنحنيات البيانية المعيارية التي تعطي سرعة الإلكترونات كتابع للحقل الكهربائي المطبّق من أجل نسب عديدة لمزيج الغازات. من خلال هذه المنحنيات يمكن استنتاج أن سرعة الإلكترونات عند قيم E_i المستخدمة هي حوالي 35 mm/μs، بالنتيجة إن الإلكترونات تجتاز مسافة منطقة التجريف البالغة 3.2 mm خلال 90 ns، وهذه القيمة قريبة من قيمة زمن الصعود المشاهدة عملياً. أما زمن هبوط الإشارة فإنه يتعلق كالمعتاد بالثابت الزمني للمضخم الأولي.

مطيافية أشعة X

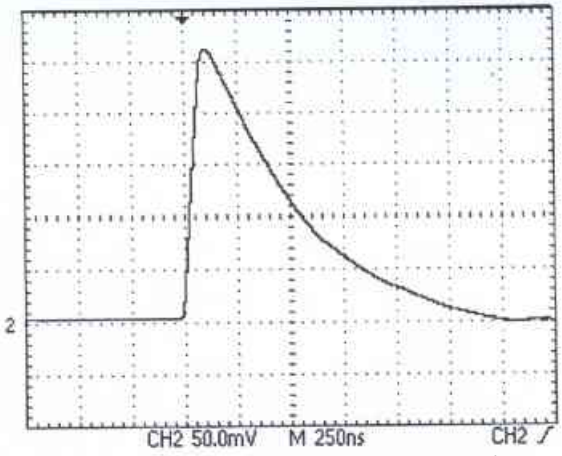
لتبيان أداء الكاشف، تمَّ تسجيل مطيافية الطاقة للمنبع ^{55}Fe الذي يعطي أشعة X، وهو ما يبيّنه الشكل 11. كانت مقدرة الفصل في الطاقة التي أعطاها الكاشف تساوي 38.6% من أجل قمة رئيسة عند 5.8 keV، ويُعدّ هذا الطيف الأفضل الذي تمَّ الحصول عليه (أعلى نسبة إشارة إلى ضجيج)، وهو يوافق القيم التالية للفولطيات العالية: HV3 = + 1000 V و HV2 = -1120 V و HV1 = -3000 V، والقمة الرئيسة في الطيف نتجت عن الإشارة المبيّنة في الشكل 12 مع مطال يتوافق مع تضخيم يساوي 3.9×10^4.

مناقشة النتائج

من خلال النتائج العملية تبيَّن أن بناء كاشف GEM من مرحلتين يحتاج على الأقل إلى ثلاث فولطيات عالية منفصلة للحصول على



الشكل 11– مطيافية طاقة أشعة X للمنبع ^{55}Fe مقيسة بواسطة هذا الكاشف.



الشكل 12– أفضل طيف طاقة من أجل القيم:
HV1 = -3000 V, HV2 = -1120V, HV3 = + 1000 V.

تضخيم مقبول. اثنتان من هذه الفولطيات لهما قطبية سلبية (HV2 وHV1) وموصولتان إلى النافذة وإلى سطوح عناصر GEM على التوالي، أما الثالثة HV3 فهي موجبة القطبية وتوصل إلى الأنود.

تؤكد هذه النتائج أيضاً على أن تأثير HV1 على منطقة عمله (منطقة الانجراف) غير ذي أهمية في حين يُلاحظ أن HV2 و HV3 لهما تأثير كبير على عملية التضخيم. تمَّ الحصول على تضخيم أعظمي قدره 5×10^4 من أجل الفولطيات العالية التالية: HV1 = -3000 V, HV2 = -1225 V, HV3 = + 1500 V، أما أفضل طيف طاقة فكان من أجل: HV1 = -3000 V, HV2 = -1120 V, HV3 = + 1000 V، وهي توافق تضخيماً قدره 3.9×10^4 ومطال إشارة يساوي 260 mV. كانت نتائج القياس على توافق جيد مع نماذج حسابية تمَّ وضعها مؤخراً، وهي تصف نظرياً استجابة كاشف GEM.

المراجع

REFERENCES

[1] Sauli F., GEM: A new concept for electron amplification in gas detector. Nucl. Instr. and Meth. A386, 513-534, (1997).

[2] Sauli F. and Sharma, A. Micro-pattern gaseous detectors., European Laboratory for Particle Physics Report CERN-Ep/99-69, pp. 14-15, (1999)

[3] Benlloch J., Bressan A., Buttner C., Capeans M., Gruwe M., Hoch M., Labbe J., C. Placci A., Ropelewski L., Sauli F., Sharma A. and. Veenhof. R. Development of the gas electron multiplier (GEM). Report, European Laboratory for Particle Physics Report CERN-PPE/97-146.pp. 7-8, (1997).

[4] Bouclier R., Dominik W., Hoch M., Labbe J.-C, Millon G., Ropelewski L., Sauli F., Sharma A. and Manzin G. New observation with the gas electrons multiplier (GEM). Nucl. Instr. and Meth. A 396, 50-66..(1997)

[5] Bachmann S., Bressan A., Ropelewski L., Sauli F. and Mormann D. Operating properties of detectors based on GEM. Workshop on Micro-pattern Gaseous detectors, Orsay..(1999)

[6] Sharma A. A how-to approach for a 3d simulation of charge transfer characteristics in GEM,. ICFA Journal 2000. (1999).

[7] Bachmann S., Bressan A., Ropelewski L., Sauli F., Sharma A. and Mormann D, Charge amplification and transfer processes in the gas electron multiplier. Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Resch. A438, 376-408..(1999).■

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

خفض محتوى الفلور في حمض الفسفور التجاري السوري باستعمال السليكاجيل بثلاثة شروط مختلفة★

ريم يبضون – جمال أبو هلال – د. عبد الوهاب علاف
قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

طبقت ثلاث طرائق لخفض محتوى الفلور في حمض الفسفور التجاري السوري (رافينات) إلى تركيز منخفض جداً، حيث مزج الحمض مع السليكاجيـــل على ثلاث مراحل، وبثلاثة شروط: الضغط المخفّض (15 torr - 0.5)، وعند درجات حرارة عالية (90 °C - 80)، وعند درجة حرارة المخبر حيث بلغت نسبة خفض الفلور (97% - 94)، 98%، 97% على الترتيب.

الكلمات المفتاحية: استخلاص، فلور، حمض الفسفور، تنقية، خفض.

مقدمة

يتم الحصول على حمض الفسفور المنتج بالطريقة الرطبة بعملية غسل للصخور الفسفاتية بحمض الكبريت، لذا ينتقل العديد من الشوائب مثل الفلور، والسليكات وبعض العناصر الأخرى الموجودة في الصخور الفسفاتية إلى حمض الفسفور. وتنقل هذه الشوائب فيما بعد إلى المنتجات الغذائية أو الصناعية التي يعتمد تصنيعها على حمض الفسفور مثل الأغذية، والمنظفات، ومعجون الأسنان، والأسمدة.

هناك العديد من الطرائق للتخلص من الشوائب في الحمض المشوب للحصول على حمض نقي مثل الاستخلاص بالمذيبات، وعمليات الأكسدة والترسيب. وتعتمد عملية التنقية على الشوائب الموجودة في الحمض وكذلك على الغاية التي سيستخدم فيها الحمض [1].

تحوي الصخور الفسفاتية 4% - 1 فلور، وبعد تصنيع الحمض الخام يبقى 15% منه في الحمض ويتم فقد 20% منه على شكل مركبات طيارة مثل HF و SiF_4، ويبقى 65% منه في الجيبسوم [2].

وقد عمل عدد من الباحثين على خفض محتوى الفلور في حمض الفسفور مثل كوتش Koch وآخرين، وذلك بإضافة السليكاجيل إلى الحمض مع التسخين تحت الفراغ (ضغط 87 torr) فتطاير الفلور على شكل مركب طيّار من رباعي فلور السليكون الذي يمكن استرجاعه من الغازات الناتجة بعملية غسل على شكل حمض فلور السليس [3]. وقد وجد أن فعالية السليكا التي لها ميش mesh صغير قد تتأثر بالعوامل الهندسية بحيث يجب أن تتوافق مع حجم المعقد المتشكل مع الفلور في حمض الفسفور [3]. بينما أوجد بير Beer و شنتوب Chentob طريقة لخفض محتوى الفلور والألمنيوم في حمض الفسفور وذلك بعملية تهضيم الصخر الفسفاتي في حمض فسفور يعاد تدويره، فحصل على فسفات الفلور والألمنيوم التي يمكن تفكيكها بالدرجة 195 °C للحصول على حمض HF وفسفات الألمنيوم [4]. وقد سجل مارسيلا وآخرون [5, 6] بعض النتائج المتعلقة بتنقية حمض الفسفور من الشوائب مثل F-, Fe, Al, Mg, SO_4^{2-} باستعمال المذيبات العضوية مثل ثنائي بوتيل إيتر و 3-بنتانون عند الدرجة 25°C. كذلك قام Ruiz وآخرون [7] بعزل الشوائب من حمض الفسفور باستعمال مذيبات عضوية أخرى مثل ثنائي نظامي بروبيل ايتر، و ثنائي نظامي بروبيل ايتر يحوي 6.5% من الإيزومير نظامي بروبيل – ايزوبروبيل ايتر وثنائي ايزوبروبيل ايتر.

تمكن آهرون و أفرهام من تنقية حمض الفسفور المصنع بالطريقة الرطبة والحاوي على تركيز عال من الألمنيوم ونزع الفلور منه بتحويله إلى بلّورات من فلوروسليكات معدن قلوي بعد أن تم تركيز هذا الحمض حتى 60% P_2O_5 - 56 بالتبخير المتعدد المراحل [8].

وقد أشار كل من أهرون وكلارا Klara وأفرهام إلى أنه لايمكن نزع الفلور بشكل فعال من حمض الفسفور الذي يحوي تركيزاً عالياً من الألمنيوم، والسبب في ذلك هو التناقص الحاد في معامل توزع الفلور والذي يعزى إلى تشكيل معقدات بين الفلور والألمنيوم [9]. وقد أمكن أيضاً نزع الفلور من حمض الفسفور المصنع بالطريقة الرطبة باستخلاصه بمذيب الكحول الأميلي أو مركبات عضوية غير مَزوجة بالماء ثم معاملة المستخلص الناتج بمعلق $Al(OH)_3$، ثم أعيد استخلاص حمض الفسفور الخالي من الفلور من الطور العضوي الحاوي على $Al(OH)_3$ بالماء أو بمحلول قلوي، بحيث تم خفض الفلور من 70 ppm وحتى 24 ppm (أي أن نسبة خفض الفلور 65%) [10].

سجل Berte وآخرون شروط إزاحة الفلور حتى 0.07% من حمض الفسفور المصنع بالطريقة الرطبة بترسيبه بـ Na_2CO_3، Na_2SO_4 و K_2CO_3 و K_2SO_4 [11].

سجلت معظم الدراسات الخاصة بتنقية حمض الفسفور كبراءات اختراع [12، 10، 4، 1] وهي تشير إلى ضرورة إنتاج حمض فسفور عالي النقاوة للأغراض الغذائية والتطبيقات الأخرى وحذف الفلور منه لسُمّيته

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Afinidad*, Mayo-Junio 2001.

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

العالية وكونه يقوم بفعل أكّال للتجهيزات الصناعية. وتسجل هذه النشرة ثلاثة شروط لخفض محتوى الفلور بشكل كامل للرافينات إلى حدود 97% وهي: الضغط المخفّض (15 - 0.5 torr)، درجة حرارة عالية (90 - 80 °C)، ودرجة حرارة المخبر وذلك على ثلاث مراحل.

المواد والتجهيزات

المواد

استعملت المواد التالية: حمض فسفور بتركيز (88 w/w%) من شركة BDH، فلوريد الصوديوم الصلب بنقاوة 99% من شركة Merck، محلول فلوريد الصوديوم العياري بتركيز 10gr/l من شركة WTW، سليكاجيل بثلاثة ميشات مختلفة: 230 من شركة Merck و (120-30) و (20-6) من شركة BDH، حمض فسفور خام بتركيز (48.626% P_2O_5) وارد من الشركة العامة للأسمدة حمص - سوريا، حمض فسفور خام (رافينات: Raff) منقّى من اليورانيوم والجيبسوم والمواد العضوية بتركيز (27.88% P_2O_5) وارد من المنشأة الرائدة المكروية في حمص.

الأجهزة

استعملت الأجهزة التالية:

مقياس الفلورة GMBH-(GM) مقياس الامتصاص الذرّي - Perkin Elmer 2380 مقياس كمون Metrohm 536- مزود بإلكترود زجاجي مزدوج Combined pH glass electrode، مقياس pH نموذج Metrohm - 692 PH/ Ion Meter مزود بإلكترود فلور مع إلكترود مرجعي: فضة/كلور الفضة، جهاز تفريغ مع مصيدة آزوت سائل، مجفف مواد Carbolite، ميزان كهربائي حساس وارد من شركة No. A - A - 160 Denever Instrument، رجّاج كهربائي خاص بأقماع الفصل وارد من شركة Karl Kolb، No. 73633/87، رجّاج كهربائي خاص بأنابيب الاختبار وارد من شركة IKA - WERK، ورق ترشيح Whatman 40.

النتائج التجريبية

درست خمسة حموض فسفور مختلفة (Z, F, RE, R, Raff)، حيث حضّر الحمض (Z) بدءاً من حمض الفسفور المخبري النقي (بتركيز 88% وكثافة 1.75 ومولية 15.7)، وذلك بأخذ 160 ml من هذا الحمض في حوجلة معايرة سعة 500 ml ثم أضيف حجم 60 ml من محلول NaF بتركيز 10 gr / 1. مدّد المزيج حتى إشارة العيار مع الخض الجيد، وبذلك حصل على محلول حمض فسفور نقي بمواصفات (28.74% P_2O_5, d = 1.266, M = 5.130, F^-% = 0.103).

حضّر الحمض الثاني F بدءاً من حمض الفسفور المخبري النقي وأضيف الفلور من الملح النقي NaF بتركيز أعلى. يشبه هذا الحمض حمض الفسفور الخام R بالنسبة للمولية وتركيز P_2O_5 حيث كانت مواصفاته بالتحليل: (47.022% P_2O_5, d = 1.558, M = 10.32, F^-% = 1.415). أما الحمض الثالث (RE) فقد حضّر بأخذ حجم قدره 300 ml من الحمض Raff وسخن لدرجة حرارة عالية دون الغليان حيث أنقص حجمه إلى النصف تقريباً. تشكّل بعد التبريد راسب أبيض تم فصله بالترشيح وسميت عينة الحمض الناتجة بالعينة RE وكانت مواصفاتها: (45.87% P_2O_5, d = 1.548, M = 10.0, F^-% = 0.112). أما الحمض الرابع (R) فهو حمض فسفور خام غير معالج ينتج بشكل طازج من معالجة الصخور الفسفاتية السورية بحمض الكبريت وله المواصفات التالية: (48.626% P_2O_5, d = 1.572, M = 10.77, F^-% = 0.364). أما الحمض الخامس (Raff) فهو حمض ناتج من الحمض R بعد تنقيته من اليورانيوم والجيبسوم والمواد العضوية الأخرى وله المواصفات التالية: (27.88% P_2O_5, d = 1.289, M = 5.023, F^-% = 0.095). ويظهر الجدول 1 نتائج تحليل الحموض الخمسة، بينما يبين الجدول 2 تركيز الأيونات والكاتيونات في الحمض (Raff). استعملت النسبة: حمض فسفور/ سليكاجيل: 4gr /25ml بشكل عام في جميع التجارب.

جرت معايرة الحموض الخمسة الآنفة الذكر لتحديد موليتها والنسبة المئوية لـ P_2O_5 باستعمال كاتود زجاجي مركب موصول مع جهاز معايرة كمونية. ويجدر بالذكر هنا أنه لم يلاحظ أي تغيير في تركيز SO_4^{2-} قبل وبعد خفض محتوى الفلور. حدّد تركيز أيون السلفات بالطريقة الوزنية.

الجدول 1- نتائج تحليل الحموض الخمسة Raff, R, RE, F, Z المستعملة في الدراسة.

اسم الحمض	الكثافة ($gr\ cm^{-3}$)	المولية (M)	P_2O_5 %	F^- %
Z	1.266±0.007	5.130±0.021	28.740±0.118	0.103±0.004
F	1.558±0.011	10.320±0.035	47.022±0.159	1.415±0.085
RE	1.548±0.011	10.0±0.037	45.87±0.169	0.112±0.004
R	1.572±0.007	10.77±0.037	48.626±0.157	0.364±0.020
Raff	1.289±0.011	5.023±0.021	27.88±0.50	0.095±0.006

الجدول 2- تركيز الأيونات والكاتيونات في الحمض Raff.

اسم الكاتيون أو الأنيون	التركيز $\mu g\ ml^{-1}$
Ca	140±5.3
Al	810±12.9
Fe	1350±91
V	110±11
U	3.3±0.5
Zn	251.1±15.0
Mg	4300±383
F^-	0.095±0.006
SO_4^{2-}	4.2±0.4

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

أما تراكيز أيونات Ca, Al, Fe, V, Zn, Mg في الرافينات فقد حدّدت بتقنية الامتصاص الذرّي [13]. حدّد اليورانيوم في الرافينات بتقنية مقياس الفلورة، أما الفلور فقد حدّد بالنسبة للحموض الخمسة باستعمال جهاز مقياس الأيونات بطريقة كاتود الفلور الانتقائي.

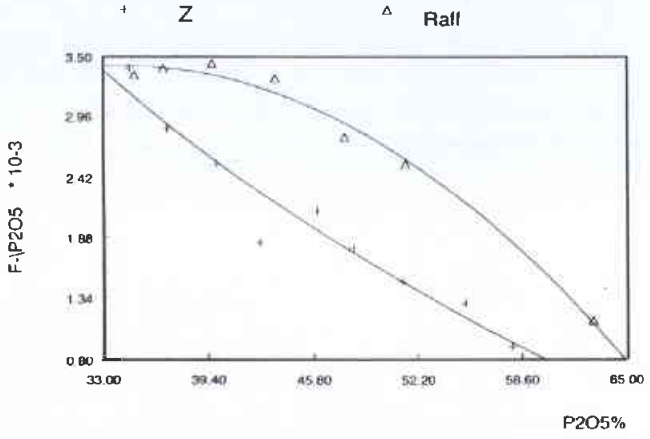
النتائج والمناقشة

يعبّر عن المحتوى الفلوري في هذه الدراسة بـ F- Wt% ويدل على جميع المركبات الفلورية المنحلة في حمض الفسفور. حسبت النسب المئوية لاستعادة الفلور والفسفور بالأخذ بالحسبان الحجوم البدائية والنهائية للحموض المدروسة. أما بالنسبة لحذف الفلور الذي تمّ على عدة مراحل فقد حسبت النسبة المئوية لخفض الفلور لكل مرحلة آخذين بالحسبان نتائج المرحلة التي تسبقها كما هو موضح في الجداول: 7 و11 و 12. ونبين فيمايلي الشروط التي تمت فيها الدراسة ومناقشتها.

نزع الفلور من الحموض بالتسخين وبدون أي إضافة

تمّ خفض الفلور من الحمضين Z و Raff بدون إضافة السليكاجيل. فمن المعلوم أنه يمكن خفض الفلور بتسخين الحمض وبدون إضافة السليكات الصنعية أو الطبيعية مثل البنتونايت، علماً بأنه يتم حالياً دراسة خفض الفلور باستعمال البنتونايت كمادة مازّة [14].

أخذ 300 ml من الحمض Z(28.74% P_2O_5, F-% = 0.103) وتم تركيزه بالتسخين حتى 100 ml بحيث أصبح تركيزه 57.97% P_2O_5. أُخِذت أثناء التسخين تسع عينات (كل واحدة منها 4Ml). وكانت درجات غليان الحمض الذي تركيزه P_2O_5%(46.01 - 51.24) وP_2O_5 57.97% هي: (102 - 130°C) و 147°C على الترتيب. ويبين الجدول 3 نتائج تحليل العينات التسع لكل من المولية، الكثافة، P_2O_5%، F-% والنسبة F^-/P_2O_5. ويظهر الشكل 1 العلاقة بين P_2O_5% والنسبة F-/P_2O_5 للحمض Z. حيث يتضح أنه هناك خطية في خفض تركيز الفلور. ويعزى خفض الفلور هنا إلى تشكيل مركبات راسبة من فلوروسليكات الصوديوم أو الكالسيوم أو البوتاسيوم [2,3]. ومن المهم أن نذكر أن خفض الفلور يبدأ عند تركيز P_2O_5 48.25%.



الشكل 1– نزع الفلور من الحمضين Z و Raff بالتسخين فقط.

الجدول 3– نتائج نزع الفلور من الحمضين Z و Raff بالتسخين فقط.

رمز العينة	مولية الحمض (M)	كثافة الحمض ($gr\ cm^{-3}$)	P_2O_5 %	F^- %	F^-/P_2O_5
Z	5.130±0.021	1.266±0.007	28.740±0.118	0.103±0.004	3.58×10^{-3}
1	6.550±0.025	1.332±0.009	34.910±0.133	0.118±0.006	3.38×10^{-3}
2	7.050±0.026	1.356±0.010	36.920±0.136	0.105±0.004	2.84×10^{-3}
3	7.850±0.029	1.396±0.010	39.920±0.147	0.101±0.004	2.53×10^{-3}
4	8.580±0.031	1.431±0.011	42.530±0.154	0.078±0.004	1.83×10^{-3}
5	9.60±0.033	1.481±0.011	46.010±0.158	0.097±0.002	2.108×10^{-3}
6	10.20±0.035	1.50±0.011	48.250±0.166	0.086±0.004	1.78×10^{-3}
7	11.20±0.039	1.552±0.011	51.240±0.178	0.076±0.005	1.48×10^{-3}
8	12.50±0.043	1.611±0.012	55.10±0.19	0.071±0.005	1.289×10^{-3}
9	13.450±0.046	1.647±0.011	57.970±0.198	0.053±0.002	0.914×10^{-3}
Raff.	5.020±0.021	1.289±0.011	27.88±0.50	0.095±0.006	3.41×10^{-3}
10	6.730±0.025	1.379±0.010	34.610±0.129	0.115±0.006	3.32×10^{-3}
11	7.250±0.026	1.404±0.010	36.67±0.13	0.124±0.006	3.38×10^{-3}
12	7.981±0.029	1.430±0.009	39.60±0.144	0.136±0.009	3.43×10^{-3}
13	9.10±0.032	1.488±0.011	43.430±0.153	0.143±0.01	3.29×10^{-3}
14	10.60±0.037	1.578±0.011	47.690±0.166	0.132±0.009	2.77×10^{-3}
15	11.90±0.042	1.643±0.011	51.430±0.181	0.130±0.009	2.53×10^{-3}
16	16.00±0.055	1.805±0.010	62.950±0.216	0.072±0.005	1.14×10^{-3}

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

أخذ 300 ml من الحمض Raff (27.88% P_2O_5, F^-% = 0.095) وتم تركيزه بالتسخين حتى 100 ml بحيث أصبح تركيزه 62.95% P_2O_5. في أثناء التسخين اخذت سبع عينات (كل واحدة منها 4ml). وكانت درجات غليان الحمض الذي تركيزه 43.43 - 47.69)% P_2O_5 و62-95% P_2O_5، هي (118°C - 98) و 138°C على الترتيب. ويبين الجدول 3 نتائج تحليل العينات السبع لكل من المولية، الكثافة،% P_2O_5، F^-% والنسبة F^-/P_2O_5. وتبين هذه النتائج أن خفض الفلور يبدأ عند تركيز أعلى من 42% P_2O_5 تقريباً وهذا مايتوافق مع ملاحظات كوتش [3]. وهو في الواقع يقع ضمن المجال (51 - 43)% P_2O_5 كما هو واضح في الشكل 1 الذي يظهر العلاقة بين P_2O_5% والنسبة F^-/P_2O_5 للحمض (Raff). وتبين هذه النتيجة أنه لاوجود للفلور الحر عند تركيز أعلى من 42% P_2O_5، وكذلك مركب H_2SiF_6 الذي يتفكك ضمن هذه الشروط معطياً H_2F_2 و SiF_4، لذلك عندما تصل درجة حرارة حمض الفسفور إلى درجة أعلى من درجة غليان H_2F_2 (وهي 19.5° C تحت الضغط الجوي العادي) أو H_2SiF_6، يكون الفلور موجوداً على شكل مركبات لها درجة غليان أعلى من درجة غليان المركبات الآنفة الذكر، ويبدأ خفض الفلور عند تركيز حوالي 47.69% P_2O_5.

