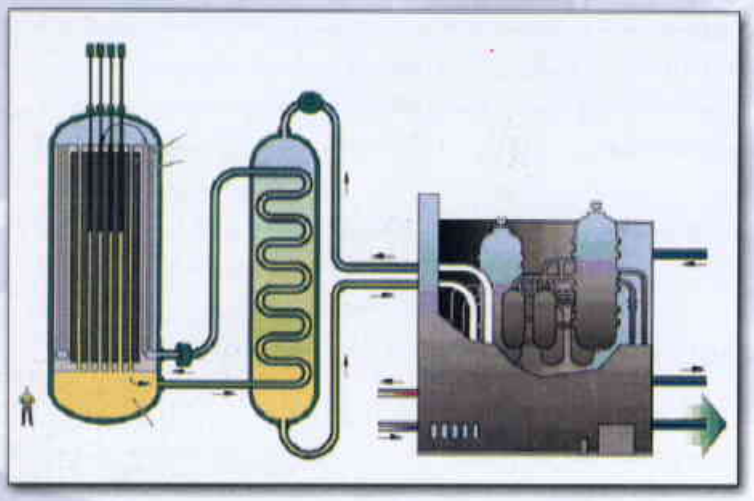
عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية



المدير المسؤول

الدكتور ابراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور عادل الحرفوش

الدكتور زياد القطب

98

السنة العشرون /تموز- آب/

2005

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

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

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

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

E-mail: tapo@aec.org.sy

الإعلانات

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

رسوم الاشتراك السنوي

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

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

ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012

- **الاشتراك من داخل القطر:** للطلاب (200) ل.س ، للأفراد (300) ل.س ، للمؤسسات (1000) ل.س .
- **الاشتراك من خارج القطر:** للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً .

سعر العدد الواحد

سوريا : 50 ل.س مصـر : 3 جنيهات لبـنان : 3000ل.ل الجزائر : 100 دينار

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

ISSN 1607-985X

المحتويات

المقالات

منهجية ومعايير انتخاب منظومات الجيل الرابع ..... ف. كاري، ج. ل. فيوريني 5
ترجمة د. إلياس ابو شاهين

ليزر الذرّات يبحث عن مستقبل صناعي..... ك. ويستبروك وآخرون 16
ترجمة أ. أنطون مارين

معيارا الزمن والتواتر في مستهل القرن الحادي والعشرين..... س. أ. ديدامز وآخرون 22
ترجمة هيئة الطاقة الذرية

مفاعلات الأملاح المنصهرة من الجيل الرابع ..... س. غَرْزين، م. ديلبش 32
ترجمة أ. أنطون مارين

البتات الكمومية الفائقة الناقلية ..... هـ. مويج 35
ترجمة د. فخري كتكوت

سوق اليورانيوم ومصادره ..... ج. كابيس، ت. آرنولد 41
ترجمة د. زهير قطان

الأخبار

البنية الإلكترونية للرصاص السائل 51

هوائيات من الأنابيب النانوية 52

هل كان مشروع الجينوم البشري يستحق هذا الجهد؟ 54

صدى الضجّة الكبيرة 57

تراهن بعض البلدان على أن ثوانيَ معدودة قد تنقذ أرواحاً 58

دراسة حاسمة تؤجج الجدل حول الهواتف النقّالة 61

تخفيف الألم مغنطيسياً لا يفيد إلا إذا كانت لديك قناعة بذلك 62

الكدميوم..... 62

ورقات البحوث

(أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

تقدير إنتاج المادة الجافة والآزوت الممتص في نباتات ذرة السورغوم ..... د. فواز كرد علي 66
العلفية النامية في ترب مالحة وغير مالحة مضافاً إليها مخلفات من نبات السيسبان

تأثير أشعة غاما في بيوض فراشة ثمار التفاح، Cydia pomonella (L.)..... محمد منصور، فاطر محمد 77

التقارير العلمية

(أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

دراسة أثر كواركات بحر ديراك على دينامية الغلوونات ..... د. حازم سومان 82

- التشخيص السريع لمتلازمة داون في الحمل ما قبل الولادة ..... د. محمد راتب شيبان، د. وليد الأشقر ... 82
  باستخدام تقانة تألق التهجين في الموضع على خلايا الطور البيني
- القيمة الغذائية والإنتاجية لدريس القطف Atriplex lentiformance ..... د. محمد راتب المصري، وآخرون 83
  النامي فوق تربة مالحة وتأثيره على الخصوبة والمؤشرات التناسلية لإناث الماعز الشامي
- تحضير طاقم برومو أيدا وضبط جودته ..... د. توفيق ياسين، وآخرون 83
- دراسة توزع الكمون ضمن عيّنة متوازية المستطيلات ثلاثية ..... د. عادل نادر 84
  الأبعاد لا متناحية
- خارطة إشعاعية إقليمية بمطيافية أشعة غاما للقطر العربي السوري ..... موسى عيسى، وآخرون 84
- برنامج الإشراف الطبي للعاملين المتعرضين مهنياً للإشعاع ..... د. بشار عبد الغني، وآخرون 85
- الكشف عن المورثة الورمية p53 لدى مريضات سرطان الثدي ..... د. عادل باكير، خلود حماد 85
  بتقانة التلوين المناعي النسيجي
- تصميم وتنفيذ نظام التحليل بواسطة عدّ النترونات المتأخرة ..... د. إبراهيم خميس، د. خالد حداد 86
- توسيع البرنامج COBRET لإجراء المعالجة اللاحقة للكود PARET ..... د. علي حينون، وآخرون 86
  تحت بيئة النوافذ

كتب حديثة مختارة

- في عمق الأشياء ..... تأليف: ب. سخوم 88
  عرض وتحليل: س. باترزباي
- عوالم متوازية ..... تأليف: م. كاكو، آ. لين 88
  عرض وتحليل: س. باترزباي

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد 96

يسمح 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

منهجية ومعايير انتخاب منظومات الجيل الرابع★

فرانك كاري-جيان لويجي فيوريني
مفوضية الطاقة الذرّية - مديرية الطاقة النووية
مديرية التطوير والتجديد النوويين

ملخص

انعقد المؤتمر الدولي - الجيل الرابع عام 2000 بناءً على طلب وزارة الطاقة الأمريكية بمساهمة أوّلية من تسع دول (وعشر حالياً). ففي المرحلة الأولى من أعمال المؤتمر، التي انتهت في تشرين الأول /أكتوبر عام 2002، اعتُبرت أهدافه على أنها تحديد قائمة الشروط للمنظومات النووية التي قد تنتشر في أوائل 2030 لتطوير مستديم للطاقة، واختيار مسبق للتقانات الواعدة أكثر من غيرها بغية بلوغ هذه الأهداف. تعرض هذه المقالة المنهجية مع وسائل نجاحها وإمكاناتها، تلك المنهجية التي اعتمدت لاختيار مجموعة من ست منظومات -انطلاقاً من مئة وعشرين اقتراحاً بل وأكثر من ذلك- وهي التي تتضمّن تقانات أساسية لنوويات القرن الواحد والعشرين.

الكلمات المفتاحية *المفاعل النووي، قابلية المداومة، الأمان، الوثوقية، مقاومة الانتشار.*

عرض عام لمؤتمر الجيل الرابع

إن الأهداف التي تُبْتغى للمنظومات النووية في المستقبل، وقس على ذلك اختيار التقانات الأساسية لبلوغها، هي موضوع تعاون دولي فعّال جداً، خاصة في إطار مؤتمر الجيل الرابع الذي دعت إليه وزارة الطاقة الأمريكية عام 2000.

وقد أخذت الحكومة الأمريكية بالاعتبار أخطار نقص الطاقة وتابعيتها في مستقبل قريب، اشتركت عبر وزارة الطاقة (DOE)، في سعي لإحياء وسائل لتوليد الكهرباء. ففي قطاع الطاقة النووية، تمّتْ ترجمة هذه المبادرة بعملين متكاملين:

- العمل الأوّل أمريكي صرف، وهو برنامج الطاقة 2010 الذي يسعى إلى تسهيل بناء مفاعلات جديدة في الولايات المتحدة على مدى قريب (عام 2010). فتكوّنت مجموعة لأجل هذا الغرض، وهي مجموعة انتشار الفريق القريب (NTDG)، وقيّمت المفاعلات المحتمل إنشاؤها من الآن حتى 2010 في الولايات المتحدة، وحدّدت نوع المسائل المتوقّع حلّها سواء في المستوى التقني أو التنظيمي أو الإداري، واقترحت ما يُسهّل أمر انتشار هذه المفاعلات النووية من الجيل الثالث على مدى قريب؛
- والعمل الثاني هو المؤتمر العالمي-الجيل الرابع (GIF): ومبدؤه الأساس هو اعتراف الدول العشر الأعضاء فيه، بمؤهلات الطاقة النوويّة لتلبية الحاجات المتنامية إلى الطاقة في العالم، في مسعى إلى التطوير المستديم وتدارك التغير المناخي. إن هذا المبدأ مسجل في شرعة المؤتمر ويُترجم حسيًّا بتعهد دولي بالبحث والتطوير لتحديد، وتطوير، والسماح بنشر منظومات نووية من الجيل الرابع في مطلع 2030، إن الدول أعضاء المؤتمر -الجيل الرابع- هي الولايات المتحدة، الأرجنتين، البرازيل، كندا، فرنسا، اليابان، جمهورية كوريا، افريقيا الجنوبية، سويسرا والمملكة المتحدة. وإن انضمام المفوضية الأوربية وشيك الوقوع وينبغي أن يتحقق فعلياً في نهايات 2003، وهناك دول أخرى أو سلطات دولية يمكنها أيضاً أن تنضم عند الاقتضاء إلى هذا الجهد في البحث والتطوير.

إن المؤتمر الدولي -الجيل الرابع- مبادرة هامة لإطلاق الطاقة النووية في الولايات المتحدة وبكثرة في العالم. وإن طور التوجيه التقاني، الذي تصدّى له المؤتمر في الفترة الأولى (تقانة خريطة الطريق (http://gif.inel.gov/roadmap/)). يمثّل المرحلة الأولى لعملية تُحدّد وتنظّم البحث والتطوير اللازمين لتطوير جيل جديد من المنظومات المنتجة للطاقة النوويّة. ويتكوّن كل من هذه المنظومات

★ نُشر هذا المقال في مجلة RGN, No 4 Juillet-Août 2003.

من المفاعل، ومنظومة تحويل الطاقة، والتجهيزات الضرورية لدورة الوقود، الخاصة بمعالجة الوقود المستهلك والنفايات الأخيرة.

هذا وقد تمَّ إنجاز المراحل الثلاث الآتية:

- مرحلة تقييم المنظومات، وفق منهجية كثيرة التكوُّد، تلك المنظومات التي اقترحتها الدول المشاركة (أنجزت المرحلة بين شهر آذار/ مارس عام 2001 وشهر آذار/مارس عام 2002)؛
- مرحلة اصطفاء عدد قليل من المنظومات التي تتضمّن تقانات شُهد لها خاصةً بأنها واعدة أثناء التقييم (أُنجزت المرحلة في شهر أيار/مايو 2002)؛
- مرحلة تهيئة خطة لتطوير هذه التقانات، وقد نُشرت عام 2002، وهي تُمهّد لحالة تعاون دولي بدءاً من 2004.

وتعرض هذه المقالة، بعد كلمة موجزة عن التنظيم العام للأعمال التي أدّت إلى تقرير التوجّه التقاني (تقانة خريطة الطريقة)، بالتتابع الأهداف التي أخذ بها المؤتمر لمنظومات الجيل الرابع، والمنهجية التي إعتمدت لاصطفاء هذه المنظومات وكذلك مميزاتها التقنية الرئيسة.

التوجيهات التقانية التي نصح بها مؤتمر الجيل الرابع

إن مجموع الأهداف التي يُطمح إليها لمنظومات الجيل الرابع اقترحته في البدء لجنة فرعية منبثقة من اللجنة الاستشارية لبحوث الطاقة النووية (NERAC) التي تُقدّم نصحها إلى الحكومة الأميركية بصدد الطاقة النووية. ومن ثمَّ تباحث أعضاء المؤتمر الدولي في أمر هذه الأهداف ورتّبوها وصدّقوا عليها. إن الأهداف الأهم هي أربعة: القابلية للمساهمة في عملية تطوير مستديم للطاقة (قابلية المداومة sustainability)، الأمان sûreté والوثوقية (safety and reliability) fiabilié، والمميزات الاقتصادية، وكذلك منع الانتشار والحماية الفيزيائية.

هذا، وقد تألفت، بعد أن تحدّدت هذه الأهداف مجموعات من الخبراء الدوليين لمطابقة المنظومات التي اقترحتها الدول أعضاء المؤتمر وتقييمها ولتحديد مخططات البحث والتطوير الموافقة. إن هذه المجموعات قد نُظِّمت بتقانة حاملات الحرارة (المبرّدات): الماء، والغاز، والمعادن السائلة وتلك "غير التقليدية". وقد تكوّنت مجموعة مختصة لإحكام منهجية التقييم وضمان توافقها. إن فريق التساوق (فريق تساوق خريطة الطريقة RIT) نسق بين مجموع هذه الأعمال (الشكل 1).

وبالإجمال، فقد نظر المُشاركون في المؤتمر بأمر مئة وعشرين منظومة تقريباً، جُمّعت بسرعة في عشرين زمرة متجانسة من حيث مميزاتها التقنية والحاجة إليها في البحث والتطوير.

وشُكّلت مجموعة جانبية (فريق عُرُض crosscut) لدراسة جوانب دورة الوقود وبخاصة الاشتراكات المتحرضة بفعل أهداف التطوير المستديم. كما شُكّلت مجموعات جانبية أخرى فيما بعد لتغطية قضايا الاقتصاد، والأخطار والأمان، وذلك فيما يخص الوقود والمواد، وأيضاً لتغطية مختلف التطبيقات العملية للطاقة الكامنة (الكهرباء، والهدروجين، وإزالة الملوحة وذلك عند الإنتاج المختص بها حصراً أو عند توليدها المشترك مع غيرها).

وقد شارك في هذه المرحلة من أعمال المؤتمر خبراء عالميون من دول مؤتمر الجيل الرابع (GIF) العشر، ومن OECD/AEN، ومن المفوضية الأوربية ومن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية. وكان لفرنسا 12 ممثلاً في مجموعات العمل تلك: ممثل واحد من كوجيما (cogema)، وممثلان من شركة كهرباء فرنسا، وثلاثة من فراماتون – ANP وستة من مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية.

إن الأهداف الكبيرة التطويرية لمنظومات الجيل الرابع موضّحة فيما يأتي (الجدول 1).

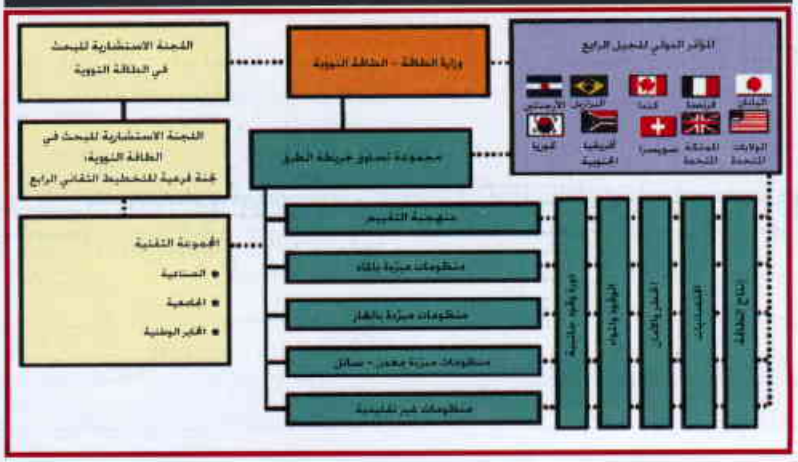
القابلية للتطوير المستديم

إن القابلية للتطوير المستديم للطاقة هي القدرة على سدّ الحاجات الراهنة من الطاقة بدون أن تُعرّض للشُبهة قدرة أجيال المستقبل على إشباع حاجاتها الخاصة، والأهداف الملائمة لهذا المبدأ تنصب في استعمال الموارد الطبيعية والعمل على أدارة أمر النفايات. وهناك عوامل أخرى، تشترك، على العموم، مع التطوير المستديم، كالاقتصاد والبيئة وتعالج كلاً على حدة لتأكيد أهميتها.

ويُجْمل إسهام منظومات الجيل الرابع في التطوير المستمر للطاقة كما يأتي:

- ترك أثراً مناسباً حاسماً في البيئة، خاصة في انتشار غاز مفعول الدريئة، من حيث إمكانية استبدال

الشكل 1- النظام المعتمد لتحقيق خريطة الطريق للجيل الرابع



منظومات الجيل الرابع بمنابع طاقة ذات وقود أحفوري لتوليد الكهرباء أو للنقل؛ ففي هذا الصدد، تُعدّ إمكانية توليد أنواع من الوقود النظيف مثل الهدروجين ليحل محل النواتج البترولية عند الاقتضاء هو الأمر الأساس؛

- أدى إلى زيادة في كمون طاقة احتياط الوقود النووي مع إمكانية تحويل وحرق المواد الخصيبة بواسطة النترونات السريعة وإعادة استعمال الوقود؛
- ساعد على استخدام مواقع التخزين المؤقت و/أو الدائم استخداماً أمثل بتنمية حجم النفايات النووية وحمولتها الحرارية؛
- وعمل على تبسيط عملية التبيان العلمي لكفاءة هذه المواقع باختزال ذي دلالة لعمر النفايات الإشعاعية وسُمّيتها.

التنافسية الاقتصادية

إن التنافسية الاقتصادية هي ضرورة للسوق؛ وهي أساسية لمنظومات الجيل الرابع. ففي البيئة الحالية، تستعمل المحطات النووية أساساً كقاعدة نوويّة وقد اشتغلت في غضون عشرين عاماً بحسب سياق سوق ذي طاقة منضبطة. هذا، والانتقال إلى أسواق ذات طاقة غير منضبطة، وهي التي تعمّ العالم بأسره، يؤدّي إلى زيادة عدد المنتجين المستقلين الذين يبحثون عن عودة إلى الاستثمار السريع والأسرع من غيره بقدر الإمكان. وهكذا فإن الأهداف الاقتصادية ينبغي أن تتضمّن هذه الحقيقة، وهذا ما يُترجم في إطار مؤتمر الجيل الرابع بأن تؤخذ بالحسبان الاعتبارات الآتية:

- الضرورة في وجود التنافسية الاقتصادية بالنسبة إلى الوسائل الأخرى لإنتاج الكهرباء مع الأخذ بالحساب تكاليف التوظيف، والاستثمار، ودورة الوقود، وهذا، ما يمر عبر تجديدات في المرجل النووي (تبسيط، قدرة واحدية)، كما في منظومة التحويل ودورة الوقود؛
- تخفيض الخطر المالي للمستثمرين، بتخفيض الدفعة الأولى من المال الموظّف وتخفيض مدة الإشاء، وهذا ما يعود، من حيث الحلول بشكل خاص، إلى تجديدات تسمح بتبسيط المرجل والاقتراب من مفهوم النمط الموحّد؛
- الإمكانية في إنتاج لامركزي لمنتوجات جديدة كالهدروجين، وماء البحر عديم الملوحة أو إنتاج الحرارة للتدفئة في الحواضر.

الأمان والوثوقية

إن المحافظة على أمان المنشآت النووية ووثوقيتها والتحسين فيهما ضرورة أساسية للأجيال القادمة من المنظومات النووية. فهدف التنافسية الاقتصادية يفرض الآن مستوى عالياً جداً من الوثوقية والكفاءة.

إن موضوعي الأمان والوثوقية يسجّلان في منطق الاستمرارية بالنسبة إلى المفاعلات الحالية التي أصبح مستوى أمانها ممتازاً. وأما بالنسبة إلى المنظومات القادمة، فيُبحث عن تبسيط التصميم لتسهيل أمر إدارة المنشأة في شروط نظامية وغير نظامية، وذلك لتحسين أمر التعاطي مع الأخطار، وتخفيض نتائجها إلى الحدّ الأدنى حيث تُلغى تقريباً الحاجة إلى تدخل من خارج الموقع.

هذا، ولايمكن بلوغ هذه الأهداف الطموحة بتحسينات تقنية فقط، بل يتطلّب الأمر أيضاً الأخذ بالاعتبار العامل الإنساني كمساهم أساسي في جهوزيّة المنشأة، وفي وثوقيتها، وأمر تفتيشها إصطلاحها.

هذا، وإنّ مزيداً من اللجوء إلى تصاميم متينة تحقق وظائف الأمان بصورة شفّافة ومتاحة إلى غير الخبراء إنّما يُساهم أيضاً في تحسين الأمان، مما يؤدي بالضرورة إلى المساهمة أيضاً في تحسين رأي الجمهور في الطاقة النووية.

مقاومة الانتشار والوقاية الفيزيائية

إن مقاومة الانتشار (PR) والوقاية الفيزيائية (PP) هما أيضاً من الأولويات الأساسيّة لتطوير الطاقة النووية. إن أحكام الوقاية التي سبق وطُبّقت في إطار المعاهدة النووية لمنع الانتشار (TNP) قد برهنت على فعاليتها في التنبيه على تهريب المواد النووية غير العسكرية لاعتمادها في أنشطة منتشرة. وتتناول هذه الأحكام أساساً مراقبة المواد القابلة للانشطار في كل مرحلة من مراحل الدورة: مرحلة الاستخراج، والإغناء، والتحويل، والتصنيع، والاستعمال في المفاعل وتنظيم أمر النفايات المستهلكة.

هذا، وتُبدي الآن المفاعلات النووية الحالية سوية عالية من الوقاية الفيزيائية والمقاومة تجاه أخطار الانتشار. فقد صُمِّمت لتقاوم حوادث خارجية مثل الهزّات الأرضية والفيضانات، والأعاصير، وحوادث الطيران والحرائق. ويُخفّض تصميمها الآن كثيراً خطر التهديدات الخارجية أو الداخلية بوفرة منظومات الأمان، وتنوّعها واستقلال بعضها عن بعض.

إن البحث التطويري في هذا المجال، الذي ينبغي أن يُدمج التجربة التي اكتسبت في المنشآت الحرجة خارج القطاع النووي، يقود إلى البحث في:

- مزيد من استعمال موانع ذاتية وتدابير إنقاذ خارجية لتحسين فعالية الحماية وشموليتها ضد أخطار الانتشار؛
- تجهيزات أمتن لتدعيم الحماية الفيزيائية ضد الإرهاب.

طريقة التقييم والاختيار

إن اختيار المنظومات من أجل تطوير مشترك في إطار المؤتمر الدولي –الجيل الرابع– قد جرى بحسب المراحل الآتية:

- تطوير منهجية تقييم معيارية، انطلاقاً من معايير، كمية إن أمكن ذلك، متعلّقة بالأهداف المطلوبة؛
- تحليل كفاءة المنظومات المقترحة وتقييمها وفق هذه المعايير؛
- البرهان على توافق هذا التقييم للكفاءة، وبيان التطبيقات التي يمكن النظر في أمرها لمختلف المنظومات؛
- اصطفاء نهائي للمنظومات الست من الجيل الرابع على قاعدة التقييم السابق واعتبارات أخرى هدفها البرهان على أن التقانات المنفّذة في هذه المنظومات تؤلّف حقاً مجموعة متينة وكاملة باستطاعتها أن تستجيب، من حيث الطاقة، لمختلف حاجات العقود القادمة، أكثر من إسهام المفاعلات من النوعين REP وREB.

إن اعتماد منهجية للتقييم مشتركة ومعيارية بدت أمراً أساسياً لضمان موضوعية تقييم قدرة المنظومات المقترحة وتوافقها في إطار مؤتمر الجيل الرابع.

وقد طوّر هذه المنهجية فريق مناسب في طور متقدّم للمشروع. وقد تمّتَ مضاعفة التحديد لمعايير الكفاءة ولقياساتها التي جرت بحسب الأهداف الكبرى المقترحة سابقاً، كما يبيّن الجدول 1، إلى ثمانية أهداف ذات فرعين، ومن ثم، كما يتضح في الصفحة التالية، إلى خمسة عشر معياراً وأربع وعشرين مؤشر كفاءة (الشكل 2). وتهدف هذه المؤشرات إلى تمييز المنظومات بحسب معايير هامة ولكنها لاتدّعي بأنها تسمح بتقييم كامل.

وقد قيّمت مجموعات الخبراء كفاءة كُلٍّ من منظومات الزمر العشرين، بحسب المؤشرات الأربعة والعشرين المحتفظ بها على شكل توزع احتمالي، آخذين بالحسبان التقدير الأكثر احتمالاً من مستوى الكفاءة ومن عدم التعيين (الريب) المجاور آخذين بالاعتبار أن وضع التحديد لمعظم المنظومات مازال تمهيدياً.

وشكّل مجموع هذا التقييم موضوعاً للمقارنة بين مختلف زمر المنظومات بمجموعات عمل جانبية تنظر إلى التقييم من جوانب معيّنة وأيضاً بمجموعة (فريق تساوق خريطة الطريق)، وذلك لضمان التوافق بين مجموع النتائج.

الجدول 1- مجموع الأهداف من الصف الأول عند تقويم منظومات الجيل الرابع

أهداف الجيل الرابع من منظومات الطاقة النووية

قابلية المداومة -1

إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع توفّر توليداً للطاقة مستديماً، ذا علاقة بالهواء النظيف ويعزز قابلية المداومة في المنظومات والاستخدام الفعال للوقود لإنتاج طاقة على نطاق عالمي.

قابلية المداومة -2

إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع تخفف آمر التعاطي مع نفاياتها النووية وإدارته كما تخفض بشكل ملحوظ عبء الإشراف المديد، وبذلك تتحسن حماية الصحة العامة والبيئة.

اقتصاديات -1

إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع ذات أفضلية من حيث كلفة نظافة عمر الدورة على موارد الطاقة الأخرى.

اقتصاديات -2

إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع تتمتع بمستوى مخاطرة مالية يقارن بمستوى المخاطرة لمشاريع الطاقة الأخرى.

أمان ووثوقية -1

إن عمليات منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع تتفوّق من حيث الأمان والوثوقية.

أمان ووثوقية -2

إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع تتصف باحتمال منخفض جداً في أن يُصيب ضرر ما قلب المفاعل كما أن احتمال درجة هذا التلف صغير جداً أيضاً.

أمان ووثوقية -3

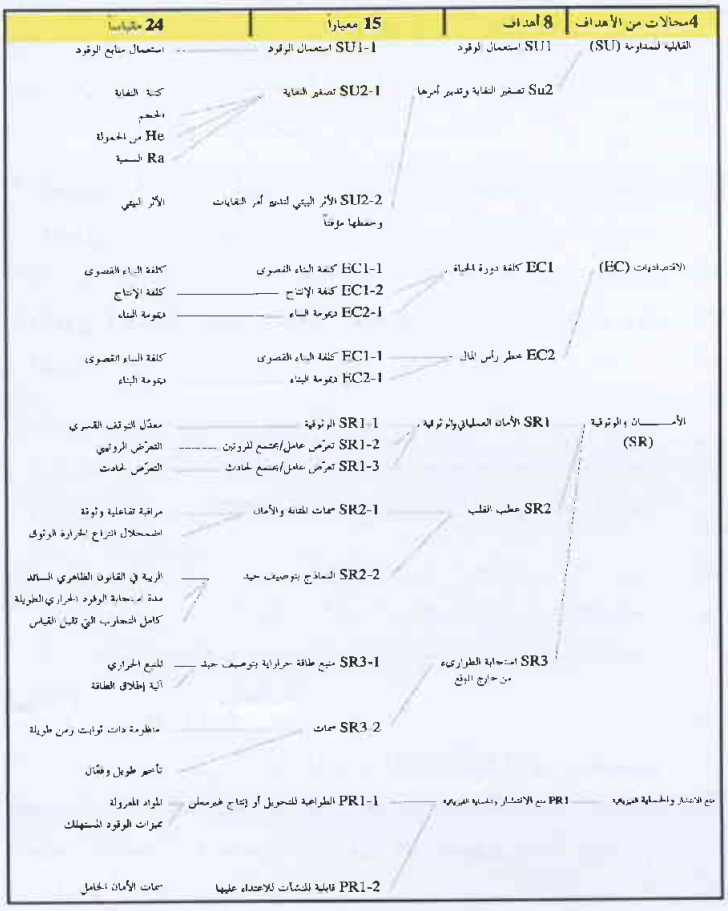
إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع تُلغي الحاجة إلى استجابة طوارىء من خارج الموقع.

منع الانتشار والحماية الفيزيائية -1

إن منظومات الطاقة النووية من الجيل الرابع لتؤكّد أكثر على أنها أقل الطرق سلوكاً لتحويل المواد القابلة للاستعمال في السلاح وسرقتها وأنها توفّر حماية فيزيائية زائدة تجاه أعمال الإرهاب.

الشكل 2- انحراف الأهداف من الصف الأول (الجدول -1) من حيث المعايير والمقاييس لتقييم منظومات الجيل الرابع

تقلبات المقاييس، والمعايير والأهداف ومجالات الأهداف



هذا وقد تمَّ اصطفاء منظومات الجيل الرابع الواعدة لدرجة يمكن تسويغ التطوير بتعاون دولي في إطار المؤتمر، على مرحلتين اثنتين: فقد جرى الاصطفاء الأوّل على قاعدة مؤشرات الكفاءة وهدفه حذف المنظومات ذات القدرة غير الكافية، وبعدئذٍ جرى الاصطفاء الأخير الذي دمج اعتبارات أخرى.

وفي الاصطفاء الأول، نسبت إلى مؤشرات الكفاءة أثقالاً إضافية بحيث تنتج مؤشرات رديفة لقابلية التطوير المستديم، وللميزات الاقتصادية والأمان/الوثوقية. هذا، وبدت حالة ملاحظات عام 2002 في منهجية تقييم مقاومة الانتشار والوقاية الفيزيائية على أنها فعلاً حالة أوّلية لدرجة لا يمكنها أن تُولّد مؤشر كفاءة وثوق في هذا المجال. ومع أن هذا التقييم لمقاومة الانتشار والوقاية الفيزيائية كان جاهزاً، فقد جرى الاصطفاء الأول للمنظومات وفق مؤشرات الكفاءة العائدة إلى الأهداف الكبيرة الثلاثة الأخرى المحسّنة المنسوبة إلى منظومات الجيل الرابع، وهذا، بدوره محاولة إبراز علامة كفاءة إجمالية من جرّاء موازنة المؤشرات السابقة.

إن هذا الطور من أطوار الاصطفاء استوجب تقييم مؤشرات الكفاءة من AP-1000 المعتمد كمرجع. وفضلاً عن ذلك، فقد أدى هذا الطور إلى تبادلات علمية هامة في مجموعات الخبراء الدوليين، خاصة في خيارات دورة الوقود:

- ففيما يخص عوامل الموازنة، فقد توصل الممثلون الفرنسيون إلى أن يعترف بأهمية معيار السمّية الإشعاعية على مدى بعيد للنفايات بالنسبة إلى معياريْ الكتلة والحجم؛
- وفيما يخص البحث في التوافق وتقييم كلفة التوظيفات والأثر الإشعاعي بين المنظومات العاملة بدورة وقود مفتوحة وتلك المقترحة لتعمل بدورة وقود مغلقة، فقد ناقش الخبراء في الطريقة التي يؤخذ بها عند استثمار المعامل بدورة الوقود المعنية وفي مقارنة الأثر الإشعاعي لإعادة المعالجة بالنسبة إلى أثر الاستثمار المنجمي (حيث تتحرر المنظومات بالنترونات السريعة).

إن هذه المنهجية المتطورة كثيراً، التي تسعى إلى ضمان موضوعية تقييم المنظومات وجدت مع ذلك حدودها في طبيعة التقييم، التي غالباً ما تكون كيفية، وذلك من حيث الأمان ونقص المراجع التي هي حقاً وثوقة لتقدير المميزات الاقتصادية. إن الاصطفاء النهائي لبعض المنظومات –الجيل الرابع– الواعدة كفاية لكي يجري تطويرها بمشاركة دولية استوجب بالنتيجة أيضاً تدخل اعتبارات أخرى مثل كمالية الاصطفاء من حيث تنوع النفايات، وآجال الانتشار؛ وإمكانية التطور على مراحل، والقدرة على تلبية الحاجات المحددة للعقود القادمة: كتوليد الكهرباء وإنتاج الهدروجين، وتجدد المادة الانشطارية وتحويل النفايات ذات العمر الطويل.

يلخص الشكل 3 بطريقة بيانية ترتيب مختلف هذه التطبيقات بالتسلسل الزمني.

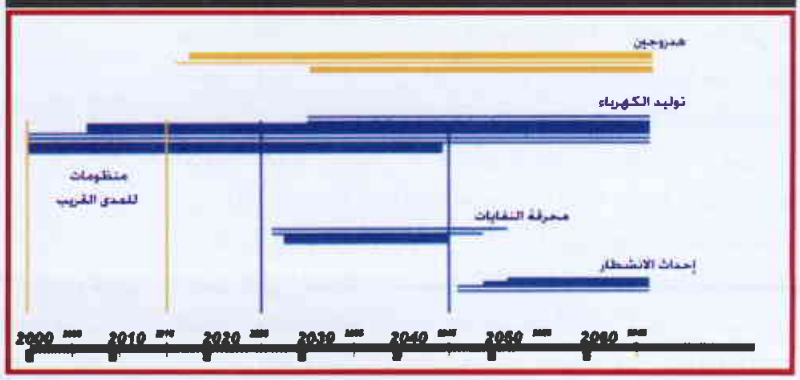
وثمة معيار آخر للاصطفاء أُخذ بالحسبان هو درجة التجديد التقاني في المنظومات المعتبرة –التي تُسوِّغ في الواقع تعاوناً دولياً واسعاً– وفي الإسقاطات الإشعاعية المحتملة للمنظومات النووية الأخرى، وحتى للمفاعلات الحالية أو لمفاعلات الجيل القادم. فمن وجهة النظر هذه، بدت المفاعلات بالماء المتقدّمة أكثر كأنّها لاتحمل إلاّ القليل من التقانية المتقدّمة ولاتظهر في تصميمها مثالية بالنسبة إلى التقانات الموجودة. فكان من نتيجة ذلك أن اقتصر اصطفاء الجيل الرابع فقط على المفاعلات بالماء التي تُبدي انقطاعاً تقانياً حقيقياً: المفاعلات بالماء فوق الحرج.