خفض الفلور من حمض الفسفور بوجود إضافات وعلى مرحلة واحدة

استعملت السليكاجيل ولعدة سنوات لفعاليتها في خفض الفلور من حمض الفسفور بتركيز 54% P_2O_5. ونقدم في هذه الورقة نتائج خفض الفلور تحت شروط مختلفة وعلى مرحلة واحدة.

تأثير التفريغ

درست ثلاثة حموض Z, Raff, RE وكانت نسبة حمض الفسفور/ سليكاجيل 4gr/25ml: 230-. أخذت خمس عشرة عينة من جميع الحموض ومزجت مع السليكاجيل. تم التسخين بالدرجة 40°C ولمدة 30 دقيقة تحت التفريغ وعند الضغوط 0.5, 15, 30, 50, 80 torr، ويظهر الجدول 4 نتائج الحموض الثلاثة المدروسة بالنسبة للضغوط المطبقة، F^-, P_2O_5% قبل وبعد المعالجة بالسليكاجيل والنسبة المئوية لخفض الفلور. درست ثلاث عينات من أجل كل ضغط وكانت نسبة خفض الفلور للحمض Z هي: 39% و86% عند الضغطين 80 torr و0.5 torr على الترتيب، ولكن ارتفعت النسبة حتى 90% عند الضغط 15 torr.

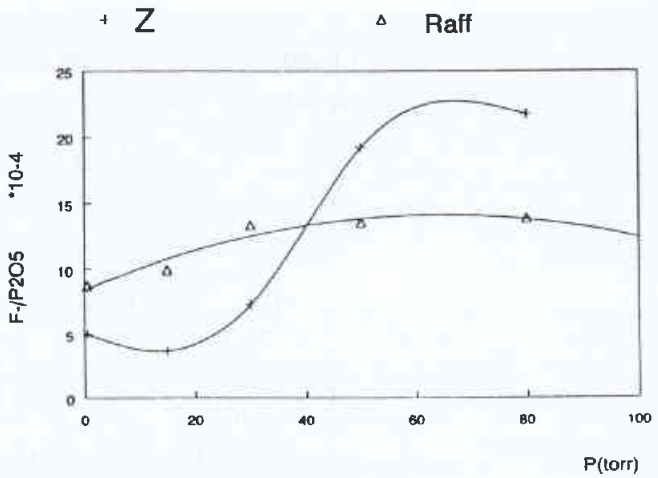
أما بالنسبة للحمض Raff فكانت نسبة الخفض 60% و75% عند الضغطين 80 torr و 0.5 torr على الترتيب.

أما الحمض العالي المولية RE فكانت نسبة الخفض 85% عند الضغط 80 torr. ويظهر الشكل 2 العلاقة بين الضغط المطبق والنسبة F^-/P_2O_5 للحمضين Z وRaff. ونستنتج أننا نحصل على أفضل النتائج لخفض الفلور عند الضغوط (0.5- 15 torr) وعلى مرحلة واحدة

الجدول 4- نتائج تأثير التفريغ على خفض الفلور للحموض RE, Raff, Z بوجود السليكاجيل.

رمز العينة	التفريغ المطبق (torr)	P_2O_5 %	تركيز الفلور قبل المعالجة %	تركيز الفلور بعد المعالجة %	$F^-\backslash P_2O_5$	خفض الفلور %
Z	-	28.740 ±0.118	0.103 ± 0.004	-	35.8×10^{-4}	-
	0.5	35.868 ±0.132	"	0.018 ±0.0008	5.02×10^{-4}	86
	15	32.226 ±0.130	"	0.012 ±0.0005	3.72×10^{-4}	90
	30	28.768 ±0.119	"	0.021 ±0.0008	7.30×10^{-4}	80
	50	28.675 ±0.118	"	0.024 ±0.0008	19.2×10^{-4}	46
	80	29.591 ±0.127	"	0.028 ±0.0009	21.7×10^{-4}	39
Raff	-	27.88 ±0.50	0.095 ±0.006	-	34.1×10^{-4}	-
	0.5	35.593 ±0.131	"	0.031 ±0.0015	8.71×10^{-4}	75
	15	33.349 ±0.125	"	0.033 ±0.0016	9.90×10^{-4}	71
	30	30.738 ±0.123	"	0.041 ±0.0015	13.3×10^{-4}	61
	50	28.836 ±0.114	"	0.039 ±0.0015	13.5×10^{-4}	60
	80	28.928 ±0.119	"	0.040 ±0.0015	13.8×10^{-4}	60
RE	-	45.87 ±0.169	0.112 ±0.004	-	24.4×10^{-4}	-
	30	48.328 ±0.167	"	0.0190 ±0.0007	3.93×10^{-4}	84
	80	48.190 ±0.171	"	0.018 ±0.0007	3.74×10^{-4}	85

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

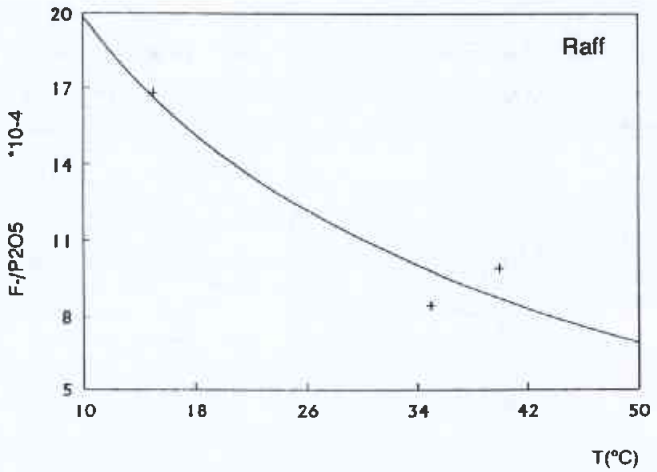


الشكل 2– تأثير التفريغ على خفض الفلور للحمضين Z و Raff بوجود السليكاجيل.

للحمضين الآنفي الذكر. علماً أن الحمض RE قد أعطى نتائج مماثلة بالرغم من تطبيق الضغوط 80 torr و0.5 torr.

تأثير درجة الحرارة

مزج الحمض (Raff) مع السليكاجيل -230 بالنسبة المذكورة آنفاً. أخذت خمس عينات وسخنت بشريط التسخين عند الدرجات (15, 35, 40 °C) عند الضغوط المنخفضة (0.6, 15)torr. ويلخص الجدول 5 النتائج الحاصلة حيث كانت نسبة خفض الفلور محسوبة بالنسبة لـ F^-/P_2O_5: 51% و (71 - 75)% عند الضغط 15 torr ودرجات الحرارة 15°C و 40°C - 35. وكانت نسبة خفض الفلور 79% عند الضغط 0.6 torr والدرجة 50 °C وهذا مايوضحه الشكل 3 الذي يظهر العلاقة بين درجة الحرارة والنسبة F^-/P_2O_5 للحمض Raff. وتعود فعالية خفض الفلور عند الضغط إلى غياب الأكسجين وإلى تسريع تشكل مركبات فلوروسليكات المترسبة بغياب الأكسجين.



الشكل 3– تأثير درجة الحرارة على خفض الفلور للحمض Raff عند الضغوط المخفضة بوجود السليكاجيل.

تأثير المولية

طبقت عملية نزع الفلور على الحموض RE وRaff وF، وZ بمزجها مع السليكاجيل -230 بالنسبة المذكورة آنفاً. حيث أخذت عينتان من كل حمض وتم التسخين بشريط التسخين عند الدرجة 40°C والضغط 15 torr لمدة 30 دقيقة. وجدنا بالنتيجة أن مولية الحمض تلعب دوراً كبيراً في خفض الفلور، بحيث ازدادت نسبة خفض الفلور محسوبة بالنسبة لـ F^-/P_2O_5 من 71% وحتى 86% للحمضين (Raff, M = 5.023) و(RE, M = 10) وقد ازدادت هذه النسبة من 88% وحتى 98% بالنسبة للحمضين (Z, M = 5.13) و (F, M = 10.32)، أي أن خفض الفلور للحمض العالي المولية أفضل وأكثر جدوى من الحمض المنخفض المولية.

تأثير أبعاد دقائق السليكاجيل (الميش)

طبقت عملية نزع الفلور على حموض مختلفة Raff و RE و F باستعمال ميشين مختلفين (120 – 30) و 230. أخذت عينتان من كل حمض وسخنتا بالدرجة 40 °C تحت الضغط 15 torr لمدة 30 دقيقة.

الجدول 5– نتائج تأثير درجة الحرارة على خفض الفلور للحمض Raff عند الضغوط المخفضة بوجود السليكاجيل.

رمز العينة	التفريغ المطبق (torr)	درجة الحرارة (C°)	P_2O_5 %	تركيز الفلور قبل المعالجة %	تركيز الفلور بعد المعالجة %	F^-/P_2O_5	خفض الفلور %
Raff	-	–	27.88 ± 0.5	0.095 ±0.006	-	34.1×10^{-4}	-
	0.6	40	35.112 ±0.132	"	0.034 ±0.0016	9.68×10^{-4}	72
	"	50	39.945 ±0.140	"	0.028 ±0.0015	7.01×10^{-4}	79
	15	15	27.393 ±0.112	"	0.046 ±0.002	16.8×10^{-4}	51
	"	35	36.624 ±0.134	"	0.031 ±0.0015	8.46×10^{-4}	75
	"	40	33.349 ±0.125	"	0.033 ±0.0015	9.90×10^{-4}	71

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

وتبين أنه لايوجد تأثير لأبعاد الدقائق على عملية خفض الفلور وهذه النتيجة تتوافق مع ملاحظات كوتش [3].

تأثير وزن السليكاجيل

طبقت عملية نزع الفلور على الحمض Raff وأوزان مختلفة من السليكاجيل 0.4, 0.8, 1.6, 2.4 gr بحيث مزج كل وزن مع 10ml من الحمض وسخن بالدرجة 30°C لمدة 30 دقيقة عند الضغط 15 torr. ويبين الجدول 6 هذه النتائج. أما الشكل 4 فيظهر العلاقة بين وزن السليكاجيل (gr) والنسبة F^-/P_2O_5 للحمض Raff ويلاحظ أن هذه النسبة تتناقص بشكل خطي مع وزن السليكاجيل وتزداد نسبة خفض الفلور محسوبة بالنسبة لـ F^-/P_2O_5 من 35% وحتى 82% بالنسبة للوزنين 0.4gr و2.4gr سليكاجيل، وهذا يعود إلى زيادة عدد المواقع الفعالة للسليكاجيل عند استعمال أوزان عالية منها حيث تلعب دور الحافز في خفض محتوى الفلور في المعقد الناتج.

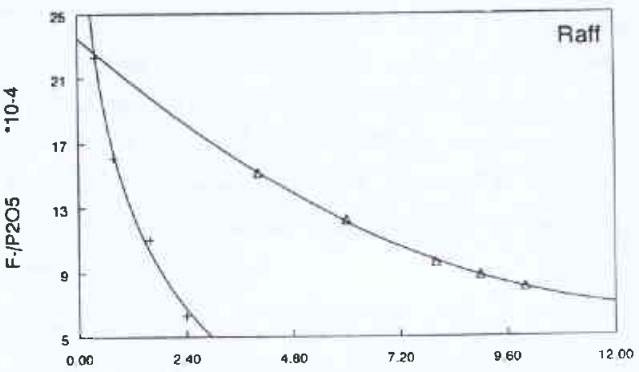
الجدول 6– نتائج تأثير وزن السليكاجيل على خفض الفلور للحمض Raff عند الضغط 15torr.

رمز العينة	وزن السليكاجيل (gr)	P_2O_5 %	تركيز الفلور قبل المعالجة %	تركيز الفلور بعد المعالجة %	$F^-\backslash P_2O_5$	خفض الفلور %
Raff	-	27.88 ±0.5	0.095 ±0.006	-	34.1×10^{-4}	-
	0.40	32.710 ±0.122	"	0.073 ±0.0034	22.3×10^{-4}	35
	0.80	32.940 ±0.123	"	0.053 ±0.0020	16.1×10^{-4}	53
	1.60	33.37 ±0.13	"	0.037 ±0.002	11.1×10^{-4}	67
	2.40	33.30 ±0.127	"	0.021 ±0.001	6.31×10^{-4}	82

الجدول 7– نتائج خفض الفلور للحمض Raff عند الضغوط المخفضة بوجود السليكاجيل وعلى ثلاث مراحل.

التفريغ المطبق	اسم المرحلة	الحجم البدائي (ml)	الحجم النهائي (ml)	الكثافة ($gr\ cm^{-3}$)	P %	F^- %	الفسفور المسترجع في الرشاحة %	الفلور المسترجع في الرشاحة %	خفض الفلور %
0.5torr	Raff	-	-	1.289 ±0.011	12.17 ±0.05	0.095 ±0.006	-	-	-
	الأولى	250	158	1.301 ±0.01	12.150 ±0.052	0.046 ±0.002	90	44	56
	الثانية	135	80	1.305 ±0.01	12.290 ±0.052	0.022 ±0.001	89	42	81
	الثالثة	75	40	1.322 ±0.012	12.950 ±0.054	0.008 ±0.0003	92	32	94
5torr	الأولى	250	158	1.288 ±0.009	12.097 ±0.050	0.049 ±0.002	89	46	54
	الثانية	140	83	1.305 ±0.01	12.590 ±0.052	0.019 ±0.0008	93	35	84
	الثالثة	75	40	1.330 ±0.01	13.460 ±0.054	0.0065 ±0.0003	94	30	95
15 torr	الأولى	250	158	1.305 ±0.01	12.29 ±0.12	0.041 ±0.002	91	39	61
	الثانية	140	89	1.30 ±0.01	12.22 ±0.05	0.018 ±0.0008	89	39	84
	الثالثة	80	40	1.312 ±0.011	12.650 ±0.052	0.0044 ±0.00003	89	21	97

Δ عند درجة حرارة الغرفة °C + عند 15 Torr −



وزن السليكاجيل (gr)

الشكل 4– تأثير وزن السليكاجيل على خفض الفلور للحمض Raff عند الضغط 15torr، وعند درجة حرارة المخبر.

خفض الفلور في حمض الفسفور (Raff) مع إضافات وتحت التفريغ على ثلاث مراحل

عند 0.5 torr

طُبقت ثلاث مراحل لخفض الفلور في الحمض (Raff) بحيث أخذ في المرحلة الأولى حجم قدره 250 ml من الحمض ومزج مع 40 gr سليكاجيل عند الضغط 0.5 torr لمدة 30 دقيقة وعند درجة حرارة الغرفة 40°C. أُخذ في المرحلة الثانية حجم قدره 135 ml من الرشاحة الناتجة من المرحلة الأولى ومزجت مع 21.6 gr سليكاجيل تحت الشروط الآنفة الذكر. أخذ في المرحلة الثانية حجم قدره 75 ml من الرشاحة الناتجة من المرحلة الثانية ومزجت مع 12 gr سليكاجيل تحت الشروط نفسها. حلّلت الرشاحات الثلاث الناتجة لمعرفة نسبة خفض الفلور، والفسفور المسترجع مع الأخذ بالحسبان الحجم البدائي والنهائي للحمض الناتج في المراحل الثلاث. ويبين الجدول 7 النتائج الحاصلة. كانت نسبة الفلور بعد ثلاث مراحل: 94%.

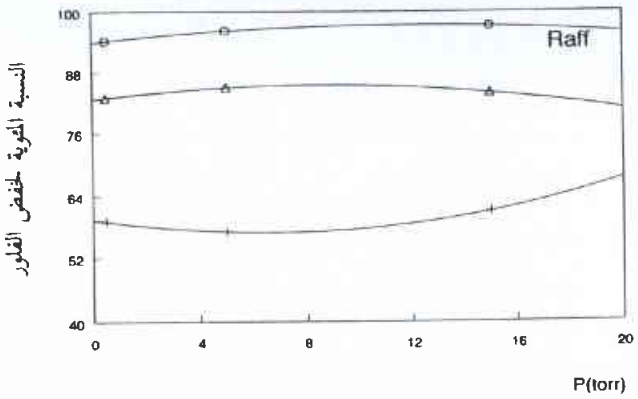
عند 5 torr

طبقت ثلاث مراحل أيضاً على الحمض Raff عند الضغط 5 torr ولمدة 30 دقيقة والدرجة 40 °C. ويظهر الجدول 7 النتائج الحاصلة للرشاحات الثلاث وكانت نسبة خفض الفلور بعد ثلاث مراحل 95% وتعتبر قريبة من نتيجة الضغط المطبق السابق.

عند 15 torr

طبقت المراحل السابقة نفسها مع تغيير الضغط حتى 15 torr. ويظهر الجدول 7 النتائج الحاصلة للرشاحات الثلاث حيث وصلت نسبة خفض الفلور بعد ثلاث مراحل إلى 97%. ويبين الشكل 5 العلاقة بين الضغط المطبق والنسبة المئوية لخفض الفلور للحمض Raff. نجد بالنتيجة أن أفضل نسبة لخفض الفلور هي 97% بتطبيق ضغط 15 torr وبالتسخين عند الدرجة 40 °C لمدة 30 دقيقة.

+ 1St Δ 2St ○ 3St



الشكل 5– العلاقة بين الضغط المطبق والنسبة المئوية لخفض الفلور للحمض Raff على ثلاث مراحل.

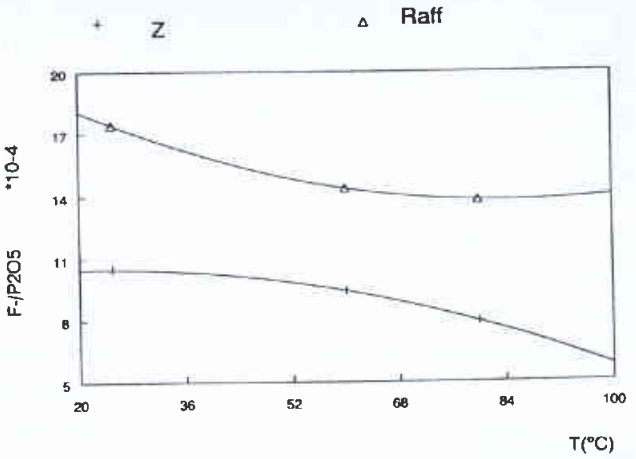
الجدول 8– نتائج تأثير درجة الحرارة على خفض الفلور للحمضين Z و Raff بوجود السليكاجيل ومع التحريك.

رمز العينة	درجة الحرارة (°C)	P_2O_5 %	تركيز الفلور قبل المعالجة %	تركيز الفلور بعد المعالجة %	$F^-\backslash P_2O_5$	خفض الفلور %
Z	-	28.740 ±0.118	0.103 ±0.004	-	$35.8X10^{-4}$	-
	25	28.653 ±0.124	"	0.030 ±0.0013	$10.5X10^{-4}$	71
	60	28.653 ±0.123	"	0.027 ±0.0013	$9.42X10^{-4}$	74
	80	29.020 ±0.128	"	0.023 ±0.0013	$7.93X10^{-4}$	78
Raff	-	27.88 ±0.50	0.095 ±0.006	-	$34.1X10^{-4}$	-
	25	27.623 ±0.113	"	0.048 ±0.0024	$17.4X10^{-4}$	49
	60	27.783 ±0.120	"	0.040 ±0.0015	$14.4X10^{-4}$	58
	80	28.310 ±0.125	"	0.039 ±0.0019	$13.8X10^{-4}$	60

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

خفض الفلور مع الإضافات والتحريك على مرحلة واحدة وعند درجات حرارة عالية

درس الحمضان Z و Raff بحيث أخذت ثلاث عينات من كل حمض ومزجت مع السليكاجيل -230. تم التحريك لمدة 10 دقائق وعند درجات الحرارة (25, 60, 80 °C). ويلخص الجدول 8 النتائج الحاصلة للرشاحات الثلاث لكل حمض، بحيث تزداد نسبة خفض الفلور محسوبة بالنسبة لـ F^-/P_2O_5 من 71% وحتى 78% للحمض Z عند الدرجتين 25 °C و 80 على الترتيب أما بالنسبة للحمض Raff فتزداد النسبة من 40% وحتى 60% عند الدرجتين 25 °C و 80 على الترتيب. لذا يلاحظ أن خفض الفلور يتحسن عند درجات حرارة عالية. ويظهر الشكل 6 العلاقة بين تغير درجة الحرارة والنسبة F^-/P_2O_5 للحمضين Z و Raff، إذ يلاحظ أن هذه النسبة تتناقص مع ازدياد درجة الحرارة لكل من الحمضين الآنفي الذكر ولكن النتيجة أفضل مع الحمض (Z).



الشكل 6- تأثير درجة الحرارة على خفض الفلور للحمضين Z و Raff بوجود السليكاجيل ومع التحريك.

أثر المولية

درست الحموض Z وF وR وRaff بمزجها مع السليكاجيل (30-120) لمدة 10 دقائق عند الحرارة (85-95 °C)، ووجد أن المولية تلعب دوراً هاماً في خفض الفلور ويفضل الحمض العالي المولية، بحيث تزداد نسبة خفض الفلور محسوبة بالنسبة لـ F^-/P_2O_5 من 92% وحتى 97% للحمضين Z و F، أما الحمضان (R وRaff) فكانت نسبة خفض الفلور 74% و 87% على الترتيب.

تأثير أبعاد دقائق السليكاجيل

درست الحموض Z، F، R وRaff بمزجها مع ميشين مختلفين للسليكاجيل 230 و (120 - 30) لمدة (10 دقائق) عند الدرجة 85-95 °C، ولوحظ أنه لا يوجد تأثير لأبعاد الدقائق على عملية خفض الفلور وهذه النتيجة تتوافق مع ملاحظات كوتش [3]. وكنا قد حصلنا على نتيجة مشابهة عند نزع الفلور من حمض الفسفور وتحت التفريغ وعلى مرحلة واحدة.

تأثير زمن التحريك

درس الحمض (R) بمزجه مع السليكاجيل -230 بحيث تم التحريك لمدة 10 و 30 دقيقة عند الحرارة 85-95 °C، ولوحظ أن إطالة التحريك لا تلعب دوراً في عملية خفض الفلور بحيث أن زمن تحريك قدره 10 دقائق يكفي لخفض الفلور حتى نسبة 86%. ويلخص الجدول 9 النتائج الحاصلة.

تأثير وزن السليكاجيل

درس الحمض (Raff) بأخذ عينتين حجم كل منها 25 ml ومزجتا مع وزنين مختلفين للسليكاجيل: (2 gr و4 gr). تم التحريك لمدة 10 دقائق وبدرجة الحرارة (85-95 °C). وقد وجد أن استعمال وزن أعلى من السليكاجيل أفضل من الوزن المنخفض حيث يعطي السليكاجيل مواقع فعالة أكثر، وكانت نسبة خفض الفلور 61% و74% على الترتيب بالنسبة للوزنين الآنفي الذكر. ويلخص الجدول 10 هذه النتائج.

خفض الفلور مع الإضافات والتحريك على عدة مراحل وعند درجات حرارة عالية

درست الحموض Z و Raff و RE بحيث استعملت النسبة حمض/سليكاجيل-230: 4 gr/25 ml. سخّن المزيج لمدة 10 دقائق بالدرجة 85-95 °C ورشح الحمض وهو ساخن. أجريت عملية نزع الفلور على ثلاث مراحل للحمضين Z و Raff، وعلى مرحلتين للحمض RE، بحيث أخذ في المرحلة الأولى حجم قدره 100 ml من الحمضين Z وRaff، ومزجت مع 16 gr سليكاجيل. أخذ في المرحلة الثانية الحجمان 50 ml و47 ml من رشاحات المرحلة الأولى ومزجت مع 8 gr سليكاجيل بالشروط نفسها، أما المرحلة الثالثة فاستعمل الحجمان 20 ml و18 ml من رشاحات المرحلة

الجدول 9- نتائج تأثير زمن التحريك على خفض الفلور للحمض R بوجود السليكاجيل وعند درجات حرارة عالية.

رمز العينة	زمن التحريك (min.)	P_2O_5 %	تركيز الفلور قبل المعالجة %	تركيز الفلور بعد المعالجة %	$F^-\backslash P_2O_5$	خفض الفلور %
R	-	48.626 ±0.157	0.364 ±0.02	-	$7.49X10^{-3}$	-
	10	48.010 ±0.169	"	0.051 ±0.002	$1.06X10^{-3}$	86
	30	48.465 ±0.173	"	0.046 ±0.002	$0.949X10^{-3}$	87

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

الجدول 10– نتائج تأثير وزن السليكاجيل على خفض الفلور للحمض Raff بوجود التحريك وعند درجات حرارة عالية.

رمز العينة	وزن السليكاجيل (gr)	P_2O_5 %	تركيز الفلور قبل المعالجة %	تركيز الفلور بعد المعالجة %	$F^-\backslash P_2O_5$	خفض الفلور %
Raff	-	27.88 ±0.50	0.095 ±0.006	-	$3.41X10^{-3}$	-
	2.0	28.630 ±0.119	"	0.038 ±0.0015	$1.327X10^{-3}$	61
	4.0	29.798 ±0.124	"	0.026 ±0.0013	$0.873X10^{-3}$	74

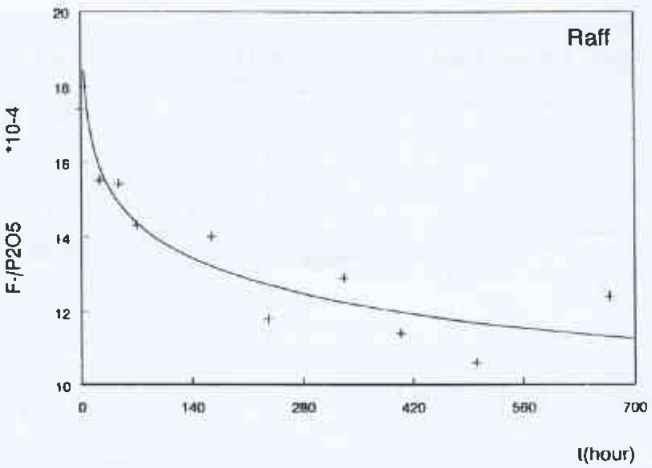
أمكن مضاعفة مولية الحمض لإنقاص عدد مراحل خفض الفلور. أخذ في المرحلة الأولى 50 ml من الحمض ومزجت مع 8 gr سليكاجيل تحت الشروط الآنفة الذكر، واستعمل في المرحلة الثانية 20 ml بمزجها مع 3 gr سليكاجيل بحيث كان الحجم النهائي 12 ml وكانت نسبة خفض الفلور للحمض RE: 96%. لذا ينصح بإنقاص حجم الحمض حتى النصف لمضاعفة المولية وبهذا تكفي مرحلتان لحذف الفلور بشكل كامل تقريباً. ويلخص الجدول 6 النتائج الحاصلة.

الثانية ومزجت مع 3 gr سليكاجيل تحت الشروط نفسها وكانت الحجوم الناتجة للحمضين Z و Raff: 12 ml و10 ml بحيث تم الوصول إلى نسبة خفض الفلور لهذين الحمضين 99% و 98% على الترتيب.

طبقت التجربة نفسها على الحمض RE ولكن باستعمال مرحلتين بعد أن تم تبخير الحمض لإنقاص حجمه (من 100 ml إلى 50 ml)، بحيث

الجدول 11– نتائج خفض الفلور للحموض Z و Raff و RE بوجود السليكاجيل ومع التحريك وعند درجات حرارة عالية وعلى مراحل.

رمز العينة /اسم المرحلة	الحجم البدائي (ml)	الحجم النهائي (ml)	الكثافة ($gr\ cm^{-3}$)	P %	F^- %	الفسفور المسترجع في الرشاحة %	الفلور المسترجع في الرشاحة %	خفض الفلور %
Z	-	-	1.266 ±0.007	12.55 ±0.052	0.103 ±0.004	-	-	-
الأولى	100	54	1.284 ±0.009	13.520 ±0.056	0.018 ±0.0008	95	18	82
الثانية	50	26	1.318 ±0.01	14.580 ±0.056	0.005 ±0.00004	95	25	**95**
الثالثة	20	12	1.361 ±0.01	16.010 ±0.059	0.001 ±0.00007	100	18	**99**
Raff	-	-	1.289 ±0.011	12.17 ±0.05	0.095 ±0.006	-	-	-
الأولى	100	51	1.306 ±0.01	12.580 ±0.052	0.041 ±0.0015	90	37	63
الثانية	47	22	1.316 ±0.01	12.950 ±0.054	0.012 ±0.0004	88	25	**91**
الثالثة	18	10	1.368 ±0.011	14.730 ±0.057	0.0033 ±0.00003	100	25	**98**
RE	-	-	1.548 ±0.011	20.027 ±0.074	0.112 ±0.004	-	-	-
الأولى	50	25	1.558 ±0.008	20.150 ±0.072	0.024 ±0.001	87	18	82
الثانية	20	12	1.559 ±0.01	20.670 ±0.076	0.0069 ±0.0003	91	25	**96**



الشكل 7– تأثير زمن التحريك على خفض الفلور للحمض Raff بوجود السليكاجيل وعند درجة حرارة المخبر.

خفض الفلور من الحمض Raff مع الإضافات والتحريك على مرحلة واحدة أو عدة مراحل تحت شروط مختلفة عند درجة حرارة المخبر

تأثير أبعاد السليكاجيل، زمن التحريك ووزن السليكاجيل على خفض الفلور بمرحلة واحدة

استعملت ثلاثة ميشات من السليكاجيل . (6 - 20 و30-120 و230) مزج الحمض Raff مع الميشات السابقة وفق النسبة المقترحة لمدة (5 دقائق) ووجد من نتائج التحليل أن نسبة خفض الفلور محسوبة على أن F^-/P_2O_5 هي الأسوء مع الميش (6 - 20) وبلغت 7%. ولم يلاحظ أي سلوك بالنسبة لبقية الميشات الأخرى.

درس زمن التحريك على الحمضين Z و Raff بمزجهما مع السليكاجيل ضمن الفترة الزمنية (10 دقائق حتى 28 يوم)، وقد وجد أن خفض الفلور المحسوب بالنسبة F^-/P_2O_5 يزداد من 50% إلى 64% للزمنين الآنفي الذكر على الترتيب وهذا عائد إلى حد الإشباع للسليكاجيل الذي لا يتيح وجود أي مواقع فعالة على سطحه. ويظهر الشكل 7 العلاقة بين زمن التحريك والنسبة F^-/P_2O_5 بحيث تتناقص هذه النسبة مع زمن التحريك.

درس أيضاً تأثير وزن السليكاجيل على الحمض Raff ووجد أن خفض الفلور المحسوب على أساس النسبة F^-/P_2O_5، يزداد من 56% إلى 77% للنسب حمض/ سليكاجيل: 4 gr/ 25 ml و10 gr/ 25 ml.

ويظهر الشكل 4 العلاقة بين وزن السليكاجيل والنسبة F^-/P_2O_5 هذه النتيجة تبين أن هذه النسبة تتناقص طرداً مع وزن السليكاجيل.

خفض الفلور على ثلاث مراحل

درس الحمضان Z و Raff بحيث استعملت النسبة حمض/ سليكاجيل -230: 4 gr/25 ml. حرّك المزيج لمدة 5 دقائق عند درجة حرارة المخبر ثم رشّح، بحيث تمت عملية خفض الفلور على ثلاث مراحل. أخذ في المرحلة الأولى 100 ml من كل الحمضين ومزجت مع 16 gr سليكاجيل، بحيث نتج بعد الترشيح حجم قدره 56 ml لكل منهما. أخذ في المرحلة الثانية 50 ml من كلا من الحمضين الناتجين مع 8 gr سليكاجيل، وكان ناتج الترشيح 28 ml لكل منهما. أخذ في المرحلة الثالثة 25 ml من الرشاحة الناتجة عن المرحلة الثانية ومزجت مع 4 gr سليكاجيل فكان الحجم النهائي 13 ml لكل منهما. وكانت نسبة خفض الفلور بعد

الجدول 12– نتائج خفض الفلور للحمضين Z و Raff بوجود السليكاجيل ومع التحريك وعند درجة حرارة المخبر وعلى ثلاث مراحل.

رمز العينة /اسم المرحلة	الحجم البدائي (ml)	الحجم النهائي (ml)	الكثافة ($gr\ cm^{-3}$)	P %	F^- %	الفسفور المسترجع في الرشاحة %	الفلور المسترجع في الرشاحة %	خفض الفلور %
Z	-	-	1.266 ±0.007	12.55 ±0.052	0.103 ±0.004	-	-	-
الأولى	100	56	1.264 ±0.011	12.510 ±0.054	0.030 ±0.0013	87	25	75
الثانية	50	28	1.271 ±0.01	12.620 ±0.054	0.0054 ±0.0002	89	16	**96**
الثالثة	25	13	1.268 ±0.009	12.650 ±0.054	0.0014 ±0.00008	86	22	**99**
Raff	-	-	1.289 ±0.011	12.17 ±0.051	0.095 ±0.006	-	-	-
الأولى	100	56	1.288 ±0.010	12.106 ±0.051	0.045 ±0.002	87	41	59
الثانية	50	28	1.289 ±0.011	12.090 ±0.051	0.018 ±0.0009	87	35	86
الثالثة	25	13	1.289 ±0.009	11.970 ±0.051	0.005 ±0.0002	85	24	**97**

ثلاث مراحل 99% و 97% للحمضين Z وRaff على الترتيب. ويلخص الجدول 12 النتائج الحاصلة. ونلاحظ أنه يمكن خفض الفلور في الحمض Raff حتى 97% وعلى ثلاث مراحل عند درجة حرارة المخبر وهي تعتبر نتيجة جيدة.

إمكانية استعادة حمض الفسفور من السليكاجيل

لوحظ في أثناء عمليات خفض الفلور في التجارب المذكورة أن 50% من الحمض يضيع في السليكاجيل. لذا جرت محاولة استعادة الحمض المفقود بحيث درس الحمضان Zو Raff وجرت عملية نزع الفلور عند الدرجة 85°C. أخذت السليكاجيل الناتجة عن معالجة الحمضين وغسلت بحوالي 100 ml من الماء المقطر تم تبخير الرشاحات لإنقاص الحجم ثم حلّلت، وقد وجد أن مولية الحمضين المفقودين Z وRaff هي 3.62 و3.6 وبذلك تكون نسبة استعادة الحمض من السليكاجيل: 71% و 72% على الترتيب.

الخاتمة

أمكن عملياً خفض الفلور في حمض الفسفور السوري بالنسب 94-97%، و 98%، و97% بتطبيق ثلاثة شروط: الضغط المخفّض 0.5-15 torr، درجة حرارة 80-95 °C، ودرجة حرارة المخبر على الترتيب.

كانت عملية تنقية الحمض من الفلور فعالة، وقد حافظ الحمض على مواصفاته. ينصح بتطبيق هذه الطرائق على حمض فسفور تجاري مشابه في مواصفاته للحمض السوري.

المراجع REFERENCES

[1] L. W. Bierman, M. L. Lopez and J. E. Perkins, USA Patent, 4, 877, 594 (Int. Cl Co1B 25 / 16; US Cl 423 / 32 lS), 1989.

[2] F. Habashi and F. T. Awadalla, Separ. Sci. Tech., 18, 485 - 491, 1983.

[3] G. Koch, E. Scheibler and F. Wolsten, in Proceedings of the Second International Congress on Phosphorus Compounds. Boston, 1980, Institute Mondial du Phosphate, Paris, 809 - 818, 1981.

[4] G. L. Beer and E. Chentob, USA Patent 4, 379, 776 (Int. Cl Co1 B25 / 16; US Cl 423 / 32 l S), 1983.

[5] A. Marcilla, F. Ruiz and D. Martinez - Pons, Solv. Extra. Ion Proc., 11 , 455 - 467, 1993.

[6] A. Marcilla, F. Ruiz, J. Campos and M. Asensio, Solv. Extr. Ion Exch., 7, 211 - 221, 1989.

[7] F. Ruiz, A. Marcilla and A. M. Ancheta, Solv. Extr. Ion Exch., 5, 1141 - 1150, 1987.

[8] E. Aharon and B. Avraham, Solv. Extr. Ion Exch., 2, 677 - 697, 1984.

[9] E. Aharon, H. Klara and B. Avraham, Solv. Extr. Ion Exch., 2, 659 - 675, 1984.

[10] G. Reinhard and S. Guenther, Ger Patent DE 3, 328, 499, (Int. Cl Co lB 25 / 46), 1985.

[11] S. Berte, V. F. Karmyshove, I. A. Spiridonova, S. L. Akhnazarova and I. A. Petropavlovskii, VINTT 1, 2068 - 2081, CA 97: 165369t, 1981.

[12] I. Alexander, B. Menacheny, O. Jacob and K. Dagobert, Ger Patent DE 3, 438, 655, (Int. Cl ColB 25 / 234), 1986.

[13] QUANTECH, Multi - Element - Analysen, MB3 / 139999, Bremen, Germany, 1999.

[14] R. Baidoon, J. Abu - Hilal and Abdul. W. Allaf, to be published, 2000.■

التغيّرات الفصلية في محتوى أوراق النغث الشرقي والحور الأسود من الآزوت، وتثبيت الآزوت الجوي في أنواع من النغث الخارجية المصدر، في سورية★

د. فواز كرد علي
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

أُجريت تجربتان هدفت الأولى منهما إلى دراسة كفاءة العقد الجذريّة وتثبيت N_2 في عدة أنواع من النغث المدخلة وهي: النغث الغروي Alnus glutinosa، النغث الأخضر Alnus viridis، النغث الرمادي Alnus incana، والنغث الأحمر Alnus rubra، وذلك في تربة جمعت من موقع تنمو فيه أشجار النغث الشرقي Alnus orientalis. أما الثانية فقد كان الهدف منها تحديد تغيرات محتوى الآزوت في أوراق ولحاء أشجار النغث الشرقي والحور الأسود Populus nigra النامية في موقع طبيعي وذلك على مدار سنتين متعاقبتين.

أظهرت النتائج أن بكتريا فرانكيا Frankia الموجودة طبيعياً في تربة النغث الشرقي استطاعت أن تشكّل عقداً جذريّة، وأن تثبت الآزوت الجوي في النوع المحلّي للنغث، إضافة إلى الأنواع الأخرى المدخلة من مواقع بيئية متباعدة. غير أنه لُوحِظ تفاوت في عدد العقد الجذريّة وكميات الآزوت المثبت بين الأنواع المدروسة. تراوحت النسب المئوية للآزوت المثبت من 5% في النغث الأخضر إلـى 60% في النغث الشرقي. بيّنت الدراسة المجهرية لعقد النوع النغث الشرقي وجود حويصلات وتبعت الفرانكيا إلى الطراز Sp-. كان تركيز الآزوت في أوراق النغث أعلى منه في أوراق الحور. وكان تركيز الآزوت الكلّي في أوراق النغث ثابتاً نسبياً خلال فصل الصيف (بحدود 3%)، في حين انخفض هذا التركيز انخفاضاً شديداً في أوراق الحور وارتفع في اللحاء. ولم تلاحظ زيادة جوهريّة في تركيز الآزوت في لحاء النغث، وكانت أوراق النغث المتساقطة غنية في محتواها من الآزوت. كما انخفض تركيز الآزوت في أوراق الحور في فصل الخريف بنسبـــة 43% خلال السنة الأولى وبنسبة 51% في السنة الثانية، في حين ازداد التركيز في اللحاء بنسب 71% و 100%. أما في نبات النغث فقد انخفض التركيز الكلّي للآزوت في الأوراق بنسب تراوحت ما بين 8 و 16%، وكانت القيم ثابتة نسبياً في اللّحاء. وبعكس نبات الحور يبدو أن نبات النغث الشرقي لم يظهر انتقالاً واضحاً للآزوت إلى اللّحاء.

الكلمات المفتاحية: نغث، حور، تركيز الآزوت، تثبيت الآزوت الجوي.

مقدمة

عرف حتى الآن حوالي 194 نوعاً من النباتات الثنائية الفلقة التي تتبع 24 جنساً موزعة في ثمان فصائل، بقدرتها على تثبيت الآزوت الجوي من خلال تشكيل حياة تكافلية مع بكتريا فرانكيا [1]. ويعتقد غالباً أن الجنس Alnus هو من أكثر أشجار الغابات أهمية، بحيث يضم 35 نوعاً واسع الانتشار في المناطق المناخية المعتدلة والباردة من النصف الشمالي من الكرة الأرضية، إضافة إلى انتشاره في المناطق المرتفعة من أمريكا الجنوبية والوسطى. يعتبر النغث الشرقي النوع الوحيد المنتشر في الشمال الغربي من سورية وذلك في المناطق الساحلية من حوض البحر الأبيض المتوسط. وُجِد هذا النوع في بيئات رطبة على جوانب الجداول والأنهار والبرك وتتميز جذوره بوجود عقد وفيرة. يشير التوزع الجغرافي الواسع لأنواع النغث إلى وجود اختلافات وراثية على مستوى النبات العائل وربما على مستوى الفرانكيا [2,3]. من الضروري أحياناً – عند إدخال نبات أكتينوريزي جديد – تلقيح النباتات بغية الحصول على تعايش فعّال وظيفياً [4]. غير أنه يمكن الاستغناء عن التلقيح عند وجود نباتات أكتينوريزية طبيعية تحمل عقداً جذرية نتيجة الإصابة ببكتريا طبيعية متوافقة. على سبيل المثال، لوحظ تشكّل سريع للعقد على جذور نباتات النغث الأخضر المدخلة إلى نيوزيلندة على الرغم من انتشار أنواع أخرى من النغث في مناطق تبعد آلاف الكيلومترات سواء في نصف الكرة الشمالي أو في المناطق الهندية من أمريكا الجنوبية. أضف إلى ذلك أنه لوحظت عقد

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Communications in soil science plant analysis*, Vol.31, No.15&16, 2509-2522 (2000).

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

جذرية وفيرة من النوع A. acuminata بعد إدخاله من أمريكا الجنوبية إلى بعض المناطق في أستراليا [5]. لقد بيّن بعض الباحثين [6,7] أن تربة ألاسكا وكندا استطاعت تشكيل عقد جذرية ليس فقط في النوع المحلي Dryas drummondii بل أيضاً في أنواع أخرى تابعة إلى فصيلة Rosaceae وذلك في مواقع جغرافية مختلفة ومتباعدة. لقد هدف هذا البحث إلى تبيان قدرة التربة، التي تنمو فيها أشجار النغث الشرقي، على إحداث عقد على جذور أنواع نغث أخرى.

تكمن أهمية أنواع النغث في عمليات التحريج واستصلاح الأراضي في قدرتها على تثبيت الآزوت الجوي بالتعايش مع بكتريا فرانكيا من جهة، وبغنى أوراقها المتساقطة بعنصر الآزوت من جهة أخرى.

تتصف معظم الأشجار المتساقطة الأوراق بانتقال الآزوت من الأوراق إلى أنسجة الساق والجذور قبل سقوطها. أما أنواع النغث المثبتة للآزوت الجوي فهي تختلف عن بقية الأنواع الخشبية من حيث انخفاض مقدرتها على تخزين الآزوت في الأنسجة الخشبية. لقد بيّن لفيف من الباحثين [8,9,10,11] انخفاض معدّل فَقْد الآزوت من أوراق النوع النغث الغروي بالمقارنة مع أشجار أخرى متساقطة وذلك في دراسات تضمّنت تقديراً كمّياً لتغيرات تراكيز الآزوت في الأوراق. لاتتوفر أي بيانات حول مقدرة النغث الشرقي من حيث الاحتفاظ بالآزوت. وهذا التقرير هو الأول الذي يتضمن معلومات عن هذا النوع. ومن أهداف هذه الورقة:

1- تقويم التوافق بين بكتريا فرانكيا الموجودة طبيعياً في تربة النغث الشرقي مع أنواع نغث أخرى منتشرة في مناطق جغرافية مختلفة وبعيدة من حيث تشكّل العقد الجذرية وتثبيت الآزوت الجوي باستخدام تقانة الفخ trapping [12,13] وذلك عن طريق زراعة هذه الأنواع في التربة المدروسة.

2- دراسة التغيرات الفصلية للآزوت في محتوى أوراق ولحاء النغث الشرقي ومقارنته مع الحور الأسود كنبات غير مثبت للآزوت الجوي.

المواد والطرائق

التجربة الأولى: تشكّل العقد الجذريّة وتثبيت الآزوت الجوي في عدة أنواع من النغث المدخلة والمزروعة في تربة مأخوذة من مهد النغث الشرقي

تمّ تطهير بذور خمسة أنواع من النغث هي: النغث الشرقي (منطقة بللوران – سورية) والنغث الغروي (منطقة Lusinay – فرنسا)، النغث الأخضر والنغث الرمادي (منطقة Col d'Ornon – فرنسا) والنغث الأحمر (نوع من شمال أمريكا زرع في منطقة Vilmorin من فرنسا)، سطحياً بغمرها في محلول هيبوكلوريد الصوديوم 3% لمدة خمس عشرة دقيقة. ثم غسلت في ماء معقم ومقطّر ووضعت في أطباق بتري معقمة على أوراق ترشيح مبلّلة بهدف الإنتاش. نقلت النباتات بعد ذلك إلى أصص من البولي إثيلين ذات سعة 600 ml (نبات واحد في كل أصيص) مملوءة بتربة جمعت من الطبقة السطحية (10 cm) من موقع طبيعي تنمو فيه أشجار النغث الشرقي. تمّ اختيار هذا العمق من نتائج سابقة بيّنت وجود كثافة بكتيريّة عالية للفرانكيا [12]. بلغ عدد الأصص لكل نوع مدروس عشرة أصص. استخدمت عشرة أصص إضافية مملوءة بتربة معقمة حرارياً (120°C لمدة 45 دقيقة) مزروعة بالنغث الشرقي كنباتات مرجعية لقياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي بتوظيف ^{15}N (طريقة القيمة A). أضيف سلفات الأمونيوم بمعدل 10 mg N/ أصيص وبنسب إغناء فوق الطبيعي مقداره 9.703 و 4.6337 ذرّة ^{15}N إلى كل من النباتات المثبتة والنباتات المرجعية على التوالي. وضعت الأصص ضمن ظروف إضاءة طبيعية لمدة 100 يوم، بحيث رويت يومياً إلى حدود السعة الحقلية . تمّ تقدير عدد العقد الجذريّة بعد حصاد النباتات، وجُفّفت الأجزاء الهوائية لكل نوع على درجة حرارة 70°C لمدة 72 ساعة. تمّ تقدير الآزوت الكلّي وفق طريقة كلداهل. وحُدّدت نسب $^{14}N/^{15}N$ باستخدام المطياف الضوئي (جاسكو –150– اليابان). حسبت النسب المئوية للآزوت المثبت %Ndfa باستخدام المعادلة [14]:

$$\%Ndfa = 100\left(1-\left(\frac{\%Ndff_F}{n\times\%Ndff_{NF}}\right)+\%Ndff_F\left(\frac{1}{n}-1\right)\right)$$

حيث أن n كمية الآزوت المضافة إلى النبات المثبت مقسومة على الكمية المضافة إلى النبات غير المثبت. %Ndff هي النسبة المئوية للآزوت الممتص من السماد في النبات غير المثبت (NF) وفي النبات المثبت (F)

$$\%Ndff = \left(\frac{\%^{15}N\ atom\ excess\ in\ plant\ sample}{\%^{15}N\ atom\ excess\ in\ fertilizer}\right)\times 100$$

حُسِبت النسبة المئوية للآزوت الممتص (%Ndfs) من التربة باستخدام المعادلة:

$$\%Ndfs = 100-(\%Ndfa + \%Ndff)$$

وتمّ تقدير الآزوت (mg N/ أصيص) بضرب النسب المئوية للآزوت Ndfa, Ndff, Ndfs في الآزوت الكلي للنبات. تمّ تقدير امتصاص الكلوروفيل في أوراق كل نوع في نهاية التجربة باستخدام جهاز SPAD meter (مينولتا، أوساكا– اليابان) على الأوراق المتوضعة في وسط النبات وعلى الورقتين الأخيرتين. أُجري التحليل الإحصائي ANOVA لتبيان أثر النوع، وحسب أقل فرق معنوي بين المتوسطات لتبيان معنوية الفروقات على مستوى ثقة 95%.