وقد اجتمعت مجموعات الخبراء في نيسان/أبريل 2002 لإتمام تقييم كفاءة المنظومات والتحقق من ملاءمتها للتطبيقات المستهدفة. واجتمعت لجنة القيادة الدولية للمؤتمر في أيّار/مايو ومن ثمّ في تموز/نوفمبر 2002 لإتمام اختيار المنظومات الست التي تُعدّ واعدة أكثر من غيرها والمدعوة إلى توحيد جهد التعاون ضمن إطار المؤتمر لتطويرها بدءاً من 2004:

- منظومة مفاعل بدرجة حرارة عالية جداً (VHTR(1200°C /1000°C مُبرّد بالهليوم، ومخصّص لإنتاج الهدروجين أو لتوليد مشترك للكهرباء/الهدروجين؛
- مفاعل سريع بمبرد من غاز الهليوم (GFR)؛
- مفاعل سريع بمبرد من الصوديوم (SFR)؛
- مفاعل بالماء فوق الحرج SCWR؛
- مفاعل سريع بمبرّد من الرصاص أو خليطة من الرصاص في تجامد حرج Pb Bi (LFR)؛
- مفاعل بأملاح منصهرة MSR؛

هذا وقد أبانت فرنسا عن اهتمام أولوي للمنظومات المتقدّمة بمبرّد غاز في درجة عالية من الحرارة (VHTR) وبنترونات سريعة مع إعادة استعمال الأكتينيدات إعادة كاملة (GFR). وتسهر أيضاً على تطوير المنظومة بالنترونات السريعة وبمبرّد صوديوم (SFR). وهذه المنظومات التي تستفيد أيضاً من دعم مادي من

الشكل 3- التسلسل البياني لمختلف التطبيقات العملية



الولايات المتحدة واليابان هي التي تُعدّ خطط تطويرها والمشاركة الدولية الأكثر تقدّماً في الوقت الحاضر وتليها المنظومة بالماء فوق الحرج (SCWR) التي من أجلها تُركّز فرنسا جهدها على دراسات الجمل الأساسية لجدوى المنظومة، وأمانها وكفاءتها. وأخيراً يأتي في المفاعل بالأملاح المنصهرة (MSR) الذي ستسهم فيه أيضاً فرنسا ومن أجله سيقترب نشاط المؤتمر من وضع نتائج مشتركة هامة لجدوى المنظومة أكثر من تطويرها الحقيقي. وبناءً على ما تقدّم من اختيارات، لن تشترك فرنسا في تطوير المنظومة بمبرّد الرصاص أو خليطة من Pb Bi.

إن أعمال البرنامج الإطار للتطوير والبحث في الاتحاد الأوربي التي تعود إلى المنظومات الجديدة النووية تنتظم حالياً بصورة موازية لمنظومة الجيل الرابع من أجل المنظومات بمبرّد الغاز، وبالماء فوق الحرج والأملاح المنصهرة، بشكل تؤدّي إلى تسهيل التبادلات بين هذين الإطارين من التعاون الدولي إلى الأفضل SWR، EPR، مصالح مخابر الأبحاث والصناعيين الأوربيين.

هذا، وبغية تقديم مختصر شامل عن المنظومات النووية الحالية أو المحتمل وجودها على مدى بعيد، فقد أكمل المؤتمر اصطفاء المنظومات الست للجيل الرابع القابلة للانتشار في منظور 2030، بالتحقق من ستة عشر مشروعاً متقدماً (مثل SWR، EPR، ABWR، PBMR،1000....) قابلة للانتشار من الآن حتى 2015 وتتحلّى بقدرة مشهود لها كقدرة AP-1000 أو مكافئة له على الأقل بحسب معايير الجيل الرابع. إن هذه المنظومات التي يمكن أن تجهّز على المدى القريب لتجديد المجمّعات الموجودة أو لإدخال الطاقة النووية في دول جديدة، مؤهّلة للانتشار بمبادرة صناعيين بدون أن تدعم ببحث وتطوير دولي يماثل الجهد المحتمل تقديمه لمنظومات الجيل الرابع.

منظومات الجيل الرابع المختارة وتقييمها

يُشير الشكل 4 (من 4a إلى 4f) إلى تخطيطات المنظومات الست المختارة. وتُعرض المميزات الأساسية باختصار فيما يأتي. كما يوجز الشكل 5 تقييم الكفاءة الأكثر دلالة للزمر العشرين من المنظومات المعتبرة في البدء.

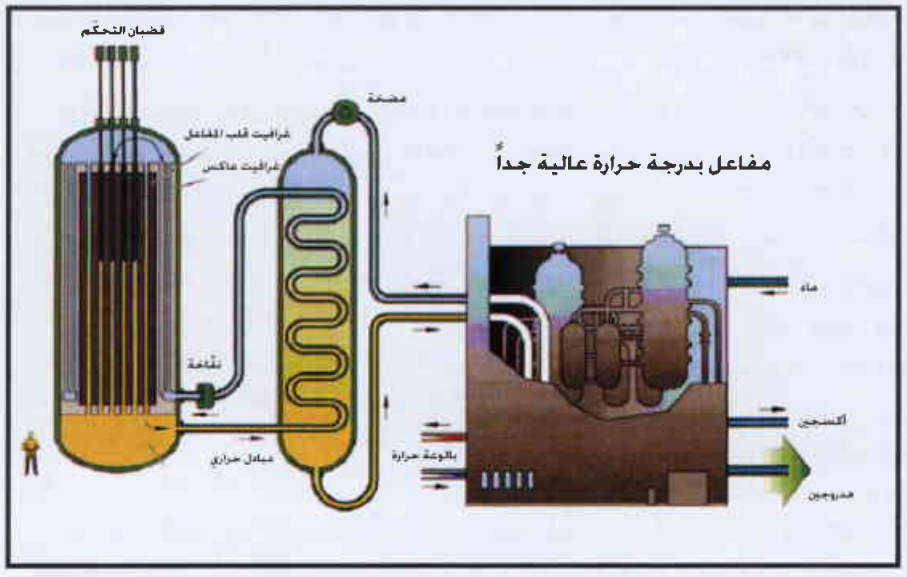
المفاعل بدرجة حرارة عالية جداً

إن هذا المفاعل (الذي يُعرف بـ G3 في الشكل 5) هو مفاعل بالنترونات الحرارية واستطاعته 600 MWth ومُبرّد بالهليوم. يستخدم تقانة المفاعل بدرجة حرارة عالية، التي تعتمد وقوداً موشوريّ الشكل أو على شكل كُرة في درجات عالية من الحرارة (ما فوق 1000°C)، لتوليد الهدروجين أو لإنتاج مشترك للكهرباء والهدروجين. تستند هذه المقاربة إلى الآفاق المستقبلية الواعدة لطرائق درجة الحرارة العالية كالدورة الكيمياوية الحرارية لليود–الكبريت أو التحليل الكهربائي في درجات عالية من الحرارة في حدود مردود وكلفة توليد الهدروجين. وثمة جزء هام من مخطط تطوير منظومة المفاعل بدرجة حرارة عالية جداً مخصّص لهذه الطرائق.

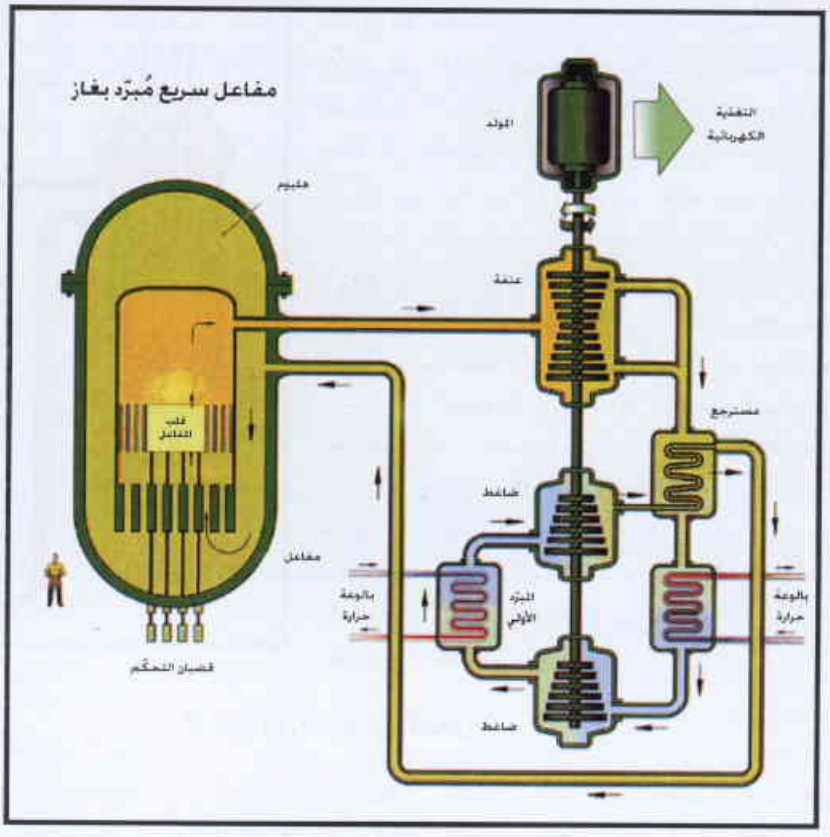
وهذه المنظومة هي الوحيدة، في المختار من الجيل الرابع، التي اقترحت بدورة وقود مفتوحة، بينما المنظومات الخمس الأخرى فهي تسعى إلى تطوير مستديم للطاقة مع إعادة استعمال الوقود. ومع ذلك، فلا يتضمّن مخطط التطوير للمفاعل بدرجة حرارة عالية جداً أقلّ مما أُجري من تطوير للقضايا التقنية عند سافلة دورة المفاعل بدرجة حرارة عالية جداً التي تُغطّي في الوقت نفسه خيارات التخزين المباشر وإعادة استعمال الوقود المستهلك.

إن قابلية المفاعل بدرجة حرارة عالية جداً للتطور المستديم من حيث الطاقة تبدو أنها تماثل المرجع AP1000 بالنظر لعمله في دورة مفتوحة. وتُعدّ كفاءته من حيث الأمان والوثوقية مناسبة جداً، خاصة بسبب الطبيعية السلبية لطريقة معالجة الأمان عند التحكّم بحوادث هبوط الضغط الداخلي (المعياران SR-2 و SR-3). وقد عُزي سلفاً إلى المفاعل بدرجة الحرارة العالية جداً كلفة إنتاج الكهرباء تماثل تلك للمرجع AP-1000 (المعيار EC-11)، كما عُزيت سلفاً له سيطرة أفضل على المخاطر الاقتصادية (المعيار EC-22) بالنظر لتصميمه النمطي ولاستطاعة وحدته المتواضعة (كلفة الإنشاء معتدلة ومدّة الإنشاء أقل). ومع إن الجزم سابقٌ لأوانه فإن مقاومة الانتشار

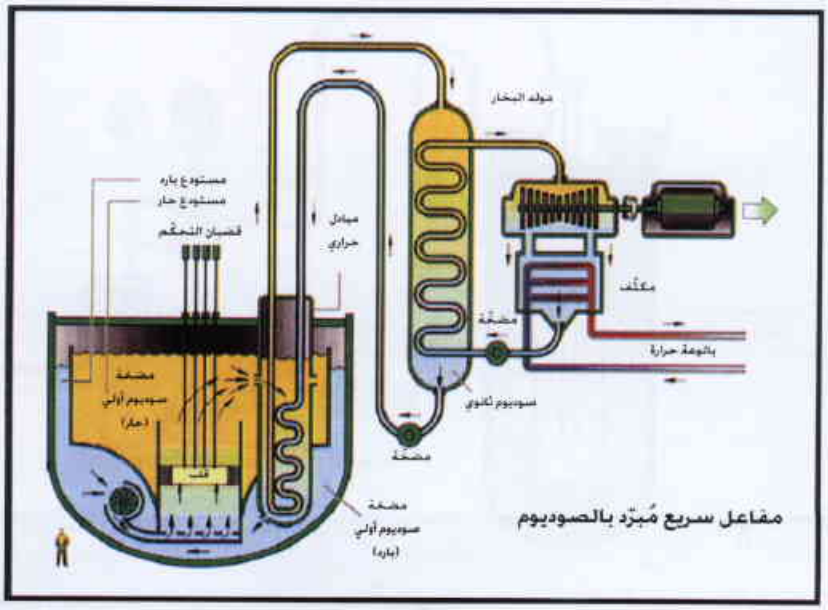
الشكل 4a- تخطيطة المنظومات المختارة من الجيل الرابع- المفاعل بدرجة حرارة عالية جداً



الشكل 4b- تخطيطة المنظومات المختارة من الجيل الرابع – مفاعل سريع مبرّد بغاز



الشكل 4c- تخطيطة المنظومات المختارة من الجيل الرابع – مفاعل سريع مبرّد بالصوديوم



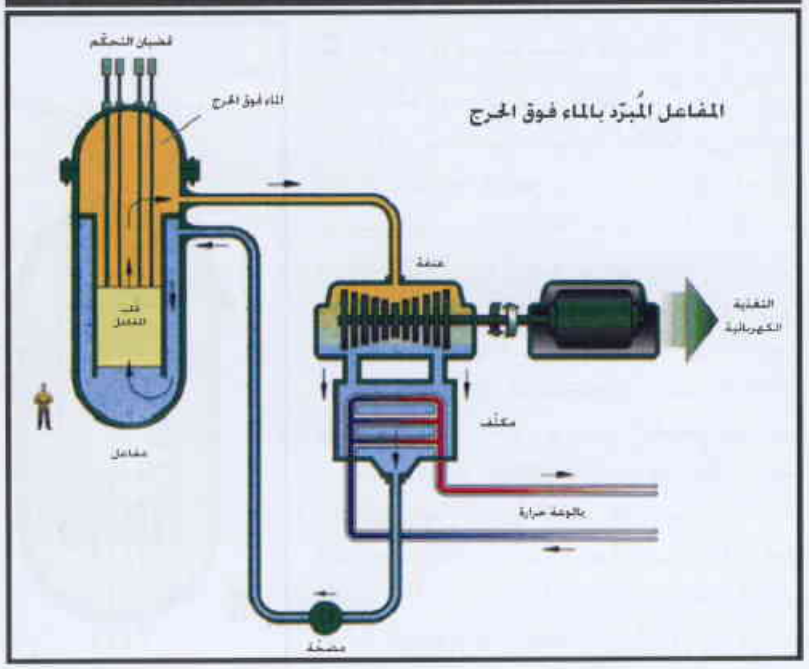
والحماية الفيزيائية تُعدّان جيدتين بسبب مُمَيزات الوقود المستهلك (المعيار PR1-1) ومتانة المنشأة (المعيار PR1-2).

المفاعل السريع بمبرّد من غاز

إن المفاعل السريع بمبرّد من غاز (الذي يُشار إليه بـ G5 في الشكل 5) كناية عن منظومة بنترونات سريعة تسمح بإعادة استعمال متجانس للأكتينيدات مع الاحتفاظ بعامل توالد أكثر من الواحد. إن المرجع التصوّري هو مفاعل باستطاعة 600 MWth مُبرّد بالهليوم في دارة مباشرة بمردود مرتفع 48%. وتستخدم عملية إجلاء القدرة المتبقية في حالة هبوط الضغط منظومات نصف خاملة لمدة قليلة مثل ضخ الغاز، والحمل الطبيعي بعد عدّة ساعات. وتُحدّد الطاقة الحجمية في القلب بحيث تتحدد درجة حرارة الوقود عند الدرجة 1600°C أثناء هذا الحادث، وهي درجة الحرارة التي فيها الوقود، الذي يعود إلى تقانة جسيمات المفاعل بدرجة حرارة عالية، يحتفظ بوحدته. وينظر في أمر إعادة استعمال الوقود المستهلك في موقع المفاعل نفسه سواء بطريقة كيمياوية–حرارية، أو بطريقة تعدينية مائية. ويندرج المفاعل السريع بمبرّد من غاز في السلّم التقاني غاز، على امتداد المنظومات بالنترونات الحرارية PBMR[4]، GT-MHR[3] وVHTR، حيث يُبدي معها جذعاً هاماً مشتركاً من البحث والتطوير، وخاصة لما هو من المواد، ومن دارات الهليوم ومنظومات تحويل الهدروجين أو إنتاجه.

إن قابلية المفاعل السريع بمبرّد من غاز للتطوير المستديم للطاقة تُرى مناسبة جداً بالنظر للاستعانة المركّبة بالنترونات السريعة وبإعادة الاستعمال الكامل للوقود (الذي يؤدي إلى حرق اليورانيوم 238 والأكتينيدات الصغرى معاً). وكان تقويم أمان هذا المفاعل ووثوقيته مناسبين. واعتبرت مميزاته الاقتصادية تماثل تلك العائدة إلى المرجع AP1000 من حيث كلفة إنتاج الكهرباء (المعيار EC-11) واعتبرت أفضل منها من حيث الخطر الاقتصادي (المعيار EC-22) بسبب تصميمه النمطي واستطاعة وحدته المتواضعة (كلفة الإنشاء معتدلة ومدّة الإنشاء أقلّ). وكما هو حال المفاعل بدرجة الحرارة العالية جداً، فقد قيّمت مقاومة الانتشار والحماية الفيزيائية فوجدتا جيدتين بالنظر لمميّزات الوقود المستهلك ومتانة المنشأة.

الشكل 4d- تخطيطة المنظومات المختارة من الجيل الرابع - المفاعل بالماء فوق الحرج



مفاعل سريع بمبرّد من الصوديوم

إن المفاعل السريع بمبرّد من الصوديوم -SFR هو كناية عن منظومة بنترونات سريعة بدورة وقود مغلقة مع إعادة استعمال مجموع الأكتينيدات وتجديد البلوتونيوم.

و ثمّة هنا اختياران اثنان يُنظر في أمرهما:

- أمّا الاختيار الأول (ويُشار إليه بـ L1 وL2 في الشكل 5) فهو مرتبط بوقود معدني من النوع (UPuZr) أُعيدت معالجته بالتعدين الحراري وتوافق استطاعته الواحدية 150 MWe إلى 500 MWe (تصور من النوع PRISM أو IFR)؛
- وأما الاختيار الثاني (ويُشار إليه بـ L3 في الشكل 5) فهو يتميّز بوقود من النوع أكسيد (MOX) الذي أُعيدت معالجته بالطريقة المائية وتوافق استطاعته الواحدية 500 MWe إلى 1200 MWe (إنه مفاعل من نوع EFR مرتبط بمعالجة PUREX).

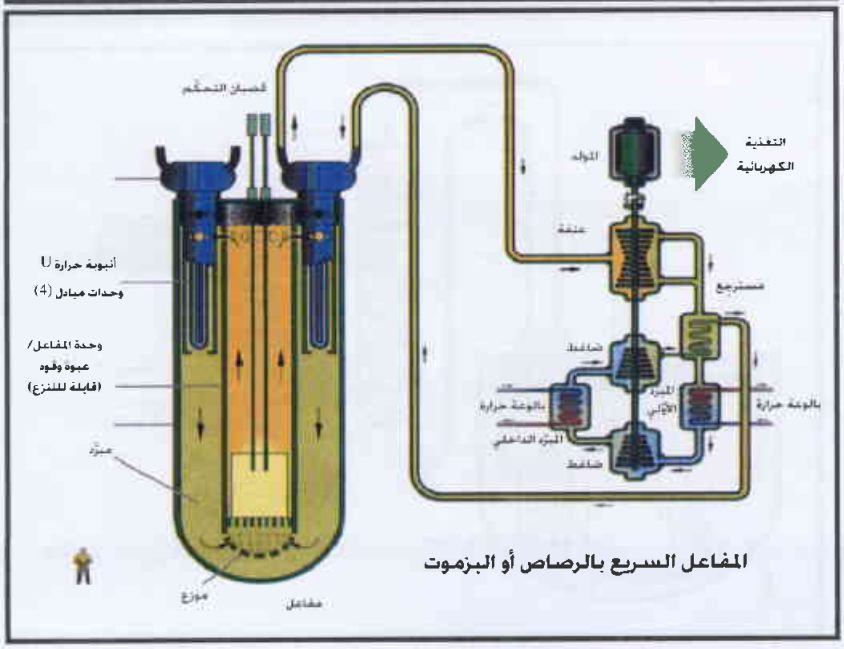
هذا، ويمكن أن يُقرّ الانتشار الصناعي لهذا النموذج الأخير من منظومة المفاعل السريع بمبرّد صوديوم في أوائل 2015.

إن قابلية المفاعل السريع بمبرّد من الصوديوم للتطويرالمستديم للطاقة تُعدّ مناسبة جداً بالنظر إلى بدء اعتماد نترونات سريعة وإلى إعادة استعمال الوقود بالكامل. وتُعزى سلفاً إلى هذه المنظومة، أيضاً، كفاءة جيدة من حيث الأمان والوثوقية، مع الإقرار بأن لها مقاومة جيدة للحوادث التي يحتمل أن تعطب قلب المفاعل وقدرة على التغلّب على نتائج تلك الحوادث (المعياران SR-25 و SR-36). هذا، وتُعزى سلفاً إلى المنظومة بوقود معدني تجري عليه إعادة معالجة تعدينية حرارية مُميزاتٌ اقتصادية مناسبة بكلفة إنتاج كيلوواط ساعي (المعيار EC-1) تماثل كلفة المرجع AP-1000 والإقرار بميّزة من حيث التغلب على الأخطار الاقتصادية (المعيار EC-2) بسبب تصميمه النمطي واستطاعته الواحدية المتواضعة. إن المُميّزات الاقتصادية للمنظومة التي قدرتها الواحدية كبيرة مع وقود من النوع أكسيد ومع إعادة معالجة بالطريقة المائية تُعتبر تقريباً أقل ملاءمة. هذا، وتسمح مميزات الوقود المستهلك (المعيار PR1-1) ومتانة المنشأة (المعيار PR1-2) بالوصول، بالنسبة إلى ممانعة الانتشار والحماية الفيزيائية، إلى تقويم أوّلي يماثل تقويم تلك التصاميم بالغاز.

المفاعل بالماء فوق الحرج

إن المفاعل بالماء فوق الحرج SCWR يضمُّ نموذجين مختلفين من المنظومة، ويُشار إليهما بالرمزين W4 وW5 في الشكل 5. فالأوّل

الشكل 4e- تخطيطة المنظومات المختارة من الجيل الرابع - المفاعل السريع بالرصاص أو بالرصاص / البزموت



المفاعل السريع بالرصاص أو البزموت

هو بالنترونات الحرارية مع دورة وقود مفتوحة، والثاني بالنترونات السريعة مع إعادة لاستعمال مجموع الأكتينيدات. ويتمتّع الاختياران بنقطة التشغيل نفسها من حيث الماء فوق الحرج: الضغط 25MPa ودرجة الحرارة الخارجة من قلب المفاعل 550°C، وهي تسمح بمردود ترموديناميكي 44%. وتساوي الاستطاعة الواحداية لمرجع المفاعل بالماء فوق الحرج 1700 MWe.

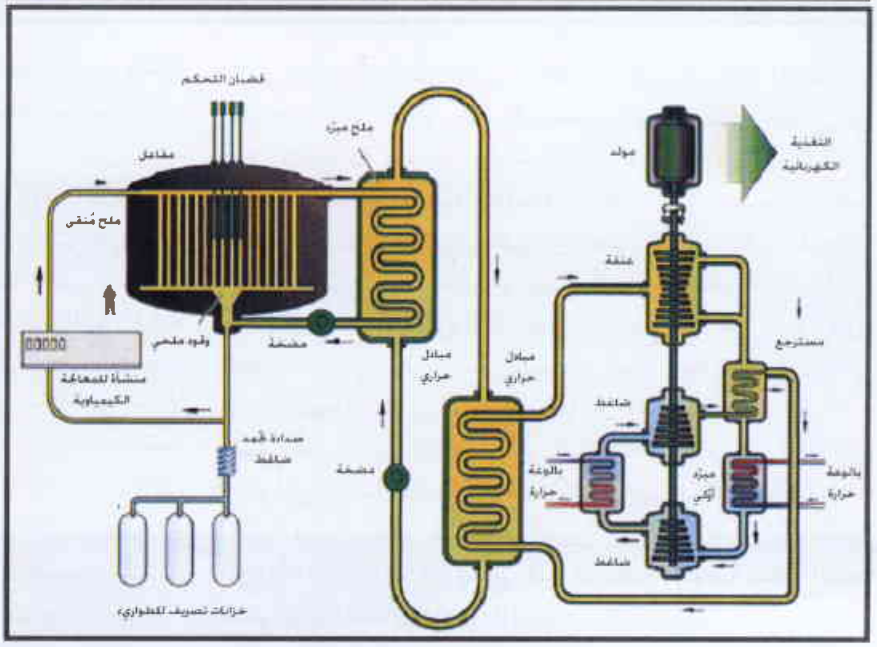
وفي شأن القابلية لتطور الطاقة المستديم، فإن النموذج بالنترونات الحرارية يُعدّ مماثلاً للمرجع AP-1000 بينما يعترف للنموذج بالنترونات السريعة بتفوّق جلّي. وتنعكس الخواتم من تقويم الأمان والوثوقية. هذا، وبالنظر لتراصية منظومتي المفاعل بالماء فوق الحرج ومردودهما العالي عند التحول الترموديناميكي، تُعزى سلفاً إليهما قدرة جيدة على المنافسة الاقتصادية (المعيار EC-1). وأما حَيال مقاومة الانتشار PR والحماية الفيزيائية PP فالمنظومة تماثل المرجع من حيث معيار تحويل الوقود (المعيار PR1-1) وتُشير إلى تحسّن ضئيل مع المعيار المرتبط بالعرقلة (المعيار PR1-2). هذا، ويُعدّ النموذج ذو الطيف السريع أحسن بفضل مميزات الوقود المستهلك على وجه خاص (المعيار PR1-1).

المفاعل السريع بمبرّد من الرصاص أو خليطة رصاص/بزموت

إن المفاعل السريع بمبرّد من الرصاص أو خليطة رصاص/بزموت (LFR) يضمّ عدّة منظومات تشترك في أنها تعمل بالنترونات السريعة، وأنها مبرّدة بالرصاص أو بخليطة في تجامد حرج من PbBi، ويرتبط المفاعل بدورة وقود مغلقة مع إعادة استعمال مجموع الأكتينيدات. ثمّة عدّة مجالات من الاستطاعة الواحدية ينظر في أمرها: المجال 50-100 MWe وهو يُعدّ كمنبع طاقة لمرحلة تشغيل طويلة تمتد (من 10 سنوات إلى 30 سنة) في بلدان ناشئة نووياً (مفهوم "البطارية النووية")، المجال 300-400 MWe لبعض المنظومات النمطية، وحتى 1200 MWe (نماذج من المنظومة LFR يُشار إليها بالرموز L3، L4، L6 في الشكل 5). إن الوقود المعتمد هو من النوع المعدني أو الآزوتي.

وكما هو حال المنظومات الأخرى من الجيل الرابع بالنترونات السريعة ودورة وقود مغلقة، فقد تمّ تقويم المفاعل السريع بمبرّد من الرصاص فتبيّن أنه مناسب جداً في مستويات القابلية للتطوير المستديم للطاقة. كما عُدّ مناسباً أيضاً في مستويي الأمان والوثوقية وذلك من معرفة مقاومته الجيدة للحوادث الخطيرة وقدرته الجيدة على التغلب على نتائج هذه الحوادث (المعياران SR-25 و SR-36. ووجد أن كلفة إنتاج الكيلوواط الساعي فيه تماثل كلفة إنتاج المفاعل المرجع AP-600 (المعيار EC-1)، وقدّر الخطر المالي بحسب تنوع ا لاستطاعة الواحدية: فالخطر أقل من خطر المرجع AP-1000 للاستطاعة التي تساوي 300 MWe أو أقل منه، والخطر أكبر للنموذج باستطاعة 1200 MWe. وأما حيال مقاومة الانتشار PR والحماية الفيزيائية PP فتُعدّ المنظومات تماثل المنظومات المبرّدة بالصوديوم بخاصة لما هو من معيار تحويل الوقود (المعيار PR1-1). وثمّة تقدير أفضل قليلاً لنموذج "البطارية". والتقدير هو أفضل إزاء المعيار المرتبط بالعرقلة (المعيار PR1-2) بفضل الطبيعة الخاملة للرصاص.

الشكل 4f تخطيطة المنظومات المختارة من الجيل الرابع - قلب مفاعل بأملاح منصهرة



المفاعل بأملاح منصهرة

إن المفاعل بأملاح منصهرة MSR هو منظومة بنترونات فوق حرارية تستعمل ملحاً منصهراً كوقود (سائل) وفي الوقت نفسه كمبرّد، كما تشترك في معالجة الملح المنصهر وفي مسار إعادة استعماله. ثمّة نموذجان ينظر في أمرهما، ويتميّز كلّ منهما باستطاعة واحدية قدرها 1000 MWe وباستخدام ملح فلوري النوع: نموذج من نوع محراق الأكتينيدات ونموذج من النوع الذي يهدف إلى إعادة توليد الوقود الانشطاري مع ملح من اليورانيوم والتوريوم. ونحصل على الطيف النتروني فوق الحراري بإمرار

الملح بقنوات في كتالة من الغرافيت التي تحدّد هندسة قلب المفاعل. ويحوي المفاعل بالأملاح المنصهرة، فضلاً عن ذلك، دارة متوسطة من أملاح الفلور ودارة ثالثة من الماء أو الهليوم لإنتاج الكهرباء.

هذا، ويُعدُّ النموذج من نوع المولّدة الكهربائية مناسباً جداً من وجهة نظر مشاركته في التطوير المستديم للطاقة. والأمر ذاته هو للنموذجين الآخرين في مستويي الأمان والوثوقية؛ وتعتبر المميّزات الاقتصادية تماثل تلك في المرجع AP-1000. وبالنسبة إلى المعيارين مقاومة الانتشار PR والحماية الفيزيائية PP يعتبر تقويم النموذج جيداً بالنظر لضعف المخزون الشطور والاستحراق العالي للوقود المستهلك.

الحصيلة والآفاق المستقبلية

بناءً على طلب من وزارة الطاقة الكهربائية انعقد في غضون 2000 مؤتمر دولي بمبدأ أساسي مفاده التعرف إلى مؤهلات الطاقة النووية فيما يخص التطوير المستمر للطاقة على امتداد العالم كلّه، وأهدافه تعريف الخصائص وأيضاً تطوير التقانات الواعدة من أجل منظومات نووية قابلة للانتشار في أوائل 2030.

هذا، وبعد أن تمَّ تحديد القابلية للتطوير المستمر، والأمان والوثوقية، والمنافسة الاقتصادية ومقاومة أخطار الانتشار والحماية الفيزيائية كأهداف أساسية لمنظومات الجيل الرابع، ارتبط المؤتمر في الطور الأول بمُهمّة ذات وجه تقاني (خارطة طريق تقانية) تقوم على تقييم مئة وعشرين منظومة اقترحها أعضاء المؤتمر. وفي هذا الطور، بُذل جهد منهجي هام جداً أدّى إلى تحديد ثمانية أهداف من فرعين و 24 مؤشراً أوّلياً للكفاءة. وهكذا سمح تطبيق هذه المنهجية في بادئ الأمر بحذف المنظومات ذات المؤهلات غير الكافية.

إن هذه المنهجية المنقّاة، اللازمة لصون موضوعية تقييم المنظومات، وجدت حدودها في طبيعة تقدير الأمان التي هي غالباً وصفية وفي نقص المراجع التي هي حقاً قليلة لتقدير المميزات الاقتصادية. إن الاختيار النهائي لبعض المنظومات من الجيل الرابع الواعدة كفاية من أجل أن يتم تطويرها بالتعاون الدولي استوجب أيضاً تدخّل اعتبارات أخرى، كضمان الحاجة إلى الطاقة في العقود التالية وتنوع مجموع العقود من التقنيات المراد تطويرها ومتانتها وطبيعة ما فيها من ابتكار.

ونجم عن ذلك في النصف الثاني من 2002 اختيار لست منظومات من الجيل الرابع وهو اختيار ملتزم كفاية باعتبارات التطوير المستمر للطاقة وبتنوع النواتج الطاقية وخاصة الانفتاح لإنتاج الهدروجين.

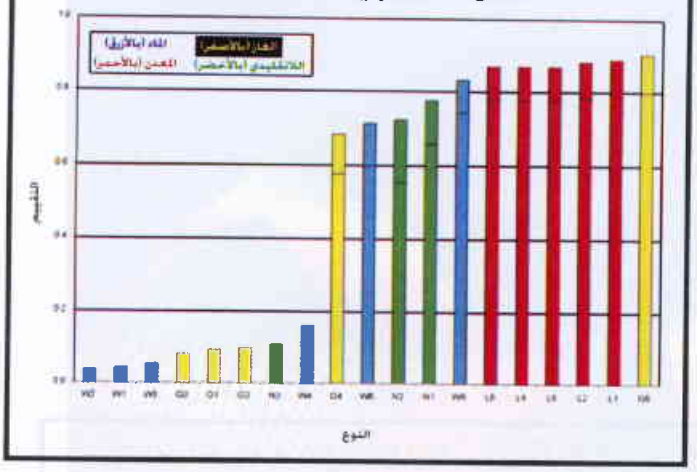
ويتنظّم التعاون في الوقت الحاضر لأجل تطوير هذه المنظومات في إطار الطور الثاني للمؤتمر، مع تحديد مخطط حقيقي لتطوير دولي لأجل كل منظومة، وتحضير الاتفاقات اللازمة لمعالجة جوانب الملكية الفكرية بدقة وإعادة توزيع الأرباح من المنظومات التي يمكن أن تستثمر.

يتضح أن هذا الطور الجديد من نشاط المؤتمر مفيد جداً من حيث تنظيم البحث النووي والتطوير في المجال النووي وأنه ينبغي أن يُنظّم بشكل يسمح بتبادلات ذات جودة مع مبادرات دوليّة أخرى هامة تعود إلى المنظومات النووية المقبلة مثل المصراع المرافق من المؤتمر السادس لإطار البحث والتطوير للاتحاد الأوربي.

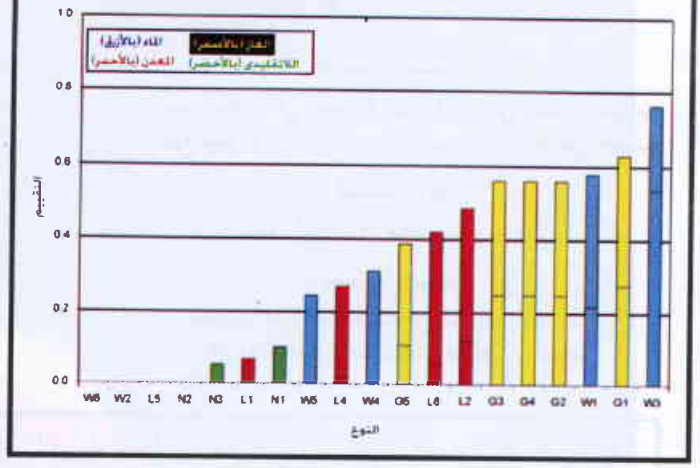
الشكل 5- تقييم كفاءة منظومات الجيل الرابع لمعايير القابلية على التطوير المستديم، والأمان، والأخطار والاقتصاد.

إن هذا الطور من تطوير منظومات الجيل الرابع، المتوقع أن يمتد عشر سنوات إلى 20 سنة يحسب درجة الابتكار التقاني في هذه المنظومات، ويقضي بالوصول إلى تقويم المنظومات المختارة من حيث إمكانية صنعها وكفاءتها. إن هذا الهدف يستدعي أيضاً بالضرورة تنقية منهجية التقويم بخاصة ما يعود إلى المميزات الاقتصادية، وخطر الانتشار والحماية الفيزيائية، تلك الجوانب التي ما أمكن النظر في أمرها إلاّ بشكل تمهيدي جداً في أثناء طور التوجيه التقاني. هذا، وثمة مجموعات عمل دولية تعمل الآن على إنجاز منهجية التقويم الموجودة حالياً من وجهة نظر هذه الجوانب، وينبغي على مبادرة INPRO، التي أنجزت عملاً هاماً من 2001 إلى 2003 على إحصاء حاجات البلاد المنضمّة إلى الوكالة الدولية للطاقة الذرّية فيما يخص المنظومات النووية الجديدة وعلى الخصائص الموافقة، أن تساهم في إنجاز هذه المرجعية المنهجية خلال الطور التالي لهذه الأعمال (الطور 1B).

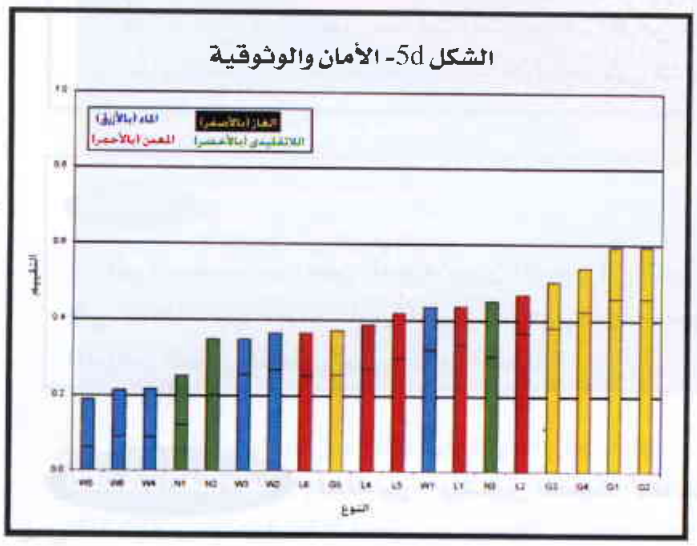
الشكل 5b- القابلية للتطوير المستديم



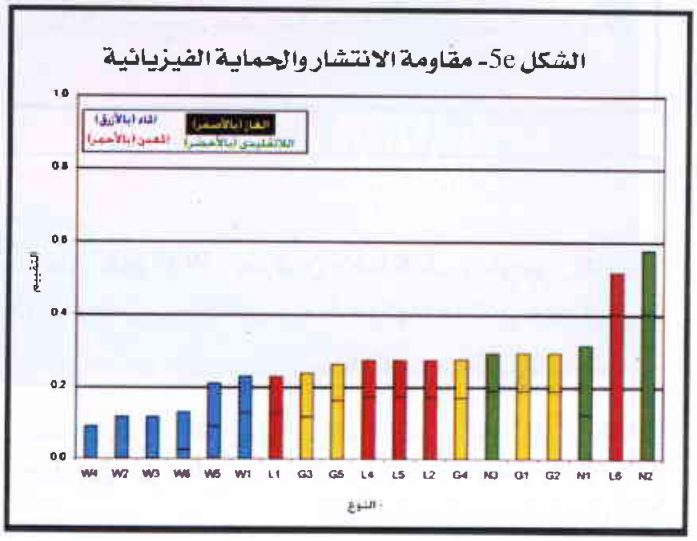
الشكل 5c- المنافسة الاقتصادية



الشكل 5d- الأمان والوثوقية



الشكل 5e- مقاومة الانتشار والحماية الفيزيائية



*

* *

ليزر الذرّات يبحث عن مستقبل صناعي*

كريس ويستبروك
مدير البحوث في مختبر شارل - فابري في معهد البصريات التابع للمركز الوطني للبحث العلمي والجامعة باريس الجنوبية

فيليب بويّيه
مكلف أبحاث في مختبر شارل - فابري

سيسيل ميشو
صحافية علمية متخصصة في الفيزياء والكيمياء، وهي زميلة معاونة منتظمة في مجلة "لاروشيرش"

نال العلماء إيريك كورنيل وكارل ويمان و وُوْلفغانغ كيترلي جائزة نوبل للفيزياء عام 2001 على صنعهم، قبل ست سنوات، حالة جديدة للمادة هي "كُثافة بوز-أينشتاين"، إذ تمكنوا، بفضل التقنيات المحسّنة لتبريد الغازات الذرّية، من قسر جميع الذرّات على اتخاذ سلوك واحد، على غرار الفوتونات في الليزر. واستكشف الفيزيائيون على الفور فائدة ذلك في العديد من التطبيقات العملية. ويعمل اليوم أكثر من 100 فريق على هذا الموضوع. فوق ذلك، وبينما استغرقت الليزرات أكثر من عشرين عاماً لكي تخرج من مختبرات البحوث، فإن ليزرات الذرّات بدأت تثير اهتمام الصناعيين، ولم تكد تنقضي ثمانية أعوام بَعْدُ على اكتشافها.

ملخص

في الستينيات، روّض الفيزيائيون الضوء في الليزرات، ومنذ عام 1995، يعرفون أيضاً كيف يطوّعون المادة في "كثافات بوز-أينشتاين" التي يستحيل فيها تمييز الذرّات بعضها عن بعض. وعند تركها تفلت، يتولّد ليزر الذرّات. فمتى تتحقق تطبيقاته العملية؟

الكلمات المفتاحية: *كُثافة بوز - أينشتاين، المصيدة، الثقالة.*

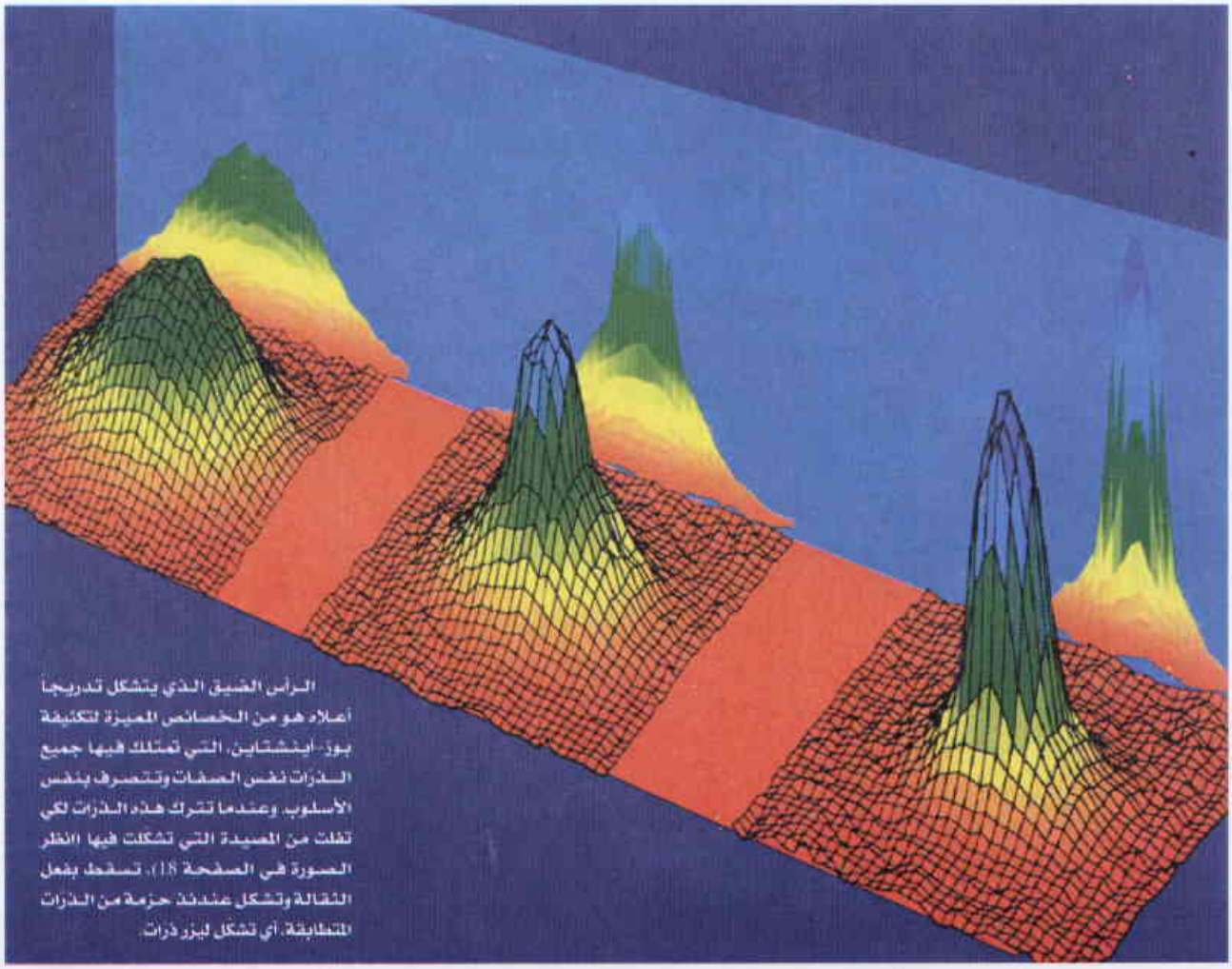
صناديق الدفع في المخازن الكبيرة، وقارئات أقراص الفيديو الرقمية، والطابعات المكتبية وغيرها كثير، تحتوي جميعها على ليزرات. وأثبتت ميزات ضوء الليزر نجاحه. ومن هذه الميزات مثلاً أن مجرد كون جميع الفوتونات التي يصدرها ليزر ما متطابقة فيما بينها تطابقاً صارماً، يجعل طول موجتها محدداً تماماً، ويترك حزمتها رفيعة جداً إلى مسافات طويلة.

فهل سيتاح لنا بصورة طبيعية جداً استخدام "ليزرات الذرّات" في مدى بضع سنوات؟ إن هذه الأجهزة، التي تصدر نافورات من الذرّات المتطابق بعضها بعضاً بكل صرامة، موجودة بالفعل في مختبرات البحث الأساسي غير أنها ما زالت بدائية، وهي مثل الليزرات الأولى التي أُحكم صنعها في الستينيات، ذات حجم كبير وتكلفة عالية وصعبة المراس. غير أن ليزرات الذرّات يمكنها، مع بعض التقدم واهتمام قليل من الصناعيين بها، أن تصبح في السنوات القادمة لا غنى عنها في العديد من التطبيقات.

وليزر الذرّات شأنه شأن غيره من الاكتشافات التي تستند إلى قوانين الميكانيك الكمومي (الكوانتي)، كان أينشتاين هو الذي أرسى له المبادىء التي يقوم عليها. وبالمناسبة كان استند إلى الأعمال النظرية التي قام بها العالم الفيزيائي الهندي "ساتيا ندرانات بوز"، إذ كان الأخير قد أرسل إليه عام 1924 مقالاً يُفسِّر فيه إحدى صفات الإشعاع الضوئي (إشعاع الجسم الأسود) بالسلوك الإحصائي الغريب للفوتونات. فقد توقع بوز أن الفوتونات تميل إلى التجمع بدلاً من أن تتوزع كيفما اتفق، كما تفعل كريات اللعب. وقد توسّع

* نُشر هذا المقال في مجلة La Recherche, Septembre 2003, No 367.

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



الرأس الضيق الذي يتشكل تدريجياً أعلاه هو من الخصائص المميزة لتكثيفة بوز-أينشتاين، التي تمتلك فيها جميع الذرات نفس الصفات وتتصرف بنفس الأسلوب. وعندما تترك هذه الذرات لكي تفلت من المصيدة التي تشكلت فيها (انظر الصورة في الصفحة 18)، تسقط بفعل الثقالة وتشكل عندئذ حزمة من الذرات المتطابقة، أي تشكل ليزر ذرات.

أينشتاين بهذا التفكير على الذرّات، وبرهن على أن ذرّات الغاز يمكنها ضمن بعض الشروط "أن تتكثف" بنفس الطريقة، وأن تشكّل كياناً واحداً يتصرف كموجة عملاقة.

وفي هذا الطور الجديد من حالة المادة، المسمّى "كُثافة بوز -أينشتاين"، تكون كل الذرّات متطابقة بدقة تامة، على أن تكون كلها بالطبع تعود إلى نفس العنصر الكيميائي، وفوق ذلك تكون لها نفس الخصائص الفردية: فهذه الذرّات تتحرك بنفس السرعة، وتشغل حيّزاً صغيراً من المكان الذي يندمج فيه بعضها في بعضها الآخر. إنها لا يتميز بعضها عن بعض إطلاقاً.

في عام 1925 أثبت الفيزيائي النمساوي الأصل وولفغانغ باولي أن هذا التكاثف غير ممكن إلا للفوتونات وللذرّات الحاوية عدداً زوجياً من الجسيمات (بروتونات ونترونات وإلكترونات) التي توصف بأنها "بوزونات". أما الذرّات الأخرى، وكذلك الإلكترونات، فهي "فيرميونات"، تميل على خلاف ذلك إلى أن يتفادى بعضها بعضاً. وتعتبر الفيرميونات "إفرادية" بينما تكون البوزونات أميل إلى أن تتساتل متتابعة. ووضع الفيزيائيان أنريكو فرمي وبول ديراك في عام 1926 القوانين الإحصائية لسلوك هذه الفيرميونات.

وعليه، فإن الذرّات في كُثافة بوز-أينشتاين تكون في نفس وضعية الفوتونات في ليزر، حيث جميع الجسيمات متطابقة ولها نفس الصفات الكمومية. ومن وجهة النظر هذه تكون الكُثافة التي تستخرج منها الذرّات هي إذاً ليزر ذرّات.

وبذلك تكون الأسس النظرية لليزر الذرّات قد وضعت في النصف الأول من القرن العشرين. غير أن الانتقال من النظرية إلى التطبيق استغرق وقتاً طويلاً، مثلما حصل مع الليزر، فالمبدأ الأساسي الذي يتيح صنع فوتونات كلها متطابقة، أي الإصدار المحثوث، جرى تصوّره منذ العام 1917، ولكنه لم ينفّذ فعلاً إلا في الستينيات. واقتضى الأمر تذليل صعوبات علمية وتقانية جمّة استحقت جائزتين من جوائز نوبل.

تحدّي استخدام الهليوم يحمل مجازفة

لقد كانت الصعوبات أكبر في كُثافة بوز-أينشتاين. وأولاها كانت أن التكاثف غير ممكن إلا في درجات حرارة منخفضة جداً تصل إلى بضعة أجزاء المليار من الدرجة كلفن. فكان لابد إذاً من تعلّم تبريد الذرّات إلى حدٍّ كافٍ. ولم يتوصل العالمان إيريك كورنيل

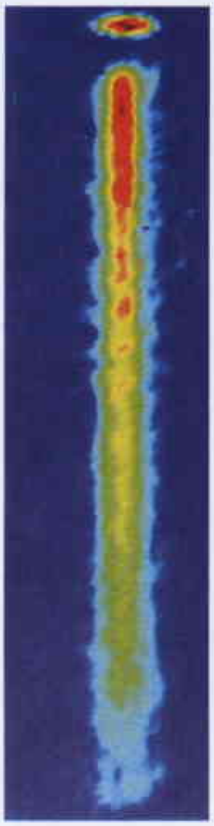
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

وكارل فيومان من معهد JILA في كولورادو إلا في عام 1995 إلى كثافة تضم حوالي 2000 ذرّة من الروبيديوم وفي درجة حرارة تبلغ 20 نانوكلفن. وبعد أربعة أشهر، شكل وولفغانغ كيترلي وبصورة مستقلة في معهد ماساشوسيتس للتقانة (MIT) كثافة أخرى تضم بضع مئات الآلاف من ذرّات الصوديوم. فتقاسموا جائزة نوبل للفيزياء في عام 2001 على هذه الإنجازات.

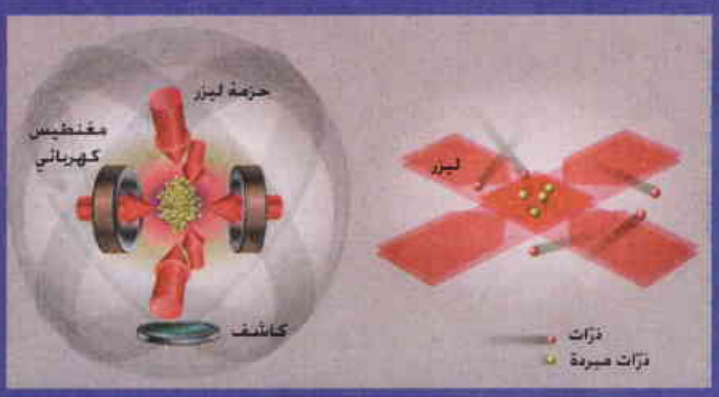
وبسرعة حاول وولفغانغ كيترلي، باعتباره يتوفر له ما يكفي من الذرّات في كثافته، استخراج حزمة منها، فلجأ إلى مغنطة الذرّات بوساطة حقول مغنطيسية مهتزة، حتى يتيح لبعض الذرّات الخروج من المصيدة المغنطيسية التي كانت تستخدم لحصرها وتبريدها. وبعد خروج هذه الذرّات، تسقط بفعل الثقالة فتشكل حزمة كافية لتعريف ليزر ذرّات.

أما من ناحيتنا نحن، في مختبر شارل-فابري في أورسي، فقد أهتممنا بكثافات بوز-أينشتاين منذ العام 1995، وذلك مع تنافس شديد - ولكن حبّي - مع مختبر كاستلر-بروسّيل في دار المعلمين العالية. وانصبّ اختيارنا على عنصري الروبيديوم والهليوم لأننا كنا نمتلك أصلاً تجارب على تبريد هذين النوعين من الذرّات التي يمكن معاملتها بالليزرات التقليدية. والروبيديوم الذي كان فريق جيلا (JILA) قد كثفه أتاح لنا الفرصة لتعلم تقنيات التكثيف، وإحكام إجراء تجارب جديدة على ذرّة معروفة. فتوصلنا في العام 1998 إلى إنتاج كثافة من الروبيديوم.

أما استهداف الهليوم فقد كان على العكس تحدياً يحمل مجازفة: فحتى ذلك الحين - وما زال ذلك صحيحاً أيضاً في الوقت الحاضر - كانت جميع العناصر التي صُنعت منها الكثافات من طائفة القلويات* (الهدروجين والليتيوم والصوديوم والبوتاسيوم والروبيديوم). غير أن الهليوم لا ينتمي إلى هذه الطائفة: إنه غاز نادر. لذلك لم نكن متأكدين أبداً من أنه سينقاد إلى التكاثف. بالفعل، عندما تُبرّد الذرّات "بتبخير" أكثرها سخونة، يحدث غالباً فقدان الكثير منها. وتكمن الصعوبة التجريبية كلها في إيجاد الملمح الجيد للتبريد، حتى تقل الخسارات أكثر ما يمكن. غير أن الفقدانات بالنسبة إلى بعض الذرّات تكون بطبيعتها ضخمة جداً عند الحصول على كثافة منها. وبقي الاعتقاد سائداً لأمد طويل بأن هذه هي حالة السيزيوم، بعد أن فشلت فيه أفرقة مختلفة عدة مرات في الماضي، قبل أن تنجح في نهاية عام 2002. ولكننا لا نعرف كيف نحسب مسبقاً خسارات الذرّات. لذلك لم نكن نعرف عندما نفشل، إن كان فشلنا ناجماً عن التجربة - التي لم يكن إحكامها تاماً بعد- أو كان يستحيل فيزيائياً الحصول على كثافة من الهليوم.



الشكل 1 - المراحل الأربع لإنتاج حزمة ليزر ذرات



1 - التبريد الضوئي

تطبق الليزرات الستة، بوجود حقل مغنطيسي تولده الملفات، "ضغطاً إشعاعياً" على الذرات لكي تبردها وتدفعها نحو مركز المصيدة. ويوجد إلى اليمين تمثيل للمصيدة ببعدين، الذرات الأكثر بطءاً (الباردة) تبقى مأسورة، بينما تُبطأ الذرات الأكثر سرعة أو تمر عبر المصيدة.

2 - أسر مغنطيسي

يحصر حقل مغنطيسي قوي الذرات في مركز المصيدة. بالفعل فإن لكل ذرة ثنائي قطب مغنطيسيا صغيرا. ويوجد إلى اليمين تمثيل لطاقة الذرات الموجودة في المصيدة، لا يبقى في المصيدة إلا الذرات التي ثنائي قطبها المغنطيسي موجه في الاتجاه الصحيح. أما بقية الذرات فتفلت من المصيدة.

*القلويات، هي طائفة من العناصر الكيميائية لها صفات متماثلة وتقع في العمود الأول من تصنيف مندلييف الدوري للعناصر.

وبعد سنوات عديدة من الأبحاث المكثفة، قمنا أثناءها ببناء تجربتنا واختبارها، ظهرت النتيجة فجأة في شباط (فبراير) 2001. وكنا قد اكتشفنا قبل ذلك بعدة أسابيع بضع ذرّات مبرّدة راحت تبدأ بالتجمع. ولكن الإشارة الأولية الضحلة التي تمثل كثافة الذرّات في مركز المصيدة اختفت مباشرة، ولم نفهم لماذا حصل ذلك. وفي إحدى الأمسيات، بعد أن كان أغلب أعضاء الفريق قد ذهبوا، قرّر أوليفيه سيرجان، الذي كان عندئذ في السنة الأولى من تحضير الأطروحة، أن يتابع تبريد الذرّات دون أن يبحث عن فهم سبب اختفاء الإشارة. ولاحظ فجأة إشارة أكثر دقة تشير إلى أن 100000 ذرّة كانت في الحالة نفسها. فهاتفنا فوراً، وبقيت الكُثافة حتى وقت وصولنا. وبعد أسبوع توصل مختبر كاستلر بروسيل إلى النتيجة ذاتها. ولا يمثل هذا النجاح مجرد الحصول على كُثافة إضافية في جعبة الفيزيائيين! لقد استخدمنا بالفعل ذرّات الهليوم وهي في حالة الإثارة. إنها تحتفظ في داخلها بطاقة هائلة "مخفية" تكافىء درجة حرارة تبلغ حوالي 200000 كلفن. ويمكن الحصول على هذه الحالة بقذف ذرّات الهليوم مسبقاً بالإلكترونات. وعلى الرغم من أن عمر هذه الذرّات المثارة هو منته (في حدود ساعتين)، إلا أنها أسهل تناولاً بالليزرات من ذرّات الهليوم وهي في حالتها الأساسية. وفوق ذلك، فإن هذه الذرّات المثارة هي أسهل اكتشافاً، إذ إنها عندما تضرب سطحاً تحرر هذه الطاقة باقتلاعها الإلكترونات منه، وهذا يعادل إنتاج تيار كهربائي يمكن قياسه بسهولة وبدقة كبيرة. وبدون تقنية الكشف هذه، تبقى الوسيلة الوحيدة لتمييز ذرّات الليزر هي إضاءتها بحزمة ضوئية ومشاهدة ظلها (انظر الصورة في الصفحة 18). وعلى التوازي مع

تقنية الكثافة القادمة من البرودة

الحصول على كُثافة بوز-أينشتاين، سلف ليزر الذرّات، يستلزم تبريد هذه الأخيرة إلى درجات حرارة غاية في الانخفاض، تبلغ بضعة أجزاء المليار من الدرجة كلفن (الشكل 1). تبريد الذرّات بكافة إبطائها إلى أكثر ما يمكن. ومن المفارقة أن الليزرات التي هي القادرة على تسخين المادة بشدة، هي التي أتاحت تحقيق التبريدات الأكثر إغراقاً. وفي الثمانينيات، وضعت عدة أفرقة تقنيات للتبريد مبنيّة على الليزرات التي تكوّن مصيدة ضوئية. وبذلك تمّ التوصل إلى درجات حرارة منخفضة جداً، تبلغ بضعة أجزاء المليون من الدرجة كلفن فوق الصفر المطلق. ولكن الذرّات تبقى مع ذلك ساخنة جداً. ولكي نذهب أبعد من ذلك يجب إيقاف الليزرات. ولذلك لم تكن الأفرقة المتقدمة جداً في التبريد بالليزر هي الأفرقة التي حصلت على أولى كُثافات بوز-أينشتاين. إذ يعزّ إطفاء الليزرات التي حققت هذه الوفرة من النتائج! وأضاف الفيزيائيون مصيدة مغنطيسية مؤلفة من حقل مغنطيسي غير متجانس، معدوم في مركز الجهاز ومتزايد مع الابتعاد عن المركز، مانعاً الذرّات من الخروج من المصيدة. أما المرحلة الأخيرة، المسمّاة مرحلة التبريد البَخْري، فتكمن في السماح للذرّات الأشد سخونة بالانفلات، للتوصل إلى تبريد المجموعة. تماماً كما يؤدي البخر فوق فنجان القهوة إلى تبريد مشروبه. ولكي تطرد الذرّات الساخنة، يضاف حقل مغنطيسي مهتز يجتزىء المصيدة عند طاقة محددة تماماً. فتفلت الذرّات الأشد سخونة (إذا الأكبر سرعة) من المصيدة، بينما يحتجز الحقل الجاذب الأبطأ من بينها قبل أن ينبذها الحقل النافر. وبالتقليل تدريجاً من ارتفاع المصيدة (بتغيير تردد الحقل المهتز) يتاح الإفلات لذرّات سرعاتها أقل فأقل، ولا يبقى إلا الذرّات الأشد برودة.

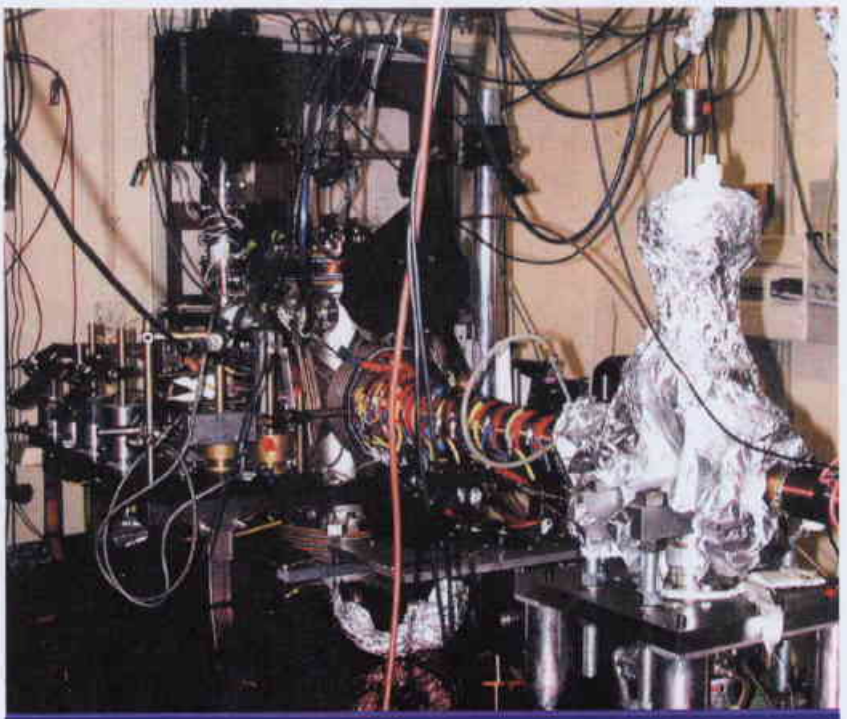
3- تبريد بخري

حقل مغنطيسي مهتز (فوق الذرّات) يغير توجيه ثنائيات الأقطاب المغنطيسية عند حواف المصيدة. وبذلك تفلت الذرّات الأشد سخونة (إلى اليمين وباللون الأحمر) من المصيدة، إنها تستبخر. وتبقى الذرّات الأشد برودة (باللون البنفسجي) مأسورة. وينقص متوسط طاقة الذرّات. وتكمن الصعوبة في تبريد الذرّات تبريداً كافياً (بغية الحصول على كُثافة)، دون أن يضيع الكثير منها.

4- إصدار الذرّات

يضبط الحقل المغنطيسي المهتز (فوق كُثافة) لكي يغير توجيه بعض ثنائيات الأقطاب المغنطيسية، ويحرر الذرّات الموجودة في مركز المصيدة. وبذلك يحدث "ثقب" في المصيدة (إلى اليمين). فتشكّل الذرّات المتحررة على هذا النحو حزمة ليزر الذرّات. يقوم الكاشف الكائن تحت الكُثافة بإجراء محاسبتها.

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



الجهاز التجريبي لتصنيع كُثافة بوز-أينشتاين الذرية للهليوم.

هذا العمل على الهليوم، تابعنا عملنا على كُثافة الروبيديوم. وكنا نبحث خاصة عن تأمين سيطرة أفضل على استخراج الذرّات. وبالفعل فقد كانت الذرّات تخرج على شكل نفثات، أثناء التجارب الأولى على ليزر الذرّات في معهد ماساشوسيتس للتقانة. وقد نجحنا في توفير تحكّم أفضل في الحقول المهتزة واستخراج أكثر انتظاماً للذرّات بغية الحَصول على حزمة واحدة منتظمة.

تحدّي الاستمرارية

أحد الجوانب الرئيسية لإحكام صنع ليزر الذرّات يتعلق اليوم بإمكانية إصدار نافورات ذرّية مستمرة. فليزر الذرّات الذي يعمل بلا انقطاع يُشكل بلا ريب تقدماً مهماً. وكذلك كان شأن أولى الليزرات الضوئية التي كانت لا تصدر إلا دفقات قصيرة، ينبغي "إعادة شحن" الليزر بين كل اثنتين منها. ولم يحتج الأمر إلى أكثر من ستة أشهر لتصميم ليزرات مستمرة، لأن توليد الفوتونات انطلاقاً من الطاقة الكهربائية لا يخلق أي إشكال. بينما في ليزر الذرّات فنحن لا نولّد الذرّات، إنها موجودة سلفاً بالطبع. ولكن الأمر يحتاج إلى جلب بعضها من الخارج إذا كنا نود إعادة شحن كُثافات بوز-أينشتاين الموجودة لدينا والتي منها تستخرج الحزم، وتكمن الصعوبة كلها في إجراء ذلك من دون تخريب الكُثافة نفسها.

وتجري حالياً دراسة استراتيجيتين اثنتين لصنع ليزرات ذرّات يمكن استعمالها باستمرارية. تكمن أولاهما في صنع كُثافات ثم نقلها إلى مستودع تستخرج الذرّات منه باستمرار. نحن نعرف بالفعل كيف نصنع "ملاقط ضوئية" مشكّلة من ليزر يمارس فعلاً ميكانيكياً على الذرّات، وقادر على تنقيل الكُثافات دون تخريبها. وقد باشر فريقنا في تركيب تجهيز تجريبي في هذا المسعى.

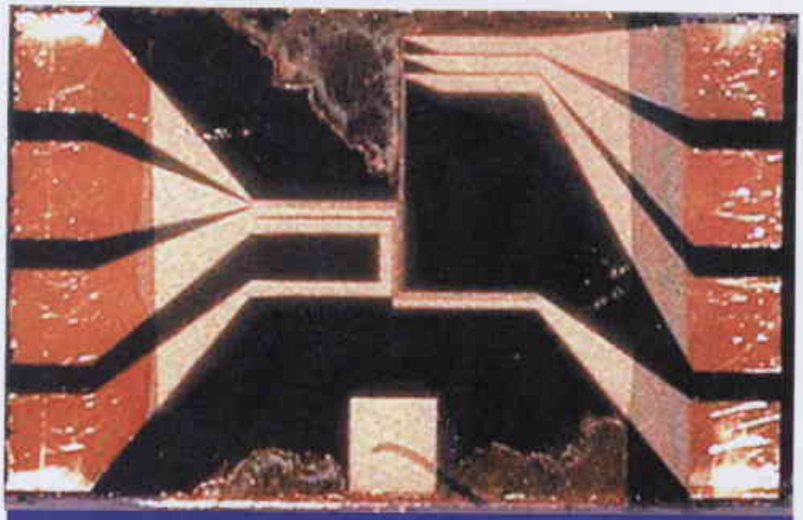
والاستراتيجية المهمة الأخرى التي نُدرس في مختبر كاستلر-بروسّيل، تقوم في نفس الوقت على تشكيل الكُثافة وعلى ضمان جريان ليزر الذرّات. ويدخل الباحثون الذرّات في دليل، وهو نوع من أنبوب طويل يسوق الذرّات مغنطيسياً، ويبرّدها أثناء عبورها وفقاً لطرائق التبريد البخري التقليدية (اقرأ "الكُثافة القادمة من البرودة" في الصفحة 19). والصعوبة الرئيسية في هذه الطرائق هي شحن الدليل باستمرار. ومن المفهوم أنه بمجرد نجاح إحدى هاتين المقاربتين (أو كلتيهما) ينبغي بالتالي زيادة تدفق الذرّات، ثم نمنمة هذه الأجهزة التي ما يزال طولها يبلغ عدة أمتار.

وفي كل الأحوال، أصبحت التطبيقات من الآن فصاعداً قابلة النفاذ إلى ليزرات الذرّات النبضية. وهذه الليزرات قادرة على إصدار ذرّات أثناء جزء من الثانية قبل أن يُعاد شحنها أثناء بضع عشرات من الثواني. والعديد من الأجهزة التي كانت تعمل سابقاً بفضل مصادر الذرّات الباردة، ستستفيد كلها من ليزرات الذرّات. وهذه هي حال الميقاتيات الذرّية التي تتيح قياس الزمن بدقة لا مثيل لها، وتستخدم، كما في الفلك أو الفيزياء الذرّية، كذلك في الاتصالات أو في نظام الاستدلال المعروف باسم نظام المَوْضَعة العالمي. وتعتمد كلها على مبدأ واحد هو قياس الاهتزازات الطبيعية لنواة السيزيوم بأشد دقة ممكنة، علماً بأنها تهتز 9 192 631 770 مرة في الثانية الواحدة. إلا أن حركة ذرّات السيزيوم تشوش هذا القياس، لذلك يحسن تبريدها أكثر عن طريق تشكيل كُثافة بوز-أينشتاين. ويصبح التقدم حينئذ شبيهاً بما حققته الليزرات الضوئية بالنسبة إلى الحزم الضوئية التقليدية.