التجربة الثانية: تحديد تراكيز الآزوت في أوراق ولحاء النغث الشرقي والحور الأسود

وصف الموقع

أُجريت التجربة خلال سنتين متتاليتين (1996 و 1997) في موقع حراجي طبيعي من أشجار النغث الشرقي في الشمال الغربي من سورية في منطقة بللوران الواقعة على الدرجة 35 والدقيقة 54 شرقاً وعلى الدرجة 35 والدقيقة 45 شمالاً على ارتفاع 71 m عن سطح البحر. ينمو هذا النوع في بيئة رطبة ذات معدّل أمطار بحدود 827 mm. ينمو في الموقع عدد من الأشجار الأخرى مثل الحور الأسود، الصفصاف الأبيض Salix alba والدردار Fraxinus excelsior. تتصف التربة بقوام رملي (67.5% رمل و20% طين و12.5% سلت)، مع pH = 7.8، Ec0.43، $CaCO_3$ 1.79%

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

والمادة العضوية 14.48%. بلغ تركيز النترات في تربة النغث الشرقي والحور 10.45 و 1.4 مكروغرام لكل 1 kg تربة على التوالي. تمّ استخلاص الآزوت النتراتي بحمض KCl(2M) في محلول 1/10 بعد الرّج لمدة ساعة. تمّ تقطير المحلول وقُدِّر الآزوت بالمعايرة بحمض الكبريت.

منهج الاعتيان والتحاليل

تمّ اختيار عدد من الأشجار المتجانسة الطول (15 m والعمر (<10 سنوات). تمّ جمع العيّنات الورقية من طرود السنة الجارية بشكل عشوائي وذلك من أربع أشجار من النغث الشرقي ومن الحور الأسود، بفواصل زمنية مدتها أربعة أسابيع. بُدِيء بجمع العيّنات من 15 كانون الثاني وحتى سقوط الأوراق في منتصف شهر تشرين الثاني. فُصل لحاء الطرود المنتخبة عن الخشب وقُدِّر محتواها من الآزوت. تمّ اختيار ثلاثة فروع من كل شجرة متوضعة على مواقع مختلفة بجانب قمة جذع الشجرة بشكل عشوائي وذلك في كل مرحلة من مراحل الاعتيان. جُفِّفت العيّنات الورقية واللحاء على درجة حرارة 70°C لمدة 42 ساعة. وقدّر تركيز الآزوت فيها كنسب مئوية من المادة الجافة، باستخدام طريقة كلداهل.

اختبارات بالمجهر الضوئي

تمّ تثبيت بعض العقد الجذرية المتشكّلة طبيعياً على جذور أشجار النغث الشرقي في 30 ml من محلول حمض الكروميك 1%، و 20 ml من حمض الخل 10%، و 100 ml من الفورمالين و 40 ml من الماء المقطّر. تمّ تجفيف فلقات العقد الجذريّة في تراكيز متزايدة من ايثانول - كسيلول (50 إلى 100%)، وغمرت في شمع البارافين لمدة ليلة واحدة بدرجة 60°C . أجريت بعد ذلك مقاطع طولية على القطع بثخانة 10 مكرومتر باستخدام القاطع المِكروني الدقيق، وثُبِّتت المقاطع بمحلول أزرق التولدين 1%(W/V) وعُوملت ببلسم كندا.

النتائج والمناقشة

التجربة الأولى

تُعدّ هذه الدراسة أول تقرير يتناول تشكّل العقد الجذريّة وتثبيت الآزوت الجوي وتغيرات الآزوت في أوراق نبات النغث الشرقي بحيث أكدت نتائجها أن الطابع الموصوف سابقاً لأنواع أخرى من النغث يحدث أيضاً في مواقع النغث في سورية

تناولت هذه الدراسة اختبار كفاءة تشكّل العقد الجذريّة وتثبيت الآزوت الجوي في أنواع مدخلة من النغث مزروعة في تربة النغث الشرقي. وقد أعطت طريقة "الفخ" معلومات كمية عن وجود الفرانكيا في عيّنات التربة المأخوذة من مهد النغث الشرقي. استطاعت الفرانكيا المحلّية تشكيل عقد على جذور الأنواع الأخرى من النغث. وهذه النتيجة غير مفاجئة نظراً لأنه لُوحِظ في الطبيعة تشكل عقد جذريّة في نباتات زرعت لأول مرة في ترب لم تزرع سابقاً بالنباتات الأكتينوريزية [15,16]. غير أن الإصابة والوظيفة التعايشية اختلفتا معنوياً بين أنواع النغث (الجدول 1). وكما هو متوقع لقد أبدت الفرانكيا في تربة النغث الشرقي كفاءة مرتفعة في تشكّل العقد الجذريّة في النوع المحلّي وذلك بالمقارنة مع الأنواع المدخلة. كان عدد العقد الجذريّة في النوعين النغث الغروي و النغث الشرقي متقارباً، تلاهما النغث الرمادي، في حين كان عدد العقد في النوع النغث الأحمر في الحد الأدنى. كان شكل العقد المتشكّلة على جذور الأنواع الثلاثة، النغث الغروي والنغث الشرقي، والنغث الرمادي طبيعياً وأبدت نشاطاً في تثبيت الآزوت الجوي. غير أن العقد المتشكّلة على جذور النغث الأحمر كانت أقل عدداً وحجماً وذات نشاط تثبيتي منخفض (الجدول 1). أما النوع النغث الأخضر فقد أخفق في تشكيل عقد فاعلة، وهذا يمكن أن يكون ناجماً عن عدم وجود توافق بين الشريكين [17].

لوحظ وجود توافق بين نتائج تشكل العقد الجذرية وقراءات الكلوروفيل ومحتوى الآزوت وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي، في الأنواع المدروسة. بلغت النسب المئوية للآزوت المثبت (Ndfa%) 66، 53، 32، 21، و 5% في النغث الشرقي والنغث الغروي والنغث الرمادي والنغث الأحمر والنغث الأخضر على التوالي (الجدول 1). هذا وقد لوحظ الاتجاه ذاته في بيانات المادة الجافة والآزوت الكلي وكميات الآزوت المثبت. يقترح ارتفاع الكمية التي ثبتت في النغث الغروي (10.2 mg N/ أصيص) بالمقارنة مع الكمية المثبتة في النغث الشرقي (17.6 mg N / أصيص)، القدرة المرتفعة للنغث الغروي كنوع مثبت للآزوت الجوي خارج موطنه الأصلي، وهذا يعود على الأرجح إلى تماثل بيئات النمو لكلا النوعين، وهي مواقع ذات محتوى مرتفع من الرطوبة، مثل المستنقعات

الجدول 1- المتوسطات والانحرافات القياسية للعدد الكلي للعقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة للأجزاء الهوائية والآزوت الكلّي ومصادره في خمسة أنواع من النغث النامية في تربة النغث الشرقي.

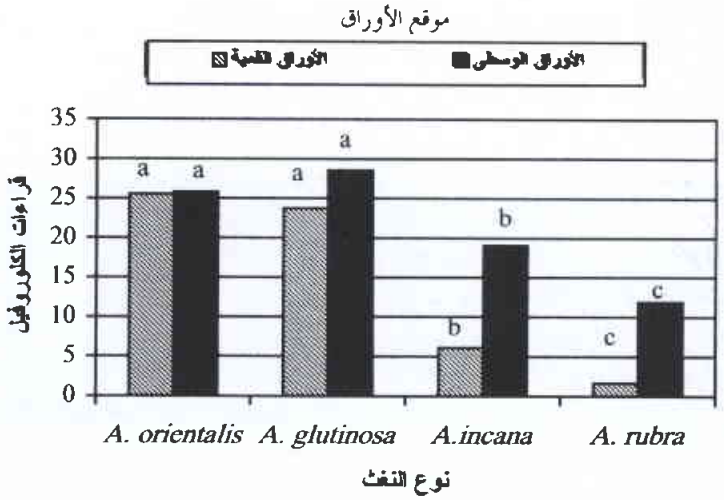
أنواع النغث	عدد العقد	المادة الجافة (mg)	محتوى الآزوت (mg)	Ndff		Ndfs		Ndfa	
	أصيص	أصيص	أصيص	%	mg أصيص	%	mg أصيص	%	mg أصيص
A.orientalis	13a	1010a	26.10a	6.06c	1.56a	27.80	7.19a	66.14a	17.35a
S.D	6	230	7.09	0.87	0.4	3.99	1.85	4.86	0.4
A. glutinosa	11a	890a	19.35b	8.48b	1.64a	38.95b	7.55a	52.57b	10.16b
S.D	8	330	7.46	0.25	0.64	1.15	2.93	1.40	3.91
A. incana	6b	240c	5.56c	12.19c	0.68b	56.02c	3.12b	31.79c	1.77c
S.D	2	80	2.04	0.02	0.25	0.92	1.13	1.12	0.67
A. rubra	1c	130bc	2.36cb	14.15b	0.33c	65.01b	1.54c	20.84b	0.49c
S.D	1	60	1.00	0.07	0.14	0.33	0.65	0.40	0.20
A. viridis	<1	10c	0.14d	16.99a	0.02c	78.10a	0.11c	4.91c	0.007c
S.D	-	2	0.05	0.52	0.01	2.14	0.04	2.93	0.01

الأرقام المشار إليها (في العمود) بأحرف متشابهة لاتختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05 (متوسط 10 نباتات) Ndfa (الآزوت المثبت)، Ndfs (الآزوت الممتص من التربة) Ndff (من السماد).

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

وجوانب البحيرات والأنهار في حين تنمو الأنواع الأخرى بشكل طبيعي في مواقع أكثر جفافاً. اتصف نبات النغث الشرقي بكفاءة تثبيتية أقل من الأنواع الأخرى النامية في مواقعها البيئية الطبيعية [18,19]. لذلك يمكن أن يتمتع هذا النوع المحلي بكفاءة تثبيتية أعلى في الحقل مقارنةً مع ما تمّ الحصول عليه في الأصص. وهذا يتطلب تقديراً لكفاءة تثبيت الآزوت الجوي في الموقع الطبيعي للنغث المحلي باستخدام طريقة الوفر الطبيعي للنظير ^{15}N والتي اعتبرت أنسب الطرائق لقياس الآزوت المثبت في الأنظمة البيئية للغابات [18].

على الرغم من اختلاف كميات الآزوت المثبتة في النوعين النغث الشرقي والنغث الغروي، غير أنهما امتصا كميات متقاربة من آزوت التربة (الجدول 1). لذلك يمكن الاستنتاج أن اختلاف المقدرة على تثبيت الآزوت الجوي بين هذين النوعين هو العامل المحدد في اختلاف كميات الآزوت الكلي فيهما. يشير الأداء الجيد للنوع المدخل (النغث الغروي) من حيث التعقد وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي إلى عدم ضرورة تلقيحه عند الرغبة في إدخاله كنبات حراجي في منطقة الدراسة. هنالك العديد من الأمثلة التي بينت الاستغناء عن تلقيح الأنواع النباتية المدخلة والناتجة من مصادر جغرافية بيئية بعيدة [7,6]. وبالمقابل بيّن عدد من الباحثين [4] ضرورة تلقيح بعض الأنواع الأكتينوريزية كالنوع Casuarina cunninghamiana. ومن الجدير ذكره في هذا الصدد ضرورة توخي الحذر لدرجة التوافق بين الفرانكيا والنبات المضيف عند الرغبة في إدخال نوع جديد من النغث في منطقة ما بوجود العوامل الحيوية وغير الحيوية كالتأثر مع أحياء التربة الأخرى والإجهادات البيئية وإتاحة المغذيات [2,3,13,20]. وبناءً على ما سبق، ينبغي في الأعمال القادمة عزل وتوصيف الفرانكيا المحلّية. ويمكن لهذه العزلات أن تكون هامة من حيث الفعالية التعايشية (الإصابة والنشاط) في دراسات التوافقية مع أنواع أكتينوريزية أخرى.



الشكل 1– قراءات الكلوروفيل في خمسة أنواع من النغث المزروعة في تربة النغث الشرقي. الأعمدة المشار لها بأحرف متشابهة لاتختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05.

تعطي قراءات امتصاص الكلوروفيل (الشكل 1) مؤشراً عن كفاءة التمثيل الضوئي في النبات. أشارت النتائج إلى ارتفاع قيم امتصاص الكلوروفيل في النوعين النغث الشرقي والنغث الغروي بحيث عكست ارتفاع كفاءتهما التثبيتية مقارنة مع الأنواع الأخرى. لذلك يمكن أن تستخدم هذه التقنية في دراسات مستقبلية للتميز والانتخاب السريع بين الطرز الوراثية من حيث قدراتها على التمثيل الضوئي التي ترتبط بشكل وثيق بتثبيت الآزوت الجوي.

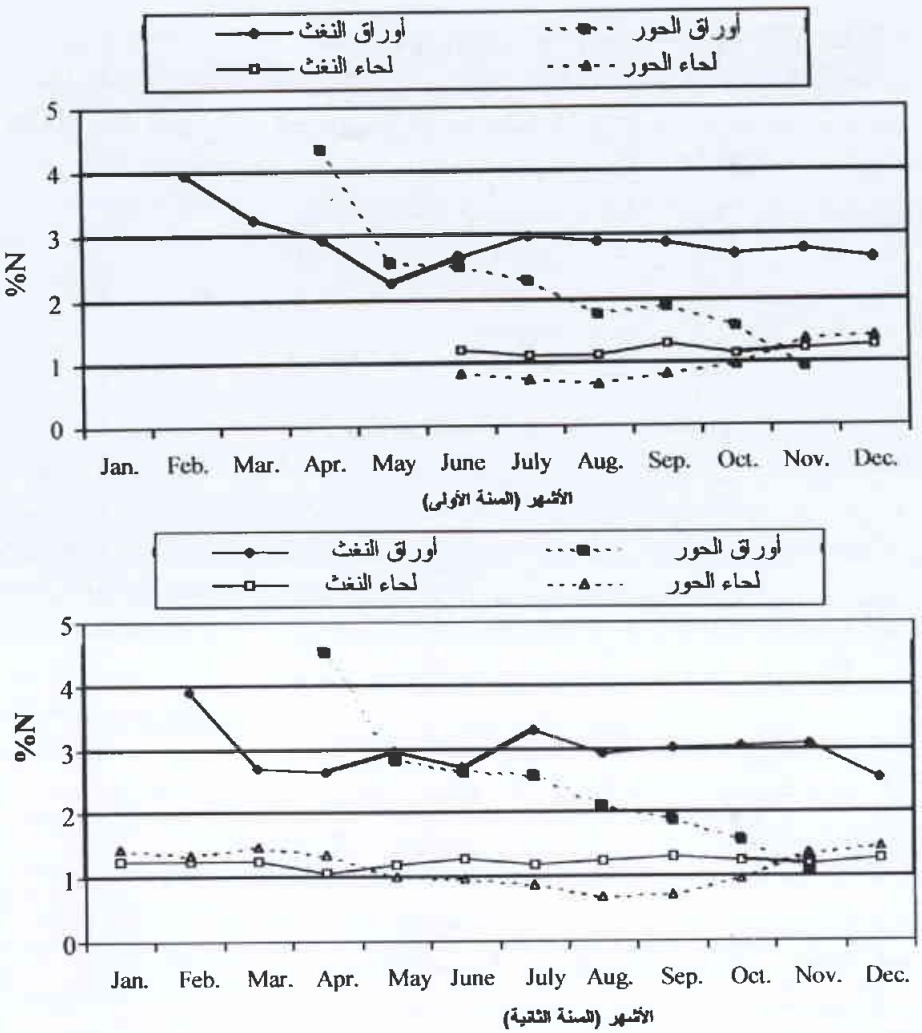
التجربة الثانية

تمّ في هذه التجربة تحديد التغيرات الفصلية في تركيز الآزوت في أوراق ولحاء النغث الشرقي والحور الأسود خلال سنتين متتاليتين 1996 و1997 (الشكل 2). بدأت أوراق النغث الشرقي بالظهور باكراً في شهر شباط وسقطت في شهر كانون الأول. وبالعكس، بدأت أوراق الحور بالظهور متأخرة في شهر نيسان وسقطت في تشرين الثاني. وبعكس نبات الحور أيضاً، حافظت أوراق النغث على لونها الأخضر حتى الشتاء. وهذه الملاحظة شائعة الحدوث في أنواع أخرى من النغث [10].

بلغ تركيز الآزوت في أوراق النغث المتساقطة والتي جمعت في شهر كانون الثاني 2.26% وذلك في الأوراق التي كانت نسبة اللون البني فيها 50%، في حين كانت نسبة الآزوت في الأوراق البنية اللون 2.15%. ومن الملاحظ أن هذه القيم أعلى بكثير من تلك المقيسة في أوراق الحور المتساقطة 0.85%. لقد تبيّن في دراسة سابقة [21] أن أوراق النغث المتساقطة سهلة التحلّل ويمكن للآزوت الناتج من معدنة الآزوت العضوي أن يفيد نباتات الحور المزروعة إلى جانب النغث في غضون ستة أشهر. كانت النسب المئوية للآزوت في أوراق النغث المتساقطة قريبة من القيم الملاحظة في الأوراق المتبقية على قاعدة وقمة الشجرة (2.62 و2.52% على التوالي). تأتي أهمية استخدام الأشجار المثبتة للآزوت الجوي في تحسين خصوبة التربة من خلال تزويدها بالآزوت الجوي. فارتفاع تركيز الآزوت النتراتي في تربة النغث الشرقي (10.4 مكرو غرام/كغ تربة) مقارنة مع تلك في تربة الحور (1.4 مكرو غرام/كغ تربة) مترافقة مع ارتفاع تركيز الآزوت في أوراق النغث المتساقطة.

كان تركيز الآزوت في أوراق النغث والحور الجديدة (في بداية موسم النمو) أعلى من القيم الملاحظة في الأشهر اللاحقة (الشكل 2). أظهرت أوراق النغث تغيرات فصلية من حيث N%. حيث كانت أعلى في بداية موسم النمو، ثم انخفضت خلال شهري آذار ونيسان. وازدادت القيم بعد ذلك وحافظت على قيمة ثابتة نسبياً خلال الصيف بحيث كانت قمة N% في أوراق النغث في شهر تموز، وهذا قد يرجع إلى ارتفاع النشاط التثبيتي. وبعد ذلك انخفض تركيز الآزوت بشكل بسيط في شهري تشرين الثاني وكانون الأول وخاصة في السنة الثانية.

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



الشكل 2– التغيرات الفصلية لتراكيز الآزوت في أوراق ولحاء النغث الشرقي والحور الأسود خلال سنتين متتاليتين.

كان الطابع الفصلي لمحتوى أوراق الحور من الآزوت مختلفاً عن النغث، حيث كانت N% مرتفعة في بداية الربيع وانخفضت القيم تدريجياً خلال موسم النمو.

كان تركيز الآزوت في لحاء النغث الشرقي أعلى مما هو عليه في لحاء الحور وذلك من شهر أيار وحتى تشرين الأول. أما في شهري تشرين الثاني وكانون الأول فقد كان تركيز الآزوت في لحاء الحور أعلى من القيمة الملاحظة في نهاية شهر آب، مما يشير إلى تخزين الآزوت في اللحاء، في حين لم تلاحظ مثل هذه الاختلافات في النغث الشرقي النامي في الموقع ذاته. كان تركيز الآزوت في أوراق الحور الجديدة أعلى منه في أوراق النغث. وهذا ناجم عن إعادة استخدام الآزوت المخزن في لحاء الحور. وفي هذا الصدد، أظهرت نتائج سابقة [22] أن كامل آزوت أوراق الحور الأبيض (100%) التي تظهر أولاً نتجت من الآزوت المخزن، في حين كانت نسبة الاستفادة من المدخر الآزوتي في أوراق النغث الغروي 30% فقط.

يبين الجدول 3 النسب المئوية للتغيرات الخريفية لتركيز الآزوت في أوراق ولحاء النغث الشرقي والحور الأسود وذلك خلال سنتين متعاقبتين. انخفض تركيز الآزوت في أوراق الحور التي جمعت منذ شهر أيلول وحتى كانون الأول بمعدل 43% في السنة الأولى وبمعدل 51% في السنة الثانية. غير أن تركيز الآزوت في لحاء الحور ازداد بنسبة 71% و 100% في السنتين الأولى والثانية، على التوالي. كانت الزيادة الشهرية في تركيز الآزوت في لحاء الحور – في معظم الحالات – قريبة من القيم التي فقدتها الأوراق وذلك في السنتين المذكورتين. وتوافق هذه النتائج تلك التي حصل عليها باحثون آخرون [9] حيث ازدادت نسبة الآزوت في لحاء نبات Populus deltoides بمعدل 97% خلال الخريف.

انخفض تركيز الآزوت في أوراق النغث منذ شهر أيلول وحتى كانون الأول بمعدل 8% في السنة الأولى وبمعدل 16% في السنة الثانية، ولم تلاحظ تغيرات جوهرية في اللحاء (-2%). غير أن تركيز الآزوت في اللحاء خلال الفترة الواقعة من منتصف تشرين الثاني ولغاية منتصف كانون الأول ازداد بمعدل 4% و 8%. تتوافق هذه النتائج مع نتائج أخرى أجريت على أنواع مختلفة من النغث. ففي دراستين أجريتا على نبات Alnus glutinosa تبيّن انخفاض تركيز الآزوت في الأوراق خلال الخريف بمعدل 16% [6]، و 14% [11]. وفي دراسة أخرى على النوع ذاته وجد أن تركيز الآزوت في اللحاء قد ازداد بمعدلات تراوحت ما بين 9 و 23% وذلك بحسب موقع الدراسة، مما يشير إلى أن فقد الآزوت من الأوراق خريفاً يتأثر بنوع النغث وبموقع الدراسة.

الجدول 2– النسب المئوية للآزوت في أوراق النغث الشرقي المتساقطة والمتبقية على النبات في شهر كانون الثاني.

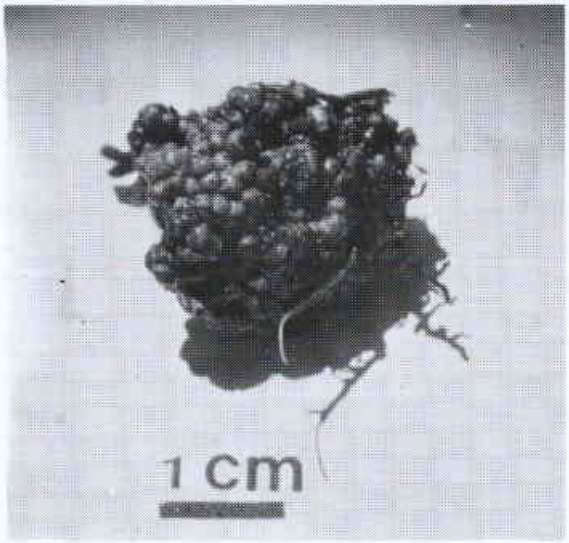
الأوراق المتبقية (خضراء)		الأوراق المتساقطة	
القمة	القاعدة	اللون البني 100%	اللون البني 50%
2.52 ± 0.06	2.62 ± 0.14	2.15 ± 0.02	2.26 ± 0.01

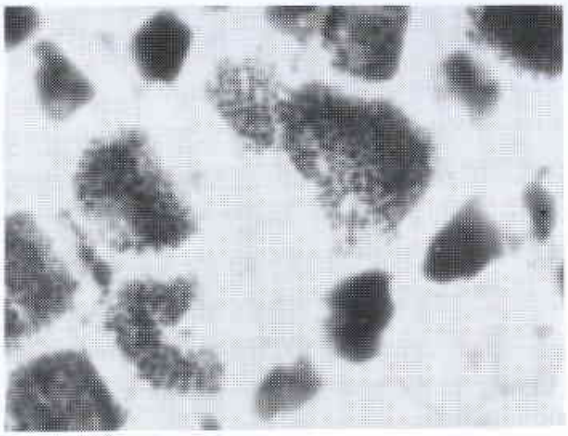
يبّنت الدراسة المجهرية لعقد النغث الشرقي الجذرية وجود بنية داخلية وخارجية نموذجية. وقد احتوت الخلايا على حويصلات وفيرة مع الإشارة إلى القدرة على تثبيت

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

الجدول 3– النسب المئوية لتغيرات تركيز الآزوت في أوراق ولحاء النغث الشرقي والحور الأسود خلال الفترات الواقعة بين أيلول وحتى كانون الأول. (تمّ حساب % للتغير بالمقارنة مع العيّنة المأخوذة في المرحلة السابقة مباشرة).