المبدأ "لون" ليزر الذرّات

الليزر الضوئي يصدر ضوءاً محدد اللون تماماً إذ يكون لجميع الفوتونات نفس الطول الموجي الذي يحدد اللون. فما هو لون ليزر الذرّات؟ توجد الإجابة عن هذا السؤال في أعمال الفيزيائي الفرنسي لوي دو بُرويل الذي أثبت في بداية القرن العشرين أن كل جسيم يمكن اعتباره أيضاً كموجة، يتناسب طولها عكساً مع سرعته. فذرّة الهليوم من تكثيفة، وهي تتحرك مثلاً بسرعة 10 سنتمتر/ثانية يكون لها طول موجة مساوٍ 1 ميكرومتر (6-10 متر): ويقابل لونها إذاً الأشعة تحت الحمراء. وعندما تسقط ذرّات الليزر بفعل الثقالة الأرضية، تزداد سرعتها، ويتغير "لونها" ماراً من الأحمر نحو الأزرق.

وهناك تطبيق آخر واعد جداً هو المقاييس الجيروسكوبية التي تستعمل كثيراً في الملاحة أو القياسات الجيولوجية أو للتحقق تجريبياً بدقة كبيرة من المفاعيل التي تتوقعها النظريات. والمقياس الجيروسكوبي يقيس سرعة الدوران عن طريق تحليل التعديل الذي يصيب مسير حزمة أثناء تغييرات الاتجاه. وحزم الذرّات أكثر تحسُّساً بالحركات بسبب كتلتها، ويحتمل أن تكون أكثر دقة من حزم الليزر. والمقاييس الجيروسكوبية التي تستخدم الذرّات الباردة تشبه بالفعل أفضل المقاييس الجيروسكوبية التي تستخدم الليزر الضوئي. وتجري وكالة الفضاء الأوربية حالياً دراسة مشروع فضائي سُمِّي "هيبر" يرمي إلى إقامة مقاييس جيروسكوبية في الفضاء تستعمل الذرّات الباردة. وسيفيد هذا المشروع في التحقق تجريبياً من بعض المفاعيل التي تتوقعها نظرية النسبية العامة ويمكن اكتشافها بجوار كتلة متحركة مثل الكرة الأرضية. وعند استخدام ليزرات الذرّات في مثل هذه المشاريع، ستوفر دقة أفضل بكثير، لأنها تكون أكثر شدة وأكثر تبئيراً.



تسمح هذه "الرقاقة الذرية" التي تبلغ مساحتها سنتمتراً مربعاً واحداً، بصنع وإرشاد كثافات مضبوطة المجال أمام نمنمة ليزرات الذرّات.

النمنمة لازمة

تبدو ليزرات الذرّات واعدة أيضاً في مجال مأمول جداً هو المعلوماتية الكمومية التي تحمّل فيها كل وحدة معلوماتية (بتة واحدة) على ذرّة منفردة (مقابل عدة مئات من آلاف الذرّات حالياً). ومن المقترحات الواردة لصنع حاسوب كمومي أن تتوفر بانتظام ذرّات على سطح، وأن يتم التحكّم في تبادل المعلومات فيما بينها. غير أن التآثر بين حزمة مكوّنة من الضوء (ليزر ضوئي) وحزمة مكونة من المادة (ليزر الذرّات) قد يسمح بتفضيل أسر ذرّات في مواقع منتظمة التباعد، وبذلك يتم صنع اللحمة لحاسوب كمومي مستقبلي.

ولن تكون تطبيقات ليزرات الذرّات بالضرورة نفس التطبيقات المتوقعة لها في البداية. تماماً كما حدث لليزرات التي توقع أن يكون أحد تطبيقاتها الرئيسية التسجيلات السمعية البصرية؟ وجميع هذه التطبيقات تستلزم نمنمة مهمة لتقنيات معاملة الذرّات. وأثمرت جهود كثيرة بشأن صنع الرقاقات الذرّية التي ستوضع الكثافة فيها في سنتمتر مربع واحد، فصرنا نستطيع صنع دارات مطبوعة بطريقة الطباعة الحجرية الصغرية التي تأسر فيها الحقول المغنطيسية الذرّات المكثفة وتسوقها.

تشهد كُثافة بوز-أينشتاين اليوم نجاحاً لم يكن أينشتاين يتصوره بالتأكيد، أينشتاين الذي كان متشائماً بشأن اكتشافه. وكانت ثلاثة أفرقة تعمل على هذا الموضوع عام 1995. ونعدُّ اليوم أكثر من مئة فريق يوجد العديد منها في فرنسة، ترمي كلها إلى تحسين فهم التكثيف والتآثرات بين الذرّات، ولكنها ترمي أيضاً إلى صنع ليزرات ذرّات مستمرة وتطوير تطبيقاتها، فقد جرى تكثيف سبعة أنماط من الذرّات، ولا تقف الأمور عند هذا الحدّ، إذ يتابع العديد من الصناعيين هذه الأبحاث باشتراكهم في تمويل الأطروحات، ولكن دون الالتزام بأكثر من ذلك في الوقت الحاضر. ولا تحتاج ليزرات الذرّات إلى أكثر من الخروج من المختبرات، حتى تغزو الصناعة المتطورة، بل والحياة اليومية في أمد أبعد. لا شك أن الحصول على الكثافة لم يصبح بعد تجربة اعتيادية رتيبة، ولكننا نتعلم يوماً بعد يوم كيف نبسط الأجهزة وننمنمها.

معيارا الزمن والتواتر في مستهل القرن الحادي والعشرين★

س. أ. ديدامز ، ج. سي. برغويست ،
س. ر. جيفرتز ، سي. وأوتز

ملخص

حققت ميقاتيات الأمواج المكروية الذرية microwave atomic clocks المبنيّة على السيزيوم بعد خمسين سنة من التطور ارتيابات جزئية تقل عن جزء واحد في 10^{15}، وهذا مستوى غير مسبوق في أي مجال من مجالات علم القياس. وقد شهدت السنوات الخمس الماضية تطوراً متسارعاً للميقاتيات الذرية الضوئية التي يمكن أن توفر تحسناً أكبر في ضبط الوقت. ويعدّ معيارا الزمن والتواتر بمختلف مستويات كفاءتيهما أمرين شموليين في مجتمعنا يتمتعان بتطبيقات في العديد من المجالات التقانية وكذلك في الاستكشاف المتواصل لآفاق العلوم الأساسية. وفيما يلي مراجعة لآخر ما تم التوصل إليه فيما يتعلق بمعياري الزمن والتواتر ومناقشة لبعض استخداماتها في العلم والتقانة.

الكلمات المفتاحية *علم القياس، الميقاتيات الذرية، الأمواج المكروية، السيزيوم، ضبط الوقت، زمكان، المنظومة الدولية، النبّاضات الثنائية.*

بقدر ما للزمن من أهمية بالنسبة للملاحين والعلماء وحتى الموسيقيين، فهو ليس أكثر من بارامتر اعتباطي مستخدم لوصف علم التحريك (الديناميات) أو ميكانيك الحركة. وقد أذهل هذا الأمر دافيد ميرمن D. Mermin فتساءل عن الدور الذي يمكن أن يقوم به الزمان والمكان في الفيزياء في القرن القادم [1] قائلاً:

"كيف يستطيع الناس الحديث عن الزمكان الذي يتحول إلى رغوة في مقياس بلانك حين نتدبر بشق الأنفس تعريف المكان والزمان في المقياس الذري؟ فالزمان على سبيل المثال، ليس بأكثر من طريقة مناسبة جداً ومقتضبة لتوصيف الترابطات بين الأشياء التي نستطيع استخدامها كميقاتيات، وتميل الميقاتيات لأن تكون جهرية الأبعاد macroscopic. صحيح أننا نستطيع توليد تواترات ابتداءً من الذرات ومقارنتها بالميقاتيات الجهرية، ولكن كلما قصر مقياس الطول أصبح الأمر أشبه بالحديث عن طاقات مقسومة على ثابتة بلانك Planck's constant. ونشير إلى أن العلاقات مع الميقاتيات آخذة بالالتواء بشكل متزايد. ويبدو لي أن هناك خطراً كبيراً في أن نفرض على عالم غريب بكل معنى الكلمة نبيطة للحساب ابتكرناها لتلائم غرضنا الجهري فحسب."

قد يكون تعريف الزمن محيراً بالضبط بسبب الاعتباطية الظاهرية التي وصفها ميرمن. إننا تعرّف الزمن من خلال الديناميك الدوري الخارجي أو الداخلي لجسم ما، ونستطيع بفضل هذا المقياس الزمني أن نصف ديناميك أجسام أخرى –وهذه حجة دائرة مفرغة غريبة– وإليك أحجية أخرى: كيف نقرر أن دور period معيارنا الزمني، أو أية ميقاتية (أو مقلوبه: التواتر)، يتصف بالانتظام؟ من الواضح أن الزمن نسبي ولا بد من مقارنة عدة مصادر زمنية بهدف ترسيخ أكثر التعاريف استقراراً ودقة فيما يخص الثانية second التي هي وحدة الزمن الأساسية في منظومة الوحدات الدولية (SI).

وبسبب ذلك، ثمة الكثير من السخرية في حقيقة اعتبار الثانية أكثر وحدات القياس دقة محققة، مع كون الارتياب الجزئي فيها أقل من جزء واحد من 10^{15}. وعلاوة على ذلك، يمكن القول أنه كان للتقانات المبنية على الثانية ذات التعريف الاعتباطي أثرٌ لم يحظ بمثله إلا القليل غيرها في مجتمعاتنا الحديثة. ذلك أن منظومات الحياة اليومية مثل شبكة الكهرباء والهواتف الخلوية والإنترنت والمنظومة العالمية لتحديد الموقع (GPS) تعتمد وبصورة حاسمة على معياري الزمن والتواتر لغرض تشغيلها المتواصل. وتستخدم الثانية كذلك،

★ نُشر هذا المقال في مجلة Science, 19 November, 2004.

بسبب تفوقها في علم القياس، لتعريف ثلاث وحدات أخرى في الجملة SI (هي المتر والكانديلا أو الشمعة والأمبير) وهناك عدة مقادير فيزيائية أخرى هامة تعرّف أو تقاس بدلالة الثانية. فإذا قبلنا، على سبيل المثال، أن سرعة الضوء ثابتة فإن المتر يُعرَّف على أنه المسافة التي يقطعها الضوء في الخلاء في الفترة الزمنية التي تساوي 1/ 299.797.458 من الثانية. نتيجة لذلك، أصبحت الليزرات ذات التواتر المعروف والثابت، معايير لقياس الطول حيث توفر قياسات دقيقة للمسافات الفيزيائية (كما في تنميش وحفر الرقائق نصف الناقلة). وثمة مثال آخر يتمثل في تعريف الفولط volt الذي يمكن الحصول عليه بواسطة مفعول جوزفسون بدلالة حاصل جداء ثابتة فيزيائية بالتواتر. ولهذه الأسباب وغيرها فإن تطور معايير عالية الجودة للزمن والتواتر وتشغيلها هو مسعى هام في معاهد علم القياس الوطنية (NMI) في العالم كله لما لذلك من نتائج تتعلق بحياتنا اليومية.

كان تأثير القياسات الدقيقة للزمن والتواتر في المجال العلمي بالغاً لدى العديد من مخابر البحث. ومن الأمثلة على ذلك، التنبؤ بالإشعاع التثاقلي من النبّاضات الثنائية binary pulsars [2] والقياس المباشر الأكثر دقة للانزياح الأحمر التثاقلي [3]. يضاف إلى ذلك أن تطور معياري الزمن والتواتر خلال السنوات الستين الماضية ترافق مع تطورات علمية في مجالات الفيزياء الذرية والجزيئية والضوئية. ونشير إلى أن جذور الميقاتيات الذرية الحديثة تعود إلى تجارب شتيرن ورابي ورامزي في مطيافية الأمواج المكروية. وقد نتج الكثير من التقنيات المستخدمة في الميقاتيات الذرية الحديثة من تطور الميزر maser والليزر ومجال المطيافية الليزرية الذي تلاها. وقد أدت هذه التطورات إلى تبريد الذرات والأيونات واصطيادها بواسطة الليزر وهذا يوفر لصانعي الميقاتيات مراجع كمومية معزولة وغير متحركة تقريباً لما يعتبر اليوم أفضل الميقاتيات الموجودة.

لتعيين زمن حدث فيزيائي ما يجب على المرء إحصاء عدد دورات (وربما أجزاء دورات) حدوث دوري ما بالنسبة إلى زمن متفق عليه. وفي بعض الحالات تكون لمبدأ الزمن أهمية كبيرة، بينما في حالات أخرى لا تكون الأهمية سوى للفترة أو للفرق الزمني بين حدثين. وسوف نركز فيما يلي على الحالة الأخيرة ونناقش القضايا المتعلقة بتوليد وتوصيف مصدر الأحداث الدورية (وهو ما يدعى عادة معيار التواتر) الذي تتولّد معه وتقاس الفترات الزمنية. وبما أنه يوجد العديد من مقالات المراجعة الممتازة حول تطور معايير التواتر الذرية [4-6]، فإننا سنركز على أكثر الميقاتيات الذرية دقة – وهي ميقاتية نافورة السيزيوم cesium fountain clock– ثم نناقش الميقاتيات الضوئية الجديدة التي يتوقع أن تكون أدوات المستقبل لقياس الزمن.

خلفية تاريخية

إن أفضل اختيار لجهاز ضبط الزمن هو شيء تمّ توصيف دوره period الديناميكي بشكل جيد ولا يخضع للتشويش ويحافظ على ثبات نموذجي. والمرشح الجهري الطبيعي الذي يمكن أن يستخدم لتعريف واحدة الزمن إنما يتمثل في ظاهرة طبيعية يكون دورها منتظماً انتظاماً خاصاً. ويقارن الشكل 1 بين أداء عدد من الميقاتيات الهامة من التاريخ الحديث. فلقد كان دوران الأرض اليومي حول محورها يبدو على مدى قرون كثيرة أنه يوفر قاعدة زمنية منتظمة، لكن مع تحسن معايير الزمن وتقنيات القياس تبين أن طول اليوم يتأرجح وأنه يزداد طولاً بصورة عامة (وقد عزي هذا جزئياً إلى الاحتكاك المدّي). ثم اختار الفلكيون، في بحثهم عن وحدة للزمن أكثر ثباتاً، دور period الحركة المدارية للأرض حول الشمس (الذي يسمى سنة واحدة) أساساً لتعريف الثانية. وفي العام 1956 تبنى المؤتمر العام للأوزان والمقاييس رسمياً الثانية الفلكية Ephemeris Second (المساوية 1/31.556.925.9747 من السنة المدارية 1900) كأفضل قياس للزمن.

ومع أن حركة الأرض المدارية في المنظومة الشمسية يمكن أن تكون أكثر انتظاماً من اليوم الشمسي، فإن دورها طويل لا يناسب معظم الأغراض ومن المحتمل أن يعاني تغيرات غير متوقعة وآثار تقادم (ولهذا استند تعريف الزمن الفلكي إلى سنة شمسيّة معينة). ويوم تم إقرار تعريف الثانية هذا كان العلماء يبحثون تجاوبات resonances وانتقالات في منظومات ذرية مجهرية تكون وسيلة أكثر ملاءمة لتعريف الفواصل الزمنية والتواتر. فالعديد من الانتقالات بين حالات الطاقة في منظومات ذرية معزولة عزلاً جيداً لا يتأثر بالاضطرابات التي يحتمل أن تغير تواتر التجاوب الذري (Vo)، وهذا يجعل تلك المنظومات مرشحة بشكل مثالي لاستخدامها كميقاتيات. ويفترض ميكانيك الكم أن الطاقات في منظومة مرتبطة (مثل إلكترون مرتبط بذرة) تمتلك قيماً متميزة. ولذلك بإمكان ذرة أو جزيئة القيام بالانتقال بين سويتي طاقة (E_2, E_1) عن طريق امتصاص أو إصدار طاقة على شكل إشعاع كهرطيسي له التواتر المحدد $Vo = |E_1-E_2|/h$، حيث h هي ثابتة بلانك. وعلى أساس هذا المبدأ تعمل معظم معايير التواتر الذرية (الميقاتيات الذرية) وذلك بتعديل تواتر هزازة خارجية بحيث تتفق مع قيمة معينة للتواتر (Vo).

يعود الفضل في ظهور أولى الميقاتيات الذرية إلى انطلاق وتقدم ميكانيك الكم وإلكترونيات الأمواج المكروية قبل الحرب العالمية الثانية وبعدها. وقد قام رابي Rabi بكثير من العمل الخلاق الخاص بتطور الميقاتيات. ومع أنه ربما كان من اقترح استخدام السيزيوم مرجعاً للميقاتية الذرية منذ عام 1945 فإن الانتقال الانقلابي في جزيئة النشادر عند التواتر 23.8 GHz~ هو الذي استخدم مرجعاً في أول ميقاتية "ذرية" عام 1949 [7]. وفي عام 1955 بنيت أول ميقاتية ذرية تعمل على السيزيوم في مختبر الفيزياء الوطني National Physical Laboratory في تدينغتون في المملكة المتحدة [8]. وسرعان ما لوحظ أنه يلزمنا رصد القمر طيلة فترة تمتد سنوات عديدة لتحديد زمن فلكي Ephemeris Time بالدقة نفسها التي تحققت خلال دقائق بواسطة ميقاتية السيزيوم [9]. ومع أن مصير الزمن المُعَرَّف فلكياً بدا أكيداً،

فقد مضى ما ينوف عن عقد من السنين قبل أن يتغير تعريف الثانية في جملة الوحدات الدولية SI ليصبح (9.192.631.770) دورة من الانشطار المفرط الدقة للحالة الأساسية لذرة السيزيوم غير المضطربة [10].

ميقاتيات السيزيوم

توصّف الميقاتيات عادة باستقرارها ودقتها. والاستقرار هو قياس الدرجة التي تبقى فيها الفترة الفاصلة بين "دقات الميقاتية" ثابتة. أما الدقة فهي قياس درجة تطابق الزمن بين دقات الميقاتية مع الثانية المعرفة على أساس الانشطار فوق الدقيق للسيزيوم. والميقاتية الدقيقة بالضرورة مستقرة طيلة فترات طويلة، ولكن ليست كل الميقاتيات المستقرة دقيقة.

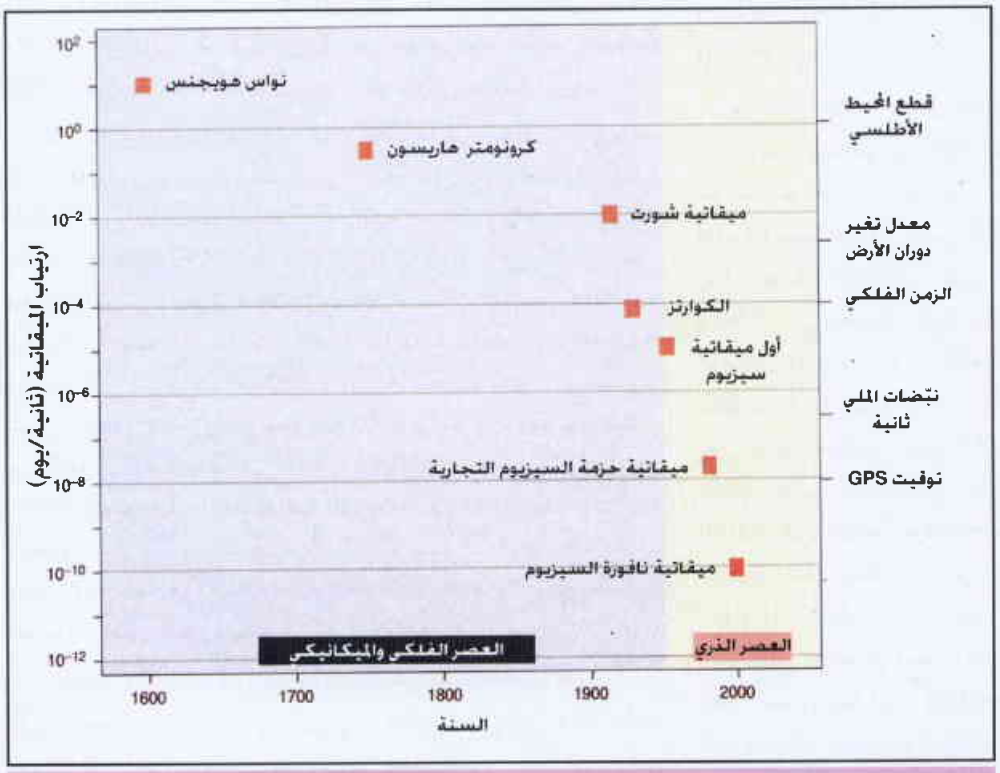
كتابياً، تكون الميقاتيات المبنية على عمليات ذرية ميقاتيات مثالية. ولكن هناك قيوداً أساسية عملانية أمام كل من استقرارها ودقتها. فالذرات تمتص طاقة أو تصدر طاقة في مجال ضيق حول (Vo) وليس عند (Vo) وحدها. ومع ثبات كل البارامترات الأخرى، فإن استقرار ميقاتية ذرية ما يتناسب طرداً مع (Vo) وعكساً مع الانتشار الضيق ΔV (عرض الخط) لتواتر الامتصاص. ويعبر عن هذا نمطياً بدلالة استقرار التواتر الكسري Fractional التالي:

$$\sigma \propto \frac{\Delta\nu}{\nu_0}\,\frac{1}{S/N}$$

حيث S/N هي نسبة الإشارة إلى الضجيج، والاستقرار العالي يكافئ قيم σ الصغيرة. ونرى من هذه العبارة أن الميقاتيات الذرية سوف تستفيد بصورة عامة من التشغيل عند توترات عالية مع انتقالات ذات عرض خط طيفي ضيق. وإضافة إلى ذلك تبين المعادلة (1) أن عدم الاستقرار يتناقص مع ازدياد النسبة S/N التي تقاس بها إشارة الامتصاص.

خلال تشغيل الميقاتية الذريّة يجب إثارة الذرة بإشعاع كهرطيسي تصدره هزازة خارجية. وتحتاج ميقاتيات السيزيوم إلى هزازة أمواج مكروية بينما تحتاج الميقاتيات الضوئية التي سيجري الحديث عنها أدناه، إلى هزازة ضوئية (ليزر). وتكمن الصعوبة في توليف تواتر الهزازة لتطابق تماماً Vo. وهناك دوماً بعض اللُّبس في هذه العملية لأن تواتر التجاوب، كما ذكر آنفاً، له عرض خط غير معدوم يرافقه. وثمة عامل يمكن أن يحد من العرض الأصغر للخط المرصود للانتقال المرجعي يتمثل في الزمن الذي تكون فيه الذرة في حقل الإشعاع. وفي هذه الحالة يتناقص عرض خط التجاوب المرصود مع ازدياد زمن القياس.

هناك آثار عديدة أخرى يمكن أن تحط من استقرار ودقة ميقاتية ذرية ما. فحركة الذرات تطرح ارتياباً لأنها تسبب انزياحات ظاهرية في تواترات التجاوب (أثر دوبلر). وعلى نحو مشابه، فإن التصادمات بين الذرات تشكل مصدراً لانزياحات التجاوب وتوسع عرض الخط.



الشكل 1 - بعض نقاط العلام الرئيسية في تحسين الميقاتيات على مدى السنوات الأربعمئة الماضية. لقد كانت هناك حاجة لميقاتية ارتيابها نحو 1 ثانية في اليوم لقطع المحيط الأطلسي في عام 1750. وأظهر كرونومتر هاريسون تقدماً أتاح هذه الملاحة الدقيقة. وكانت ميقاتية شورت shortt أكثر الميقاتيات الميكانيكية دقة. أما الزمن الفلكي كما تعيّنه الأرصاد الفلكية فكانت دقته نحو 0.1 ملي ثانية في اليوم. وكان ارتياب ميقاتية مبنية على أساس النبّاض pulsar أقل من 1 مكرو ثانية في اليوم. ويمثل توقيت GPS ما يمكن نموذجيا الوصول إليه بواسطة مستقبل الإشارة.

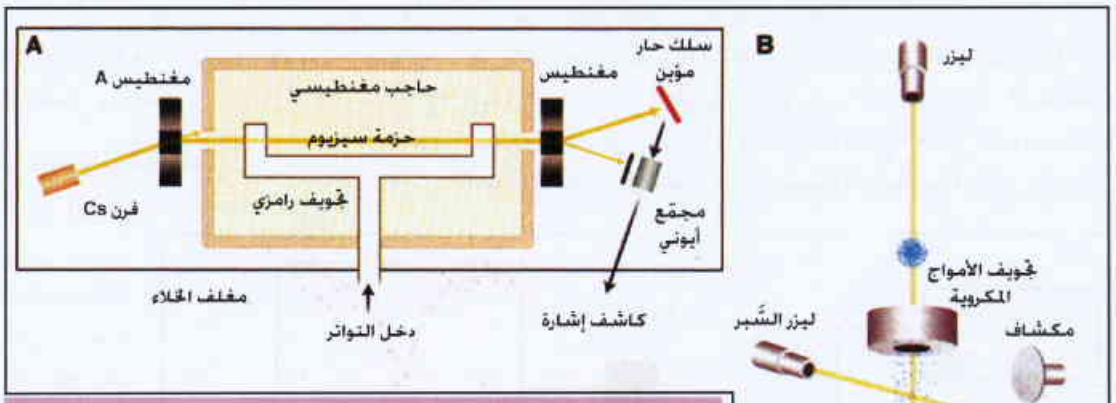
وتشوّش العيوب في معدات القياس الإلكترونية والحقول الكهرطيسية الضالة، بما في ذلك الإشعاع الحراري الموجود دائماً، تواتر التجاوب وتطرح أخطاء محتملة. ولذلك فإنه لا ينبغي على ميقاتية ذرية جيدة إنشاء إشارة دورية مستقرة فحسب، بل وأيضاً أن تقلل إلى أدنى حد من هذه الأخطاء المحتملة.

وفي أعمال رابي الأولى، كان التحقق من التجاوب الذري يتم بواسطة الإشعاع الصادر عن نبضة موجة مكروية طويلة واحدة. وكان هذا يوفر الزمن الطويل اللازم للتآثر بين الذرة وحقل الموجة

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

المكروية، ولكنه كان يؤدي بتواتر الخرج، لأسباب مختلفة، لأن يكون عرضة لانزياحات دوبلر وحساسيات أخرى. وقد وفرت طريقة رامزي في الحقول المهتزة المنفصلة (n) تحسيناً حاسماً تبنّته كل معايير التواتر الأولية الحديثة. ففي طريقة رامزي تحدث الإثارة الموجية المكروية في نبضتين قصيرتين عند بداية ونهاية منطقة التآثر. وتقلل عملية النبضتين هذه (المعروفة باسم استجواب رامزي Ramsey interrogation) تلك الحساسيات بمعامل يمتد ما بين 10 و100 أو أكثر.

في الشكل 2A مخطط لمعيار سيزيوم تقليدي ذي حزمة ذرية تصطفي



الشكل 2- (A) معيار التواتر ذو حزمة السيزيوم. تخرج حزمة من ذرات السيزيوم من الفرن، تجمّع هذه الحزمة وتوجّه نحو مغنطيس شترن-غيرلاخ (المغنطيس A) الذي يحرف ذرات السيزيوم ويركزها في الحالة الصحيحة عبر ثقب في الحاجب المغنطيسي. تدخل الحزمة الذرية عندئذ تجويف رامزي الذي له الشكل U حيث تكون حقول الاستجواب المكرو موجية مفصولة مكانياً. وتمر الذرات التي تغادر المنطقة المحجوبة مغنطيسياً عند الحافة اليمنى في الشكل من خلال مغنطيس شتيرن-غيرلاخ آخر، وتوجه الذرات التي تكون قد غيرت حالتها نتيجة للتأثر مع الأمواج المكروية نحو سلك حار مؤين وترصد. وتؤدي زيادة التيار المحرض في المؤين ionizer إلى زيادة عدد الذرات المتحولة وتؤمن أن يكون تواتر الأمواج المكروية متفقاً مع تواتر الذرات التجاوبي. (B) ميقاتية نافورة السيزيوم. تجري العملية الأساسية في نافورة السيزيوم على شكل سلسلة من الخطوات. أولاً يجري تبريد عينة مؤلفة من نحو 10^9 ذرة سيزيوم بواسطة الليزر عند تقاطع ست حزم ليزرية إلى ما دون 1 مكروكلفن. ثم "تطلق" هذه الذرات إلى الأعلى بسرعة تقرب من 4 متر/ثا عبر التحكم بتواتر الحزم الليزرية. ثم توقف الليزرات وتتابع ذرات السيزيوم مسارها. تدخل بعدئذ هذه الذرات تجويف الأمواج المكروية. ويؤمن مرورها عبر التجويف، وهي متجهة نحو الأعلى، النبضة الأولى من متتالية نبضتي الاستجواب من الأمواج المكروية (رامزي). وتصل الذرات ذروة حركتها فوق تجويف الأمواج المكروية وتمر مرة ثانية في طريقة عودتها عبر هذا التجويف. ويتم اكتشاف الذرات التي تكون قد عانت من تحوّل في حالتها بسبب التآثر مع حقل الأمواج المكروية، ضوئياً بواسطة ليزر.

حالاتها مغناطيسياً. ويمكن إرجاع هذا التصميم مباشرة إلى أعمال رابي ورامزي الأصيلة، ومن الناحية الأساسية تستخدم كل ميقاتيات السيزيوم الذرية التجارية هذا التصميم العام، كما تستخدمه ميقاتيات السيزيوم في سواتل تحديد الموقع GPS. وعلاوة على ذلك، فإن هذا التصميم قدم للعالم كل معايير التواترت الأولية حتى عام 1990. وفي الوقت الحاضر يوجد ما يقارب 300 من هذه الميقاتيات في أكثر من 50 معهداً وطنياً لعلم القياس تندرج في السلم الدولي الزمني المعروف باسم الزمن العالمي المتناسق Universal Time Coordinatecal UTC [12]. وهناك تحوير طفيف في تصميم معيار حزمة السيزيوم يكمن في استبدال مغانط اصطفاء الحالة (وهما المغنطيسان A وB في الشكل 2A) ليحل محلها ليزرات تضخ ذرات السيزيوم ضوئياً إلى حالات طاقة نوعية فتجعل اصطفاء الحالة وكشفها أكثر كفاءة. وهذا يوفّر بعض التحسين، إذ يبلغ عدم دقة التواتر في أفضل معايير حزم السيزيوم $\delta V/Vo \approx 3\times10^{-15}$. وهذا أكثر دقة بقليل فقط من أفضل حزم السيزيوم الحرارية المصطفاة مغنطيسياً، لأن كلا النوعين محدودان من حيث الأساس بالسرعات الكبيرة للذرات وما ينتج عنها من زمن تآثر قصير.

وأحد الحلول لهذه المشكلة هو استخدام ذرات سيزيوم تتحرك ببطء في هندسة نافورة، على غرار ما تصوره زاكارياس Zacharias في الأصل في الخمسينيات من القرن الماضي [14]. فلقد كانت الفكرة بسيطة مفادها بناء ميقاتية حزمة سيزيوم بصورة شاقولية وذات منطقة تآثر رامزي واحدة. بهذه الطريقة ستجتاز الذرات البطيئة في حزمة السيزيوم منطقة التآثر مع الأمواج المكروية صعوداً نحو الأعلى، ثم تنعكس سرعتها تحت تأثير الثقالة فتعبر منطقة التآثر مرة ثانية هبوطاً نحو الأسفل فينتج عن ذلك مخطط تآثر رامزي ذو النبضتين. ويبلغ زمن التآثر في طيران بالستي نحو الأعلى لمسافة متر واحد ما يقارب ثانية واحدة بدلاً عن 10 ملي ثانية في ميقاتيات الحزمة. ولكن ذلك المخطط لم يكن بالإمكان تنفيذه لسوء الحظ، إذ إن التصادمات بين ذرات السيزيوم السريعة والبطيئة في الحزمة أزالت بكفاءة عالية جميع الذرات البطيئة التي كان زاكارياس يعتمد عليها للحصول على الإشارة.

وقد أعيد بعث هذه الفكرة في أواخر ثمانينيات القرن الماضي حين صنع تشو Chu والعاملون معه أول نافورة ذرية في العالم [15] استخدمت التبريد بالليزر [16] لإنتاج ذرات بدرجات حرارة في حدود المكروكلفن. وبعد ذلك أقام الباحثون في (المكتب الوطني لمنظومات علم القياس الزمانية والمكانية BNM - SYRTE) أول معيار سيزيوم أساسي للتواتر يُبنى على مفهوم النافورة [17]. كما أقام العديد من الباحثين في مخابر علم القياس في العالم (أو يقيمون الآن) معايير تواتر أساسية مبنية على نافورة السيزيوم المبرد بالليزر شبيهة بالتصميم التخطيطي المبين في الشكل 2B. ويسمح زمن

التأثر الحاصل (الذي يقرب من ثانية) لمعايير التواتر المبنية على النافورة أن تحقق عدم دقة أخفض كثيراً من معايير الحزمة. فعدم الدقة الحالي لميقاتية النافورة في المعهد NIST هو $\delta V/Vo<4\times10^{-16}$ ومعايير التواتر النافورية الأخرى لها عدم دقة تساير أو أعلى بقليل فقط [18-21].

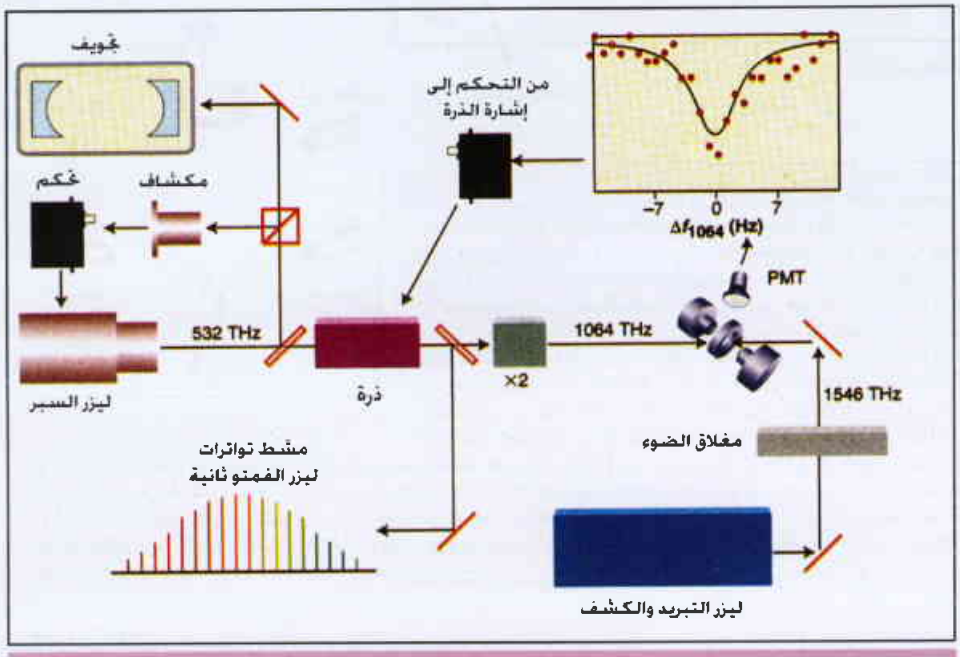
ويجد المرء عند هذا المستوى من الأداء أن القيود تنشأ تشكيلة منوعة من تأثرات فيزيائية ذات طبيعة أساسية. فمن أجل عدد معين من ذرات السيزيوم على سبيل المثال فإن عدم استقرار خرج الميقاتية يحدده علم إحصاء الميكانيك الكمومي للقياس، بينما يؤثر على دقة الميقاتية بصورة أساسية ارتياب إشعاع الجسم الأسود المحيطي ومعرفة الكمون التثقالي الموضعي والتصادمات بين ذرات السيزيوم.

معايير التواتر الضوئية والميقاتيات

على الرغم من أن معايير التواتر المكروموجية الحالية على أساس السيزيوم تعمل بسوية عالية، فثمة مقاربة جديدة لقياس الزمن مبنية على الانتقالات الذرية الضوئية تعد بتحسينات أفضل. فباستخدام تواترات ضوئية ذات تواتر ($Vo\sim10^{15}Hz$) بدلاً من المكروموجية ذات التواتر ($Vo\sim10^{10}Hz$) تعمل مثل هذه الميقاتية بوحدة زمنية أصغر بكثير (قياساً باستخدام الثانية بدلاً من اليوم كوحدة أساسية). ويستطيع المرء أن يرى من المعادلة (1) أن إقامة معيار على أساس انتقال في المجال الضوئي بدلاً من المكروموجي من الطيف يمكن، من حيث المبدأ، أن يؤدي إلى تخفيض هائل في عدم الاستقرار. والمعايير الضوئية لا بد أن تكون أكثر دقة بشكل كبير أيضاً طالما أن عدداً من انزياحات التواتر النسبية المهمة تشكل كسراً أصغر بكثير في المجال الضوئي، يضاف إلى ذلك أن دراسة هذه الانزياحات ستكون أسرع بكثير بفضل عدم الاستقرار الأقل بكثير للمعايير الضوئية.

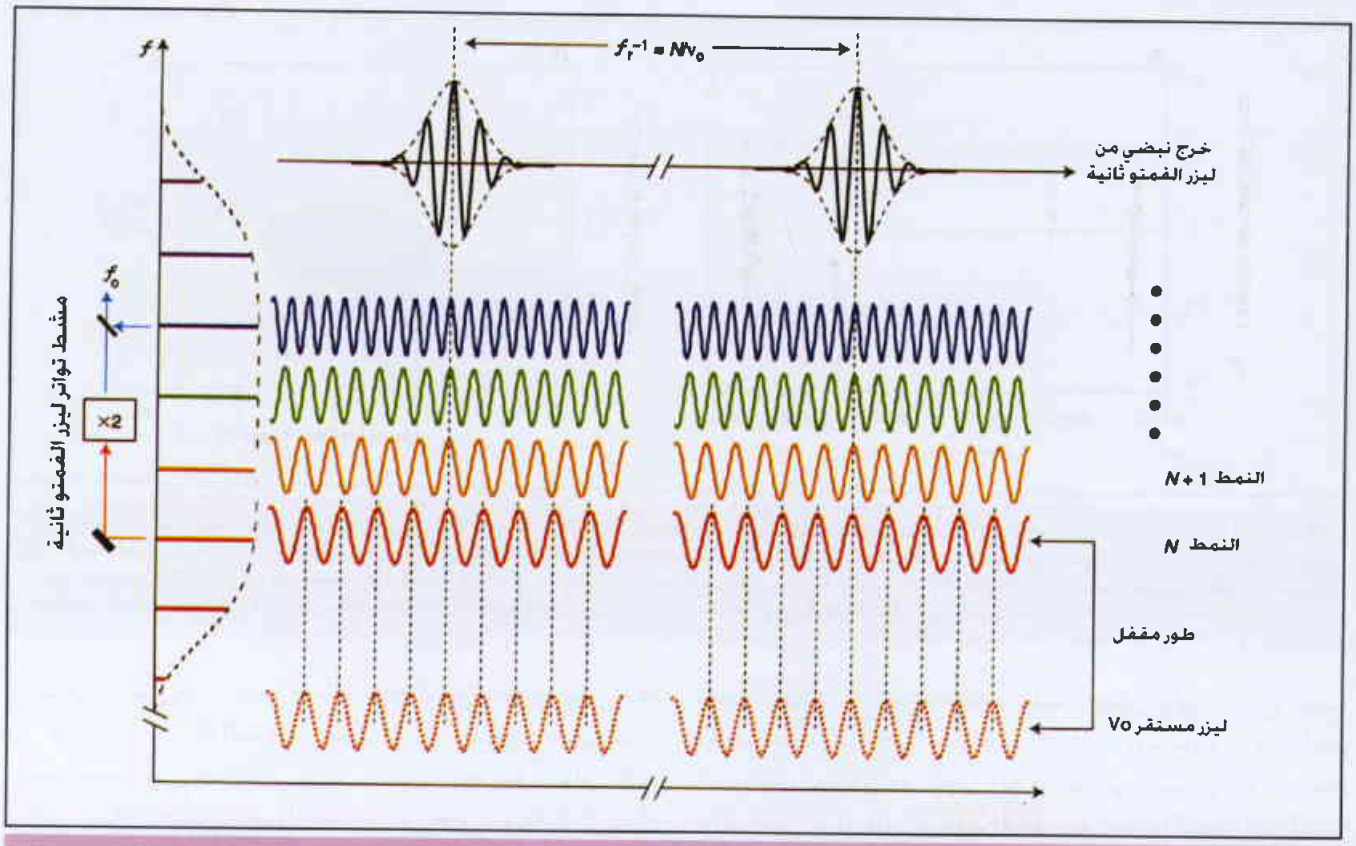
لقد عُرفت هذه الميزات الممكنة منذ الأيام الأولى لمعايير التواتر، لكن الأمر كان يتطلب مصدراً ضوئياً مترابطاً coherent ليقوم بعمل الهزازة الموضعية وسرعان ما بدأ البحث، بعد اختراع الليزر مباشرة في أوائل ستينيات القرن المنصرم، عن انتقالات مناسبة لتثبيت التواترات الليزرية عندها. وكانت بعض أول الليزرات المستقرة المبنية على انتقالات معروفة جيداً في ليزر الهيليوم – نيون، الذي أحكم تواتره عند خطوط امتصاص جزيئات الميتان (في المجال تحت الأحمر) أو اليود (عند 663nm) [25,24]. وبفضل اختراع الليزرات القابلة للتوليف توجد الآن معايير تواتر مبنية على جزيئات وذرات معتدلة وأيونات في جميع الطيف المرئي.

ولكن المعايير الضوئية لم تبدأ تحقق بالفعل المكاسب الممكنة التي تعبر عنها المعادلة (1) حتى العقد الماضي حين نضجت بعض التقانات الحاسمة. فمن ناحية أولى، مكن التقدم في تقانات تبريد الذرات والأيونات بواسطة الليزر من تبريد تشكيلة منوّعة منها (بما في ذلك تلك التي تتمتع بتحوّلات ضيقة تصلح للميقاتيات) إلى درجة حرارة الملي كلفن وما دونها [16]. ويتيح استخدام عينات ذرية مبردة بالليزر تحقيق أزمنة التأثر الطويلة (علاوة على انزياحات دوبلر المنخفضة) المطلوبة لرصد عرض خط تحول ضيق (Δv في المعادلة 1). ومن ناحية ثانية، لابد من أجل فصل خطوط طيفية ضيقة، من أن تكون ليزرات



الشكل 3- العناصر الرئيسية للميقاتية الذرية الضوئية. يستخدم ليزر السبر، الذي جعل تواتره مستقراً بواسطة تجويف ضوئي، لإثارة الانتقالات في أيون محتجز مبرّد بواسطة الليزر. وتستخدم منظومة تحكم آلية الإثارة من الأيون لتبقي تواتر ليزر السبر متمركزاً على التجاوب. يرسل ضوء إلى مشط تواترات ليزر الفمتو ثانية الذي يمكن من عد دورات الميقاتية.

السَّبر نقية طيفياً. وقد مكنت التحسينات الحديثة في استقرار الليزر بالاستناد إلى تجاويف ضوئية مرجعية معزولة عن محيطها من التوصل إلى عروض خطوط طيفية في مستوى دون الهرتز [27, 28]. وأخيراً، وربما الأكثر أهمية، أن وسيلة بسيطة لعدّ التواترات في الضوئية وربطها مع توترات في المجالين المكروموجي والضوئي قد أصبحت متاحة بفضل تطوير مشط التواترات الليزري المقفل النمط في مجال النانوثانية ($10^{-15}s$) [29, 30]. ونتيجة لهذه التحسينات تجدد الحماس في هذا المجال مع وجود عدة مجموعات تتسابق لتطوير معايير جديدة وميقاتيات تعتمد على انتقالات مختلفة.



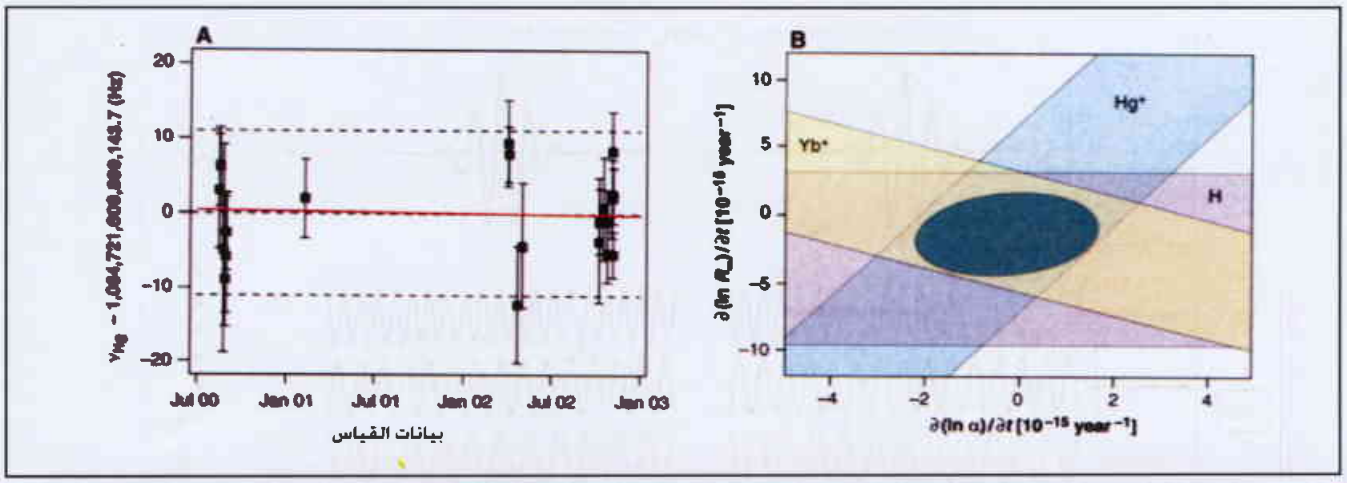
الشكل 4- توضيح العلاقة بين الليزر المؤمن استقرارا ذريا ذي التواتر Vo ونبضات ليزر الفمتو ثانية المقفل النمط. حين يكون مشط ليزر الفمتو ثانية مقفل الطور عند Vo. يكون تواتر تكرار النبضات هو ببساطة جزء متطقي من Vo. ولزيادة الوضوح لم يرسم هنا سوى عدد صغير من عناصر مشط ليزر الفمتو ثانية. أما الأجهزة الفعلية فيمكن أن تحوي نحو 500,000 نمط مفصولة بفواصل 1GHz.

إن اختيار التحوّل الذرّي المرجعي بحد ذاته، لدى تطوير معيار جديد، يعدُّ أحد أهم العوامل الحاسمة. فالمرء ينشد من أجل أفضل أداء ممكن، تحوُّلاً ضيِّقاً يكون غير حساس إلى أبعد حد للاضطرابات الخارجية مثل الانزياحات التي تسببها الحقول المغنطيسية والكهربائية. وتوجد مثل هذه الانتقالات (التي غالباً ما تدعى مادة تحوّلات الميقاتية) في الأيونات والذرّات المعتدلة كليهما، وينتهي هذا الخيار حالياً إلى التعامل مع عدد قليل من الأيونات المحتجزة أو عدد كبير من الذرّات المعتدلة.

يمكن تبريد أيون محتجز بواسطة الليزر إلى حد التوقّف عن الحركة، وبذلك يلغي مفاعيل دوبلر التي يمكن أن تزيح تواتر التجاوب [31]. وعلاوة على ذلك يمكن سَبْر الأيون بينما هو محتجز، وهذا ما يوفر أزمنة تآثر طويلة. ومع أن هذه العوامل تعطي آفاقاً ممتازة من حيث الدقة العالية للمعايير التي تستخدم الأيونات المحتجزة، فإن نسبة الإشارة إلى الضجيج (s/N) تكون فيها محدودة، وذلك بسبب أنه في معظم الحالات تصبح التآثرات بين الأيون والآخر عاملاً محدِّداً إذا وجدت بضعة أيونات قليلة في المصيدة. ومع ذلك جرى تبيان أداء رائع باستخدام تحوّلات ضوئية optical transition في تشكيلة منوّعة من المنظومات ذات الأيون الواحد مثل Hg^+ وYb^+ وSr^+ وIn^+ (32-34).

يمكن سبر عدد كبير من الذرات المعتدلة دفعة واحدة، وهذا يتيح نسبة S/N عالية جداً وربما استقراراً عالياً أيضاً. ولسوء الحظ، فإن طرائق حجز الذرات المعتدلة، مع كونها فعّالة لجمع عينات ذرية، يمكن أن تفضي إلى انزياحات في التحوّل المرجعي. وعلى هذا ينبغي نمطياً تحرير الذرات أثناء دورة السبر، وهذا يؤدي إلى انزياحات جهازية مزعجة تخصّ دوبلر وإلى أزمنة تآثر محدودة. ومع ذلك جرى تبيان أداء رائع في عدة معايير ذات ذرات معتدلة مبردة بالليزر [35]. وعلاوة على ذلك جرى اقتراح حل ممكن لمسألة الحجز يتضمن وضع الذرات المعتدلة داخل شبيكة ليزرية مصممة خصيصاً لهذا الغرض [36]. ويمكن اختيار الطول الموجي لشبكة الحزم الليزرية بحيث تقلّل انزياحات تحوُّل الميقاتية إلى حدها الأدنى. وبهذه الطريقة يمكن الحصول على أزمنة التآثر الطويلة وعلى انزياحات دوبلرية صغيرة ترافق حالة الأيونات، إضافة إلى نسبة S/N جيدة بفضل عدد الذرات المعتدلة الكبير. وتشمل منظومات الذرات المعتدلة المبردة بالليزر التي يجري تطويرها حالياً لصالح الميقاتيات الضوئية ذرات Ca وSr وYb وMg و[32-34].

يبين الشكل3 منظومة Hg^+ وحيدة الأيون، وهي معيار تواتر ضوئي حديث. تبدأ دورة القياس بتبريد الأيون بواسطة الليزر. ويلي ذلك فترة سبر يستثار أثناءها هذا الأيون بواسطة نبضة من ليزر السبر الذي



الشكل 5- (A) قياس انتقال الميقاتية الضوئية $^{199}Hg^+$ بالنسبة إلى الانتشار فوق الدقيق للحالة الأساسية للسيزيوم Cs التي تعرّف الثانية في جملة الوحدات الدولية SI. يبين الرسم انحراف كل قياس عن القيمة الوسطية مع شريط الخطأ الاحصائي وكذلك الملاءمة الخطية لهذه البيانات (الخط الأحمر). وقد مُثل الارتياب المنهجي الكلي بواسطة الخط المنقط عند ±11 Hz . ويتيح استخدام هذا القياس، اضافة إلى مقارنات أخرى حديثة بين H و $^{171}Yb^+$ مع الانتشار فوق الدقيق للحالة الأساسية للسيزيوم، تقييد التغييرات المحتملة لكل من α و∞R كما هو مبين في (B). حيث يمثل القطع الناقص في المركز المنطقة المتوافقة مع تركيبة التجارب الثلاث كلها (انظر [56] لمزيد من التفاصيل).

يثبت تواتره على خط تجاوب ضيق لتجويف فابري–بيري عالي الدقة ذي حلقة تغذية راجعة إلكترونية. ويمكن أن يقوم تجويف ضوئي بدور مرجع قصير المدى شبه مثالي فيؤمن مشطاً من خطوط التجاوب التي يمكن أن تكون ضيِّقة ومفصولة بعضها عن بعض بنسبة S/N عالية. وبما أن تواتر خط تجويف معين يعتمد على المسافة بين المرايا فمن الضروري عزل فاصل التجويف cavity spacer الذي يحدد المسافة بين المرايا عن التأثيرات الخارجية. ولهذا يصنع فاصل التجويف عادة من مادة خاصة ويوضع في حجرة عزل. وباستخدام هذه الطريقة يمكن إبقاء ليزرات ذات خطوط عرضها 1Hz أو أقل تعمل لمدة عشرات الثواني [28]. بعد ذلك يعدل جهاز إزاحة التواتر (مثل المعدِّل الضوئي الصوتي AOM) تواتر الليزر بحيث يصبح قريباً من التجاوب الذري. وتحرض نبضات السَبْر القريبة من التجاوب استثارة في العينة الذرية يتم اكتشافها بواسطة التقاط الفلورة الذرّية بواسطة مضاعف فوتوني.

وبما أننا نتعامل مع منظومة كمومية فإن قياساً واحداً يجرى على ذرة واحدة لا يمكن أن يعطينا تواتر الليزر السَّابر ("الميقاتية") بل يفيدنا فقط في معرفة ما إذا كانت نبضة السبر أثارت الذرة. ولابد، في حالة الأيون الواحد، من أخذ وسطي الاستثارة لدى العديد من دورات السبر لتحديد احتمالية الاستثارة والتي بدورها يمكن ربطها بتواتر الليزر. ويمكن بدلاً من ذلك استخدام دورة سبر واحدة لإثارة عدد كبير من الذرات وأخذ الوسطي فعلياً في آن واحد (كما هو الأمر عادة بالنسبة إلى عينات ميقاتية الذرة المعتدلة). وكمثال نبيِّن في الشكل3 طيفَ إثارة وسطي تمّ الحصول عليه بواسطة مسح تواتر ليزر السبر على تجاوب ميقاتية +Hg بالقرب من 282 nm (وتملك هذه الإشارة خط $Q=\upsilon/\Delta\upsilon = 10^{14}$، وهو الأعلى في مجال الأمواج المكروية أو البصرية من الطيف) [39]. وباستخدام تقنية تعديل modulation technique مناسبة يمكن توليد إشارة طيفية ملائمة لقَفْل الليزر عند مركز هذا التجاوب. وتستخدم مرحلة القَفْل الثانية هذه تغذيةً راجعة لتواتر المعدِّل الضوئي الصوتي AOM لإبقاء تواتر الليزر ثابتاً عند التجاوب الذري وهذا يمنع الانسياقات المتبقية للتجويف. ويمكن، مع مثل هذا القفل، أن يكون لليزر السبر أداء طويل المدى وأن يستخدم بمثابة معيار تواتر ضوئي.

لقد بنيت عدة معايير مماثلة باستخدام إما أيونات وحيدة أو حوالي مليون ذرة معتدلة، تصل دقة العديد من هذه المعايير إلى 10^{-14} أو أفضل من ذلك، وهي تستخدم Hg^+ وYb^+ وSr^+ وCa وH. ومن السابق لأوانه القول بأن بعض المعايير الضوئية سيتم تقويمها على أساس السوية (10^{-15}) وما دون ذلك في العام القادم. وكان من المتوقع أن يمكن التحكم بالآثار المنهجية في معايير التواتر الضوئية ذات الأيون الوحيد في مستوى يتيح التوصل إلى ارتيابات تقترب من 10^{-18} [38]. وسوف يتطلب الوصول إلى مثل هذا المستوى بالضرورة استقراراً قصير المدى من رتبة 10^{-15} أو ما دون ذلك لكل ثانية واحدة من متوسط الإشارة إذا أريد تجنب أزمنة إيجاد المتوسط الطويلة جداً.

قاسم التواتر ذو ليزر الفمتو ثانية

يحتاج المرء لتوليد فاصلة زمنية بواسطة معيار ضوئي (ومقارنتها بالميقاتيات الذرّية العاملة على الأمواج المكروية) إلى وسيلة موثوقة ومباشرة لعدّ الاهتزازات الضوئية السريعة جداً التي يكون دورها من مرتبة الفمتو ثانية. وهذا مقياس زمني سريع جداً بالنسبة إلى أي عداد إلكتروني عادي. وفي الماضي تضمنت حلول مشكلة العدّ هذه مقاربات معقدة تستند إلى سلاسل التواترات التوافقية [40] الرئيسة harmonic frequency chains أو تشطير الفاصلة الزمنية interval

bisection (41). لكن الأمور تغيرت في عام 1999 حين بينت تجارب مجموعة هانش Hansch الرئيسة أنه يمكن استخدام مشط التواترات المرافق لليزر الفمتو ثانية المقفل النمط لعدّ التواترات الضوئية [29]. وبالفعل فقد حلت في مدى عدة أعوام فقط تقانة مشط الفمتو ثانية الجديدة بصورة كاملة محل التقانات المخبرية الأخرى التي سادت خلال عقود من الزمن.

تكمن الوظيفة الأساسية لليزر الفمتو ثانية في الميقاتية الضوئية في أن تقدِّم وصلة مترابطة الطور بين تواتر المرجع الضوئي غير القابل للعد ومجال الأمواج المكروية الأسهل بلوغاً. ويمكن فهم هذه العملية إذا درسنا بنية مشط التواترات المرافق لليزر الفمتو ثانية (الشكل4). فهذا الليزر يُنتج نبضات قصيرة حاصلة من انضمام أنماط تجويف مُقْفَل الطور. ففي مجال التواتر تشكل هذه الأنماط مشطاً من هزازات متساوية البعد بعضها عن بعض. أما البعد بين هذه الأنماط فإنه يعطى بواسطة معدَّل التكرار fr الذي تصدر عنده النبضات من الليزر المقفل النمط. وعلاوة على ذلك يفضي الفرق بين تأخيري المجموعة والطور group and phase delays في تجويف ليزر الفمتو ثانية إلى انحراف تواتريّ f_0 في عناصر المشط، عن كونه توافقيات صحيحة من الـ f_r. وتُعطى العلاقة بين هذين التواترين الميكروموجيَّين (f_0 وf_r) وتواتر العنصر النوني المرتبة (nth) من مشط التواترات الضوئية بالمساواة التالية: $v_n = nf_r + f_0$ حيث n عدد صحيح.

وبصورة عامة يتذبذب كلا تأخيري المجموعة والطور في ليزر الفمتو ثانية ولا يمكن حسابهما في مستوى يسمح بتحديد f_0 تحديداً عالي الدقة. ولذلك ينبغي أن يقاس f_0 بشكل مباشر، وتوجد طريقة ممتازة لتحقيق ذلك تكمن في استخدام التوليد اللاخطي للتواترات بهدف مقارنة المناطق المختلفة للمشط التواتري [42]. فعلى سبيل المثال إذا كان طيف الليزر يغطي أكثر من مدروج octave واحد، أمكن مضاعفة عناصر المشط في طرف التواترات المنخفضة من الطيف بواسطة بلورة لاخطية ومن ثم مقارنتها بعناصر المشط العالية التواتر لاستخراج f_0. وتوجد ميزة مهمة في هذه الناحية تتمثل في توليد طيوف تشمل مدروجات بواسطة ليزرات سفير تيتانيوم Ti-sapphire منخفضة الاستطاعة في ألياف مكروية البنية [43، 44] أو بواسطة التوليد المباشر من الليزر نفسه [45-47]. وبمجرد أن يقاس التواتر f_0 يمكن قَفْلُهُ عند تواتر معين باستخدام تقنية تحكم آلية. فإذا جُعِلَ f_0 مساوياً للصفر على سبيل المثال، فإن كل عنصر من عناصر المشط يكون ذا توافقية دقيقة للتواتر f_r. كما أن قفل الطور لعنصر واحد (n=N) من مشط التواترات على الليزر المستمر ذي الضجيج المنخفض الذي جعل أصلاً موافقاً للتجاوب الذري، يؤدي إلى النتيجة المنشودة نفسها من أجل التحويل من أمواج ضوئية إلى أمواج مكروية: $F_r = \frac{v_o}{N}$ (الشكل4) وهكذا يكون التحويل من مجال الأمواج الضوئية إلى الأمواج المكروية قد أنجز بمثل هذا المخطط، ابتداءً إما من أيون مفرد أو من ملايين قليلة من الذرات المعتدلة وانتهاءً بقطار نبضات ضوئية تواترها 1GHz يصدرها ليزر الفمتو ثانية [48]. وقد جرى التأكد من أن الضجيج الإضافي لعملية التقسيم هذه في مستوى منخفض لدرجة تكفي أفضل معايير التواترات الضوئية الحساسية [44، 50].

مستقبل متوقَّع

يبلغ ارتياب ميقاتيات السيزيوم الذري الحالية مرتبة 35 بيكو ثانية في اليوم، ويمكن أن يصبح في الميقاتيات الذرية الضوئية يوماً ما نحو 100 فمتو ثانية في اليوم. وحينما يغدو معظم الناس راضين تماماً بميقاتيات دقَّتها عدة ثوان في اليوم يحق لنا أن نتساءل لماذا يرغب العلماء، أو المهتمون بهذا الموضوع، ميقاتيات متزايدة الدقة. وحين ظهرت في الخمسينيات من القرن المنصرم ميقاتيات الأمواج المكروية المبنيَّة على السيزيوم كان الوضع شبيهاً من بعض النواحي بالوضع الذي نجد أنفسنا فيه اليوم. فسرعان ما اعتبرت تلك الميقاتيات الذرّية الأولى إنجازاً كبيراً بالمقارنة مع الميقاتيات المتوافرة آنذاك، مع أنها لم تكن سوى مجرد أداة للاهتمام العلمي. وكان من الصعب في ذلك الوقت تخيل أنه بعد أربعين سنة فقط ستكون هناك مجموعة من السوائل تحمل ميقاتيات السيزيوم (أو الروبيديوم) الذرية وتدور حول الأرض موفرّة التحديد الدقيق من حيث الزمن والموقع لكل من هو على الأرض. لقد أصبحت منظومة تحديد الموضع العالمية GPS وما تحويه من ميقاتيات ذرية جزءاً مكمِّلاً لحياتنا. وعلى نحو مماثل فإن منظومات الاتصالات الصوتية والمعلوماتية الحالية والتي تتزامن مع الميقاتيات الذرية ما كان يمكن النظر إليها إلا كضرب من الخيال العلمي في عام 1955. وهناك أسباب قوية تجعلنا نتوقع أن تجد ميقاتيات الأمواج المكروية والميقاتيات الضوئية المحسنة في السنوات الخمسين القادمة تطبيقات كثيرة سواء أكانت في الاتصالات أم في الملاحة (وهما المجالان اللذان تقدما عبر التاريخ بالتوازي مع تحسن معايير الزمن) ومن الممكن أن تكون دقات الميقاتية الضوئية المستقرة جداً مفيدة بشكل خاص في مجال التتبع والاتصالات بين السوائل والمركبات الفضائية في الرحاب الواسعة جداً خارج كوكبنا. فعلى سبيل المثال يمكن أن توفر ميقاتية ضوئية ذات عدم استقرار من مرتبة الفمتو ثانية إمكانية تحديد مسافة تبلغ ملايين الكيلومترات بارتياب من مرتبة المكرومتر فحسب.

أما بالنسبة للمستقبل القريب فقد أصبح من الواضح أن أكثر الميقاتيات تقدماً سيوفر آفاقاً علمية جديدة مثيرة لدراسة الكون الذي نعيشه، وسيدفع الحدود الراهنة المتعلقة باختبار أكثر القوانين الفيزيائية أساسية إلى مستويات جديدة. وهذا يشمل اختبارات النسبية العامة وتقصّي وجود انتهاكات تناحي isotropy الفضاء أو وجود جملة إحداثيات مفضلة. و يمكن تحري التناظرات الأساسية بين المادة والمادة المضادة بواسطة مقارنة الميقاتيات الضوئية كما سبق أن اقتُرح بالنسبة إلى التحوّلات 1s-2s في كل من الهدروجين

والهدروجين المضاد [51]. وحتى الآن استخدمت معايير التواتر الضوئية منها والعاملة على الأمواج المكروية، في بعض القياسات الأكثر دقة لتحديد ثابت البنية الدقيقة α وثابت ريدبرغ R_∞ (مثال [52. 53]). والآن توفر المقارنات المخبرية بين الميقاتيات المبنية على أساس تحوّلات ذرية مختلفة بعضاً من أكثر القيود الصارمة حول التغير المحتمل للثوابت الأساسية [45. 55]. ومثال على هذا النوع من التجارب يظهر في الشكل 5A الذي يبيّن قياس التحوّل عند التواتر 1064 من تيرا هرتز (282nm) في الميقاتية الضوئية Hg^+ بدلالة الانشطار فوق الدقيق للسيزيوم الذي حقّقهُ NIST-F1 [54]. فعلى مدى ثلاث سنوات لا يوجد تفارق divergence قابل للقياس بين تواترات خرج output هاتين الميقاتيتين مما يجعل التغير النسبي $g_{Cs}(m_e/m)\alpha^6$ أقل من 7×10^{-15} في السنة، حيث pm/em تمثل نسبة كتلة الإلكترون إلى كتلة البروتون وتمثل g_{Cs} المعامل النووي للسيزيوم ^{133}Cs. فإذا افترضنا أن أي تغير يأتي فقط من المعامل α^6 فإن المعطيات تقيد أي تغير خطي نسبي للمعامل α بما لا يتجاوز 1.2×10^{-15} في السنة. وقد أعطى جمع هذه المعطيات مع تجارب مقارنة ميقاتيات حديثة أخرى قيوداً مشابهة على ثوابت أساسية أخرى كما هو مبين في الشكل 5B [56. 57].

يبدو واضحاً أن الميقاتيات الذرية المستقبلية سوف تستمر في تقسيم الثانية إلى واحدات زمنية أصغر فأصغر. ولكن بعكس قلق ميرمين فإنه من المحتمل جداً أن الفمتو ثانية أو الأتو ثانية (10^{-18} s) أو الزيبتو ثانية (10^{-21} s) سوف تعتبر أعباء ثقيلة غريبة تماماً على عالمنا الجهري بينما تبرهن مع ذلك أنها واحدات مفيدة في السعي المستمر نحو فهم العالم المجهري فهماً أفضل.

المراجع

REFERENCES

[1] N. D. Mermin, Phys. Today 54.11 (2001).

[2] J. H. Taylor, in Nobel Lectures, Physics 1991-1995, G. Ekspong, Ed. (World Scientific, Singapore, 1997), pp. 73-91.

[3] R. F. C. Vessot et al., Phys. Rev. Lett. 45, 2081 (1980).

[4] R, E. Beehler, Proc. IEEE 55, 792 (1967).

[5] N. F. Ramsey, J. Res. Nat. Bur. Stand. 88, 301 (1983).

[6] C. Audion, B. Guinot, The Measurement OF Time: Time, Frequency and the Atomic Clock (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001).

[7] H. Lyons, NBS Tech. News Bull. 33, 17 (1949).

[8] L. Essen, J. V. L Parry, Nature 176, 280 (1955).

[9] E. C. Bullard, Nature 176, 282 (1955).

[10] Resolution 1, 13e Conforence Generale des Poids et Mesures, Metrologia 4. 41 (1968).

[11] N. F. Ramsey, Phys. Today 33, 25 (1980).

[12] T. J. Quinn, Proc. IEEE 79, 894 (1991).

[13] A. Bauch, B. Fischer, T. Heindorff, R. Schr6der, Metrologia 35, 829 (1998).

[14] N. F. Ramsey, Molecular Beams (Clarendon. Oxford. 1956).

[15] M. Kasevich, E. Riis, S. Chu, R. DeVoe, Phys. Rev. Lett. 63, 612 (1989).

[16] H. J. Metcalf, P. van der Straten, Laser-Cooling and Trapping (Springer, New York. 1999).

[17] A. Clairon et al, in Proceedings of the 5th Symposium on Frequency Standards and Metrology, j C. Berguist, Ed. (World Scientific, London, 1996). Pp. 49-59.

[18] T. P. Heavner, S. R. jefferts, E. A Donley, 1. H. Shirley, T. E. Parker, IEEE Trans. Instrum. Meas., in press.

[19] S. Weyers, U. Hubner, R. Schroder , Chr. Tamm, A. Bauch Metrologia 38, 343 (2001).

[20] S. Bize et al., in (32), pp. 53-63.

[21] F. Levi, L Lorini, D. Calonico, A. Godone, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Control 51, 1216 (2004).

[22] P. Laurent et al., in (32). pp. 241-252.

[23] T. P. Heavner et al., in (32), pp. 253-260.

[24] J. L Hall, C. J. Borde, K. Uehara, Phys. Rev. Lett. 37, 1339 (1976).

[25] J.-M. Chartier, A. Chartier, Proc. SPIE 4269, 123 (2001).

[26] S. L Gilbert, W. C. Swann, T. Dennis, Proc. SPIE 4269, 184 (2001).

[27] J. L Hall, Science 202. 147 (1978).