	أيلول–تشرين 1	تشرين1–تشرين 2	تشرين2–كانون 1	الفترة الخريفية كاملة (Sep. to Dec.)
	% لاختلافات في تركيز الآزوت			
أوراق الحور				
1st year	-17	-41	-	**-51**
2nd year	-17	-31	-	**-43**
لحاء الحور				
1st year	+17	+42	+3.5	**+71**
2nd year	+34	+39	+8.0	**+101**
أوراق النغث				
1st year	- 6	+2.6	-5	**-8**
2nd year	+0.6	+0.3	-17	**-16**
لحاء النغث				
1st year	-12	+8	+4	**-2**
2nd year	-3.7	-5	+7.5	**-2.2**





الشكل 3– العقد الجذرية للنغث الشرقي ومقطع طولي في إحدى فلقات العقدة ويلاحظ وجود حويصلات وفيرة من بكتريا فرانكيا داخل الخلايا.

الآزوت الجوي [23,24,25]. كما وجد أن العقد الجذرية هي من الطراز Sp[20,25,26].

الاستنتاج

تضمّنت هذه الدراسة أول تقرير يتناول النغث الشرقي وتبيّن من خلالها قدرة بكتريا فرانكيا التابعة لأحد أنواع النغث على إحداث عقد جذرية في أنواع نغث أخرى بعيدة جغرافياً. كما أظهرت النتائج بوضوح أن التغيرات الخريفية لتراكيز الآزوت في أوراق ولحاء النغث الشرقي وأنواع نغث أخرى تختلف جوهرياً عما يحدث في غيرها من الأشجار المتساقطة الأوراق. فخلال المرحلة الأخيرة من هرم الأوراق لم يلاحظ انخفاض جوهري في تركيز أوراق النغث، في حين كان الانخفاض كبيراً في الحور. لذلك يمكن الاستنتاج من حقيقة عدم وجود فَقْد واضح لآزوت أوراق النغث أثناء فصل الخريف بأن الجنس Alnus يتمتع بهذه الصفة، حيث تتميز أنواع النغث عن غيرها من الأشجار المتساقطة الأوراق بالحفاظ على اللون الأخضر في أوراقها لمدة طويلة وبمعدل منخفض من الآزوت [8,9].

هناك حاجة ماسة في البلدان النامية لاستخدام الأراضي الهامشية بشكل أمثل، وذلك بزراعة الأشجار الأكتينوريزية بهدف إنتاج الوقود والخشب والمواد الكيميائية. ويعتبر النوع النغث الشرقي واحداً من هذه النباتات التي يمكن أن تلبي هذه الحاجة، إضافةً إلى إمكانية استخدام هذا النوع في الزراعات المختلطة مع نباتات غير مثبّتة للآزوت الجوي نظراً لاعتبار النغث مصدراً هاماً للآزوت، إذ يمكن أن تستفيد منه النباتات المزروعة إلى جانبه [21]. ونظراً للفوائد العديدة التي تقدمها النباتات الأكتينوريزية، فإنه من الواجب والضروري تنشيط المحاولات لزيادة الاستفادة منها في عمليات التحريج الزراعي [27].

المراجع REFERENCES

[1] Benson, D.R and W.B. Silvester. 1993. Biology of Frankia strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants. Microbiol. Rev. 57: 293-319.

[2] Dillon, J.T. and D. Baker. 1982. Variation in nitrogenase activity among pure-cultured Frankia strains tested on actinorhizal plants as an indication of symbiotic compatibility. New Phytol. 92: 215-219.

[3] Dawson, J. O. and S.H. Sun. 1981. The effect of Frankia isolates from Compotonia peregrina and Alnus crispa on the growth of Alnus glutinosa, A. cordata, and A. incana clones. Can. J. For. Res. ll: 758-762.

[4] Diem, H.G. and Y.R- Dommergues. 1990. Current and potential uses and management of Casuarinaceae in the tropics and subtropics. pp 317-342. In: C.R. Schwintzer and J.D. Tjepkema (eds). The Biology of Frankia and Actinorhizal Plants, Academic Press, New York.

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

[5] Dreyfus, B.L., H.G. Diem, J. Freire, S.O. Keya, and Y.K. Dommergues. 1987. Nitrogen fixation in tropical agriculture and forestry. pp. 7-50. In: E. G. DaSilva, Y.R. Dommergues, E.J. Nyns and C. Ralledge (eds.), Microbial technology in the developing world, Oxford University Press, London.

[6] Dawson, J.O. 1993. Nitrogen fixation in forests and agroforestry. pp. 227-253. In: F. Blaine and J.R. Metting (eds.), Soil microbial ecology, Applications in agriculture and environmental management, Marcel Dekker, Inc. New York.

[7] Kohls, S.J., J. Thimmapuram, C.A. Buschena, M.W Paschke, and J.O. Dawson. 1994. Nodulation patterns of actinorhizal plants in the family Rosaceae. Plant Soil 162: 229-239.

[8] Côté, B., C.S. Vogel, and J.O. Dawson. 1989. Autumnal changes in tissues nitrogen of autumn olive, black alder and eastern cottonwood. Plant Soil 118: 23-32.

[9] Côté, B. and J.O. Dawson. 1986. Autumnal changes in total nitrogen, salt-extractable proteins and amino acids in leaves and adjacent bark of black alder, eastern cottonwood and white basswood. Physiol. Plant. 67:102-108.

[10] Dawson, J.O. and D.T. Funk. 1981. Seasonal changes in foliar nitrogen concentration of Alnus glutinosa. For. Sci. 27: 239-243.

[11] Rodriguez-Barrueco, C., C. Miguel, and P. Subramaniam. 1984. Seasonal fluctuations of the mineral concentration of alder) Alnus glutinosa (L.)Gaertn.) from the field. Plant Soil 78: 201-208.

[12] Kurdali, F. and A.M Domenach. 1991. Evaluation of nodulation capacity in Alnus glutinosa seedlings grown in soil sampled from various depths. Acta Ecologica 12: 397-401.

[13] Zitzer, S.F. and J.O. Dawson. 1992. Soil properties and actinorhizal vegetation influence nodulation of Alnus glutinosa and Elaeagnus angustifolia by Frankia. Plant Soil 140: 197-204.

[14] Hardarson, G.,S.K.A. Danso, F. Zapata, and K. Reichardt. 1991. Measurements of nitrogen fixation in fababean at different N fertilizer rates using the ^{15}N isotope dilution and 'A-value' methods. Plant Soil 131: 161-168.

[15] Huss-Danell, K. and A. K. Frej. 1986. Distribution of Frankia in soils from forest and afforestation sites in northern Sweden. Plant Soil 90: 407-418.

[16] Smolander, A. 1990 Frankia populations in soils under different tree species-with special emphasis on soils under Betula pendula. Plant Soil 121: 1-10.

[17] Kurdali, F., A. Capellano, A. Moiroud, and A.M. Domenach. 1989. Study of the contribution of the shoot and/or root of Alnus sp. in the compatibility between the host plant and a Sp^+ Frankia strain using grafting technique. Plant Soil 113: 101-109.

[18] Domenach, A.M., F.Kurdali and R. Bardin. 1989. Estimation of symbiotic dinitrogen fixation in alder forest by the method based on natural ^{15}N abundance. Plant Soil 118: 51-59.

[19] Kurdali F., A.M. Domenach, L. Bouvarel, and A. Moiroud. 1993. Field comparison of $\delta^{15}N$ values and growth of alder provenance and species. Soil Sci. Plant Nutr. 39: 635-643

[20] Kurdali, F., G. Rinaudo, A. Moiroud, and A.M. Domenach. 1990b. Competition for nodulation and $^{15}N_2$ fixation between a Sp^+ and a Sp^- Frankia strain in Alnus incana. Soil Biol. Biochem. 22: 57-64

[21] Kurdali, F., A.M. Domenach, and R. Bardin. 1990a. Alder-Poplar association: Determination of plant nitrogen sources by isotope techniques. Biol. Fertil. Soils 9: 321-329.

[22] Domenach, A.M. and F. Kurdali. 1989. Influence des réserves azotées sur la formation des feuilles d' Alnus glutinosa et ses conséquences dans l'estimation de la fixation d'azote. Can. J. Bot. 67: 865-871.

[23] Hahn, D., M.J.C. Starrenburg, and A.D.L. Akkermans. 1988. Variable compatibility of cloned Alnus glutinosa ecotypes against ineffective Frankia strains. Plant Soil 107: 233-243.

[24] Moiroud, A. and V. Gianinazzi-Pearson. 1984. Symbiotic relationships in actinorhzae. pp 205-223. In: D.P. S. Verma and T. Holn (eds). Genes Involved in Microbe-Plant Interactions, Springer - Verlag, Vienna.

[25] Houwers, A. and A.D.L. Akkermans. 1981. Influence of inoculation on yield of Alnus glutinosa in the Netherlands. Plant Soil. 61: 189-202.

[26] Van Dijk, C. 1978 Spore formation and endophyte diversity in root nodules of Alnus glutinosa (L.) VIII. New Phytol. 81: 601-615.

[27] Dawson, J.O. 1996, Actinorhizal plants: their use in forestry and agriculture. Outlook on Agriculture 15: 202-208.■

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

التقارير العلمية

تطوير الكود الهدروحراري HYDMN بما يلائم حالة المفاعل MNSR المستقرة*

د. محمد البرهوم، سلمان محمد
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

نعرض فيما يلي مسألة الحالة المستقرة الهدروحرارية للمفاعل MNSR. يُوجِد الكود هايدمن HYDMN توزع درجات الحرارة في قلب المفاعل والعاكس وماء الحاوية في أي مستوٍ محصور بين مستويي أسفل قلب المفاعل وأعلاه، اعتماداً على نتائج حسابات الكود سيركو -1 النترونية.

إضافة إلى ما تقدَّم ذكره، بإمكان الكود هايدمن إيجاد القناة والنقطة الحارّتين ناهيك عن إمكانية دراسة توزع درجات حرارة كل من قلب قضيب الوقود والغلاف بالإضافة إلى إمكانية دراسة توزع درجة الحرارة الوسطية للمبرّد في القناة.

يستطيع الكود تصور المفاعل من خلال قراءته لمعطيات ملف الدخل ورسم صورة ثلاثية الأبعاد على الشاشة أو رسم مقطع عرضي في المفاعل على الشاشة أيضاً.

يحتاج الكود للقيام بما تقدَّم ذكره من حسابات إلى استطاعة المفاعل مقدَّرة بالكيلوواط حيث يجب إدخالها من الشاشة.

الكلمات المفتاحية: مفاعل، حالة مستقرة، عاكس، تدفق نتروني، مبرّد.

يوصّف هذا التقرير الإضافات التي نُفِّذت لتطوير الكود الهدروحراري من كودٍ يُعنى بمعرفة درجة حرارة المبرّد عند مخرج قلب المفاعل وتوزع درجات الحرارة على قطر قضيب الوقود بمعرفة استطاعة المفاعل مقدَّرة بالكيلوواط ودرجة حرارة المبرّد عند مدخل قلب المفاعل [2] بناءً على حسابات طاقية عامة (حسابات إنتالبية)، إلى كودٍ يُعنى بالحالة المستقرة هدروليكياً للمفاعل MNSR من توزع درجات حرارة المبرّد والغلاف وقلب عنصر الوقود على طول قلب المفاعل بالإضافة إلى معرفة القناة والنقطة الحارّتين أيضاً بمعرفة معطيات الدخل السابقة نفسها (أي قراءة الوضع الابتدائي للمفاعل فقط: الطاقة الحرارية مقدَّرة بالكيلوواط ودرجة حرارة الماء عند مدخل قلب المفاعل). كما يستطيع الكود الآن أن يضع تصوراً للمفاعل الموصّف له في ملف دخل الكود (وهذه نقطة جديدة أيضاً أُدخلت على الكود)، ومن ثم رسم هذا التصور على الشاشة مُمكّناً بذلك المستثمر من معرفة صحة ودقة فهم الكود لمعطيات الدخل التي أدخلها المستثمر في ملف الدخل.

يمكن للكود أن يُظهر نتائج الحسابات النترونية (من التدفقات النترونية إلى توزع الطاقة إلى معامل التضاعف النتروني) على الشاشة أو في ملف الخرج REAC.OUT حسب أهمية النتيجة، كما يمكن له أيضاً أن يُظهر شكل المنطقة في اصطلاح الحسابات النترونية وشكل القناة في اصطلاح الحسابات الهدروليكية، بالإضافة إلى عددٍ آخر من نتائج الحسابات الهدروحرارية كدرجة حرارة خرج المبرّد الوسطية المحسوبة والمقارنة مع نتيجة تطبيق الصيغة التجريبية الواردة في [3] على المسألة المدروسة.

يعتمد الكود في حساب خواص المبرّد الفيزيائية على جملة من قواعد البيانات التي تشمل هذه الخواص حتى درجة حرارة معينة (عموماً 100 درجة مئوية للكثافة واللزوجة الديناميكية واللزوجة الحركية والسعة الحرارية والناقلية الحرارية ...إلخ) وفي ضغط قدره 1 جو، أما الخواص الفيزيائية للمواد الأخرى كاليورانيوم والألمنيوم فلها قواعد بيانات تشمل خواصها الفيزيائية حتى درجات حرارة أعلى (200 درجة مئوية مثلاً).

أما معرفة سرعة جريان المبرّد بتشغيله عند طاقة معينة فيعتمد الكود فيها على قواعد بيانات تلخص بدورها نتائج حسابات الصينيين [1]، وهذه سوف يتم التخلص من الاعتماد عليها في التطوير القادم للكود، حيث سيقوم الكود بإجراء دراسة للحالة العابرة للمفاعل واستنتاج سرعة تدفق المبرّد عند طاقة معينة من نتائجه الخاصة به منهياً بذلك اعتماده على أي مصدر خارجي للمعلومات خلاف ملف الدخل والشاشة.

حل مسألة النقل الحراري في الحالة المستقرة للمفاعل MNSR

يقوم الكود بحل مسألة النقل الحراري في الحالة المستقرة للمفاعل MNSR حلاً غير معتمد على الزمن ويفرض عند الاستقرار ما يلي:

- للتوزع الطولي للطاقة الخطية لقضيب الوقود شكل تابع جيبي معرّف على مسافة (طول قضيب الوقود) قدرها نصف دور، تكون قيمته مساوية للصفر عند أسفل القلب في النقطة الممدّدة نترونياً (التي تبعد عن أسفل القلب مقدار المسافة المستكملة بالاستقراء (extrapolated length ثم يبلغ قيمته العظمى في وسط قضيب الوقود ويعود للقيمة صفر مرة أخرى في النقطة الممدّدة نترونياً فوق قلب المفاعل.
- التوزع الطاقي في القلب هو ما ينتج عن حسابات الكود النتروني على مناطق المفاعل حسب نمذجة الكود سيركو-1 لها [4].

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

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

- القطر الهدروليكي (المكافىء) للقناة في قلب المفاعل محسوب بشكل آلي حسب مفهوم القناة flow channel في المفاعل، حتى وإن عدّل المفاعل، كوسطي للأقطار الهدروليكية للقنوات المختلفة.

$$D_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^{nch} D_i}{nch}$$

حيث: nch: عدد القنوات في قلب المفاعل،

D_i: القطر الهدروليكي للقناة i.

ملف الدخل

للكود ملف دخل input file، موصّف في المرجع [7] بشكل مفصّل، تُقرأ جميع بيانات الدخل منه بانتساق حر، ولكن الكود يأخذ بعين الاعتبار نوع البيانات، لذلك فإن المتغيرات الحقيقية يجب أن تكتب وفقاً لمتطلبات قواعد الفورتران.

تشغيل الكود والخيارات المتاحة

يتم تشغيل الكود عن طريق ملفات دفعية Batch files مثل R.bat، حيث تظهر صفحة التعريف بالمؤلفين في البداية وبالضغط على الزر ENTER يتقدم الكود إلى صفحة طلب الاستطاعة التي يود المستثمر تشغيل المفاعل عندها. بعد هذه الصفحة وبالضغط دائماً على الزر ENTER يتقدم الكود إلى أولى صفحات الخيارات وهي:

أ- قراءة المقاطع العرضية: يقدم الكود للمستثمر في هذا الخيار إمكانية قراءة المقاطع العرضية المجهرية للعناصر المؤلفة للمناطق في المفاعل أو قراءة المقاطع العرضية الجهارية للمناطق المؤلفة للمفاعل مباشرة من مكتبة مقاطع عرضية خاصة بالكود هايدمن [6] وإجراء حسابات المسألة نترونياً [4] على أساس قراءة أحدها.

ب- إظهار الصورة التخيلية للمفاعل أو لمقطع منه: يمكن للمستثمر أن يطلب من الكود إظهار الشكل الذي يتخيله الكود للمفاعل من خلال تحليله لمعطيات ملف الدخل. هذا الشكل التخيلي يمكن أن يُكبَّر أو يُصغَّر كلياً أو جزئياً حسب الطلب. لزيادة المعلومات يمكن الاطلاع على دليل الكود [5].

قائمة الخيارات الرئيسة

تضم هذه القائمة عدداً من الخيارات التي تشكل صلب الحسابات التي يجريها الكود بجميع أنواعها ويمكن تعدادها كما يلي:

1- إظهار توزع المنبع الحراري في المفاعل. 2- إظهار توزع درجات الحرارة القطري في المفاعل. 3- دراسة توزع درجات الحرارة الطولي للوقود وغلاف الوقود والمبرّد. 4- دراسة القناة والنقطة الحارّتين.

الخيارات الأخرى

هنالك بعض الخيارات التي لا تهم المستثمر مباشرة لكون الكود برنامجاً هدروحرارياً، إلا أنه يمكن أن تكون هذه الخيارات مهمة في بعض الحالات، ومن أهم هذه الخيارات:

1- إظهار توزع التدفق النتروني السريع. 2- إظهار توزع التدفق النتروني الحراري. 3- إظهار شكل القناة بالنسبة للحسابات الترموهدروليكية. 4- إظهار شكل المنطقة بالنسبة للحسابات النترونية.

ملف الخرج

ينتج عن تشغيل الكود ملف يدعى ملف الخرج REAC.OUT يحتوي على جملة من النتائج الهامة بالنسبة للكود ومنها: 1- المقاطع العرضية الجهارية لمختلف مناطق المفاعل، مع تثبيت أنصاف أقطار هذه المناطق ورقم كل منطقة. 2- معامل التضاعف النتروني النهائي. 3- توزع التدفقين النترونيين السريع والحراري بالإضافة إلى التوزع الطاقي بشكل جدول. 4- الطاقة المحسوبة في الكود بعد إجراء حسابات التدفقات النترونية. 5- سرعة تدفق المبرّد. 6- القطر الهدروليكي المكافىء لقلب المفاعل. 7- توزع درجات حرارة الوقود النووي والغلاف والمبرّد على طول القنوات كافة. 8- درجة الحرارة الوسطية لدخل المبرّد إلى قلب المفاعل. 9- درجة الحرارة الوسطية لخرج المبرّد من قلب المفاعل.

حدود الكود

كما أوضحنا سابقاً، يقوم الكود بقراءة جملة متغيرات من ملف الدخل، وهذه المتغيرات ذات قيم لا يمكن أن تكون لانهائية، ولذلك وجَبَ تثبيت القيم العظمى لهذه المتغيرات على أنها حدود الكود، ومن هذه المتغيرات: 1- عدد المناطق المؤلفة للمفاعل: يمكن للكود أن يعالج مفاعلاً مؤلفاً من منطقة واحدة وحتى 30 منطقة. 2- عدد العناصر أو النظائر الداخلة في تركيب مواد المفاعل: يعالج الكود حتى 10 نظائر. 3- عدد أنواع القضبان الداخلة في المفاعل: يعالج الكود حتى 10 أنواع من القضبان. 4- طاقة المفاعل (استطاعته مقدَّرة بالكيلوواط): يقبل الكود تشغيل المفاعل باستطاعة قيمتها محصورة بين 5 و 30 كيلوواط. 5- عدد مواقع التشعيع الداخلي والخارجي وحجيرات الانشطار والمنظمات: لا توجد حدود لهذه الأعداد.

هنالك متغيرات أخرى يمكن الاطلاع عليها في المرجع [7].

النتائج والمناقشة

من ملاحظة الجدول 1 -الذي يقارن بين توزع درجات الحرارة في موقع التشعيع الداخلي المحسوب مع ذلك المقيس في مفاعل MNSR السوري- نجد أن النتائج (في عشرة أماكن) تقترب من بعضها بشكل كافٍ (الاختلاف بينها يتراوح بين 1.47 % و 3.74 %) مما يؤكد صحة نتائج هذا الكود بالنسبة لتوزع درجات الحرارة الشاقولي (هذا يعني صحة افتراض توزع الطاقة الشاقولي جيبياً).

للدلالة على صحة الطرائق المتبعة في الكود وفائدة استعماله يمكن النظر إلى النتائج المبيّنة في الجدول 2 التي تقارن بين قيم ارتفاع درجة حرارة المبرّد الوسطية خلال مروره عبر القلب، المحسوبة بواسطة الكود، وتلك المقيسة بواسطة جهاز الحاسوب المربوط مع المفاعل حيث:

T_{in}: درجة حرارة دخل المبرّد عند ابتداء الحالة المستقرة، ΔT_{exp}: ارتفاع درجة حرارة المبرّد الوسطي التجريبي خلال مروره عبر القلب،

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

الجدول 1- مقارنة بين القيم المحسوبة والقيم المقيسة لدرجة الحرارة في موقع التشعيع الداخلي.
الموقع يمثل بعد نقطة القياس عن مدخل قلب المفاعل.

الموضع (cm)	قيمة مقيسة	قيمة محسوبة	الدقة (%)
7	46.1	45.13	2.1
8	46.5	45.25	2.67
9	46.9	45.33	3.35
11	47.0	45.375	3.45
12	47.1	45.34	3.74
14	46.8	45.16	3.5
16	46.38	44.84	3.32
18	45.9	44.41	3.23
20	45.2	43.87	2.94
22	43.9	43.26	1.46

الجدول 2- مقارنة بين القيم المحسوبة والقيم المقيسة بواسطة الحاسوب المربوط مع المفاعل لارتفاع درجة حرارة المبرّد الوسطي خلال مروره عبر القلب.

T_{in}	ΔT_{exp}	ΔT_{calc}	الدقة
26.69	18.91	20.5	0.077561
26.81	19.97	20.43	0.022516
27.39	19.56	20.26	0.034551
28.12	19.29	20.10	0.040299
29.19	18.73	19.80	0.054040
30.21	18.87	19.40	0.027320
31.06	18.36	19.30	0.048705
32.14	18.34	19.10	0.039791
33.38	18.36	18.85	0.025995
34.75	18.51	18.67	0.008570

ΔT_{calc}: ارتفاع درجة حرارة المبرّد الوسطي المحسوب خلال مروره عبر القلب، Precision: الدقة وهي محسوبة من العلاقة:

$$\text{Precision} = (\Delta T_{exp} - \Delta T_{calc}) / \Delta T_{exp}$$

نلاحظ أن النتائج تقترب أيضاً من بعضها بشكل كافٍ، إذ أن الاختلاف محصور بين أقل من 1 % و 7 % مع العلم أنّ اللحظات التي يكون فيها الاختلاف كبيراً نسبياً (أي حوالي 7 %) هي لحظات ما يزال المفاعل فيها في الحالة العابرة هدروليكياً.