[28] B. C. Young F. C. Cruz W. M. Itano, J. C. Bergquist, Phys. Rev. Lett. 82, 3799 (1999).

[29] Th. Udem et al., Phys. Rev. Lett. 82, 3568 (1999).

[30] S. A, Diddams et al., Phys. Rev. Lett. 84. 5102 (2000).

[31] F. Diedrich, J. C. Bergquist, W. M. Itano, D. J. Wineland, Phys. Rev. Lett. 62, 403 (1989).

[32] P. Gill, Ed., Proceedings of the 6th Symposium on Frequency Standards and Metrology (World Scientific, Singapore, 2002).

[33] Proceedings of the Conference on Precision Electro magnetic Measurements (IEEE, Piscataway, Nj, 2004).

[34] J. Ye, H. Schnatz, L W. Hollberg, IEEE J. Select. Top. Quantum Electron. 9, 1041 (2003).

[35] U. Sterr et al., C R. Phys., in press.

[36] H. Katori, M. Takamoto, V. G. Pat'chikov, V. D. ovsiannikov, Phys. Rev. Lett. 91, 173005 (2003).

[37] D. J. Wineland, J. C Bergquist, W. M. Itano, R. E. Drullinger, Opt. Lett. 5, 245 (1980).

[38] H. G. Dehmelt, IEEE Trans. Instrum. Meas. 31. 83 (1982).

[39] R. Rafac et al, Phys. Rev. Lett. 85, 2462 (2000).

[40] D. A. jennings, K. M. Evenson, D. J. E. Knight, Proc. IEEE 74, 168 (1986).

[41] H. R. Telle, D. Meschede, T. W. Hansch, Opt. Lett. 15, 532 (1990).

[42] H. R. Telle et al, AppL Phys. B 69, 327 (1999).

[43] J. K. Ranka, R. S. Windeler, A. J. Stentz, Opt. Lett. 25, 25(2000).

[44] D. J. jones et al., Science 288, 635 (2000).

[45] U. Morgner et al., Phys. Rev. Lett. 86, 5462 (2001).

[46] A. Bartels, H. Kurz, Opt. Lett. 27, 1839 (2002).

[47] T. Fortier. D. J. Jones, S. T. Cundiff, Opt. Lett. 28, 2198 (2003).

[48] S. A. Diddams et al., Science 293, 825 (2001).

[49] L-S. Ma et al. Science 303, 1843 (2004).

[50] A. Bartels et al., in OSA Trends in Optics and Photonics Series (TOPS) Vol. 96, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) (Optical Society of America, Washington, DC, 2004), paper CPDC10.

[51] J. Walz et al., Appl. Phys. B 77, 713 (2003).

[52] F. Biraben et al., in The Hydrogen Atom: Precision Physics of Simple Atomic Systems, S. V. Karshenboim, F. S. Pavone, F. Bassani, M. Inguscio, T. W. Hansch Eds. (Springer-Verlag, Berlin, 2001), pp. 17-41.

[53] Th. Udem et al., in The Hydrogen Atom: Precision Physics of Simple Atomic Systems, S. V. Karshenboim, F. S. Pavone, F. Bassani, M. Inguscio, T. W. Hinsch, Eds. (Springer-Verlag Berlin, 2001). pp. 125-144.

[54] S. Bize et al, Phys. Rev. Lett. 90, 150802 (2003).

[55] H. Marion et al., Phys. Rev. Lett. 90, 150801 (2003).

[56] E. Peik et al, Phys. Rev Lett. 93, 170801 (2004).

[57] M. Fischer et al., Phys. Rev. Lett. 92, 230802 (2004).

[58] We thank L. Hollberg, D. Wineland, and M. Lombardi for their assistance and thoughtful comments. And E. Peik and his colleagues at the PTB for providing Fig. 5B.

مفاعلات الأملاح المنصهرة من الجيل الرابع*

س. غَرْزين
مؤسسة كهرباء فرنسا
م. ديلبش
مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية

ملخص

تشغل مفاعلات الأملاح المنصهرة مكاناً منفرداً داخل العوائل الست من منظومات الجيل الرابع، بفعل خصائصها غير الاعتيادية التي جعلتها تصنف بين التصاميم غير التقليدية، وكذلك في فئة منظومات الدورة المغلقة التي تستخدم الموارد الطبيعية أمثل استخدام. ويظهر وقود مفاعل الأملاح المنصهرة على شكل مزيج سائل من أملاح فلوريد الليتيوم والبريليوم وربما الصوديوم والزركونيوم، المنحلة فيها الأكتينيدات. وفي التخطيطة التي يقترحها مختبر أوك ريدج (ORNL)، كان هذا الملح الوقود، في أصل التصميم، يدخل من أسفل القلب بدرجة حرارة تساوي 550°C تقريباً، ويجتازه من الأسفل إلى الأعلى متجولاً في قنوات من الغرافيت الذي يسمح مفعوله المهدئ بالتوصل إلى حرجية طاقة الانشطار وإنتاجها. ويلعب الملح في الوقت نفسه دور حامل الحرارة، فيخرج من القلب بدرجة حرارة 700°C، قبل أن يمر عبر المبادلات الحرارية. وهكذا تنتقل الطاقة الحرارية إلى ملح حامل للحرارة ثانويٍ، ثم عبر مولد للبخار فوق الحرج إلى جملة تحويل الطاقة، بمردود مرتفع يبلغ 44%، نظراً إلى درجة الحرارة العالية التي يخرج بها الملح.

الكلمات المفتاحية *مفاعلات الأملاح المنصهرة، مفاعلات الجيل الرابع، الأكتينيدات، فلوريدات الصوديوم.*

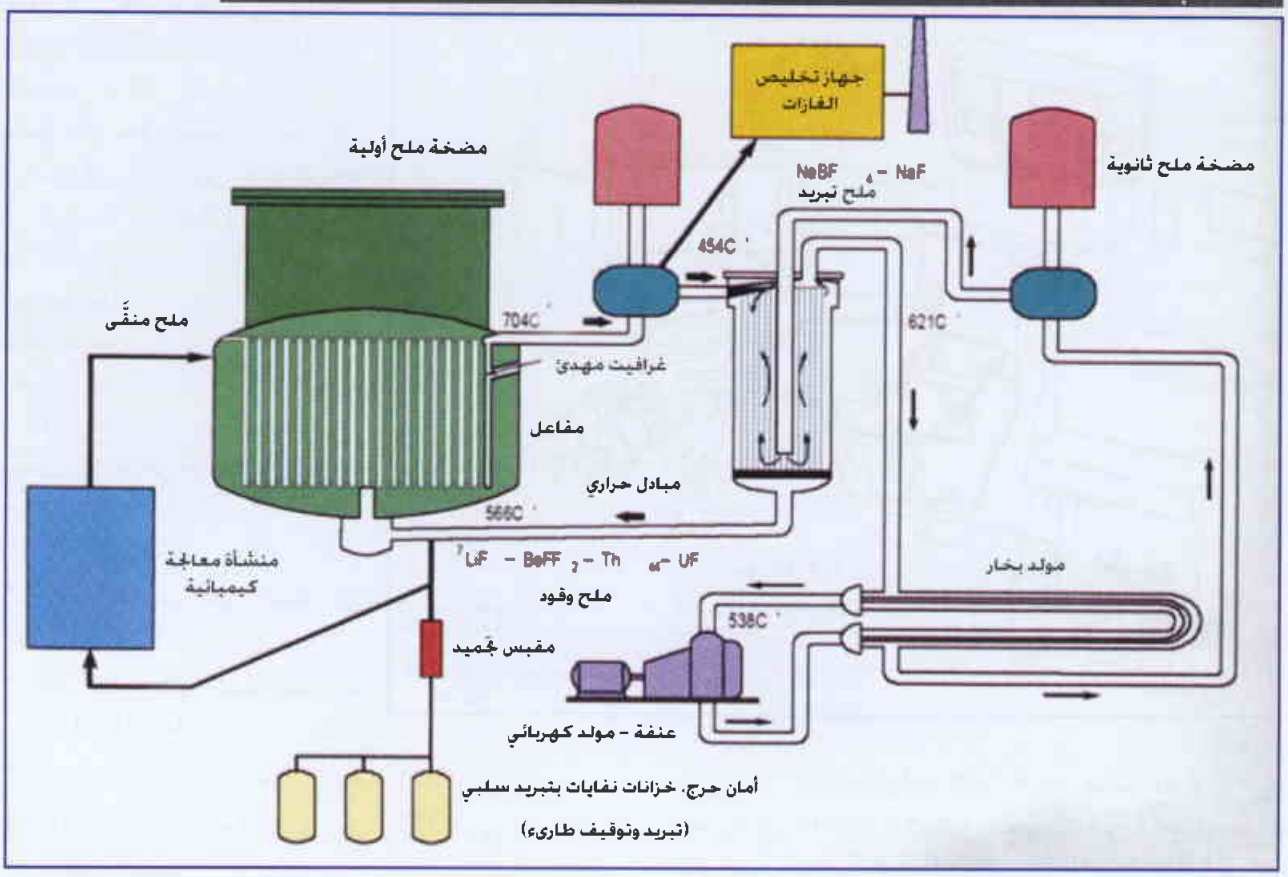
دوران وقودٍ سائلٍ يوفر ميزة تسمح بإعادة المعالجة مباشرة (على الخط)، أو على الخط تقريباً، وذلك بتفريغ نواتج الانشطار، وتجديد إضافة وقود حديث عند الضرورة. وهكذا تتقلص الخسارات النترونية إلى أدنى حدّ، مما يفسر لماذا يكون مثل هذا التصميم أمثل لتأمين الاستيلاد في دورة التوريوم، التي ميزانها النتروني صغير جداً. وفوق ذلك، فإن ربط وحدة إعادة المعالجة المباشرة بالمفاعل يتواءم تماماً مع تعدد إعادة تدوير الأكتينيدات، ويتيح تبسيط دورة الوقود في الموقع واندماجه، وهكذا يتم تفادي نقل المواد شديدة الإشعاع مع الاحتفاظ بصفات التوليد الذاتي الوقودي. ومن ناحية ثانية، فإن التشغيل في طيف حراري، الذي يخفض الموجودات الانشطارية بمرتبة واحدة من الكبر بالنسبة إلى الطيف السريع المصاحب لاستخدام وقود بالتوريوم، يؤدي أيضاً إلى إنقاص إنتاج الأكتينيدات الثانوية، وإلى خفض ورود الوقود لإعادة المعالجة إلى أقصى حد، مما يتيح توقع أسلوب للتشغيل بمفاعل "قنوع ونظيف" يستهلك 100 كغ من التوريوم لكل تيراواط ساعي كهربائي (TWhe)، مع بضعة غرامات من البلوتونيوم والأكتينيدات الثانوية التي ترسل إلى النفايات النهائية.

ويكون للأملاح المنصهرة من ناحية ثانية خصائص مهمة لترميد النفايات المشعة طويلة العمر، وهي غير حساسة عملياً لمفاعيل الإشعاع، وبعض الأملاح قادرة على إذابة كميات كبيرة نسبياً من الأكتينيدات، ولاسيما الأملاح التي تحتوي على فلوريدات الصوديوم والزركونيوم، وتبدي مرونة كبيرة حيال تكوين الوقود. وهي فوق ذلك متوائمة مباشرة مع طرائق إعادة المعالجة الحرارية الكيميائية. وإضافة إلى ذلك، وعلى العكس من منظومات الوقود الصلب، لم يعد من الضروري استخراج الأكتينيدات من الوقود المستعمل لصنع وقود جديد، مما يحدّ من تناول بعض النظائر مثل

* نُشر هذا المقال في مجلة RGN, No 4 - Juillet-Août 2003.

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

الشكل 1 - تخطيطة مبدأ مفاعل الملح المنصهر الوقود المدروس في المختبر أوك ريدج (ORNL)



^{244}Cm. وتفسر هذه الميزات الأهمية التي تكتسبها مفاعلات الأملاح المنصهرة في تحويل البلوتونيوم والأكتينيدات الثانوية وفي الأعمال العديدة المتحققة حول تصاميم مفاعلات الأملاح المنصهرة التي ترمّد عناصر ما بعد اليورانيوم.

وإضافة إلى هذه الإمكانيات الهامة للتطور المستديم في التقانة النووية، فإن مفاعلات الأملاح المنصهرة تبدي خصائص مهمة حيال معايير أخرى للجيل الرابع نذكر منها:

◆ من أجل الأمان: منظومة غير مضغوطة بأملاح أولية وثانوية، وهامش عريض عند الغليان، وغياب احتياط التفاعلية بفضل إعادة المعالجة باستمرار، وأسر نواتج الانشطار الذوّابة في الملح، والتفريغ المستمر لنواتج الانشطار غير الذوّابة التي تخفض إلى أدنى حدٍّ المصدر المحتمل للملوثات الإشعاعية، وأخيراً خاصية الأمان المنفعل (السلبي) مع إمكانية تفريغ القلب أوتوماتياً بفعل الثقالة فقط عند ارتفاع درجة الحرارة ارتفاعاً مباغتاً، متسبباً في انصهار سدّادة ملح واقعة تحت القلب، ومتيحاً إخلاء الوقود في عدة مستودعات ليصبح في حالة تحت حرجة في غياب التهدئة الغرافيتية. ويشار مع ذلك إلى أن تحليل الأمان في مثل هذا التصميم مع وقود دوّار (من دون حاجز أولي وبالتالي بهجرة أسلاف النترونات المؤخّرة) واقتران المفاعل بوحدة إعادة المعالجة على الخط (مباشرة)، يجب أن يعاد التفكير فيه بالكامل.

◆ من أجل عدم التكاثر: حصر ومراقبة جميع الأكتينيدات في المفاعل وفي وحدة إعادة المعالجة على الخط، وتلوث اليورانيوم باليورانيوم ^{232}U، وتدنّي النوعية النظائرية للبلوتونيوم في الطيف الحراري. وتفريغ البروتكتينيوم 233، المهم في عملية استمثال استيلاد اليورانيوم 233، شديد التكاثر، ولكنه ليس ضرورياً إذا كنا نبحث فقط عن التوليد الذاتي (المفاعل يولد من ^{233}U بقدر ما يستهلك منه).

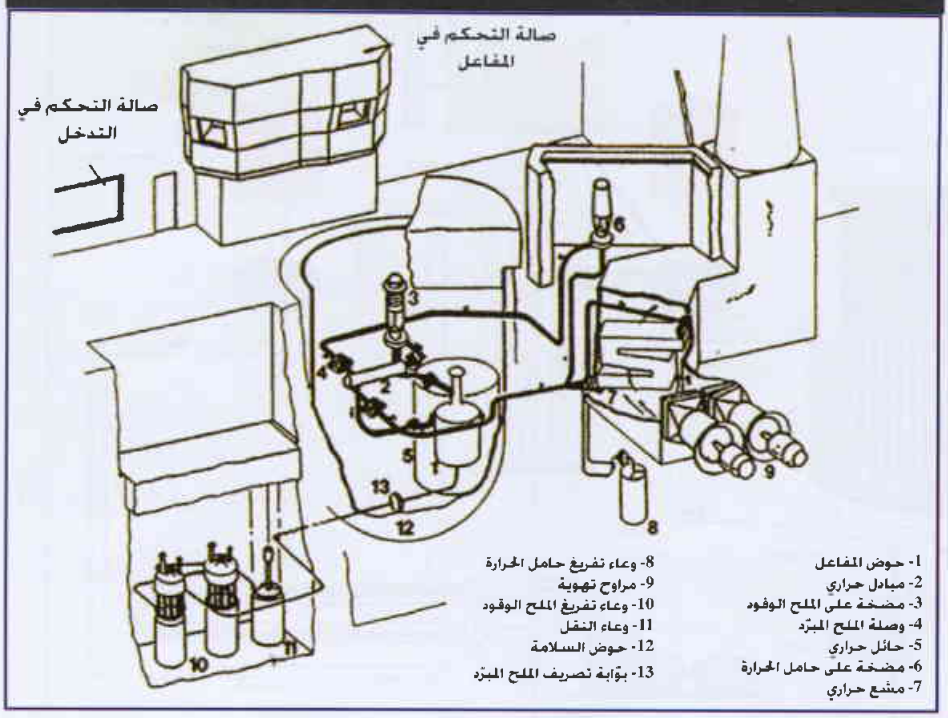
◆ من أجل التوفير: ارتفاع المردود بفضل درجة الحرارة العالية التي يبلغها الوقود حامل الحرارة، وبساطة دورة الوقود وسلامتها، والتيسرية (التغذية وإعادة المعالجة على الخط). وبالمقابل تكون تكاليف الصيانة (وهي تحتاج إلى روبوتية "إنسالية") والتفكيك أعلى بالتأكيد مما هي عليه في مفاعل الماء المضغوط. كما أن ربط المفاعل بوحدة إعادة المعالجة يمثل تكلفة إضافية مهمة وغير جاذبة بالنسبة إلى المشغّل.

ونشاط البحث والتطوير المطلوب لإحكام صنع هذا النمط من المفاعلات يكون بمستوى ارتفاع إمكانياتها ويمثل جهداً كبيراً. والتجربة الوحيدة ذات المغزى الفعلي هي التجربة التي حققها المختبر ORNL بالتعاون مع التجربة MSRE (تجربة مفاعل الملح المنصهر) ما بين 1965 و 1969.

وعملت هذه المنشأة التي قدرتها 8 MWth (ميغاواط حراري) بصورة صحيحة، وأثبتت جدوى الجزء المفاعل، ولكن حتى لو كان المختبر ORNL قد توصل إلى حل كثير من المشاكل في هذه المرحلة، تبقى هذه الرجعة إلى التجربة محدودة نسبياً، وتبقى عدة مجاهيل قائمة تتعلق بالجدوى الصناعية لمفاعل قدرته كبيرة ومقترن اقتراناً مباشراً أو غير مباشر بوحدة خاصة به لإعادة المعالجة على الخط. إن الموضوعات الكبرى لنشاط البحث والتطوير اللازم في مرحلة أولى لإثبات الجدوى العلمية والتقانية لمفاعلات الأملاح المنصهرة هي:

- التحكّم المباشر (على الخط) في كيمياء الملح الوقود.
- تآكل المواد في وسط الفلوريد ووجود نواتج الانشطار.
- سلوك الغرافيت الواقع تحت التشعيع لإطالة عمره.
- أداءات تفريغ نواتج الانشطار غير الذوّابة في الملح، تفريغاً مباشراً (على الخط).
- تصميم وحدة إعادة المعالجة على الخط من أجل تفريغ اللانتانيدات.
- تخفيض إنتاج التريتيوم وأسره.
- مقاربة الأمان المطلوب اقتراحها من أجل قلب وقوده سائل دوّار.
- وثوقية المنظومات الموجودة على تماس مباشر مع وسط إشعاعي.
- تقنيات الصيانة والتصليح.
- الميزان الاقتصادي للمنظومة "مفاعل-وحدة إعادة المعالجة".

الشكل 2 - منظر عام لتجربة مفاعل الملح المنصهر



وتفضل الوثيقة النهائية للجيل الرابع هدف ترميد الأكتينيدات بالنسبة إلى مفاعلات الأملاح المنصهرة. هذا الاختيار هو نفسه الذي اختاره الروس في إطار المشروع ISTC 1606، المكرّس لتحويل البلوتونيوم والأكتينيدات الثانوية، بينما يتجه المشروع الأوربي MOST بوضوح أكثر نحو تطوير مفاعل "قنوع ونظيف" من الجيل الرابع ذاتي التوليد في دورة التوريوم، مع لزوم توفير منظومات قَبْلية تنتج اليورانيوم اللازم لإقلاع مفاعلات الأملاح المنصهرة. وفي كل الأحوال فإن هذين الخيارين يرتبطان أساساً باختيار الملح الأكثر ملاءمةً إما لإذابة كميات كبيرة من الأكتينيدات (ترميد)، وإما لتأمين ميزان نتروني أفضل (استيلاد)، مع بقاء برنامج البحث والتطوير هو نفسه في كثير من النواحي.

البتات الكمومية الفائقة الناقلية*

هانس مويج
معهد كافلي للعلوم النـوبة- جامعة دلفت للتقانة- هولندا

ملخص

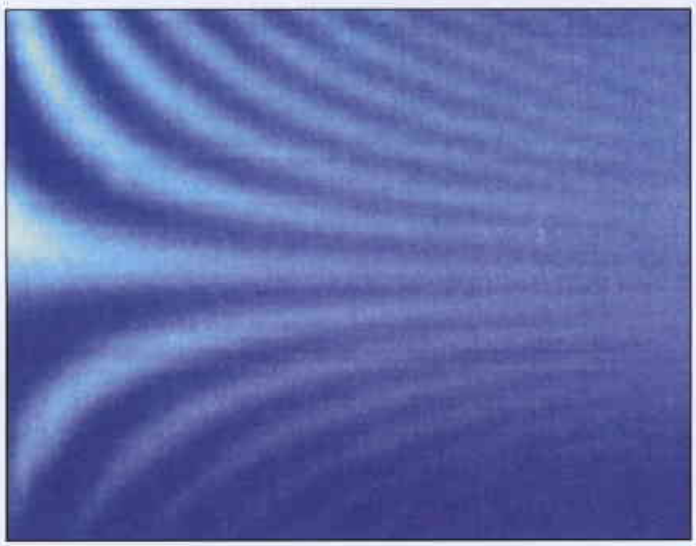
يمكن استعمال نبائط فائقة الناقلية لاكتشاف الحدود بين العالمين الكمومي والتقليدي، كما يمكن أن يكون لها تطبيقات في المعلومات الكمومية.

الكلمات المفتاحية: *بتة كمومية، سكويدة، ناقل فائق، بتة كم الشحنة، بتة كم التدفق .*

يبدو أن العالم الكمومي مختلف جداً عن العالم المألوف. فالجسيم الكمومي يمكن، على سبيل المثال، أن يكون في مكانين بوقت واحد، بينما لا يمكن قياس موضعه وسرعته معاً بدقة كاملة بنفس الوقت. وأكثر من ذلك، إذا كانت كتلة الجسيم صغيرة بما يكفي، فإن الجسيم الكمومي يستطيع أن يعبر حواجز الطاقة التي لا يمكن أن يعبرها شبيهه الكلاسيكي عبوراً نفقياً.

الفيزيائيون متشجعون لاستعمال ميكانيك الكم لوصف الجسيمات الذرّية وتحت الذرّية. على كلٍ اكتشفنا في السنوات الأخيرة، أن الأشياء ذات الحجم المكروني التي أُنتجت باستخدام تقنيات نموذجية لتصنيع أنصاف النواقل -كالأشياء الصغيرة في كل المقاييس اليومية إلا أنها كبيرة بالمقارنة مع الذرّات- يمكنها أيضاً أن تسلك سلوك جسيمات كمومية.

هـذه الأشـيـاء الكمومية الصنعية يمكن في يـوم ما أن تستعمل كـ "بتّات** كمومية" في الحاسب الكمومي الذي يستطيع أن ينجز أعمالاً حاسوبية محددة بسرعة أكبر من أي جهاز حاسب كلاسيكي. مع ذلك، هذه الأجهزة ستسمح لنا بسبر أعماق السطح البيني للعالمين الكمومي والكلاسيكي، ودراسة كيف أن التأثرات مع درجات الحرية الخارجية تقود إلى اختفاء تدريجي للسلوك الكمومي.



ميكانيك الكم الجهري، هو قدرة الأجهزة الجهرية على إظهار السلوك الكمومي ويقدم إمكانية تصنيع المكونات الرئيسية التي يحتاجها الحاسب الكمومي على نطاق واسع. لقد وُلد هذا النمط من التداخل الكمومـي (في الأعلى) عندما تعرّضت بتة كمومية فائقة الناقلية ذات حجم مكروني لنبضتين من الأمواج المكروية القصيرة يفصل بينهما زمن تأخير قصير. تستطيع الأمواج المكروية إحداث انتقال بين حالتين كموميتين تشكلان البتة الكمومية. المحور X (محور الزمن) يقيس التأخير بين النبضات، بينما المحور Y هو محور تواتر الأمواج المكروية. أنجزت هذه التجربة في دلفيت مجموعة المؤلف الحالي.

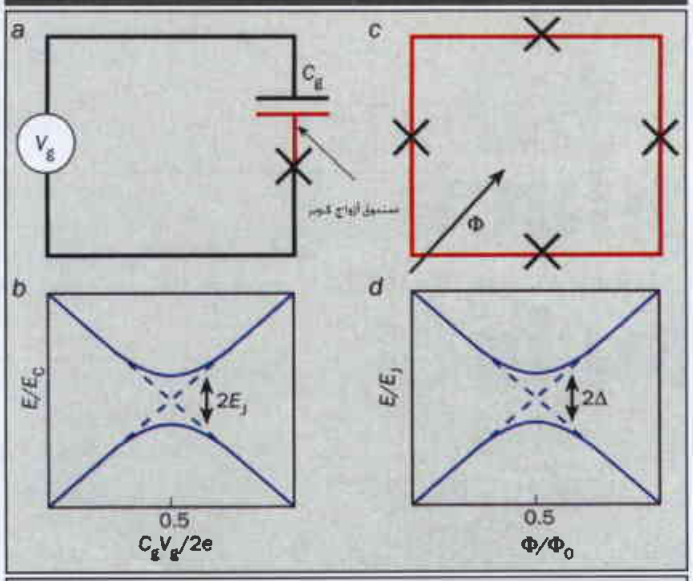
معلومات كمومية

تخزن المعلومات في الحواسب الكلاسيكية وتعالج كـ " بتات" يمكن أن تأخذ إحدى القيمتين المحتملتين "0" أو "1". البتات الكمومية أو "بتات الكم qubits" مختلفة: بالإضافة إلى القيمتين "0" و"1" فإن البتة الكمومية أو بتة الكم يمكن أن توجد في حالة الانضمام، $\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$ ، التي يمكنها أن تحتفظ بالقيمتين بنفس الوقت. ومن جهة ثانية عندما تقاس البتة الكمومية أو بتة الكم، فإن النتيجة ستكون إما "0" باحتمال α^2 أو "1" باحتمال β^2.

* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, December 2004.

** وحدات معلومات تعبر عن مجموعة رموز مزدوجة كالخيار صفر أو واحد في الترميز الثنائي.

الشكل 1 - بتات كم الشحنة والتدفق



(a) يمكن تشكيل بتة كم الشحنة بدارة مؤلفة من وصلة جوزفسون (إشارة الضرب) ومكثفة وبوابة جهد موصولة بأسلاك من الألمنيوم فائقة الناقلية (الخطوط السوداء). المنطقة بين الوصلة والمكثفة تشكل صندوق أزواج كوبر (مشار إليه بالأحمر). هذه الدارة يمكنها توليد انضمام كمومي لحالتين كلاسيكيتين تترافق مع وجود الصفر أو الواحد من أزواج كوبر في الصندوق. (b) عند غياب أي آثار كمومية فإن الطاقة ، E. لحالة الصفر تزداد مع زيادة جهد البوابة ،Vg. بينما طاقة حالة الواحد تتناقص(الخط المنقط). هذا يعني أن كلا الحالتين لهما نفس الطاقة عندما $Vg = e/Cg$ حيث Cg سعة البوابة. على كل حال، يؤدي النفق الكمومي إلى " العبور المحظور " بحيث إن النظام يكون في إحدى حالتي الانضمام الكموميتين (الخط المتصل) ويكونان مفصولين بفرجة (فاصل طاقة) تساوي ضعف طاقة جوزفسون ،Ej.التي تحدد شدة التزاوج عبر الوصلة.$Ec=2e^2/Cg$ هي طاقة الشحن الكولوني للمكثفة.

(C) تتألف البتة الكمومية للتدفق من عروة ذات ثلاث وصلات جوزفسون موصولة بأسلاك ألمنيوم فائقة الناقلية (الخطوط الحمراء) والخاضعة لتدفق مغنطيسي خارجي Φ. تولد بتة كم التدفق حالة انضمام كمومي للحالتين الكلاسيكيتين مترافقة مع تيارات تنتشر باتجاه أو عكس اتجاه حركة عقارب الساعة حول العروة. (d) مخطط سوية الطاقة بتة كم التدفق يشبه ذلك المخطط من أجل بتة كم الشحنة (b)، بفاصل Δ يلعب دور طاقة جوزفسون Ej ؛ أما $Φo=h/2e$ فهو التدفق المغنطيسي الكمومي في الناقل الفائق.

مثل هذا السلوك الاحتمالي يمكن أن يكون قاعدة جيدة لمعالجة المعلومات. على كل ما دمنا نستطيع أن نتجنب القيام بالقياسات فالمنظومة الكمومية سوف تتطور بطريقة حتمية تماماً، وأكثر من ذلك فإنها سوف تحافظ على قدرتها لتكون في مكانين بنفس الوقت وهكذا. تدعى هذه القدرة على البقاء في النظام الكمومي بدلاً من الكلاسيكي لفترة زمنية بالترابط الكمومي. تشير كلمة "قياس" هنا إلى أحداث، تتضمن أحداثاً متعمدة وعرضية، بحيث تنتقل فيها المعلومات الكمومية خارج المنظومة الكمومية. وفي غياب أي من هذه القياسات فإن المنظومة تحافظ على ترابطها الكمومي.

من الممكن أيضاً توليد حالة ما تكون أغرب من الحالة الكمومية العادية وذلك بواسطة تشابك جسيمين كموميين أو أكثر. لقد عرضت هذه الحالة المشبوكة لأول مرة بالنسبة للفوتونات في بداية الثمانينيات من القرن الماضي. إذا تغيرت الحالة الكمومية لأحد الجسيمات المشبوكة (مثلاً تغير استقطاب فوتون ما) فإن حالة الجسيم الآخر سوف تتغير فوراً وبطريقة محددة، حتى ولو لم يكن بينهما أي تأثر. الحساب الكمومي قائم على ثلاثة مبادىء لميكانيك الكم: الانضمام والترابط والتشابك. (انظر Physics World, March 1998, PP33-57).

حتى يكون الحاسب الكمومي ذا فائدة سيحتاج على الأقل 10000 بتة كمومية. على كل، من الصعب جداً أن نجد تقانة تجمع المستوى الضروري للتحكم بمنظومات كمومية ذوات سويتين مع إمكانية التصنيع بالجملة، يستطيع الباحثون، بشكل روتيني، توليد مجموعات كبيرة من السبينات النووية باستخدام تقنيات التجاوب المغنطيسي، إلا أنه من المستحيل التحكم بالسبينات المستقلة.

يمكن التحكم بدقة شديدة، بالأيونات والذرات المفردة الموجودة في التجاويف والمصائد ،إلا أنه من الصعب رفع هذه التقنية لتشمل التحكم بعدة آلاف من الذرات أو الأيونات. ومن جهة أخرى، لا تزال البتات الكمومية من الحالة الصلبة في مرحلة الإثبات والعرض، إلا أن أدوات التصنيع المكروي التي استعملت في صناعة أنصاف النواقل يمكن أن تزودنا بطريقة للتصنيع بكميات كبيرة.

البتات الكمومية الفائقة الناقلية

لتوليد بتة كمومية من جسم صلب، كما في الأنواع الأخرى من البتات الكمومية، نحتاج لعزل منظومة كمومية بمستويين. إن محاولات صنع بتات كمومية صلبة متركزة، هذه الأوقات، على المواد الفائقة الناقلية وأنصاف النواقل. في الوقت الذي تم الحصول فيه على نتائج مشجعة بمساعدة نصف ناقل بطريقتين -منظومات النقط الكمومية والمنظومات الأحادية المانح- فإن الطريقة الفائقة الناقلية هي الآن أكثر الطرق تقدماً.

من الضروري للحفاظ على الترابط أن نبقي تحت السيطرة التأثير المتبادل (التأثر) إلكترون-إلكترون وأيضاً التأثر بين الألكترونات ودرجات الحرية الأخرى (كالفونونات في الجسم الصلب). المواد الفائقة الناقلية تملك الأفضلية من هذه الناحية لأن الإلكترونات تتكاثف في أزواج كوبر التي تشكل المائع الفائق. هذا المائع الفائق قادر على الحركة عبر الشبكة المعدنية بدون أي مقاومة (أي بدون تأثيرات متبادلة) لأنه يأخذ كمية محدَّدة من الطاقة، تعرف بفرجة الطاقة، لتحطيم أزواج كوبر.

في الألمنيوم -وهو المادة الشائعة التي تصنع منها الدارات الكمومية الفائقة الناقلية- توافق فرجة الطاقة تواتراً 90GHz في درجة الحرارة 20mK. وقيمة هذه الفرجة هي أكبر بمقدار مرتبة في القيمة من قيمة فرق الطاقة بين السويتين في البتة الكمومية الفائقة الناقلية، والتي تعني أنه يمكننا "دفع" البتة الكمومية بمقدار مرتبة في القيمة دون تحطيم أزواج كوبر وتعريض الترابط الكمومي للمنظومة للخطر.

سلوك الإلكترون في السائل الفائق يتحدد تماماً بالتابع الموجي الكمومي. تحدد سعة هذا التابع عدد أزواج كوبر، بينما ترتبط قيمة

الطور بالتيار الفائق وأي حقل مغناطيسي مطبق. إن سعة وطور التابع الموجي متحولان مترافقان – هذا يعني أنهما يتعلقان بمبدأ الشك الذي يشير إلى عدم قدرتنا على قياس قيمتي المقدارين بدقة كافية في نفس الوقت. يرتبط الصنفان الأساسيان للبتة الكمومية الفائقة الناقلية؛ بتة كم الشحنة وبتة كم التدفق، مباشرةً بالمتغيرين السابقين؛ تتعلق بتات كم الشحنة بالسعة بينما ترتبط بتات كم التدفق بالطور.

المكون الأساسي في معظم البتات الكمومية الفائقة الناقلية هو أداة تدعى وصلة جوزفسون. وهي تتألف من طبقة رقيقة من أكسيد الألمنيوم، وهي مادة عازلة، أقحمت بين طبقتين فائقتي الناقلية من الألمنيوم ستصبح فائقة الناقلية عند التبريد إلى ما دون 1.2 K. الطبقة العازلة رقيقة جداً (بضعة نانومترات) بحيث إن أزواج كوبر تستطيع العبور نفقياً خلالها وتُزاوِج التوابع الموجية للناقل الفائق على جانبي الحاجز.

معظم دارات البتات الكمومية الفائقة الناقلية التي بنيت حتى الآن تحتوي على وصلات جوزفسون بالإضافة إلى أجزاء أخرى كالمكثفات التي توصل بأسلاك فائقة الناقلية مصنوعة من الألمنيوم.