لابد من القول أيضاً إن ارتفاع درجة حرارة المبرّد الوسطي خلال مرور المبرّد في القلب هو أحد البارامترات الهامة في المفاعل.

المراجع REFERENCES

[1] MNSR Thermal Hydraulics, China Institute of Atomic Energy, Hao Laomi, MNSR Training Material

[2] الكود الهدروليكي المعدّ للمفاعل MNSR، د. محمد البرهوم، علي عيد، سلمان محمد، كانون الثاني 1997. تقرير عن دراسة حاسوبية محفوظ في قسم الفيزياء.

[3] Safety Analysis Report for Miniature Neutron Source reactor (MNSR), China Institute of Atomic Energy, Code MNSR-GN-2

[4] الكود الفطن سيركو -1 كود المفاعل الوحيد البعد والمعتمد على حل معادلة الانتشار، د. محمد البرهوم، علي عيد، سلمان محمد. تقرير عن دراسة علمية حاسوبية - قسم الفيزياء - 5 ط ذ س - ف/ت د ع 218 - نيسان 1998

[5] A Guide to HYDMN, M. Albarhoum, S. Mohammad, A technical report under press.

[6] إنشاء مكتبة مقاطع عرضية بمجموعتين نترونيتين للمفاعل MNSR، د. محمد البرهوم، سلمان محمد. 5 ط ذ س - ف/ت د ع 285. تشرين الثاني 1999.

[7]- تطوير الكود الهدروحراري HYDMN بما يلائم حالة المفاعل MNSR المستقرة، د. محمد البرهوم، هـ ط ذ س - ف/ت د ع 360 - كانون الأول 2000.■

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

تأثير بعض الأوساط الحمضية على استخلاص اليورانيوم بواسطة فسفات ثلاثي البوتيل وثلاثي دوديسيل أمين★

د. جمال سطاس
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

دُرس تأثير بعض الأوساط الحمضية، مثل H_3PO_4 وH_2SO_4 وHCl و $HClO_4$، على استخلاص اليورانيوم (VI) بواسطة فسفات ثلاثي البوتيل (TBP) وثلاثي دوديسيل أمين (TDA) ومزيج منهما في الكيروسين. وقد وجدنا أن نسبة الاستخلاص من الأوساط الحمضية المذكورة أعلاه، باستثناء الوسط $HClO_4$، بواسطة 0.5 M فسفات ثلاثي البوتيل/كيروسين هي أقل من 20 % ضمن مجال الحموضة المدروسة (0-5 M)، في حين يمكن اعتبار الاستخلاص كمّياً وتبلغ نسبته 64 % في وسط حمض فوق الكلور عند الحموضة 5 مول/لتر.

يبدي المذيب ثلاثي دوديسيل أمين ذو التركيز 0.5 مول/لتر، والحاوي على نسبة 24 % من الـ TBP، ألفة كبيرة لليورانيوم (VI) عند حموضة أقل من 1 مول/لتر في حالتي حمض الفسفور وحمض الكبريت، حيث يمكن اعتبار الاستخلاص شبه كامل. أما في حالتي حمض كلور الماء وحمض فوق الكلور فإن الاستخلاص يكون أعظمياً عند الحموضة 5 مول/لتر.

الكلمات المفتاحية: استخلاص، يورانيوم، أوساط حمضية، فسفات ثلاثي البوتيل، ثلاثي دوديسيل أمين.

بمقارنة شدة استخلاص اليورانيوم من الأوساط الحمضية الأربعة المدروسة نجد أن شدة استخلاص اليورانيوم من وسط حمض فوق الكلور ضمن مجال الحموضة (2-5 مول/لتر) هي أعلى بالمقارنة مع الأوساط الحمضية الأخرى في حين نجد عكس هذه الظاهرة عند الحموضة المنخفضة (0-2 مول/لتر)، ويعود سبب ذلك إلى أن الصنف $UO_2(ClO_4)_2$ المستخلص بواسطة الـ TBP يكون تركيزه ضئيلاً عند التراكيز المنخفضة من $HClO_4$ ومن ثم يزداد تركيزه مع ازدياد تركيز $HClO_4$. كما لا يشكل الحمض $HClO_4$ أية معقدات سالبة أو موجبة مع أيونات اليورانيل، والصنف الوحيد المعتدل الموجود في هذا الوسط هو $UO_2(ClO_4)_2$، في حين تشكل الحموض الأخرى H_3PO_4 وHCl و H_2SO_4 معقدات سالبة وموجبة ومعتدلة، وهذا ما يفسر انخفاض النسبة المئوية للاستخلاص فيها بالمقارنة مع وسط حمض فوق الكلور حيث يميل الـ TBP للارتباط مع المعقدات المعتدلة.

يمكننا ترتيب شدة استخلاص اليورانيوم من الأوساط الحمضية المدروسة بواسطة الـ TBP على الشكل التالي:

I- ضمن مجال الحموضة (0-2 مول/لتر):

$$HClO_4 < H_2SO_4 < H_3PO_4 \approx HCl$$

II- ضمن مجال الحموضة (2-5 مول/لتر):

$$H_2SO_4 < H_3PO_4 \approx HCl < HClO_4$$

إذن يمكننا استخلاص اليورانيوم بشكل كمّي من وسط حمض فوق الكلور عند ($[HClO_4] \geq 4$) بواسطة الـ TBP، في حين لا يُنصح باستخدام المخلّص TBP لوحده لاستخلاص اليورانيوم من الأوساط الحمضية الأخرى (حمض كلور الماء، وحمض الفسفور، وحمض الكبريت).

إن النسبة المئوية لاستخلاص اليورانيوم من وسطي حمض الفسفور وحمض الكبريت بواسطة المخلّص ثلاثي دوديسيل أمين ذي التركيز 0.5 M والحاوي على 24 % من فسفات ثلاثي البوتيل عند التراكيز المنخفضة منهما تكون عالية جداً، حيث يمكن اعتبار الاستخلاص شبه كامل حتى التركيز 1 مول/لتر من كلا الحمضين، ثم يبدأ بعدها الاستخلاص بالتناقص بشكل كبير مع ازدياد الحموضة، وتكون شدة التناقص في حالة حمض الكبريت أكبر بالمقارنة مع حمض الفسفور.

أما في حالة حمض كلور الماء فإن الاستخلاص بواسطة المخلّص ثلاثي دوديسيل أمين ذي التركيز 0.5 M والحاوي على 24 % من فسفات ثلاثي البوتيل يزداد بشكل تدريجي مع ازدياد تركيز HCl ليصل إلى نسبة استخلاص قدرها 94 % عند التركيز $[HCl] = 2$ M، ويكون الاستخلاص شبه كامل عند حموضة أكبر من 2 مول/لتر.

أخيراً نجد أن النسبة المئوية للاستخلاص في حالة حمض فوق الكلور وعند الحموضة $[HClO_4] = 0.2$ M تصل إلى 35 % ثم تتناقص هذه النسبة لتصل إلى 0.94 % عند الحموضة $[HClO_4] = 1$ M

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

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

ويبدأ الاستخلاص بالازدياد من جديد تدريجياً ليصل إلى النسبة 63 % عند الحموضة $[HClO_4] = 5$ M، وبالتالي نجد أنه يمكن استخدام المزيج 0.5 M TDA + 24 % TBP لاستخلاص اليورانيوم عند حموضة منخفضة ≥ 1 مول/لتر في حالتي حمض الفسفور وحمض الكبريت، وعند حموضة > 2 مول/لتر في حالتي حمض كلور الماء وحمض فوق الكلور.

ملاحظة: لوحظ تشكل طور ثالث عند استخلاص اليورانيوم من الأوساط الحمضية ($HClO_4$ وH_3PO_4 و HCl و H_2SO_4) بواسطة الـ 0.5 M TDA في الكيروسين مهما كان نوع وتركيز الحمض المستخدم، لذا قمنا بإضافة الـ TBP كمعدِّل modifier للمخلّص TDA، حيث لوحظ اختفاء الطور الثالث عند النسبة 24 % ضمن مجال الحموضة المدروسة.

المراجع

REFERENCES

[1] R. N. Mohanty, S. Singh, V. Chakravortty, K. C. Dash, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles, 152, No 1(1991) 21 - 29.

[2] I. S. El-Yamani and E. N. Abd El-Messieh, Second Arab Conference on the Peaceful uses of Atomic Energy, Cairo 5-9 Nov. 1994 AAEA.

[3] P. Behera, R. Mishra, V. Chakravortty, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles, No 1 (1993) 161-169.■

قياس الجرعة الإشعاعية بيولوجياً بتقانة تحليل الصيغة الصبغية في لمفاويات الدم المحيطي البشري (منحنى جرعة- أثر)★

د. وليد الأشقر

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

ملخص

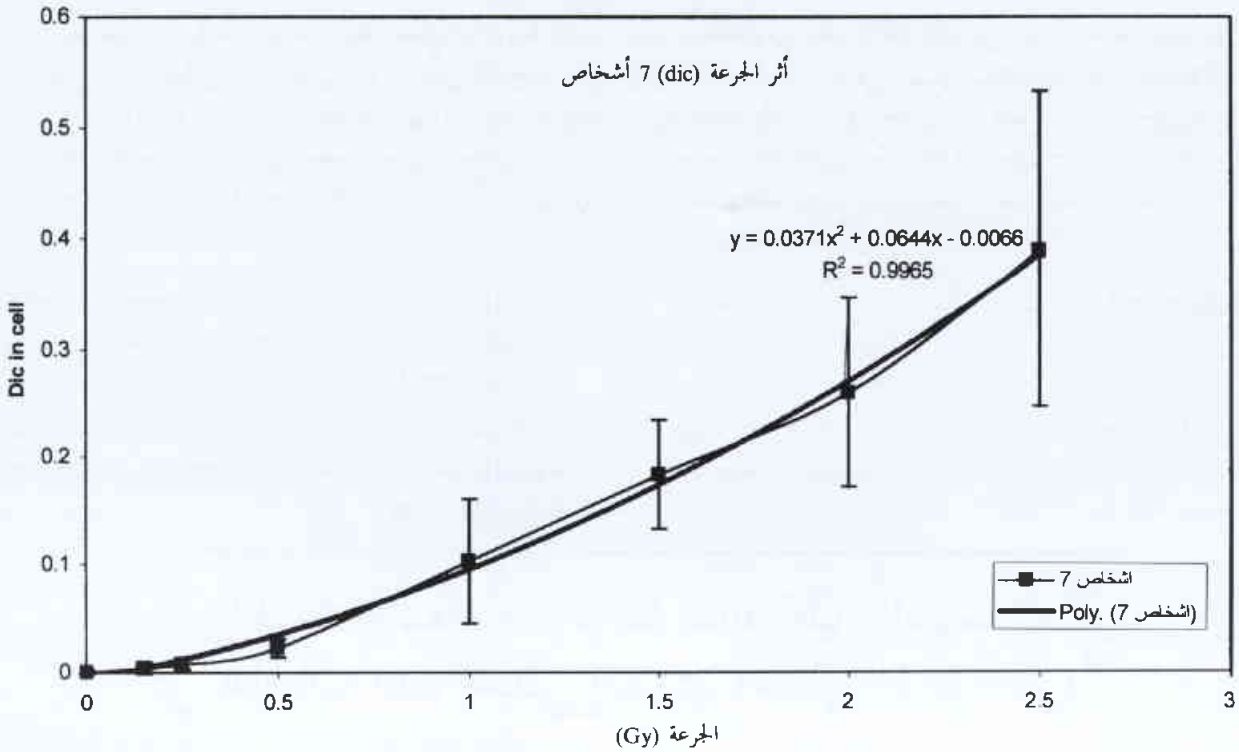
درست عينات دم من ثمانية أشخاص أصحاء لرسم منحنى جرعة أثر. شععت العينات في أنابيب بجرعات من 0.15-2.5 غراي/أشعة غاما. زرعت وحضنت العينات المشععة والشاهدة. سجلت الزيوغ الصبغية من 67888 انقساماً خلوياً. ورسمت المنحنيات من العدد الكلي لثنائيات القسيم، ثنائيات القسيم والصبغيات الحلقية ومن العدد الكلي للكسور. ارتبط عدد الزيوغ الصبغية مع الجرعة الإشعاعية المستعملة. تعطي هذه المنحنيات تقديراً سريعاً للتعرض الإشعاعي العفوي.

الكلمات المفتاحية: منحنيات جرعة-أثر، لمفاويات بشرية، أشعة غاما، الزيوغ الصبغية.

لا تزال الصناعة النووية والاستخدامات الطبية للإشعاعات تشكل رعباً لدى عامة الشعب من خطر الإصابة بحوادث تعرُّض إشعاعي عفوي رغم التزام أغلب المؤسسات العلمية المختصة بإجراءات الأمان كافة، من حيث تحديد مناطق العمل وضبط النفايات وتزويد العاملين بأجهزة قياس الأشعة فيزيائياً. ويشكل ضبط التعامل مع المواد المشعّة هاجساً لمؤسسات الطاقة الذرّية في العالم، وفي حال حدوث تعرُّض إشعاعي، مهما كان نوعه، لابد من توفر وسائل قياس مناسبة لكل حالة على حدة. ويكون الإنسان والبيئة الهدف الأساسي من الوقاية. وتتوفر طرائق عديدة لقياس شدة التعرُّض الإشعاعي على مستوى الإنسان. يُعدّ تحليل التبدلات الصبغية من أفضل الطرائق البيولوجية وأكثرها أهمية لإعطاء تقدير كمّي ممتاز لتعرُّض الأشخاص للإشعاعات المؤينة. فهي طريقة حساسة لتقدير جرع التعرُّض في الحوادث الإشعاعية؛ كما في حالات التعرُّض الحاد والمتجانس، وتعرُّض كامل الجسم أو جزء منه. درست التبدلات الصبغية المحرّضة بأشعة غاما تجريبياً على عيّنات من الدم المحيطي لعدة أشخاص أسوياء وبعمر العمل، بهدف رسم مخطط لمنحنى يسمح بتقييم الجرعة الإشعاعية التي يتعرضون لها بدليل ما لدينا من تبدلات في الصيغة الصبغية. جُمعت عيّنات الدم من ثمانية أشخاص (4 ذكور و 4 إناث)، ووزعت في أنابيب، ثم شُعّعت بالجرعات 2.5, 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25, 0.15 غراي من أشعة غاما بمعدل 0.3 غراي/دقيقة وهي مغطّسة في حمّام مائي بدرجة حرارة 37 مئوية. زُرعت عيّنات الدم المشعّعة والشاهدة في وسط زرع سائل وتُركت لفترة 48 ساعة في حاضنة بدرجة حرارة 37 مئوية. ثبتت الزراعات ونشرت الانقسامات ولونت ودرست التبدلات

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

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



منحني جرعة-أثر بدليل الصبغيات ثنائيات القسيم المركزي من الأشخاص السبعة المعرضة عيّناتهم لجرع إشعاعية من أشعة غاما كوبالت 60 قدرها 0-0.15, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 غراي ومعدل جرعة قدره 0.3 غراي/دقيقة. وقد أُشير إلى أفضل ميل للمنحنى ومعادلة المنحنى على الشكل حاسوبياً.

الصبغية المحرّضة فيها. سُجلت البيانات الناتجة عن دراسة (67888) انقساماً. ومُثّلت نسب الصبغيات ثنائيات القسيم المركزي الملاحظة لوحدها أو مع الصبغيات الحلقية، كما مُثّل مجموع الكسور الصبيغية الكلية مقابل الجرعة المستعملة على شكل منحنيات لكل شخص على حدة أو لمجموع البيانات من الأشخاص كافة. أظهرت جميع المنحنيات ازدياداً في عدد التبدلات الصبغية المحرّضة مع ارتفاع الجرعة الإشعاعية التجريبية المستعملة. ويتوافق معدل التبدلات الصبغية الملاحظ مع مربع الجرعة الإشعاعية المستعملة. تتوافق بياناتنا مع ما جاء في أغلب البيانات العالمية بالنسبة لإعداد المنحنيات المماثلة باستعمال أشعة غاما (Papworth, 1975). تشكل هذه الدراسة نقطة ارتكاز أساسية من أجل تقدير التعرُّض العفوي لكامل الجسم والناجم عن أشعة غاما. ومن أجل أنماط أشعة ومعدلات جرعة أخرى يجب إجراء دراسات مستقلة، إذ تتبدل معدلات الزيوغ الصبغية الملاحظة تبعاً لهذين العاملين. لقد تمّ تمثيل الأثر الناجم عن التعريض التجريبي لأشعة غاما باستعمال تبدلات صبغية ملاحظة مختلفة مثل الصبغيات ثنائيات القسيم المركزي أو الصبغيات الحلقية أو الاثنتين معاً، أو بحساب مجمل الكسور الصبيغية المكافئة. وبالرغم من كون حساب عدد الكسور الكلي أشمل، إلا أنه يتطلب أن يكون قارىء الصفائح ذا خبرة واسعة في مجال الوراثة الخلوية.

تقدِّم هذه المنحنيات فائدة عملية وسريعة لتقييم التعرُّض الإشعاعي العفوي في حال حدوث تعرُّض إشعاعي غير مراقب.■

دراسة العوامل المؤثرة في إنتاج الكالوس والبروتوبلاست وتجديد النباتات من مزارع الثوم النسيجية★

د. بسام الصفدي، عماد النابلسي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

استُخدمت خمسة أصناف من الثوم وجزءان نباتيان ونوعان من الإضاءة وست بيئات مختلفة لتشكيل الكالوس وست بيئات تجديد

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

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

وعدد من جرعات أشعة غاما في دراسة لتحديد الشروط المثلى لإحداث الكالوس وتجديد النباتات من مزارع الثوم النسيجية. كما أجريت بعض التجارب لدراسة إمكانية عزل البروتوبلاست وتجديد النباتات. أظهر تحليل التباين وجود فروق معنوية بين الأصناف المختبرة في مقدرتها على تشكيل كالوس. لم تظهر هذه التجربة فرقاً معنوياً بين الإضاءة لمدة 16 ساعة والظلمة في التأثير بحجم الكالوس. تباينت الأصناف في قدرتها على التجديد وتباينت البيئات في تحريضها على التجديد، كما لوحظ وجود تآثر بين الصنف والبيئة، وجاء الصنف الكسواني أولاً في النسبة المئوية للكالوس المجدد (% 38) وجاءت البيئة MS 47 في المرتبة الأولى (% 35). لعبت نوعية الإضاءة دوراً كبيراً في تجديد النباتات من الكالوس، فقد ساعد الضوء الأحمر على تجديد النباتات وبنسبة أعلى بكثير من الضوء الأبيض، حيث كانت النسبة المئوية للتجديد عند استعمال الضوء الأحمر % 68 وللضوء الأبيض % 36. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود تأثير معنوي للتشعيع في تحفيز النمو عند جرعات منخفضة وتثبيط النمو عند جرعات عالية، في حين لم يكن تأثير العامل الوراثي (الصنف) معنوياً.

الكلمات المفتاحية: ثوم، كالوس، تجديد، أشعة غاما، إضاءة، بروتوبلاست.

مقدمة

استُخدمت الزراعة النسيجية والخلوية للنباتات كوسيلة إكثار في النباتات الخضرية التكاثر كما استُخدمت كأداة لتسهيل وتسريع برامج تربية النباتات، لا سيما تربية الطفرات في المحاصيل الخضرية التكاثر. حيث تستغرق أبحاث تربية الطفرات في هذه المحاصيل حوالي 5-7 سنوات، إلا أنه يمكن اختصار هذا الزمن إلى سنتين أو ثلاث سنوات فقط باستخدام تقانات زراعة الأنسجة مع التشعيع والانتخاب في الزجاج in vitro selection. تمكّن الزراعة النسيجية من استخدام العديد من الأجزاء النباتية لتطبيق ضغط الانتخاب في الزجاج (مثل خلايا الكالوس، والأجنة الجسمية، والبروتوبلاست) بما يسمى بالزراعة التعاضدية co-culture، حيث تعطي الزراعة صورة أفضل عن أداء النباتات المتجددة منها فيما بعد في عدة صفات مثل مقاومة الحرارة العالية أو المنخفضة، ومقاومة الإجهادات المائية، ومقاومة الملوثات المعدنية السامة، وتحمّل مبيدات الأعشاب ومقاومة الأمراض الفطرية، ويمكن أيضاً استخدام طريقة أخرى من طرائق التقانة الحيوية وهي دمج البروتوبلاست Protoplast fusion من أجل الحصول على هجائن في المحاصيل التي تتكاثر خضرياً.

هدفت الدراسة الحالية إلى اختبار بعض العوامل المؤثرة (مثل مكوّنات البيئة المغذية والصنف والجزء النباتي المزروع والإضاءة، وأشعة غاما) في إنتاج الكالوس وتجديد النباتات من المزارع النسيجية لأصناف الثوم المحلية وبعض الأصناف المدخلة من أجل الوصول إلى طريقة تسرّع في عملية تجديد نباتات الثوم من المزارع النسيجية وبالتالي استخدام هذا البروتوكول في تحسين الثوم باستخدام طرائق تربية الطفرات بأشعة غاما أو دمج البروتوبلاست ومستقبلاً تحوير الثوم باستخدام المدافع الجينية أو الأغروباكتيريوم.

النتائج والمناقشة

اختُبر تأثير العامل الوراثي (5 أصناف من الثوم) والجزء النباتي المزروع (الساق القرصية والجذر) وبيئة الزراعة (ست بيئات مختلفة لتشكيل الكالوس وست بيئات لتجديد النباتات). كما دُرس تأثير الفترة الضوئية (16 ساعة إضاءة وظلام كامل) ونوعان من الضوء (الأحمر والأبيض). دُرس أيضاً تأثير أشعة غاما في تجديد النباتات من الكالوس. وتمّت محاولة عزل ودمج البروتوبلاست في صنفين من أصناف الثوم.

بيّنت هذه التجربة أن البيئة MS 9 جيدة لتجديد النباتات من أجزاء للساق القرصية مباشرة بدون المرور بمرحلة الكالوس. وقد أظهر تحليل التباين وجود فروق معنوية بين الأصناف المختبرة في مقدرتها على تشكيل كالوس وكان أفضلها الصنف المحلي الكسواني. لم تُظهر هذه التجربة فرقاً معنوياً بين الإضاءة لمدة 16 ساعة والظلمة في التأثير بحجم الكالوس، إلا أن المظهر العام للكالوس النامي في الظلمة كان أفضل (من حيث اللون والحيوية). تباينت الأصناف في قدرتها على التجديد وتباينت البيئات في تحريضها على التجديد، كما لوحظ وجود تآثر بين الصنف والبيئة وجاء الصنف الكسواني أولاً في النسبة المئوية للكالوس المجدد (% 38) تلاه الصنف البيرودي، وجاءت البيئة MS 47 في المرتبة الأولى (% 35) تلتها البيئة MS 45. لعبت نوعية الإضاءة دوراً كبيراً في تجديد النباتات من الكالوس، فقد ساعد الضوء الأحمر على تجديد النباتات وبنسبة أعلى بكثير من الضوء الأبيض، حيث كانت النسبة المئوية للتجديد عند استعمال الضوء الأحمر % 68 وللضوء الأبيض % 36. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود تأثير معنوي للتشعيع في تحفيز النمو عند جرعات منخفضة وتثبيط النمو عند جرعات عالية، في حين لم يكن تأثير العامل الوراثي (الصنف) معنوياً.

أُجريت عدة محاولات لاختيار طريقة وبيئة التجديد المثلى بعد عزل البروتوبلاست وقبل إجراء الدمج، وكانت أفضل طريقة للزراعة هي طريقة القطيرات كما كانت أفضل الشروط هي الحضن في الظلام وعلى حرارة 25 درجة مئوية، حيث أدّت الشروط السابقة إلى إعادة تشكل الجدران الخلوية خلال أسبوع من بداية التجديد، ولكننا لم نلاحظ أي انقسام في الخلايا.■

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

تقييم بعض المواد العلفية غير التقليدية للمجترات في الزجاج والعلاقة بين الغاز المنتج ومعامل الهضم والكتلة الحيوية المكروبية*

د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

أُجريت في هذه الدراسة محاولة لتقدير القيمة الغذائية، في الزجاج، لبعض المنتجات الزراعية الثانوية (تبن قمح، تفل زيتون) والنباتات الشجرية وبعض النباتات الرعوية المتحملة للجفاف (القطف المحلي، الخرينبية، العاقول، الكينا، مورينغا، جاتروفا) بتقدير معامل هضم المادة الجافة الظاهري (IVDMAD) أو الحقيقي (IVDMTD) مخبرياً والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL)، إضافةً إلى الآزوت المكروبي (MN) والكتلة الحيوية المكروبية (MBM) المتكونة باستخدام ^{15}N. وأشارت النتائج إلى ما يلي:

1- اختلفت قيم INDMAD و IVDMTD و ME و NEL و GP و MBM والآزوت المكروبي المتكون حسب نوع المواد التجريبية المدروسة.

2- أدّى فصل خشب الزيتون عن تفل الزيتون بعملية النخل إلى الحصول على تفل الزيتون اللحمي وزيادة حجم الغاز الناتج عن التخمر الحقيقي للمادة الأخيرة وإلى ارتفاع قيم INDMAD و IVDMTD و ME و NEL. وأعطى التخمر الحقيقي للجزء الخارجي لنبات القطف السوري كمّيةً من الغاز أعلى من الجزء المتوسط أو الجزء الداخلي للنبات، ورافق ذلك ارتفاع في قيم IVDMAD و IVDMTD و ME و NEL الخاصة بها.

3- وجدت علاقة ارتباط موجبة ومعنوية ($P < 0.0001$) بين الغاز الناتج عن التخمر للمواد المدروسة وبين IVDMAD ($R = 0.96$) و IVDMTD ($R = 0.90$). كما وجدت علاقة ارتباط سلبية معنوية ($R = -0.61$, $P < 0.0001$) بين الغاز الناتج عن التخمر الحقيقي للمواد المدروسة وبين الآزوت المكروبي أو الكتلة الحيوية المكروبية المتكونة.

4- وجدت علاقة ارتباط موجبة ومعنوية ($R = 0.90$, $P < 0.0001$) بين الغاز الناتج عن التخمر وبين المادة الجافة المتخمرة حقيقياً (TFDM). كما وجدت علاقة ارتباط سلبية بين الألياف الخام للمواد المدروسة وبين قيمة كل من: IVDMAD ($r = -0.88$)، وIVDMTD ($r = -0.87$) و ME ($r = -0.86$) و NEL ($r = -0.83$).

الكلمات المفتاحية: تقييم علف، إنتاج غاز، مجتر، معامل هضم، كتلة حيوية مكروبية، نباتات رعوية، نباتات شجرية.

مقدمة

تفتقر أغلب الموارد العلفية في الدول النامية إلى تقييم حقيقي، وإن تحديد القيمة الغذائية للمخلّفات الزراعية وللنباتات الرعوية المنتشرة المتحملة للظروف البيئية القاسية (الجفاف وملوحة التربة) له أهمية كبيرة في تحديد المتطلبات الغذائية للحيوان ولإمكانية تغطية متطلبات الإنتاج والصيانة على حدّ سواء. تُعدّ الأتبان من المخلّفات الزراعية الفقيرة التي يعتمد عليها المزارع في تغذية حيواناته، لاسيما في المناطق الجافة وشبه الجافة. كما تُعدّ مناطق حوض البحر المتوسط من المناطق الأساسية لزراعة الزيتون، وتنتج مصانع استخراج زيت الزيتون كمّيات هائلة من تفل الزيتون الذي يُستخدم للحصول على الطاقة في عمليات الحرق، ولا تُقبل عليه الحيوانات نظراً لانخفاض قيمته الغذائية واحتوائه على نسبة مرتفعة من المواد اللغنوسلّولوزية التي لها معامل هضم منخفض. وتنتشر في المناطق الجافة أنواع نباتية كثيرة ترعى عليها الحيوانات (الأغنام والماعز والإبل) وتتحمل الظروف المناخية ولا يتوافر لها تقييم غذائي مثل العاقول (Alhagi camelorum Fisch) والخرينبية (Prosopis stephaniana (Willd) Kunth) والقطف المحلي (Atriplex leucoclada Boiss). تصلح شجرة الكينا اليوكاليبتوس (Eucaliptus camaldulensis

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

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

(Dahnh) للتحريج وتتكيف مع الرمال الساحلية والأراضي الرملية. يُعدّ نبات جاتروفا (Jatropha curcas Linn) هاماً من الناحية الاقتصادية نظراً لاستخداماته الصناعية والطبية. وهو شجرة سريعة النمو يتراوح طولها بين 3-8 متر – مقاومة للجفاف وتنمو في الترب الحجرية الفقيرة والأراضي الصحراوية والمناطق الزراعية الهامشية. فروع النبات غضة وأوراقه كبيرة وجيدة لتغذية الحيوان بسبب ارتفاع نسبة البروتين الخام فيها، ولكنه لا يتحمل الصقيع. ينتشر نبات مورينغا (Moringa oleifera Lam) في معظم المناطق الاستوائية، كعرب الهند والباكستان وبنغلادش وأفغانستان، وهي شجرة هامة اقتصادياً للاستخدامات الصناعية والطبية إضافةً إلى إمكانية استخدامها في تغذية الحيوان. فروع النبات غضة وأوراقه صغيرة تشبه أوراق الفصة ولكنه لا يتحمل الصقيع.

جرى في تجاربنا تقدير معامل الهضم الحقيقي للمادة الجافة على مرحلتين ومعامل الهضم الظاهري لها بطريقة هوهنهايم لإنتاج الغاز مخبرياً، إضافةً إلى حساب الطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب وتقدير الكتلة المكروبية البيولوجية المتكونة باستخدام الآزوت المعلم ^{15}N، ودراسة العلاقة بين حجم الغاز الناتج والكتلة المكروبية وبين كمّية المادة المتخمرة ظاهرياً أو حقيقياً لبعض النباتات الرعوية المتحملة للجفاف ولأوراق بعض الشجيرات والأشجار المدخلة إلى القطر والمزروعة في منطقة دير الحجر، إضافةً إلى بعض المنتجات الزراعية الثانوية الفقيرة بالقيمة الغذائية.

النتائج والمناقشة

اختلفت قيم معامل الهضم الظاهري (IVDMAD) والحقيقي (IVDMTD) للمادة الجافة والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) المقدَّرة مخبرياً للمواد المدروسة حسب نوع المادة العلفية وتركيبها الكيميائي ولاسيما نسبة الألياف الخام والمواد اللغنوسلّولوزية في جدارها الخلوي. إن ارتفاع نسبة الألياف الخام في المواد التجريبية المدروسة أدّى إلى انخفاض في النسبة المئوية لكلٍ من IVDMAD و IVDMTD و ME و NEL. ولوحظ وجود علاقة ارتباط سلبية بين تركيز الألياف الخام (CF) في المواد المدروسة وبين كلٍ من IVDMAD وIVDMTD و ME و NEL، وكذلك وجود علاقة ارتباط إيجابية عالية المعنوية بين حجم الغاز الناتج عن تخمر المواد المدروسة وبين معامل الهضم الظاهري ($R^2 = 0.92, R = 0.96, P < 0.0001$) أو بين معامل الهضم الحقيقي ($R^2 = 0.81, R = 0.90, P < 0.0001$).

تقود عملية نخل تفل الزيتون (بواسطة منخل قطر ثقوبه 2.5 مم) إلى استبعاد الجزء الخشبي المنخفض في معامل هضمه (والذي يمكن استخدامه في الحرق للحصول على الطاقة) وبقاء الجزء اللحمي الذي يمكن استخدامه في تغذية الحيوان نظراً لارتفاع قيمته الغذائية واستساغته من قِبَل الحيوان. لوحظ ارتفاع معامل الهضم الظاهري والحقيقي والطاقة الاستقلابية المقدَّرة مخبرياً بطريقة إنتاج الغاز في المواد العلفية المدروسة المحتوية على كمّية عالية من المواد الكربوهدراتية سهلة الهضم والتخمر كالنشويات والسكريات.

إن معرفة كمّية المادة المتخمرة حقيقياً (مغ) لإنتاج وحدة حجمية من الغاز (1 مل) تُعدّ أمراً هاماً للتنبؤ بكمّية العلف الذي يمكن أن يستهلكه الحيوان بتطبيق بعض المعادلات. وأشارت نتائجنا عند دراسة الأعلاف الخشنة (قطف جزء علوي، مورينغا، جاتروفا، عاقول، كينا) إلى أن كمّية المادة المتخمرة ظاهرياً (الناتجة عن تخمر ظاهري لـ 500 مغ من مادة جافة علفية) تبلغ بالمتوسط حوالي 300 مغ وتنتج بالمتوسط غازاً قدره 82 مل، وأن 1 مل من الغاز الناتج يتولد وسطياً عن تهدّم ظاهري لـ 3.66 مغ من مادة متخمرة. كما أعطى تخمر 500 مغ مادة جافة من التبن كمّية من المادة المتخمرة ظاهرياً قدرها 199 مغ، وأنتج كمّية من الغاز قدرها 51 مل. وأعطى تخمر 500 مغ مادة جافة من تفل الزيتون الكامل والخرينبة كمّية من المادة المتخمرة ظاهرياً قدرها بالمتوسط 133 مغ، وأنتج كمّية من الغاز قدرها بالمتوسط 15 مل. ويرجع انخفاض كمّية الغاز المولد من وحدة وزنية من المادة المتخمرة ظاهرياً (تفل زيتون وخرينبة) إلى ارتفاع تركيز المواد اللغنوسلّولوزية في المادة المتخمرة. وأشارت النتائج إلى ازدياد حجم الغاز الناتج عن تخمر المادة للجزء الخارجي لنبات القطف مقارنة مع الجزأين المتوسط والداخلي. أفادت المراجع عند تقييم أصناف من الأتبان أُخذت من ثلاث دول (بريطانيا، سورية، أثيوبيا) بوجود معامل ارتباط إيجابي عالي المعنوية بين الغاز الناتج والمادة المتهدمة حقيقياً ($R = 0.96$, $P < 0.0001$) وإلى وجود معامل ارتباط إيجابي ومعنوي ومؤكد إحصائياً ($R = 0.95$, $P < 0.001$) بين الغاز الناتج والمادة المتخمرة ظاهرياً. وأشارت نتائجنا كذلك إلى وجود معامل ارتباط إيجابي عالي المعنوية ($R^2 = 0.81$, $R = 0.90$, $P < 0.0001$) بين الغاز المنتج والمادة الجافة المتهدمة حقيقياً أو ظاهرياً ($R^2 = 0.92$, $R = 0.96$, $P < 0.0001$).

بيّنت النتائج أن قيمة النتروجين المكروبي الناتج عن التخمر الحقيقي لـ 100 مغ مادة تقع بين 0.7 و 2.9 مغ ويتوقف ذلك على نوع المادة المدروسة، كما تتغير قيم الغاز الناتج والكتلة المكروبية المتكونة حسب نوع المادة المدروسة. وأشارت النتائج للمواد المدروسة (خشب زيتون، تفل زيتون كامل، تفل زيتون لحمي، تبن قمح أبيض، قطف خارجي، عاقول، كينا) إلى انخفاض الكتلة المكروبية عند ارتفاع كمّية الغاز الناتج عن التخمر الحقيقي للمادة. وعند المقارنة بين الحشّات لنبات القطف (الجزء الخارجي، الجزء المتوسط، الجزء الداخلي) لوحظ ارتفاع في الكتلة المكروبية عند انخفاض كمّية الغاز الناتج من التخمر الحقيقي للمادة. إن الجزء المتوسط والداخلي من النبات يحتوي على كمّية أكبر من المواد اللغنوسلولوزية مقارنة مع الجزء الخارجي من النبات، ويعود ذلك إلى ازدياد عمر النبات وزيادة تخشب الجدار الخلوي للنبات، وهذا ما يفسر انخفاض كمّية الغاز الناتج من تخمر المادة الحقيقي للجزء المتوسط والسفلي من النبات مقارنة مع الجزء العلوي لنبات القطف. كما نلاحظ انخفاض كمّية المادة المتخمرة ظاهرياً وحقيقياً عند مقارنة الجزء الخارجي من نبات القطف مع الجزأين الآخرين.

إن توافر نسبة كافية ومحددة من المواد الكربوهدراتية سهلة الهضم مهمٌ للنمو المكروبي ولتخمر المواد اللغنوسلّولوزية، وإن ارتفاع نسبة المواد النشوية بشكل كبير يخفض الكتلة المكروبية المتكونة حيث يقود ذلك إلى ارتفاع في كمّية الغاز المتكون، ويرافق ذلك انخفاض

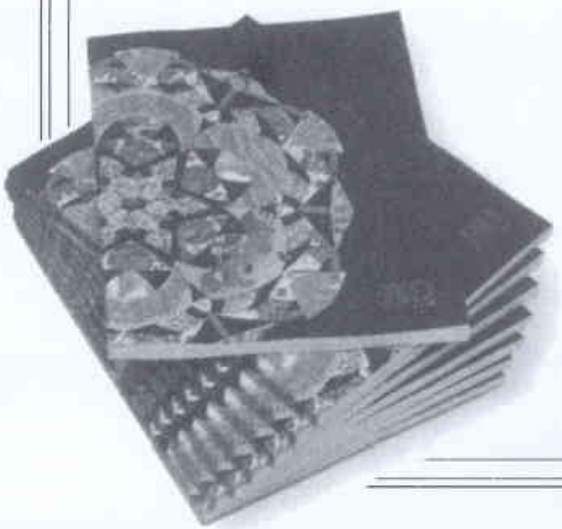
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

في الكتلة المكروبية المتكونة. ويمكن ملاحظة ذلك عند مقارنة تفل زيتون لحمي مع تفل زيتون كامل. وقد بلغ معامل الارتباط بين الغاز الناتج عن التخمر الحقيقي للمادة وبين الآزوت المكروبي أو الكتلة المكروبية $(R^2 = 0.37,\ R = -0.61,\ P < 0.0001)$ ■.

☆ ★ ☆

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

كتب حديثة مختارة



1- كتاب العلوم

The Science Book ★

تأليف: ب. تالاك
عرض وتحليل: ف. بالكول**

ضمن غلاف هذا الكتاب العظيم تندرج قصة العلوم بشكل شديد الوضوح، وهي أول ما يمكن الحصول عليه حقاً. وبابتداء القصة عام 35 000 قبل الميلاد بأصول العدّ، يمدّ كتاب العلوم جسراً بين العصور الألفية السعيدة مبيّناً الإنجازات والخطوات المتقدمة التي تمّت في علوم الفلك والبيولوجيا والكيمياء والكونيات والتطور والجيولوجيا والرياضيات والطب والفيزياء ... إلخ. وقد خُصّصت لكل ما مجموعه 250 مَعْلَماً علمياً صفحتان متقابلتان، تصف الصفحة اليسرى بحوالي 500 كلمة اكتشافاً محدداً والعالِم (أو العلماء) المسؤول عنه، في حين تتضمن الصفحة اليمنى صورة مختارة بدقة ولافتة للنظر غالباً. هنالك مقدمة مفعمة بالحماسة من قِبل سيمون سينغ S. Singh، ومداخل المواد مرصّعة بكتابات مختارة من قِبل قائمة تتضمن أشخاصاً بارزين بمن فيهم بيتر أتكنز P. Atkins و دانييل هيلّيز W.D. Hillis وريتشارد داوكنز R. Dawkins وجاريد دايامونـد J. Diamond و ريتشارد ليكي R. Leakey و ستيفن بنكر S. Pinker ومارتن ريس M. Rees وإيان ستيوارت I. Stewart.

أجل، الكتاب سهل المنال. الكثير من كتب العلوم الشائعة والحائزة على جوائز يكون صعباً جداً بالنسبة للقارىء العادي. ولكن في أقل من 500 كلمة مفهومة مبسطة في كل مدخل، يكشف متن كتاب العلوم النقاط البارزة بطريقة يستطيع معظم الناس فهمها. إن العرض الشامل للمتن وحجم الحروف الطباعية الكبير يجذبان القارىء بالتأكيد إلى كل صفحة من صفحاته، وكذلك إن مدى الاهتمام المطلوب لكل مدخل منفرد يلائم كثيراً أجيال البرنامج التلفزيوني "شارع السمسم" Sesame Street.

قصص العلوم مثيرة، وحقيقة العلم تكون عادة غريبة وأكثر إدهاشاً من الخيال العلمي. ومع ذلك، وجدتُ نوعية كل مدخل مختلفة عن الأخرى. بعضها كان بالأحرى مبتذلاً، وفي حالة واحدة حيث أعرف مجال الموضوع، كانت هنالك أخطاء مقلقة. توجد هنالك أيضاً أشياء محذوفة ولكن، كما قيل بذلك بيتر تالاك P. Tallack في المقدمة، كان الاختيار موضوعياً لايمكن اجتنابه، حتى لو أن العلم يمكن أن يكون مسألة ذوق. أما ماورد في حقل الطب الحيوي، والمداخل الإضافية حول فقدان الحس، والخلايا الجذعية، والأنترفيرون – ولاسيما من وجهة نظر جوائز نوبل الحديثة – ودورة الخلايا، فإني أُقرّها تماماً.

بنية ترتيب الأحداث في الكتاب جيدة جداً، فهي تلقي نظرة بصيرة على التوجهات والتأثيرات عبر القرون، وساعد في ذلك المراجع الترافقية العديدة. ومع ذلك لا توجد محاولة لتوجيه القارىء إلى عالم المعرفة أبعد من ذلك. ولا يشكّل فهرست إشهار هذا الإنجاز البشري الضخم أكثر من صفحة مضاعفة. وكان المسرد وثبت المراجع أو القائمة بمواقع الإنترنت المفيدة معيناً جيداً على ذلك. ومع أن هذا الكتاب يمكن أن يكون ملهماً للطفل أو المراهق، إلاّ أنه لايقدّم تفصيلاً كافياً لذلك المشروع من الفرض المدرسي العلمي في الهجيع المتأخر من الليل أو في الدقيقة الأخيرة.

"كتاب العلوم"، كما يستحق، موضّح كثيراً، وفي أغلب الحالات تكون التوضيحات التي تشغل كل الصفحات اليمنى من كل مدخل مناسبة وفاتنة وأصلية. يمكن لكثير منها أن يُفهم بسهولة من خلال استعراض الصور، تماماً كالكتب الجميلة المشوّقة التي تُعرض على الطاولة في المقاهي. وبما أنني لا أملك طاولة لتناول القهوة فقد شغل كتاب العلوم مكاناً على الأريكة في الأسبوعين الأخيرين.

أبدى الزوار غير العلميين ردود أفعال متباينة (تتراوح أعمارهم بين 17 و 60 سنة). كان بعضها مشجعاً ومفيداً وأصيلاً ومبتكراً، وساعدني على معرفة كيفية اكتشاف الأشياء وقدّم تصورات رائعة ومفيدة. بيد أن بعض الانتقادات لم تكن مُطرية إلى حدٍ كبير – مثل: "كتاب علوم مجلة المختار"، "فرصة ضائعة"، "التصميم أرجعني إلى الثمانينيات".

كان السؤال الذي حيّرني هو "من سيشتري هذا الكتاب؟". ليس هو في الحقيقة من حجم وطبيعة الموسوعة، وهو بالتأكيد لا يقدم فائدة كبيرة إلى طالب العلوم من السوية A. وهل هنالك سوق من أجل الكتب العلمية المعروضة في المقاهي؟. لقد زرت المكتبة الكائنة في محلتي، وهي واحدة من سلسلة المكاتب الوطنية المعروفة، أُخبِرت بأن "كتاب العلوم" يُباع بشكل جيد. فقد بيع منه في أول أسبوع خمس نسخ – وهذا شيء جيد بالنسبة لكتاب غير خيالي بهذا السعر. لقد طلبوا عشر نسخ أخرى من أجل مخزونهم العام.

آمل أن يصبح "كتاب العلوم" الأفضل مبيعاً. ليس فقط لأنه يذيع العلم ويبلّغه، ولكن رغبة أن يصبح في الإمكان إصدار طبعة ثانية منه. وعندها يجب أن يخفض حجم الصور وحجم أحرف المتن مع مدخل واحد في كل صفحة مما يمكّن من وصف 500 اكتشاف علمي أصيل. يجب على المحرّر أن يُشرك أكثر ما يستطيع من العلماء المعاصرين في التصميم والكتابة وإعداد مرجعيات الكتاب. وعندها سيكون هذا الكتاب أفضل كتاب علمي رائج على الكرة الأرضية، وسيكون ملهماً ومشهوراً بين الجميع.■

★ By P. Tallack, Cassell, 2001.

** ف. بالكول: مختبر علم الأورام الانسحابي ICRF– بارتز ولندن – مدرسة كوينز ماري للطب وطب الأسنان – مركز العلوم جون فان – حي شارتر هاوس – لندن – المملكة المتحدة.
– العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, December 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

2- تاريخ الكتابة

A History of Writing ★

تأليف: س. روجر فشر
عرض وتحليل: م. بوب**

الكتابة مأثرة علمية ممتعة عقلياً. فهل كانت لذلك نتاج تصميم عقلاني كما حاول أن يبرهن وليام بالي W. Paley رجل كنيسة القرن الثامن عشر إلى درجة غير عادية، أم كانت نتيجة رصف متدرج بدون انقطاع، كما يقول ريتشارد دوكينز R. Dawkins في مؤلفه "صانع الساعات الأعمى"؟ وهل يُعدّ كل واحد من مئات النصوص المكتوبة التي مازالت قيد الاستعمال إبداعاً خاصاً أم أنها فروع متشعبة من شجرة وحيدة؟ يقف ستيفن فيشر مؤلف الكتاب بحزم إلى جانب ترابط مصادفات وسلاسل من تحسينات صغيرة. يتتبع كتاب "تاريخ الكتابة" الانتشار الجغرافي لمعرفة القراءة والكتابة بدءاً من الشرق الأوسط إلى بقية العالم بوجه عام، بما في ذلك الصين وأمريكا الوسطى، وكذلك تطورها المفاهيمي بدءاً من المسكوكات والصور الرمزية كما في الكتابة الهيروغليفية، إلى المقاطع في الكلمة والألفبائيات (الأحرف الأبجدية). يأخذ الكتاب بعين الاعتبار العلاقات الاجتماعية بين الناس والتضمينات السياسية لمعرفة القراءة والكتابة، وينتهي ببعض التأملات المفيدة في المستقبل الممكن للكتابة في عصر أيقونات الحاسوب وتمييز الصوت. يميل جميع القرّاء لأن يتعلموا شيئاً جديداً أو يصادفوا سؤالاً لم يفكّروا فيه من قبل أبداً.

إن عدداً من حقائق فيشر وأفكاره، في الواقع، جديد في حدّ ذاته. وأكثر هذه الحقائق أهمية هي النظرية الفاتنة أو الجذّابة - وضع أصولها بيير أمْييه P. Amiet من اللوفر عام 1966، ثم زادها غنىً بشكل كبير دينيس شماندت - بيسيرات D. Schmandt-Besserat من جامعة تكساس في أوستن - التي تقول بأن الكتابة بدأت برموز محاسبة: أولها مسكوكات غضارية، ثم مسكوكات غضارية مختومة بأغلفة غضارية، ثم بعدٌ المحتويات محفورةً على الجزء الخارجي كنوع من "قائمة الشحن" للتأمين ضد الاحتيال. النظرية جديدة لأن المسكوكات، هذه الكتل الصغيرة من الغضار ليست فنية في حد ذاتها، وقد تمّ فحصها من قِبل علماء الآثار السابقين.

يُفترض غالباً أن ما يربح لابدَّ أن يكون الأفضل. ولكن هذا الأمر مشكوك فيه. يمكن أن تكون الأعداد العربية قد لاقت تأييداً في الغرب ليس لأنها جعلت الحساب أسهل بل لأنها وفّرت في المساحة. والألفباء ليست أكثر كفاءة من الأبجدية المقطعية حتماً، إذ أن ذلك يعتمد على اللغة. والألفباء اللاتينية الحالية ليست أفضل ما يمكن رغم أنها تبشّر بغزو العالم. فهي تتألف من 26 حرفاً، بينما تحوي معظم اللغات حوالي 40 حرفاً صوتياً مهماً أو فونيمات، ومضاعفتها في الحالة الأعلى والأخفض للكتابة ليست ضرورية، وشكل الحروف نفسها - مهما جرى تفسيرها من وجهة النظر التاريخية - غير منطقي إطلاقاً.