نماذج مختلفة للبتات الكمومية

عند تصميم البتات الفائقة الناقلية هناك طاقتان مهمتان. طاقة جوزفسون Ej، وهي تقيس شدة الاقتران (الترابط) عبر الوصلة، بينما الطاقة الكولونية للشحنات Ec، وهي الطاقة اللازمة لزيادة الشحنة على الوصلة بمقدار 2e. الوصلة هي مكثفة بطاقة $Ec=4e^2/2c$ ، حيث e شحنة الإلكترون و C السعة.

إذا كانت Ec أكبر من Ej فإن الدارة تسعى إلى تثبيت أعداد أزواج كوبر. على كلٍّ فالعبور النفقي خلال الوصلة يمكن أن يقود إلى انتقال بين حالات تحتوي أعداداً مختلفة من أزواج كوبر. هذه المجموعة يمكنها أن تولد بتات كم الشحنة.

من جهة أخرى إذا كانت Ej أكبر من Ec، فهذا المطلب بأن يكون فرق الطور الكلي حول عروة مغلقة في الدارة من مضاعفات 2π يكون مسيطراً، والدارة يمكن استخدامها بمثابة بتة كم التدفق. وباختيار مناسب للوسطاء، فإن الانتقالات بين الحالات الطورية مثلاً من (0 الى $2\pi-$) يكون ممكناً.

تتألف دارة البتة الكمومية للشحنة من حجم صغير من مادة فائقة الناقلية، يعرف بصندوق أزواج كوبر، مرتبط بوصلة جوزفسون ضعيفة ويُسيَّر بجهد بوابة gV، عبر مكثفة. إذا كانت $Vg = e/Cg$، حيث Cg سعة البوابة، فعندئذٍ يكون للحالات الكلاسيكية التي فيها الصفر (0 >|) والواحد (1 >|) من أزواج كوبر الإضافية في الصندوق نفس الطاقة (انظر الشكل 1a).

على كلٍّ، يؤدي العبور النفقي الكمومي عبر وصلة جوزفسون إلى تشكيل حالتين كموميتين جديدتين: الأولى انضمام متناظر مكون من الحالتين الكلاسيكيتين الصفر والواحد (1 + >| 0 >|) بينما الأخرى انضمام عكسي التناظر (1 - >| 0 >|).

تختلف الحالتان الكموميتان الجديدتان بالطاقة 2Ej، وهذا الانضمام يشكل أساس بتة كم الشحنة (انظر الشكل 1b). بتطبيق إشارات متغيرة مع الزمن على بوابة الجهد، يمكن التحكّم بديناميكية المنظومة.

تنتج بتة كم التدفق النموذجية عند ربط ثلاث وصلات جوزفسون بأسلاك فائقة الناقلية لتشكل حلقة مغلقة، وتطبيق حقل مغنطيسي (عمودي على الحلقة) ليقود الدارة عن طريق التحكّم بالطور (انظر الشكل 1c).

نحتاج إلى الوصلات كي نؤمن "البقعة الضعيفة" حيث الانتقال بين الأطوار المختلفة للحالات يأخذ مجراه. يمكن صُنْع بتة كم التدفق باستخدام وصلة واحدة أو اثنتين، إلا أن استخدام ثلاث وصلات يسمح لسلوك الدارة بأن يكون توليفه الدقيق أكثر سهولة.

إذا كان التدفق المغنطيسي عبر العروة، Φ، مساوياً لنصف كم التدفق المغنطيسي في ناقل فائق، فإن الحالة الموافقة لفرق الطور صفر حول الحلقة (0 >|) تملك نفس الطاقة كما للحالة ذات فرق الطور 2π (1 >|).

حالة واحدة من هذه الحالات تقابل تياراً يجري حول الحلقة باتجاه حركة عقارب الساعة، بينما الحالة الأخرى توافق تياراً يتحرك بالاتجاه المعاكس. كما حدث مع بتة كم الشحنة، تتشكل حالتا انضمام كمومي جديدتان، ومرة أخرى يساوي فرق الطاقة بين الحالتين شدة العبور النفقي وهذا يتعلق بعدد الوسطاء (انظر الشكل 1d).

هناك نوع ثالث من البتات الكمومية الفائقة الناقلية يدعى عادة البتة الكمومية للطور. وهذا النموذج يستخدم وصلة جوزفسون واحدة بحيث تُحدَّد السويتان بواسطة الاهتزازات الكمومية لفرق الطور بين إلكتروديِ الوصلة.

هناك مشكلة بالنسبة للبتات الكمومية الفائقة الناقلية وهي وجود أكثر من سويتين دوماً في النظام. يمكن أن يوجد، على سبيل المثال، زوجان أو ثلاثة من أزواج كوبر في صندوق البتات الكمومية للشحنة، أو يمكن أن يوجد فرق الطور 4π أو 6π للبتات الكمومية للتدفق. على كل، بتصميم حذر فإن فرقِ الطاقة بين السويتين الجيدتين والأخريين السيئتين يمكن جعله كبيراً بكفاية ليمنع تسرب المعلومات الكمومية خارج البتات الكمومية.

هناك تقييدات جدية أخرى، فالبتات الكمومية المعزولة يمكن أن تكون شديدة الترابط، ولكن هذا الترابط يمكن إتلافه بتوصيلات الجملة بالعالم الخارجي (الكلاسيكي) والتي نحتاجها لمراقبة وقياس البتات. صممنا في تجاربنا دارة توصيل تجعل الترابط أمثلياً. من حيث المبدأ فإن تسيير الدارة عملية أسهل من قياس مقاديرها، لأن إشارة المنابع تميل لأن تكون قوية، بينما تكون إشارة البتات

الكمومية عادة ضعيفة جداً. التزاوج الشديد يجعل القياس أسهل، إلا أنه مُضر بعملية الترابط الكمومي. لذلك فإن المجرب يستنير بالنظرية ليصنع خياراته.

كيف يمكن صنع بتة كمومية الشحنة؟

إن أول بتة كمومية فائقة الناقلية تعرض إمكانياتها كانت بتة كم الشحنة. ففي تجربة رائدة أجريت في عام 1999 قام ياسونبو ناكمورا Y. Nakamura ومساعدوه في NEC في اليابان بصنع بتات كمومية الشحنة مؤلفة من وصلة جوزفسون صغيرة وصندوق من الألمنيوم لأزواج كوبر.

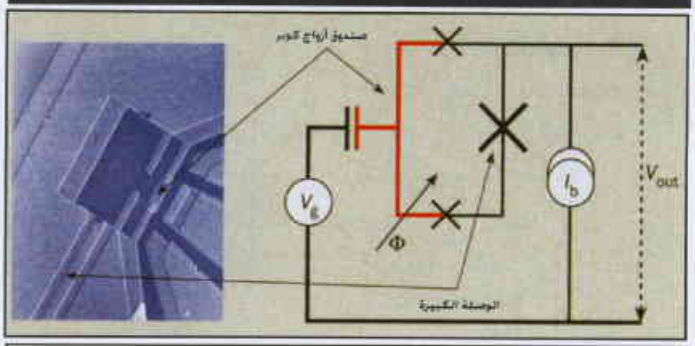
بدأ فريق NEC العمل بجهد بوابة دون e/Cg وهذا يعني أن الصندوق في الحالة "صفر". يحتوي الصندوق فعلياً على الملايين من أزواج كوبر في الحالة صفر، والتي تكون معتدلة كهربائياً، بينما تحتوي حالة "الواحد" على زوج كوبر إضافي. بعد ذلك قام الباحثون بزيادة الجهد بشكل مفاجئ إلى e/Cg لتوليد حالة انضمام لهاتين الحالتين الأساسيتين من حالات الشحنة. ونظراً لأن الحالة الأولية للمنظومة، وهي حالة الصفر، لم تكن واحدة من الحالات الذاتية الجديدة، فالمنظومة تهتز بين حالتي الانضمام بتواتر قدره، 2Ej/h حيث h ثابت بلانك (للمتابعة الإضافية انظر ناكمورا وزملاءه).

بعد فترة محدودة من الزمن خُفِّض جهد البوابة ثانية، وأعيدت المنظومة إلى إحدى حالتي الشحنة الأساسية. عند إضافة وصلة صغيرة إضافية إلى الصندوق أمكن تحديد فيما إذا كانت المنظومة تنتهي إلى الحالة صفر أو الحالة واحد، لأن الإلكترون غير الفائق الناقلية (الإلكترون العادي) يهرب عبر هذه الوصلة في كل مرة تؤول فيها المنظومة إلى الحالة واحد. كانت الإشارة المقروءة تياراً يتعلق بالقيمة النسبية لحالتي الصفر والواحد. بعد إجراء التجربة عدة مرات، بيَّن ناكمورا ومساعدوه أن احتمال عودة المنظومة إلى حالة الصفر أو الواحد تتذبذب مع ازدياد طول نبضة الجهد.

وسَّعت مجموعة NEC حديثاً هذا النوع من التجارب ليشمل زوجاً من بتات كم الشحنة، واستطاعت أن تعرض عمليات كمومية أساسية لزوج من بتات كم الشحنة (انظر ياماموتو وآخرين في قائمة المراجع). لسوء الحظ، هذه الأنواع من بتات الكم وتلك التقنية التي استعملت لقياسها لم يكن من السهل تطويرها، كما أن عملية القراءة تحدّ من طول الزمن الذي يستغرقه إنجاز العمليات الكمومية. وأكثر من ذلك، فإن نقاء بتة كم الشحنة محدود بالتقلبات العشوائية للشوائب المشحونة داخل أو بجوار حواجز الوصلات.

على كلٍّ من الممكن رفع سوية تصاميم بتات الكم المبنية على أساس شحنة الحالات، كما عرض كل من دانيل ايستيف وميشل

الشكل 2 - الكوانترونيوم



صورة مكروية إلكترونية ماسحة (اليسار) ومخطط دارة الكوانترونيوم الذي طورته CEA في سكلي. في هذه الدارة استُبدلت وصلة جوزفسون مفردة لبتة كم الشحنة بوصلتين صغيرتين على التوازي ربطتا إلى الوصلة الأكبر لتشكل حلقة مغلقة. مرة ثانية يشار إلى صندوق أزواج كوبر بالأحمر. على كل، يظهر الانضمام الآن بين تيارين متعاكسين يدوران في الحلقة التي تلاحظ بواسطة قياس التيار Ib، عبر الوصلة الكبيرة. ويجري التحكم بالمنظومة بواسطة الجهد Vg والتدفق المغناطيسي Φ.

دوفرت وزملائهما في مختبر CEA في ساكلي قرب باريس عام 2002. لقد طوروا نموذجاً بارعاً لبتّة الكم، دعوه الكوانترونيوم quantronium، مع مُقْرِئة readout مختلفة كلياً عما استخدمه فريق NEC.

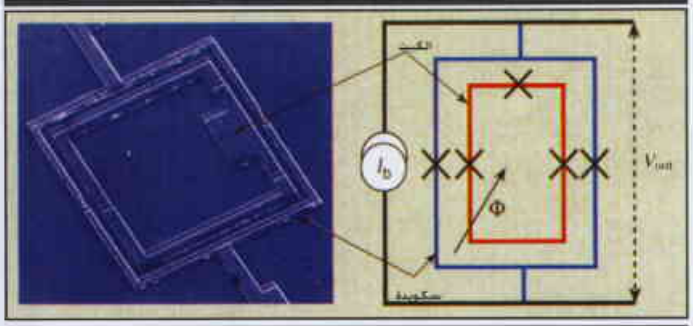
في الكوانترونيوم تشطر وصلة جوزفسون لصندوق أزواج كوبر إلى وصلتين صغيرتين متوازيتين (انظر الشكل2). تشير الحسابات إلى أنه في حالة عدم وجود شحنة إضافية في الصندوق يمر تيار صغير يجري باتجاه عقارب الساعة في الحلقة المشكلة من الوصلتين، وعندما يكون هناك شحنة واحدة إضافية في الصندوق فإن التيار يجري باتجاه معاكس لعقارب الساعة. هذا يعني أن التيار يمكن أن يقاس بدلاً من الشحنة، وأن الجهاز يمكن بسبب ذلك أن يوصف بمثابة بتة كم الشحنة بقارئة طورية.

لإجراء التجارب صَمَّمت مجموعة سكلي دارتها بحيث إن التيار يمر عبر وصلة جوزفسون ثالثة كبيرة. يمكن التمييز بين حالتي البتة الكمومية بقياس التيار الأعظمي عبر هذه الوصلة وذلك عندما لايطبق جهد.

قامت بعد ذلك مجموعة سكلي بتشعيع الكوانترونيوم بفوتونات مكروية بتواتر يكافىء (بطاقته) فرق الطاقة بين حالتي البتات الكمومية. من جهة أخرى أكد كل من ايستيف ودوفرت (الذي هو الآن في يال) ومساعديه أن الأمواج المكروية دفعت ماهو معروف باهتزازات رابي (Rabi) بين الحالتين بتواتر متناسب مع سعة إشارة الموجة المكروية.

كذلك استعملوا تقنية التجاوب المغنطيسي ليحددوا الأزمنة المميزة لحالة اللاترابط ولإيجاد "النقاط السحرية" – قيم جهد البوابة والتدفق في حلقة التيار والذي كان الترابط فيها هو الأقوى. مجموعة سكلي تدرس الآن منظومات مؤلفة من زوج من البتات الكمومية.

الشكل 3 - إجراء تجارب على بتة كم التدفق



صورة مكروية الكترونية ماسحة (اليسار). ومخطط دارة بتة كم التدفق في دلفت. قيس التيار المار في بتة الكم (المشار إليه بالأحمر) باستخدام جهاز التداخل الكمومي الفائق الناقلية (سكويدة SQUID). هذه الأداة، الملونة بالأزرق، هي حلقة تحتوي على وصلتين إضافيتين من وصلات جوزفسون.

العمل مع بتات كم التدفق

ركّزت مجموعتنا في دلفت في هولندا وبالتعاون مع تري أورلندو وزملاء في معهد ماستشوستس التقني في الولايات المتحدة الاهتمام على بتة كم التدفق لأن الضجيج المغنطيسي في الدارات العملية أصغر بكثير من الضجيج الكهربائي المتولد من الشوائب. استخدمنا دارة بتة كم التدفق النظامية –وهي مؤلفة من ثلاث وصلات جوزفسون موصولة بأسلاك من الألمنيوم فائقة الناقلية– بتدفق مغنطيسي، Φ، يساوي حوالي نصف التدفق المغنطيسي الكمومي في الناقل الفائق، $\Phi_0/2=h/4e$. الحالتان الأساسيتان تمثلان بمرور التيار في الحلقة باتجاه دوران عقارب الساعة (حالة الصفر) والتيار المعاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة (حالة الواحد).

أجريت القياسات باستخدام جهازالتداخل الكمومي الفائق الناقلية (سكويدة SQUID).

هذا الجهاز الذي يحتوي على وصلتي جوزفسون متوازيتين يُعتبر أكثر المكاشيف حساسية للتدفق المغنطيسي من بين المكاشيف المعروفة حتى الآن. وأكثر من ذلك فالسكويدات SQUIDs يمكن تصنيعها بنفس الأدوات التي تستعمل لصنع البتات الكمومية ذاتها (انظر الشكلين 3 و4).

تُنْقَل التيارات المارة في بتات الكم بواسطة بليون من أزواج كوبر، كما يتضمن العبور النفقي الكمومي عكس اتجاهات جميع الجزئيات في وقت واحد. منذ خمس سنوات خلت شكك كثير من الفيزيائين فيما إذا كان من الممكن حدوث العبور النفقي الكمومي في قطعة معدنية ذات أبعاد من رتبة عدة مكرونات. وفي عام 2000 أجريت عدة تجارب قام بها جونثان فردْمان ومساعدوه في ستوني بروك بالولايات المتحدة وأيضاً كاسبر فان دْروال ورفاقه في دلفت، بيّنت أنه يمكن توليد انضمام كمومي لحالات جهرية واضحة بحيث أن كافة أزواج كوبر يمكنها أن تنتقل في كلا الاتجاهين: في اتجاه عقارب الساعة وفي الاتجاه المعاكس في نفس الوقت (انظر Physics World August 2000 pp 23-24).

في هذه التجارب تم قياس امتصاص الإشعاع المكروي من قبل الدارة كتابع للتواتر والتدفق المطبق. بدا واضحاً من هذه المعطيات الطيفية أن بتة الكم لم يكن لها حالتان متساويتا الطاقة، بل تيار معاكس عند $\Phi \sim h/4e$، كما ستكون عليه الحال لو لم يوجد انضمام كمومي أو عبور نفقي. على الأصح أشارت المعطيات إلى تشكل حالتي انضمام جديدتين حالة متناظرة وأخرى عكسية التناظر.

واصلنا عرض اهتزازات رابي (Rabi) وقد قمنا مؤخراً بأول قياس طيفي لزوج من بتات كم التدفق، من جهة ثانية كنا قادرين على قياس فروق الطاقة كتابع للتدفق المغنطيسي المطبق. في غضون ذلك قام جون مارتينز ومساعدوه في المعهد القومي للمقاييس والتقانة (NIST) في بولدر، كولورادو، بإجراء تجارب مشابهة باستخدام بتة كم طورية أحادية الوصلة. وجد فريق (NIST) أن عدم الترابط في هذا النظام يحصل في الغالب من العيوب في حاجز الوصلة.

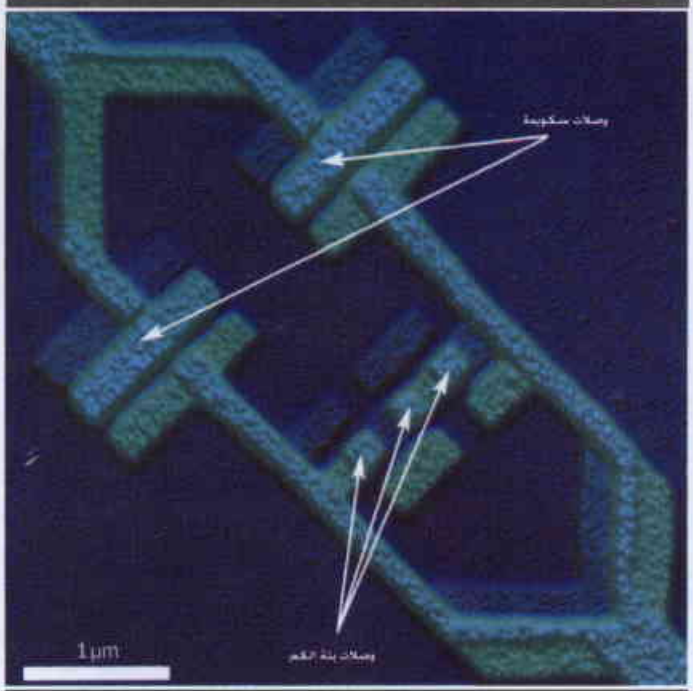
قيست الأزمنة الأطول لزوال الترابط –وهي تعبر عن مدة بقاء المنظومة مترابطة– فكانت حتى الآن ما بين 500ns و 4μs، رغم أن العامل الأهم هو عدد العطيات الكمومية التي يمكن إنجازها قبل أن يختفي الترابط. نظراً لأن التشغيل النبضي يمكن أن يكون قصيراً حوالي 1ns، يمكن أن يشكل من حيث المبدأ مئات أو ألوفاً من العمليات، على الرغم من أن الحاسوب الكمومي العملي يحتاج أن يكون قادراً على القيام بـ 100000 عملية تحكم.

إذا أحكم تصميم بتة الكم الفائقة الناقلية جيداً، فإن اللاترابط يحدث غالباً من المشاكل المادية كالعيوب، أكثر من تأثير الدارة الخارجية (الكلاسيكية). بدأت المساعي حالياً في دلفت وجامعة كاليفورنيا في سانتا بربارا إلى حيث انتقل مؤخراً مارتينز لاستخدام التقنية التنضدية لصنع وصلات جوزفسون بعيوب أقل. في وقت مبكر من عام 2004 قام روبرت شولكوبف و زملاؤه من جامعة يال في الولايات المتحدة، وبشكل مستقل، أيضاً أرينل شورسكو و معاونوه في دلفت عرضوا اقتران الترابط بين بتة كمومية والمهتز التوافقي، و بينوا أن فوتوناً واحداً يمكنه الانتقال من بتة كمومية إلى المهتز. إن القدرة على ضم اتصال كمومي قائم على الفوتونات لمسافات بعيدة بواسطة حواسيب كمومية مصنوعة من بتات كمومية فائقة الناقلية هي من التطلعات المثيرة لمستقبل المعلومات الكمومية.

ماذا بعد:

لم تصبح بعد بتات الكم الفائقة الناقلية لبنات بناء مثالية للحواسيب الكمومية المستقبلية. الاهتزازات التوافقية الكمومية التي لوحظت في التجارب حتى الآن لها سعات هي، في أحسن الأحوال

الشكل 3 - بتة كم التدفق



هذه صورة لبتة كم التدفق بالإضافة إلى منظومة سكويدات SQUID تمّ الحصول عليها باستخدام مجهر القوة الذرية في دلفت. شكلت بتة الكم بحلقة صغيرة يمين أسفل، ووصلات جوزفسون الثلاث أشير إليها بالأسهم.
السكويدة SQUID هي الحلقة كبيرة وتضم وصلتي جوزفسون. لما كانت حلقات السكويدات وبتات الكم تشترك بجزء كبيرمن محيط الدارة لذا فإنها ستترابط بشكل وثيق.
التقنية التي استخدمت لصنع هذه الدارة تدعى بتبخير الظل shadow-evaporation.

نصف ما يجب أن تكون عليه. لا يمكننا القول ما إذا كان ذلك يرجع إلى مشاكل تتعلق بالبتات الكمومية أم إلى قياسات غير وافية، وعليه يجب العمل بجدية لتحسين كلا الوجهين.

نحن بحاجة أيضاً لزيادة أزمنة اللاترابط، خاصة، عن طريق تحسين تقنيات التصنيع لتخفيض عدد العيوب في حواجز النفق. هذا لا يجري بسهولة ولا يحدث بسرعة. فتحسين تقنيات التصنيع تحتاج إلى تحسين المنتَج و نوعية النماذج، والتي سوف تسرع الأبحاث. هناك حاجة أيضاً لطرق أفضل لاقتران البتات الكمومية مع بعضها ومع العالم الخارجي، وأيضاً من أجل طرق جديدة لتغيير هذا الاقتران بين وصل وفصل. يمكننا أن نتوقع تقدماً في هذا المجال في العام القادم أو الذي يليه .

التقدم في تقانة التصنيع وتقنية الاقتران ستكون مفيدة للبحث الأساسي. وسيتابع الفيزيائيون، على سبيل المثال، أبحاثهم لاستخدام الدارات الفائقة الناقلية لاختبار المفاهيم الأساسية للنظرية الكمومية، كالتشابكات والحدود بين العالم الكمومي والعالم الكلاسيكي. يبقى أن نرى ما إذا كان بالإمكان التحكم ببتات الكم الفائقة الناقلية بالدقة التي نحققها في تلك البتات التي أساسها الذرات المحتجزة أو التجاوب المغنطيسي، أو فيما إذا كان باستطاعة الحواسيب الكمومية المبنية من بتات الكم الفائقة الناقلية زيادة أدائها بنجاح، من الناحية النظرية هذه الأشياء ممكنة ولكن سيحتاج الأمر إلى حوالي 20 سنة على الأقل لنتمكن من بناء حاسب كمومي من المستبعد أن يكون لمعالج المعلومات الكمومي الفائق الناقلية 2024 التصميم والتخطيط الذي نصممه الآن، أو أن يستخدم الخوارزميات لتصحيح الخطأ الكمومي أو التحليل إلى العوامل التي اقترحت حتى الآن.

في الحقيقة، إن البتات الكمومية الصلبة تختلف عن الترانزستورات كاختلاف الليزر عن مصباح الإضاءة. سنبقى نتعلم كيف نستعملها ولماذا نستخدمها.

سوق اليورانيوم ومصادره*

جورج كابيس
AREVA/ COGEMA-إدارة عمليات التسويق
تيري آرنولد
شركة كهرباء فرنسا-دائرة الوقود النووي

ملخص

تحت تأثير ترابط مجموعة من العوامل، كالتساؤلات حول مواجهة التغيرات المناخية وارتفاع أسعار النفط والتراجع المعلن في موارده، والتغيّرات الجيوسياسية الكبرى والنمو في آسيا، عادت الطاقة الكهربائية المولّدة نووياً للظهور على مسرح الأحداث.

ضمن هذا السياق، طُرح علينا التساؤل التالي: هل يمكن أن يكون الانشطار النووي مصدراً دائماً للطاقة، بشكلٍ خاص، مع الأخذ بعين الاعتبار توافر موارد اليورانيوم؟

يهدف هذا المقال إلى توضيح صورة المعارف المتوافرة حول موارد اليورانيوم العالمية وحدود الارتيابات فيها، إضافة إلى الربط بين المعارف حول هذه الموارد وتطور السوق.

كخاتمة، هناك مقترحات لبعض الطرق المحتملة لتحسين طريقة استخدام مصادر اليورانيوم، بشكلٍ خاص، لتخفيف أثر تقلبات أسعار السوق.

الكلمات المفتاحية *طاقة، تغيُّرات مناخية، أسعار النفط، تطورات جيوسياسية، طاقة كهربائية نووية، انشطار نووي، مصادر اليورانيوم، أسعار السوق.*

مسألة المصادر وديمومة الطاقة النووية

عادت مسألة الطاقة المستقبلية لكوكب الأرض للظهور على مسرح الأحداث، كنتيجة للتأثير المشترك للتساؤلات حول مواجهة تغيُّرات المناخ وارتفاع أسعار النفط والجدل القائم حول نضوبه المعلن والتطورات الجيوسياسية الكبرى، كالنمو المتسارع للاقتصاد الصيني وعدم الاستقرار في منطقة الشرق الأوسط.

ضمن هذا السياق، طُرح علينا التساؤل التالي: هل يمكن أن يكون الانشطار النووي مصدراً دائماً للطاقة؟ مع سؤال غامض يتعلق بكفاية موارد اليورانيوم.

لم تكن الآراء قليلة، وهي من مصادر مختلفة، كثير منها دون اختلافات فيما بينها. ومع ذلك، فقد أظهرت التجربة قبل ثلاثة عقود مضت مع «نادي روما» في تقريره بعنوان «حدود للنمو Limits to Growth» وتقارير أخرى كثيرة الاختلافات أو التواضع في التنبؤ بالمستقبل بصورة أو بأخرى. إن بعض هذه الآراء يستحق ذكرها ونقدها، سواء كانت صادرة عن أشخاص أو مجموعات بارزة، أم لكونها على صلة وثيقة بالموضوع.

وكمثال عن الرؤية المتشائمة، يمكن أن نستشهد بالفلكي الفيزيائي أوبير ريف H. Reeves الذي يؤكد أنه في ظل التواتر الحالي «فإن اليورانيوم سينضب قبل نهاية هذا القرن بكثير»، و"كاستنتاج ليس للطاقة النووية على الأرجح أي مستقبل (ماعدا، بشكلٍ محتمل، الجانب المتعلق بالاندماج النووي المسيطر عليه...)"..(صحيفة اللوموند في عددها الصادر بتاريخ 2 نيسان/ أبريل 2002).

ومثال الرؤية المتفائلة يقدمه لنا تقرير بعنوان «MIT study 2003[1]» مع هذا التأكيد: «نعتقد أن التزويد العالمي بخامات اليورانيوم المتوافرة بسعرٍ معقول...وضمن إطار دورة وقود نووي مفتوحة، بدون عمليات تدوير) سيكون كافياً لتزويد وإنشاء مجموعة مكونة من 1000 مفاعل خلال نصف القرن الجاري (MIT study 2003، الصفحة 3 و4).

---

* نشر هذا المقال في مجلة RGN, No: 5, October - November 2004.
- المقال مأخوذ من عرض مقدم خلال يوم «أمثلة المصادر القابلة للانشطار والمخصبة» المنظم في 9 حزيران/يونيو 2004 في باريس من قبل القسم الفني 5 «دورة الوقود» لمنظمة SFEN.
(1) مستقبل الطاقة النووية-دراسة متعددة الاختصاصات-MIT 3002.

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

يستند هذا التفاؤل إلى مقال نُشر عام 1980 في مجلة Scientific naciremA [2]، يؤكد أن هبوط المحتوى المتوسط للخام بمعامل 10، يؤدي إلى ضرب كمية اليورانيوم المتوافر بمعامل 300 ...»، إضافة إلى التقييم المكافئ الصادر عن «مركز معلومات اليورانيوم الأسترالي Australian Uranium Information Center »: «إن تضاعف أسعار اليورانيوم .. يمكن أن يتيح مضاعفة موارد اليورانيوم المقيسة (secruoser derusaem) 10 مرات».

ومع الأخذ بعين الاعتبار وجهات النظر المتباينة إلى هذه الدرجة، لن يستطيع صانعو القرار أو الجمهور تكوين رأي سديد بسهولة. تهدف العناصر التالية إلى توضيح هذا الجدل.

ضرورة الرؤية بعيدة المدى

أين يتوقف المدى البعيد؟ إن الجدل المتعلق بتعريف التطور المستدام يستخدم غالباً كوحدة للزمن مفهوم «جيل» بدلاً من سنة. وهذا النمط من الوحدات ليس غريباً على الخبراء في مجال الطاقة النووية. فالصناعة النووية تدهش دائماً بالمدى البعيد الذي تتضمنه. كمثال عملي: إن مفاعلاً نووياً لإنتاج الكهرباء EPR يتم طلبه اليوم ويبدأ العمل في عام 2010، يتطلب تزويداً بالوقود حتى العام 2070.

ولنتذكر أيضاً الجدل القائم حول زمن حدوث ما يسمى «بذروة النفط للملك أوبير King Hubert»، هل في العام 2010، أو 2020، أو 2030 ...؟ لقد قادت العواطف والمصالح بدورها إلى الوصول إلى إطلاق مفهوم «خوف النفط» أو البتروفوبيا لوصف من يميل لتحديد زمن قريب جداً، أي من يتصدى ببساطة للموضوع (روبير مابرو، معهد أكسفورد لدراسات الطاقة).

إلا أن الطاقة النووية ليست مثل النفط، فكما بيَّنا في مثالنا حول المفاعل EPR فإننا نضع المدى الأقل لتساؤلاتنا أبعد كثيراً من هذه التواريخ، فلا ينبغي أن يصنع الصناعيون مأزقاً حول المشاكل المتعلقة بتوافر موارد اليورانيوم، سواءً أكانوا في موضع من يطلب أم من يبيع مفاعلات جديدة.

الموارد المعروفة حتى هذا اليوم: مخططات وتفسيرات. ما هي معارفنا حول «الموارد المنتهية» لليورانيوم ؟

بعض الوقائع المحرضة

أصبح النوع البشري يدرك جيداً أن هذا الكوكب الذي يأويه محدود. وبشكل بديهي يبدو أن هذا لا يمكن إلا أن يكون كذلك أيضاً بالنسبة للمصادر المعدنية (الفلزية)، وهذا ما يشكل بالتأكيد أمراً مقلقاً. ولا تكفي مع ذلك صياغة التساؤل حول الموارد المنتهية لنستطيع إيجاد الإجابة على ذلك.

في الواقع، ومع احتمال تخييب أمل القارئ، يكفي أن نذكّر بما يلي: على الرغم من التقدم في مجالي كيمياء الفضاء والجيوكيمياء، والذي سمح لنا بالحصول على فكرة جيدة عن مجمل عناصر جدول ماندلييف الدوري، كالمحتوى المتوسط لكوكب الأرض والوحدات الكبرى المكونة لها، ومهما تقول بعض المنشورات «ذات الصبغة العلمية» فإنه لا توجد أية طريقة جادة للتقييم بواسطة الحساب حول «المصادر المنتهية» لكوكبنا...كما لا يوجد أيضاً تعريف لما يسمى «المصادر المنتهية المديدة». على سبيل المثال هل من المعقول أن نخطط لطحن طبقة بعمق 1 أو 2 كم من القشرة الأرضية طحناً دقيقاً ومستمراً.....؟

إضافة إلى ذلك، فإن كمية اليورانيوم المحتواة في «المكامن» المعروفة هي أقل بكثير من كبر مرتبة الارتياب في تقييم حمولة اليورانيوم المحتواة في صخور القشرة الأرضية (الارتياب أعلى من 50 غيغا طن يورانيوم). هذه الحقيقة لوحدها تسمح لنا أن نضع في المنظور غياب الجدوى من وضع «النماذج» مثلما يقترح البعض، بشكل خاص، تلك النماذج القائمة على خطوط وإحداثيات لغارتمية، والمبنيَّة على بعض النقاط الممثلة للمواد الجيولوجية المتباينة بشكل كبير (خامات مصنفة في الغلاف المائي).

ختاماً، إن العمق الذي يمكن استخراج الخامات منه أعلى بكثير (تقريباً 3 إلى 5 مرات) من العمق الممكن الوصول إليه باستعمال الطرائق الجيوفيزيائية عند البحث عن مكامن اليورانيوم.

موارد اليورانيوم المصنفة

معلومات متوافرة وتعاريف

يعد «الكتاب الأحمر» الذي يتم نشره كل سنتين من قبل المنظمتين الدوليتين، وكالة الطاقة النووية (NEA) والوكالة الدولية للطاقة الذرّية (IAEA) مصدراً فريداً للمعلومات حول هذا الموضوع. تنشر هذه الوثيقة جرداً بموارد اليورانيوم في تاريخ محدد كما هو مبين في تقارير حكومات الدول المشاركة. يبين هذا الطابع «صورة آنية» بوضوح أنه لا يمكن بأي حال اعتبار المجموع المصنف في «الكتاب الأحمر» مؤشراً حول «الموارد المنتهية» بل يجب تفسيره ببساطة كمجموع يعكس المعلومات المتوافرة حتى تاريخ نشر الوثائق من قبل الدول المعنية.

وبدون الدخول في تفاصيل التعريف التقني لفئات الموارد الموثقة، يكفي أن نبين أن موارد اليورانيوم تقسم وفقاً للتدوين المتبع حالياً في الكتاب الأحمر بالطريقة التالية: محور «المعارف الجيولوجية» بدءاً من الموارد المؤكدة بشكل دقيق وانتهاءً بالموارد المأمولة (انظر التعاريف في الأسفل) ومحور حول التكلفة، حالياً مع أربع فئات لتكلفة الحصول على هذه الموارد (forward marginal cost).

أما حدود التكلفة المعتبرة فهي التالية: أقل من 40 دولاراً أمريكياً لكل كغ يورانيوم (تقريباً 15 دولاراً لكل ليبره (327 غ) من U_3O_8)؛ ومن 40 إلى 80 دولاراً أمريكياً لكل كغ يورانيوم (15 إلى 30 دولاراً لكل

(2) ديفايس وماك غريغور العلمي الأمريكي، الجزء 242 رقم 1 حزيران 0891.