كانت منظومة الكتابة الأوغاريتية التي استخدمت في الساحل السوري في القرن الخامس عشر قبل الميلاد أكثر ذكاءً. فكانت تتألف من 30 إشارة مبنية وفق مخطط معقول، أما الإشارات التي كانت الأسرع في الرسم فقد حُدِّد موقعها (أو هكذا يجب أن تبدو) إلى أكثر الأصوات تردداً. وفي القرن الخامس عشر بعد الميلاد كانت النصوص المكتوبة الكورية لـ هنكل Hankul على شكل مقاطع لفظية قائمة على أسس لغوية متقدمة، مع تصميم لحروفها يبين المواقع المأخوذة بالأدوات الصوتية عند لفظ الأصوات بوضوح - وهو مظهر فريد. ومع أن سيونغ Sejong - الملك الرابع للسلالة الحاكمة بي - قد طلب تعميم ذلك، إلاّ أن المتعلمين العاديين قد استخفّوا بها، ولم يصبح استعمالها عاماً فقط إلاّ بعد الحرب العالمية الثانية، عندما أعطتها التغيرات في اللغة المنطوقة أداة أقل كمالاً. وكما يبيّن فيشر، بالفعل، فإن الاعتبار الاجتماعي والقوة السياسية هما اللذان يرجحان دائماً الاستحقاق الفعلي في تقرير أي النصوص المكتوبة هي التي ستسود. وأما من أجل إعادة تشكيل أو إصلاح عادات التهجئة غير المنسجمة تماماً في اللغة الإنكليزية الحالية، فهذا لم يحصل ليس لأن الإصلاحات المقترحة لم تنجح عند التطبيق بل لأنها لم تكن حتى مرغوبة نظرياً. يستطيع فيشر أن يستشهد بآراء الأشخاص المهتمين بهذا الموضوع من مختلف الاتجاهات مثل نوام تشومسكي N. Chomski و آ. ب. هيربرت A. P. Herbert في تأييد إبقاء التشويش الظاهر لوحده.

في الكتاب عيوب. هنالك ملامح عجلة تدل عليها القوائم ذات النهايات الضعيفة مثل "إلخ" أو "هلّم جرّا". ويُعدّ إرجاع تأريخ الخط الهندي الخاروشذي Kharosthi إلى "القرون الأولى القليلة قبل الميلاد" كتابة غير متقنة أو دقيقة عندما يعني بأنه القليل الأخير. وليس واضحاً دائماً عندما يكتب فيشر عما يعتقد به وعندما يتبع مصدراً ثانوياً حتى أنه يوجهنا إلى كتاب عام حول ألفبائية مكتوبة قبل 60 عاماً كدعم لقوله بأن النصوص المكتوبة بالعربية وبالعبرية مرتبطة تاريخياً بعقيدة خاصة. وهذا شيء ناقص فضلاً عن أنه آثم. وأما إعلامنا أمراً لايمكن قبوله بشكل عام - مثل أن قبرص هي مهد الألفبائية اليونانية - بدون تقديم أي دليل، لشيءٌ لايُغتفر. والأسوأ من ذلك عندما صرّح فيشر بأن النصوص المكتوبة التي لم تحلّ شفرتها والعائدة إلى ما قبل العهد الكريتي المسيّتي (بما فيها قرص فاستوس الشهير) قد حُلّت على أنها يونانية: إن حلّ الشفرة، على أي حال، هو إقرار من قِبل فيشر نفسه، ومن الصعب على شخص آخر أن يقبل ذلك. وفي كتاب عام ينبغي أن لايكون للادعاء مكان، لأن هناك احتمالاً كبيراً في تضليل مَن ليسوا خبيرين في هذا المجال.

يُعدّ التشبث بالرأي ضرباً من الغباء، ولكن الجميل في هذا الكتاب هو أن نجد موضوعاً يتعرض إلى هذا القدر الكبير من الحضارة البشرية التي عولجت بما تستحقه من الرؤية والمعرفة الواسعتين.■

★ By S. R. Fischer: Reaktion Books 2001.

** م. بوب: جامعة اكسفورد - بريطانيا.

- العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, Vol. 414, 20/27 December 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرّية المعدَّة للبيع
Publications of the AEC of SYRIA

منشورات عامة	الشكل	السعر (ل.س من داخل القطر) ($ من خارج القطر)
1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes Day Life (ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر)	كتيب مطبوع Printed Book	15 ل.س $ 3
2- ما يجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع What The General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of overexposed Individuals (ترجمة قسم الوقاية والأمان)	كتيب مطبوع Printed Book	40 ل.س $ 9
3- مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة (إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير) Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان)	كتاب مطبوع Printed Book	80 ل.س $ 7
4- تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته) Food Irradiation (A technique for Preserving and Imporoving the Safety of Food) (ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 15
5- نظرية الكم وقصتها الغريبة L'étrange Histoire des Quanta (ترجمة محمد وائل الأتاسي)	كتاب مطبوع Printed Book	250 ل.س $ 25
6- حقائق حول تشعيع الأغذية سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية Facts about Food Irradiation (ترجمة الدكتور نزار حمد)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 8
7- الإشعاع: الجرعات -الآثار -المخاطر Radiation: Doses, Effects, Risks (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان-المهندسة مها عبد الرحيم)	كتاب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 10
8- دروس من حوادث وقعت في منشآت التشعيع الصناعية Lessons Learned From Accidents In Industrial Irradiation Facilities (ترجمة الدكتور محمد قعقع)	كتيب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 6
9- الاختبارات اللاإتلافية: طريقة التصوير الشعاعي الصناعي Industrial Radiography Method (تأليف الدكتور وفيق حرارة)	كتاب مطبوع Printed Book	200 ل.س $ 10
10- الطاقة الذرّية لأغراض عسكرية Atomic Energy for Military Purposes (ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
11- معجم المصطلحات العلمية والتقنية (إنكليزي-عربي) Dictionary of Trchnical Terms in the Field of Atomic Energy (طبعة جديدة موسعة)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
12- التثبيت الحيوي للآزوت الجوي Biological Nitrogen Fixation	كتاب مطبوع Printed Book	350 ل.س $ 15

ملاحظة: يمكن طلب هذه المنشورات من مكتب الترجمة والتأليف والنشر في هيئة الطاقة الذرّية -دمشق - شارع 17 نيسان -هاتف 6111926/7.

AN IN VITRO EVALUATION OF SOME UNCONVENTIONAL RUMINANT FEEDS AND THE RELATIONSHIP BETWEEN GAS PRODUCTION, DIGESTIBILITY AND MICROBIAL BIOMASS*

M. R. AL-MASRI

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

ABSTARCT

In vitro dry matter apparent digestibility (IVDMAD), true digestibility (IVDMTD), metabolizable energy (ME), net energy lactation (NEL), microbial nitrogen (MN) and microbial biomass (MBM) synthesis using ^{15}N were estimated to predict the nutritive values of some agricultural by-products (wheat straw, olive cake), browses and drought tolerant range plants (Atriplex loucoclada B., Prosopis stephaniana K., Alhagi camelorum F., Eucaliptus camaldulensis D., Moringa oleifera L. and Jatropha curcas L.). The results indicated the following:

1- The values of IVDMAD, IVDMTD, ME, NEL, GP, MBM and MN varied with the studied experimental materials.

2- Screening of the olive cake wood from the olive cake to obtain olive cake pulp, increased the IVDMAD, IVDMTD, ME, NEL and the volume of gas production resulting from the true fermented material. However, the true fermentation of the outside part of A. louclada produced higher volume of gas than the middle or the inside parts, and this associated with an increase in the values of IVDMAD, IVDMTD, ME and NEL.

3-Gas production was positively correlated ($P < 0.0001$) to the IVDMAD and IVDMTD ($R = 0.96$ and $R = 0.90$, respectively), and negatively correlated ($R = -0.61$, $P < 0.0001$) to the microbial biomass and microbial nitrogen.

4-The correlation between gas production and true fermented dry matter (TFDM) was high and significant. Crude fiber was negatively correlated to the IVDMAD, IVDMTD, ME and NEL ($r = -0.88$, $r = -0.87$, $r = -0.86$ and $r = -0.83$, respectively).

Key Words

feed evaluation, ruminant, gas production, digestibility, microbial biomass, range plants, browses.

* A short report on an exploratory scientific experience achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

☆ ★ ☆

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

BIOLOGICAL RADIATION DOSE ESTIMATION BY CHROMOSOMAL ABERRATIONS ANALYSIS IN HUMAN PERIPHERAL BLOOD (DOSE- EFFECT CURVE)*

W. AL ACHKAR

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

ABSTRACT

In order to draw a dose-effect curve, blood from eight healthy people were studied. Samples were irradiated in tubes with 0.15-2.5 gray of gamma ray. Irradiated and control samples were incubated for cell cultures. Chromosomal aberrations from 67888 metaphases were scored. Curves from the total number of dicentrics, dicentrics + rings and total numbers of breaks were drawn. The yield of chromosome aberrations is related to the dose used. These curves give a quick useful estimation of the accidentally radiation exposure.

Key Words

dose-effect curves, human lymphocytes, gamma ray, chromosomal aberrations.

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

FACTORS AFFECTING CALLUS AND PROTOPLAST PRODUCTION AND REGENERATION OF PLANTS FROM GARLIC TISSUE CULTURES*

B. AL-SAFADI, I. NABULSI

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

ABSTRACT

Five cultivars of garlic, two explants, six callusing media, six regeneration media, two kinds of light and several doses of gamma irradiation were used to determine the best conditions for callus induction and plant regeneration from garlic tissue cultures. Also, some experiments were conducted to study the possibility to isolate protoplast and regenerate plants. ANOVA exhibited significant differences among used cultivars in their ability to form callus. No significant difference was observed between 16hr light and complete darkness in callus growth. Cultivars varied in their ability to regenerate and interaction between cultivars and media was observed. Cultivar Kisswany was the best in regeneration (38 %) and medium MS 47 was the best among used media (35 %).

Light type played a significant role in regeneration of plants where red light was much better than white light in inducing regeneration (68 % vs. 36 %).

ANOVA revealed significant effect of low doses of gamma irradiation on stimulation regeneration of plants whereas high doses prevented regeneration..

Key Words

garlic, callus, regeneration, gamma radiation, light, protoplast.

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

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

REPORTS

ADJUSTING HYDMN CODE TO MNSR STEADY-STATE THERMOHYDRAULICS*

M. ALBARHOUM, S. MOHAMMED
Department of Physics, Atomic Energy Commission P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The steady-state thermal-hydraulic problem of MNSR and its solution are treated here. HYDMN is a code that, taking the result of SYRCO-1 [5] calculations, finds the distributions of temperature in the core, the reflector and the water of the tank at any level situated between the bottom and the top of the core levels.

Channel analysis (hot channel, hot spot, fuel meat and cladding temperature distributions) can also be performed with the aid of HYDMN.

Based on the input data, the code can give an imagined panorama of the reactor in the form of both 3-d reactor front or 2-d plan reactor-cross-section views.

Some data are necessary to perform calculations such as the reactor power(kW).

Key Words

reactor, steady-state, reflector, neutronic flux, coolant.

* A short report on a computer scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

THE EFFECT OF SOME ACID MEDIA ON THE EXTRACTION OF URANIUM BY TRIBUTYLPHOSPHATE AND TRIDODECYLAMINE*

J. STAS
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The effect of some acidic media, such as: H_3PO_4, H_2SO_4, HCl and $HClO_4$ on the extraction of uranium (VI) by tributylphosphate, tridodecylamine and their mixture in kerosene has been studied. We found that, the extraction percentage of uranium (VI) from the mentioned acidic media, except for $HClO_4$, using 0.5 M TBP/kerosene, is less than 20 % in the range of acid concentration (0-5 M), while the extraction can be considered quantitative and the extraction percentage is 64 % at 5 M of perchloric acid.

The extractant tridodecylamine (0.5 M), which contains 24 % of tributylphosphate as a modifier shows big affinity to uranium (VI) at acidity less than 1 M, for H_3PO_4 and H_2SO_4 and the extraction can be considered complete, while for HCl and $HClO_4$ the extraction is maximum at 5 M acidity.

Key Words

extraction, uranium, acidic media, tributylphosphate, tridodecylamine.

* A short report on a laboratory scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

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

EFFECTIVE REDUCTION OF FLUORINE CONTENT IN SYRIAN COMMERCIAL PHOSPHORIC ACID USING SILICA-GEL UNDER THREE DIFFERENT CONDITIONS*

R. BAIDOUN, J. ABU - HILAL, A. W.ALLAF

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

ABSTRACT

Three methods have been carried out to reduce the fluorine content in Syrian commercial phosphoric acid, raffinate to a very low concentration. The raffinate was mixed silica gel in three stages. Mixing with silica gel was tried with in three different conditions; reduced pressure (0.5 - 15 torr), high temperature (80 - 90°C)and room temperature. The fluorine reduction was about (94 - 97)%, 98% and 97% applying three previous different conditions, respectively.

Key Words

extraction, fluorine, phosphoric acid, purification and reduction.

* This paper appeared in *Afinidad,* Mayo-Junio 2001.

SEASONAL N CHANGES IN ALNUS ORIENTALIS AND POPULUS NIGRA AND N_2 FIXATION BY EXOTIC ALDER SPECIES IN SYRIA*

F. KURDALI

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

ABSTRACT

Two experiments were conducted. The first was to study nodulation and N_2 fixation of several introduced alder species (Alnus glutinosa, A. incana, A. rubra and A. viridis) grown in soil from beneath Alnus orientalis. The second was to determine pattern of N changes in leaves and bark of Alnus orientalis and Populus nigra natural stands during two successive years. Results showed that Frankia in soil from underneath Alnus orientalis nodulated and fixed nitrogen on roots of local alder as well as on roots of introduced alder species from distant and ecologically diverse localities. However, differences were found among species in the number of nodules formed and amount of nitrogen fixed. Percentages of nitrogen derived from atmosphere (%Ndfa) ranged from 5% in A.viridis to 66% in A. orientalis. Microscopic study of Alnus orientalis nodules showed the presence of vesicles, and Frankia belonging to Sp- type. Foliar N concentration was higher in alder than in poplar. Total N concentration in alder leaves remained relatively constant at about 3% during summer, whereas N concentration in poplar decreased sharply in leaves and increased in bark. No substantial increase in N concentration was found in alder bark, and the fallen leaves were rich in nitrogen. During autumn, leaf N concentrations in poplar decreased by 43% and 51% for the first and the second year, respectively; whereas N concentrations in bark increased by 71% and 100%. Total N concentrations in alder leaves decreased only by 8-16% while, values in the adjacent bark remained stable. In contrast to poplar, it seems that Alnus orientalis does not exhibit net leaf retranslocation to bark tissues.

Key Words

Alnus sp, Populus sp, N concentration, N_2-fixation.

* This paper appeared in *Communications in Soil science plant analysis,* Vol. 31, No. 15&16, 2509-2522, (2000).

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

PAPERS

THERMOSTATISTICAL PROPERTIES OF NUCLEAR MATTER AND THE NUCLEAR LIQUID-GAS PHASE TRANSITION*

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

ABSTRACT

Thermostatistical properties of symmetric and asymmetric nuclear matter are studied in the framework of the relativistic mean field theory at a finite temperature. The statistical description via the grandcanonical potential produces an equation of state, which describes the nuclear liquid-gas phase transition as first order. The transition occurs at an excitation energy of 15-16 MeV per nucleon, and a density of 0.3-0.4 symmetric matter saturation density. This result is in accordance with the results of experimental observations of fragment distributions in heavy-ion collisions.

Key Words

relativistic mean field theory, grandcanonical potential, nuclear equation of state, heavy-ion reactions, nuclear liquid- gas phase transition.

* This paper appeared in *Acta Physica Polonica B*, Vol. 32, 14 February 2001.

HIGH VOLTAGES INFLUENCE ON THE RESPONSE OF TWO-STAGE GEM DETECTOR*

J. ASSAF
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A two-amplification-stage gas proportional counter, with two gas electron multiplier (GEM) elements detector and three applied high voltages (HVs), was tested. The results describe the influence of the HV on the detector operation. Optimal values of the HV corresponding to the best energy spectrum and to the maximum gain are reported. The experimental results were qualitatively compared with the calculated functions. These functions predict the detector response, and take into account the processes occurring in the detector zones.

Key Words

gas electrons multiplier, nuclear detector, high voltages, X-ray.

* This paper appeared in *Radiation Measurements*, 2001.

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

thresholds for symmetric and asymmetric fission- are very closely related to topological features in the calculated five-dimensional energy landscapes.

Key Words

ridge, nuclear fission, asymmetric, symmetric, mass, threshold energy.

*This article appeared in *Nature*, Vol 409, 15 February 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

FREE-ELECTRON LASERS: STATUS AND APPLICATIONS*

P. G. O'SHEA

Department of Electrical and Computer Engineering and Institute for Plasma Research, University of Maryland, College Park, USA

H. P. FREUND

Science Applications International Corporation, Mclean, USA

ABSTRACT

A free-electron laser consists of an electron beam propagating through a periodic magnetic field. Today such lasers are used for research in materials science, chemical technology, biophysical science, medical applications, surface studies, and solid-state physics. Free-electron lasers with higher average power and shorter wavelengths are under development. Future applications range from industrial processing of materials to light sources for soft and hard x-rays.

Key Words

free-electrons, bunching, laser, ponderomotive, wiggler.

*This article appeared in *Science*, Vol. 292, 8 June 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PHOTOVOLTAIC SYSTEMS*

P. BOULANGER, D. DESMETTRE

Genec - Direction de la recherche technologique - CEA/Cadarache

ABSTRACT

Beyond the module that carries the cells exposed to the sun, the exploitation of the photovoltaic electricity passes by systems " of which the future development requires, for every component, an effort of research to improve its economy and its reliability. It is especially true that the storage constitutes the essential element, the main constraint weighing on the field of activity being the necessity to stock electricity between periods of sunshine. The CEA looks for, among others, computing the functioning of the photovoltaic systems while integrating the evolutions of the features of the storage over the time.

Key Words

photovoltaic modules, photovoltaic electricity, battery.

*This article appeared in *Clefs CEA*, No. 44, Hiver 2000-2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

DEPLETED URANIUM AND RADIATION-INDUCED LUNG CANCER AND LEUKAEMIA*

R. F. MOULD
Surrey CR2 ODH, UK

ABSTRACT

Reports of leukaemias and other cancers among servicemen who took part in the 1991 Gulf War or in the more recent operations in the Balkans are of continuing interest, as is the possibility, however slight, that depleted uranium (DU) is one of the causative factors. This commentary includes the results of a UK epidemiological study on the mortality of Gulf War veterans and, although not containing information on DU exposure, gives data on overall levels of mortality and therefore carries more weight than anecdotal reports. Also included are brief summaries on radiation-induced lung cancer in uranium workers as well as radiation-induced leukaemia in Japanese atomic bomb survivors and patients with ankylosing spondylitis treated using X-rays. This commentary concludes with a critique of Iraqi cancer statistics as well as giving information on environmental contamination in Kosovo and the use Of DU ammunition.

Key Words

depleted uranium, leukaemia, lung cancer, Gulf War veterans.

* This article appeared in *The British Journal of Radiology*, August 2001. It has been translated into Arabic by Translation, Composition & Publication Office, Atomic Energy Commission of Syria.

NUCLEAR FISSION MODES AND FRAGMENT MASS ASYMMETRIES IN A FIVE-DIMENSIONAL DEFORMATION SPACE*

P. MÖLLER, D. G. MADLAND, A. J. SIERK
Theoretical Division, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87545, USA
A. IWAMOTO
Department of Materials Science, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai- mura, Naka- gun, Ibaraki, 319- 1195 Japan

ABSTRACT

Nuclei undergoing fission can be described by a multi- dimensional potential- energy surface that guides the nuclear shape evolution-from the ground state, through intermediate saddle points and finally to the configurations of separated fission fragments. Until now, calculations have lacked adequate exploration of the shape parameterization of sufficient dimensionality to yield features in the potential-energy surface (such as multiple minima, valleys, saddle points and ridges) that correspond to characteristic observables of the fission process. Here we calculate and analyse five- dimensional potential- energy landscapes based on a grid of 2,610,885 deformation points. We find that observed fission features- such as the distributions of fission fragment mass and kinetic energy, and the different energy

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ ADJUSTING HYDMN CODE TO MNSR STEADY-STATE THERMOHYDRAULICS . . . . . M. ALBARHOUM, S. MOHAMMED 87

☐ THE EFFECT OF SOME ACID MEDIA ON THE EXTRACTION OF URANIUM BY TRIBUTYLPHOSPHATE AND TRIDODECYLAMINE . . . . . J. STAS 90

☐ BIOLOGICAL RADIATION DOSE ESTIMATION BY CHROMOSOMAL ABERRATIONS ANALYSIS IN HUMAN PERIPHERAL BLOOD (DOSE- EFFECT CURVE) . . . . . W. AL ACHKAR 91

☐ FACTORS AFFECTING CALLUS AND PROTOPLAST PRODUCTION AND REGENERATION OF PLANTS FROM GARLIC TISSUE CULTURES . . . . . B. AL-SAFADI, I. NABULSI . . 92

☐ AN IN VITRO EVALUATION OF SOME UNCONVENTIONAL RUMINANT FEEDS AND THE RELATIONSHIP BETWEEN GAS PRODUCTION, DIGESTIBILITY AND MICROBIAL BIOMASS . . . . . M. R. AL-MASRI 94

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ THE SCIENCE BOOK . . . . . BY: P. TALLACK 99
OVERVIEW & ANALYSIS: F. BALKWILL

☐ A HISTORY OF WRITING . . . . . BY: S. R. FISCHER 100
OVERVIEW & ANALYSIS: M. POPE

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 108

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ DEPLETED URANIUM AND RADIATION-INDUCED LUNG CANCER AND LEUKAEMIA ..... R. F. MOULD 7

☐ NUCLEAR FISSION MODES AND FRAGMENT MASS ASYMMETRIES IN A FIVE-DIMENSIONAL DEFORMATION SPACE ..... P. MÖLLER et al. 15

☐ FREE-ELECTRON LASERS: STATUS AND APPLICATIONS ..... P. G. O'SHEA, H. P. FREUND 23

☐ PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ..... P. BOULANGER, D. DESMETTRE 31

NEWS

☐ TOWARD DIAMOND LASERS ..... *SCIENCE* 37

☐ NICKEL PROBES SUPERCONDUCTIVITY ..... *NATURE* 38

☐ ELECTRONS AND SATELLITES ..... *LA RECHERCHE* 40

☐ COLOURFUL ELECTRONS SOLVE PAZZLE OF FERROMAGNETISM ..... *PHYSICS WORLD* 41

☐ THE RISE OF ATMOSPHERIC OXYGEN ..... *SCIENCE* 42

☐ FAST TRACK TO FUSION ENERGY ..... *NATURE* 45

☐ DEPLETED URANIUM ..... *IAEA* 47

☐ NANOTUBES GO BALLISTIC ..... *NATURE* 50

☐ THE COMPLEX STORY OF H_2 ..... *SCIENCE* 52

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ THERMOSTATISTICAL PROPERTIES OF NUCLEAR MATTER AND THE NUCLEAR LIQUID-GAS PHASE TRANSITION ..... S. HADDAD 56

☐ HIGH VOLTAGES INFLUENCE ON THE RESPONSE OF TWO-STAGE GEM DETECTOR ..... J. ASSAF 61

☐ EFFECTIVE REDUCTION OF FLUORINE CONTENT IN SYRIAN COMMERCIAL PHOSPHORIC ACID USING SILICA - GEL UNDER THREE DIFFERENT CONDITIONS ..... R. BAIDOUN et al 67

☐ SEASONAL N CHANGES IN ALNUS ORIENTALIS AND POPULUS NIGRA AND N_2 FIXATION BY EXOTIC ALDER SPECIES IN SYRIA ..... F. KURDALI 78

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° 78 **17th Year** **MARCH/APRIL 2002**

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