ليبره من U_3O_8)؛ ومن 80 إلى 130 دولاراً أمريكياً لكل كغ يورانيوم (30 إلى 50 دولار لكل ليبره من U_3O_8) وأكثر من 130 دولاراً أمريكياً لكل كغ يورانيوم (مع ملاحظة أنه كانت توجد فئة 130 إلى 160 دولاراً لكل كغ يورانيوم في نهاية عقد السبعينيات).

أما فئات المعارف الجيولوجية فهي التالية:

- موارد تقليدية (وهذا يعني حيث يكون اليورانيوم المنتج الفريد أو الأساسي) موصوفة أنها معروفة، وتقسم إلى:

- «موارد مؤمنة إلى حدٍّ معقول» (RRA) وهذا يعني بشكلٍ واضح أنها غير محدودة في الحجم بشكل واف، ومعروفة المحتوى بما يسمح بإجراء التقييم الملائم لتكلفة الإنتاج.

- «موارد تكميلية مقدرة من الفئة الأولى» (RSE-1) تقابل بشكلٍ أساسي امتداداً أقل تقييماً بالمقارنة مع الفئة السابقة.

- موارد تقليدية معروفة قليلة جداً أو غير معروفة، وتقسم إلى:

- «موارد تكميلية مقدرة من الفئة الثانية» (RSE-2). على الرغم من أن تسميتها قريبة جداً من الفئة (RSE-1)، لكن يقصد بها الموارد المأمولة بشكلٍ أكبر بكثير، مع أن هذا المصطلح ليس كافياً تماماً في كل الحالات (على سبيل المثال الولايات المتحدة الأمريكية). ومن ناحية أخرى فإن دراسة تغيير التسمية جارية من أجل «الكتاب الأحمر» القادم. ويتعلق الأمر بشكلٍ عام بإمكانات المصادر الموجودة في نطاق ما انطلاقاً من مؤشرات يورانية غير معروفة سابقاً أو معروفة قليلاً.

- «موارد مأمولة» وهي عبارة عن إمكان محتمل مقدر بناءً على رأي الخبراء أو على نتائج حسابات إحصائية، تتوافق من حيث الأساس مع «تخمينات» حقيقية. وفي معظم الحالات، تستند إلى تحاليل للبيئة الجيولوجية، ولا تقابل إلا نادراً مؤشرات محددة بشكلٍ جيد على الأرض. ولهذا لا يجوز أن تكون نهجاً «للموارد المنتهية» لأن النماذج التي يتنبأ بها الخبراء تكون في المقام الأول قريبة من تلك المميزة للمكامن الاقتصادية المعروفة حالياً.

قيمة الموارد المنشورة؛ تحليل ونهج لحساسية الكلفة

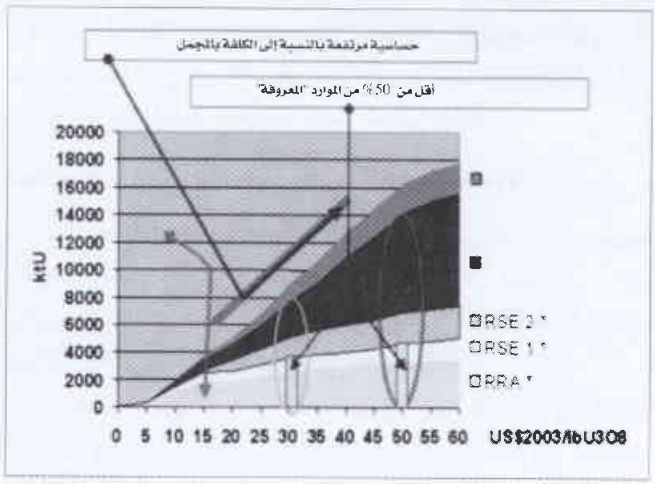
يلخص الجدول1 الكميات المقدرة وفقاً للشبكة المعرفة أعلاه. باختصار، تشكل موارد اليورانيوم ضمن ما يسمى بالموارد المعروفة (RRA + RSE-1) حوالي 4.6 مليون طن، ومن الممكن الحصول عليها بكلفة أقل من 50 دولاراً أمريكياً لكل ليبره من U_3O_8، وما مجموعه 14.4 مليون طن من اليورانيوم، بتضمين كافة الموارد المأمولة. وهذا ما لا يأخذ بعين الاعتبار الموارد التي تدعى غير تقليدية (يورانيوم، مكامن الفسفات وبعض مكامن الفحم والشيست الأسود...) المقدرة بين 15 و 25 مليون طن يورانيوم، والتي يجب تقريب مساهمتها المحتملة على شكل تدفق كامن سنوي بدلاً من الكامن العالمي المتوافر.

الجدول 1. موارد اليورانيوم المصنفة والمكتشفة بتاريخ محدد والمأمولة

مصادر غير تقليدية	مصادر تقليدية				مليون طن U
	مأمولة	RSE-2	RSE-1	RRA	دولار/كغ U
تقريباً 15 إلى 25 مليون طن السعر غير معلوم	4.4	1.5	0.8	1.7	< 04
			0.3	0.8	80-40
		0.8	0.3	0.7	130-80
	3.1	؟	؟	؟	> 130
	7.5	2.3	1.4	3.2	
25-15	9.8		4.6		المجموع
	14.4				

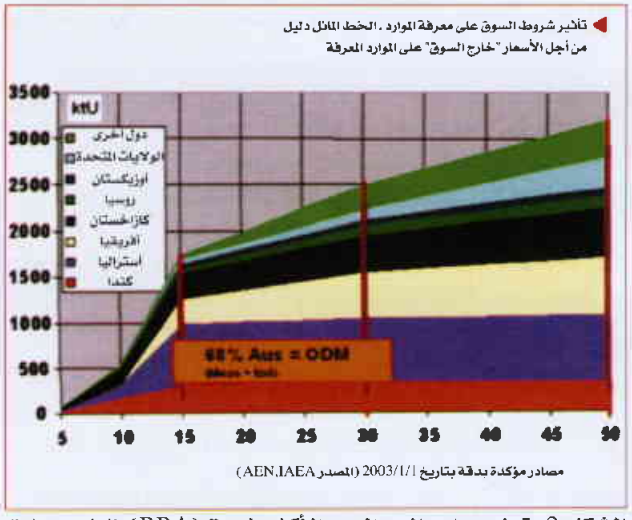
المصدر: الكتاب الأحمر IAEA : طبعة 2003 (المصادر بتاريخ 2003/01/1).

يبين الشكل1 بصورة تخطيطية عناصر الجدول 1. مستكملة بتقدير اليورانيوم المستثمر في الماضي، مفرقاً تبعاً للكلفة. يبدو وجود عنصرين واضحين بشدة: أولاً الحساسية الكبيرة للموارد بالنسبة إلى الكلفة، وأيضاً واقع أن نصف الموارد فقط تقريباً يقابل موارد تدعى «معروفة».



الشكل1. صورة تخطيطية للموارد «التقليدية» لليورانيوم في بداية عام 2003 مع التفسيرات.

ويُظهر الشكل2 رؤية أكثر تفصيلاً للفئة RRA بتابعية الكلفة. الفائدة الأخرى التي تبدو أكثر وضوحاً هنا، هي الخط المائل الذي يشكل غياب الإعلان عن RRA بأسعار أكثر من 40 دولاراً لكل كغ يورانيوم من قبل الدول المنتجة الرئيسة مثل كندا وأستراليا، وهذا يقابل حقيقة أن مديري هذه الصناعة لا يهتمون في حساباتهم، سوى بالمكامن الاقتصادية في السياق الحالي. في حين أن الحكومات ليس لديها الإمكانات لإدخال المعلومات «التكميلية» حول فئات الأسعار المرتفعة. لدينا هنا إذن دليل لتقييم أقل للمكامن اليورانية المعروفة. إن هذا التقييم المنخفض لا يعدله في معظمه الإعلان عن موارد مأمولة كنسب.



الشكل 2. توزع موارد اليورانيوم الأكثر شهرة (RRA) للبلدان المنتجة الرئيسة بدلالة الكلفة.

كملخص، يوحي الجدول المنشور والتحليل المرافق أنه إذا كانت جهود الاستكشاف جدية، فعندها يمكن ملاحظة وجود تأكيدات واستكشافات إضافية، وبما يحسن بالمحصلة موارد اليورانيوم التقليدية المعروفة. ولكن يبدو جلياً أيضاً أن مثل هذه الجهود لا يمكن تمويلها إلا إذا بدا هذا الإنفاق مبرراً. وهذا ما يقودنا إذن إلى دراسة ملاءمة الموارد المعروفة للطلب الحالي والمنظور.

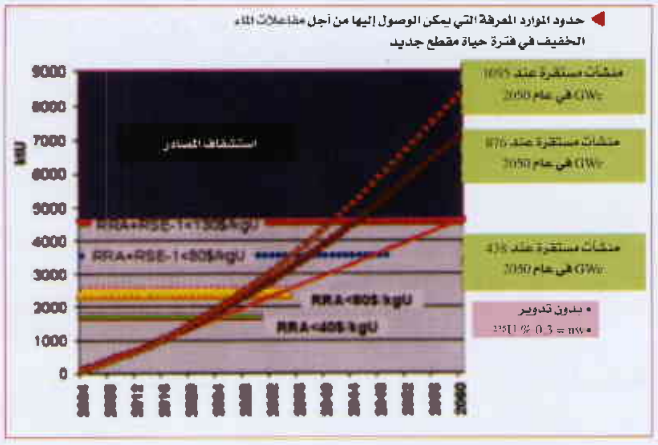
سيناريوهات المنشأة النووية وكمون الموارد المحددة

ليس هدفنا هنا مناقشة سيناريوهات تطور المنشآت النووية لأغراض توليد الكهرباء، حيث يوجد العديد من المنشورات التي تعالج هذا الموضوع. بل سنوجز تقييم الطلب عبر ثلاثة سيناريوهات من الآن وحتى العام 2060 ومقارنته مع جدول الموارد.

تم الأخذ بعين الاعتبار ثلاثة معدلات نمو للحاجة لليورانيوم. استندت هذه المعدلات إلى سيناريو «الجمعية النووية العالمية» (WNA) الذي يُعدّ مرجعياً وقد نُشر في عام 2003.

يقابل معدل النمو الأول منشآت نووية مستقرة بعد عام 2025 عند حوالي 438 GWe (للمقارنة مع المجموع الحالي البالغ 359 GWe، الذي يحقق تقريباً 16% من الكهرباء المولدة نووياً في الإنتاج العالمي الإجمالي). ويقابل الثاني تضاعفاً تدريجياً للأول مع 876 GWe الذي يمكن أن يتحقق في عام 2050، أما الثالث فيقابل الضرب بمعامل 2.5 للأول مع سعة تأسيس مستقرة عند 1095 GWe في عام 2050. إن المثال الأخير هذا قريب من سيناريو «تقرير MIT» الذي يتوقع بموجبه 1000 GWe في عام 2050.

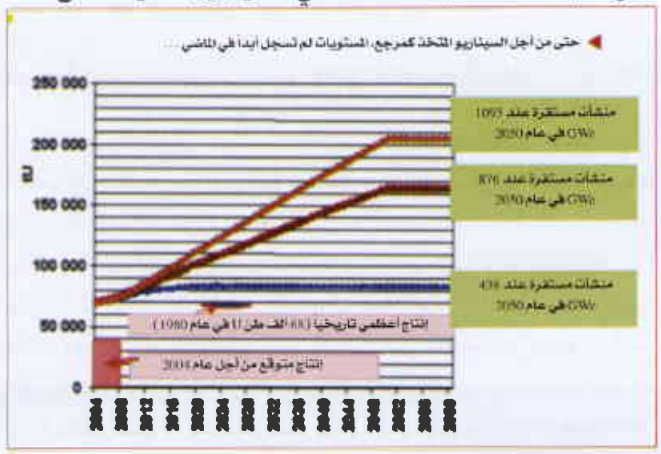
يضع الشكل3 في المنظور جدول الموارد والحاجات التراكمية لليورانيوم. تم حساب هذه الحاجات بنسب فضلات دنيا تقدر بحوالي 0.3 % من ^{235}U من أجل الإغناء النظيري، وهذا ما يخفض الكمون الاقتصادي التكميلي من 20-30% من الحاجات. من جانب آخر، لم تؤخذ بعين الاعتبار عملية التدوير المحتمل ليورانيوم إعادة المعالجة ولا للبلوتونيوم، وهذا ما يمكن أن يساعد أيضاً في الحصول على كمون اقتصادي هام.



الشكل 3. مجموع موارد اليورانيوم «المعروفة» والسيناريوهات الثلاثة لمنشآت الطاقة الكهرنووية.

يسمح هذا الشكل برؤية أن مجموع الموارد المعروفة تسمح من حيث المبدأ بالتغطية الإجمالية للحاجات التراكمية من الآن وحتى 60 سنة من أجل سيناريو المنشآت المستقرة عند 438 GWe. وهذا ما يفترض بشكل جلي اللجوء إلى الفئة ذات السعر الأكثر ارتفاعاً، أي 50 دولاراً أمريكياً لكل ليبره من U_3O_8. أما من أجل السيناريو الثاني والثالث، فسوف نبلغ حدود الموارد المعروفة ذاتها نحو عام 2040. في الختام، يقود هذا النهج غالباً إلى نتيجة مطمئنة.

يقود الشكل 4 إلى التقليل بشكل طفيف من هذا التفاؤل. فهو يبيّن مستوى الإنتاج السنوي المطلوب من أجل إنتاج خامات اليورانيوم في العالم. وهنا نرى أن الإنتاج المتوقع من أجل عام 2004 (تقريباً 36 إلى 38 ألف طن U) لا يغطي سوى 60% من الحاجات المحسوبة، بفعل تلاشي المخزونات الهامة. كما نرى أيضاً أن الإنتاج الأقصى المسجل تاريخياً عند 68 ألف طن U تقريباً في عام 1980، لا يغطي حتى كمية 80 ألف طن U المسماة في السيناريو الكمية الأدنى.



الشكل 4. سيناريوهات الطلب السنوي لليورانيوم.

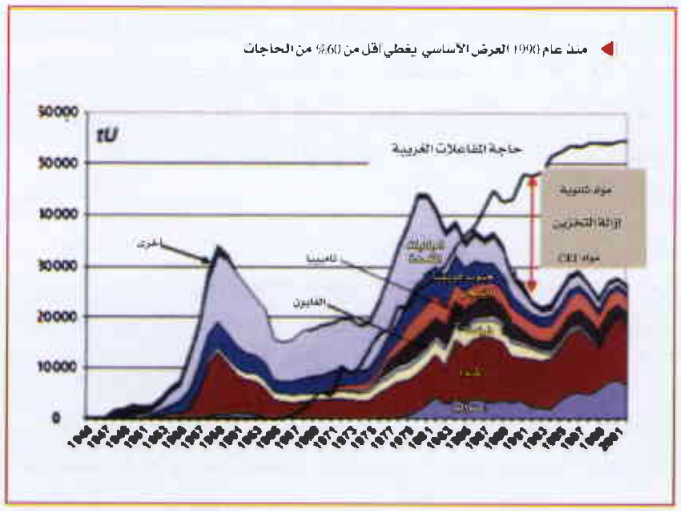
توحي هذه العناصر إذن من جهة، أن بعض عناصر التوتر ستميز فترة المستقبل القريب، ومن جهة أخرى يجب التخطيط لزيادة إنتاج خام اليورانيوم في العالم زيادة محسومة، والتحضير له وتقييمه من حيث جدواه مع خط التسديد للأفق 2020 أولاً، ومن ثم مع الصعود الأسي المدعم بشدة.

كاستنتاج أولي، تجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من مجموع المصادر المحددة والمصادر المأمولة المهمة جداً، فإن النمو المتوقع لمعدل الإنتاج السنوي يفترض في آن واحد إنتاج كميات أكبر من الكميات المعلنة وتجديد جهود الاستكشاف والتطوير الموجهة لتحضير الإنتاج عند أفق 2020 وما بعد ذلك. ويبقى تحرير التمويل المرتبط بذلك وبطبيعة الحال فإن الجدوى مرتبطة بشدة مع حالة السوق.

وضع سوق اليورانيوم وتأثير شروط السوق على الموارد

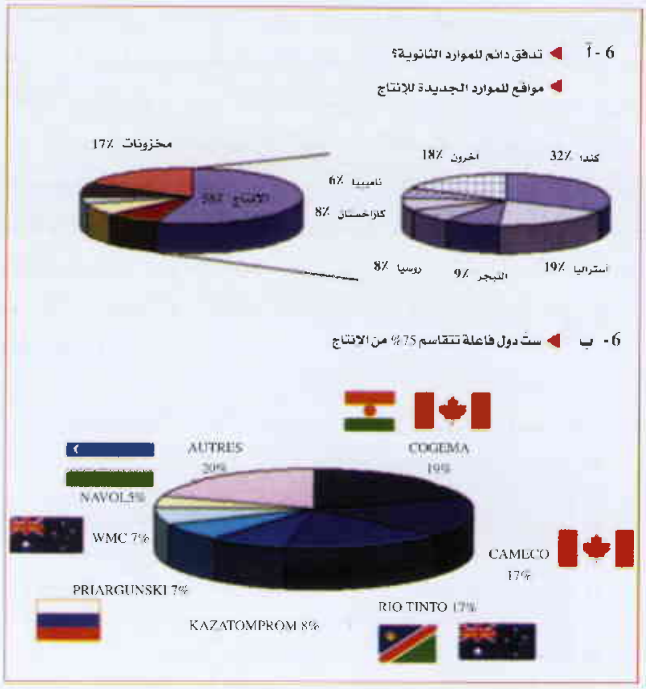
وضع سوق اليورانيوم

«التوازن الحالي»: مثلما يوضح الشكل 5، فقد أصبح هذا التوازن مؤمناً منذ العام 1985 في العالم الغربي بفعل عمليات إزالة التخزين وموارد أخرى ثانوية مثل إعادة التدوير. إن التمعن بالشكل ذاته من أجل السنوات السابقة لعام 1985، يشير إلى الحجم الكلي لليورانيوم المخزن، والذي يوجد جزء منه على أشكال إلى حدٍّ ما متوافرة حالياً، لا تحتاج أن تكون اختصاصياً في الموضوع من أجل أن تخمن أن التوازن الحالي لن يكون دائماً، وبأن العودة إلى الإنتاج الخامي في طور الحاجات التي تفرضها المفاعلات يُعدّ أمراً لا مهرب منه على المدى القصير.



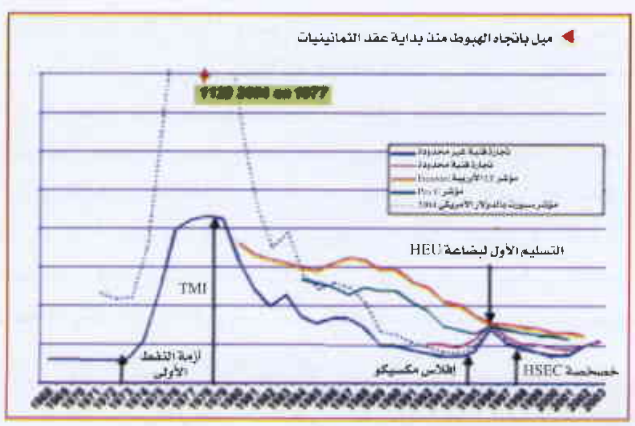
الشكل 5. توازن السوق الغربية.

حالة العرض: يظهر الشكل6 من أجل عام 2002، كيف يمكن ضمان توازن السوق مع إنتاج لا يغطي سوى 58% من الطلب. صدر 82% من هذا الإنتاج الأولي من ستة بلدان، في حين أن ستة بلدان فاعلة تشكل 75% من هذا الإنتاج ذاته. إن هذا التركيز النسبي للإنتاج هو نتيجة للحالة المتردية للسوق التي جعلت عدداً محدوداً من الفاعلين المهمين قادراً على التحمل.



الشكل 6. عرض اليورانيوم الطبيعي (المصدر تقرير WNA 2003 من أجل معطيات عام 2002).
6-أ. عرض إجمالي وإنتاج خامي لكل بلد.
6-ب. البلدان الفاعلة الرئيسة للإنتاج الخامي (36097 طن U في عام 2002).

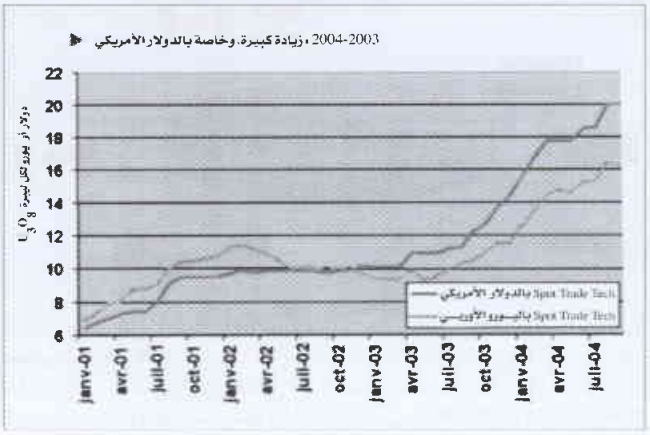
التطور الماضي لمؤشرات السوق: يشير الشكل7 إلى الميل باتجاه الهبوط لأسعار السوق المسجلة منذ بداية عقد الثمانينيات. إذا افترضنا أن تحويل هذه المؤشرات إلى عملة ثابتة من عملات اليوم، يبدو أن سعر «سبوت» سيعادل نحو 110 دولارات أمريكية لكل ليبره من U_3O_8. ومن المثير بشكل واضح الاقتراب من هذا المستوى مع 20 دولاراً أمريكياً وتحقيقه في أيلول 2004 والسعر بقيمة 50 دولاراً أمريكياً لكل ليبره من U_3O_8 من أجل أسعار فئة المصادر الأكثر كلفة المصنفة في الكتاب الأحمر.



الشكل 7. مؤشرات السوق

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

منظور التطور للسوق ومؤشرات السعر: من الصعوبة بطبيعة الحال التنبؤ بالتطورات المستقبلية بدقة. فالخطوط البيانية التي تحدد الاتجاهات في الماضي القريب (الشكل8) تُظهر بشكلٍ جلي وجود صعود كبير لسعر «سبوت» لليورانيوم بشكل أساسي منذ بداية عام 2003. ويتفق عدد من الاختصاصيين على أن هذا الصعود مرتبط مع توتر السوق بفعل ندرة المصادر الثانوية المتوافرة في الدورة الاقتصادية. ومع ذلك، من غير الممكن الإعلان منذ الآن عن أمور مؤكدة أكثر وضوحاً، بسبب أن بعض الكميات من المواد العسكرية والاستراتيجية مازالت أيضاً قائمة، والتي لم يتحدد مصيرها بعد من قِبَل الحكومات المالكة، وهذه بشكلٍ شبه حصري هي روسيا والولايات المتحدة.



الشكل 8. التطور الحديث لمؤشرات سعر «سبوت» لليورانيوم.

آفاق التطور والمخاطر المرتبطة بها – رؤية الكهربائيين

عناصر سيناريوهات التطور للتوازن عرض / طلب وتطور الأسعار

يبدو لنا أن العناصر المحددة لوضع السيناريوهات الممكنة هي التالية:

إن عدم التوازن بين عرض المواد الأولية والطلب يجعل توقع مستقبل فيه خلل أمراً معقولاً. فبدلاً من سيناريو توازن أسعار تدريجي، يمكن أن يحل سيناريو ذو قيمة للسعر الذي يتشكل بفعل الطلب الملحّ من قِبَل الكهربائيين، وبشكلٍ خاص الأمريكيين الذين ليس لديهم سوى غطاء قصير المدى. لا يسمح لنا أيضاً الاتجاه الحالي لارتفاع الأسعار ارتفاعاً كبيراً بالتمييز بين هذين المستقبلين. يطرح هذا التحليل الأسئلة التالية: إذا كان سيناريو الارتفاع سيتحقق، فمتى سيحدث ذلك؟ وحتى أي مستوى ستكون الأسعار قابلة للارتفاع؟ وما هي مدة بقاء هذه الذروة قبل أن يحصل هبوط إلى أسعار ذات أساسٍ موضوعي؟

السؤال إذن هو معرفة ما هي مدة ردود الفعل اللازمة للصناعة الخامية لإعادة العرض إلى مستوى الطلب.

عنصر آخر لازم لإعداد الإجابة هو معرفة مستوى السعر المضمون لأمدٍ طويل، واللازم لتغطية تكاليف تطوير المناجم الهامشية التي تسمح بتوافق العرض مع الطلب.

مخاطر وآفاق

إن الهدف المركزي للكهربائي النووي هو ضمان أمان تزويد هذه المفاعلات التي تتجاوز مدد أعمارها 40 سنة. وهو يطلب أيضاً رؤية قصوى حول الكلف. ومن هنا، يلاحظ اليوم:

- أن الإنتاج مركّز على بعض المناجم الأساسية وعلى بعض الدول الكبرى المنتجة. وينجم عن هذا أن ما أصبح اليوم سوقاً قد أصبح بشكلٍ طبيعي حساساً للمخاطر الفنية للاستثمار المنجمي، ولمخاطر انقطاع الدورة الاقتصادية ولمخاطر الجغرافيا السياسية.
- عدم كفاية التنقيب مع ما ينتج عن ذلك من عدم كفاية المكامن المعروفة الممكن وضعها في الإنتاج خلال العقد القادم.

ولمواجهة المخاطر المعرَّفة عبر السيناريوهات المقدمة أعلاه والتهديدات الناجمة عن التحليل السابق، فإن لدى مشتري اليورانيوم مجموعة تقليدية من الإجابات:

- اختيار الدول الموردة مع النظر بالنسبة لكل منها إلى أفضل نسبة بين أمان التزويد والسعر المعروض.
- تنويع مصادر التزويد بتقاطع تنويع المواقع الجغرافية مع تنوع الموردين.
- تنويع مدد وتاريخ أمد العقود.

يبدو هذا النهج منذ الآن معرّضاً للقيود التي يفرضها سوق الكهرباء: يجب أن تحافظ الطاقة النووية، وإن كان ممكناً أن تنمي تنافسيتها بالمقارنة مع الوسطاء الأخرى لإنتاج الكهرباء. إذ يمكن أن نلاحظ أن التقانات الجديدة لكربون نظيف وانحباس غاز CO_2 على الرغم من كونها مازالت بشكلٍ واسع في طور النمو، تبرز كمنافس محتمل للطاقة النووية على المدى المتوسط، بشكلٍ خاص في بلدان مثل ألمانيا.

وبالنسبة لكهربائي منافس في سوقه، فإن مسألة الأسعار يجب أن توضع حتماً في المرجعية ذاتها التي يوضع فيها منافسوه، وفي هذه المرجعية، فيما يتعلق بالطاقة النووية، يكون الهدف مواءمة أسعار التزود الأدنى الممكن مع ضمان التوريد على المدى الطويل.

ومن أجل تحقيق هذا الهدف، يجب تجميع كل عناصر التسوية من نمط رابح/رابح: يضمن الكهربائي النووي لمنجمي اليورانيوم منافذ على المدى الطويل، في حين يضمن المنجمي لزبونه، مقابل ذلك، التوريد الآمن في الكمية والسعر. في ظل هذا المنظور بعيد المدى، يمكن أيضاً أن نتصور أن صفقات منجمي/كهربائي يجب أن تأخذ أشكالاً غير تلك الأشكال مثل علاقة التعاقد التقليدية زبون/مورّد.

نعتقد أيضاً في سياق عدم وثوقية السوق الذي نحن موجودون فيه، أنه يجب، بعكس ما توصي به التحليلات المالية التقليدية، أن

تكون هذه التعهدات هي قبل كل شيء ضمانات للمصادر المطلوبة لديمومة استمرار نشاط الكهربائيين.

خارج هذا المنظور البعيد المدى، يجب على الكهربائي أن يشكل تعهدات «مختلطة» على المدى القصير والمتوسط والطويل، هذه التعهدات التي تسمح له بانتهاز فرص في السوق؛ وبذلك يختار أسعار التزود في كل حالات تطور هذه السوق.

كخلاصة، من وجهة نظر الكهربائي، فإن المنافسة المفهومة جيداً هي ضمان لصلاح المنظومة وتسمح بأمثلة استخدام المصادر.

توصيات لمنتج لليورانيوم

توصيات (بما يتعلق بمصادر اليورانيوم)، من أجل أن يكون «الانشطار النووي مصدراً مستداماً للطاقة»

هناك عدة مبادئ تقليدية داخل المنجم، إلا أنها شديدة الأهمية في حالة اليورانيوم ويجب مراعاتها:

- عدم خلق وضع لسوق اليورانيوم يقود إلى هدر الموارد.
- السماح بتعويض للنشاط المنجمي بما يساعد على تمويل مستوىً مناسب للاستكشاف.
- الوصول، بشكل خاص من أجل المناجم، إلى وضع أنظمة معقولة تجمع بين الحماية الفعالة للسكان والبيئة الطبيعية مع تنمية اقتصادية مستدامة.
- تجنب التفريط بالموارد عبر شروط السوق الواهنة بشكل مفتعل.

ونستطيع أن نضيف مجموعة مبادئ أيضاً خارج نطاق منجم اليورانيوم بمعناه الدقيق.

- تجنب التصنيف المبكر كنفايات مواد انشطارية أو مخصبة «على الرف» وبشكل خاص تجنّب التخلص منها بطريقة لا عكوسة (خامات تحت اقتصادية، «ذيول»، أو نفايات URT، Pu).
- تصحيح أثر نسب فضلات التخصيب والتي تترجم علاقاتها مع السوق بهدر مواد التزويد في نظرية مؤقتة، طالما أن فضلات التخصيب («ذيول») ما تزال في متناول اليد.
- التحضير قبل وقت كاف للعودة إلى سلاسل أكثر اقتصادية لمواد الانشطار الطبيعي، وبشكل خاص سلاسل المولدات الكهربائية المتطورة من الجيل الجديد.

تأثير سعر السوق على تحول الموارد ← مخزونات ← منتج

ناقشنا أعلاه تأثير سعر السوق على الموارد من وجهة نظر شاملة، وبشكل أساسي على المكامن والمشاريع التي ليست في الإنتاج بعد. هذا التأثير لا يذهب خارج خط إحصائي طالما أن الإنتاج لم يبدأ بعد، ولكن تأثير السوق يكون أكثر حدةً عند الانتقال إلى الإنتاج.

عند الانتقال من «الموارد» إلى «المخزون»، أي عند طور أمثلة المشروع المنجمي، يؤثر سعر السوق على تقييم الكميات الممكن الحصول عليها مع فقد محتمل في الموارد أو تصنيفها على أنها غير مجدية (بشكل تقليدي من 10 إلى 30% أو أكثر).

عند الإنتاج في النهاية هناك أيضاً، وبطريقة غير معروفة خارج عالم المنجميين، قرارات لاعكوسة تمّ الأخذ بها بشكل يومي وتتضمن تقرير فيما إذا كانت كتلة الصخر هذه الحاوية على اليورانيوم تستحق أن تزود مصنع معالجة أم لا، وهذا يعني فيما إذا كان الأمر يتعلق «بخام» أو «بفضلات». يسمي المنجميون هذا الخيار «انتقائية». يتضمن التأثير على الكميات التي يتم الحصول عليها فعلياً خلال الإنتاج فقْداً ممكناً يمكن أن يُشكل 10 إلى 20% من المخزون البدائي، وفي أحسن الأحوال، تصنيف جزء من هذه المخزونات على أنها غير مجدية من حيث التكلفة. وكذلك الأمر، فإن تأثير الإغلاق «المبكر» مع تفكيك الموقع وإعادة تأهيله يترجم بحده الأدنى بتصنيف الموارد على أنها غير مجدية من حيث التكلفة.

ولكن هل من الممكن تجنب تقلبات السوق كافة؟ بدون أدنى شك لا، ولكن في معظم الحالات، يمكن أن نلاحظ أن ظروف عدم الاستقرار الأساسية في الماضي كانت حوادث مرتبطة بقرارات وأحداث من نمط سياسي. إن تجنب بعض أنماط ردود الفعل يساعد على عدم تكرار أخطاء الماضي. وكمثال قادم سيكون الطرح غير المتحكّم به في السوق لفائض جديد ومهم من المواد العسكرية، أو بشكل أقل احتمالاً ولكنه ما يزال موضع دراسة، التأمين الإجباري للمخزونات الاستراتيجية في خضم فترات التوتر حول المواد الأولية.

تأثير البيئة السياسية والتنظيمية على الموارد

على عكس الكثير من المواد الأولية المعدنية (الفلزية)، فإن مناجم اليورانيوم، بمفهومها «النووي» تجذب اهتمام الجمهور والساسة، وبالنتيجة المشرّع والسلطات التنظيمية. وبدون إعادة النظر في لزوم تشريعات وتنظيمات عقلانية وفعالة، يجب أيضاً التأكيد على أنها يمكن في بعض الأحيان أن تخرج خارج المعقول والمبرر بفعالية ظاهرة.

يمكن حتى أن نذكر على سبيل المثال، المنع التام لاستكشاف اليورانيوم وإنتاجه في منطقة معينة. فقد قامت حكومة ولاية غرب أستراليا حديثاً بإلغاء الترخيص المنجمي لمشروع Yeelirrie (مصادر WMC) الحاوي تقريباً على 44 ألف طن يورانيوم. ويمكن أن يلقى المشروع Kintyre (Rio Tinto) الحاوي على 30 ألف طن يورانيوم المصير نفسه. وتوجد في أماكن أخرى أمثلة أخرى مماثلة. ويصبح إذن من السهل أن نبيّن بشكل عبثي أنه ليس هناك كميات كافية من الموارد.

ونستطيع في ذات النسق من الأفكار ذكر التنظيمات القاسية جداً الخاصة بطرح الفضلات (تكون هذه الحدود أحياناً أكثر تشدداً من معايير مياه الشرب لذات المنطقة)، والتطبيقات ذات المفعول الرجعي للتنظيمات....

ومع ذلك، وكما هو حال التقانات النووية بالمجمل، فإن منجم اليورانيوم يجب قبوله من قبل الجمهور، مع قيد إضافي وهو لا يمكن تغيير موقع المكمن.

استنتاجات حول اليورانيوم

بدايةً، لنقل من بداية هذا الاستنتاج أنه ينبغي تجنب البقاء حبيسين ضمن المآخذ غير الموثّقة التي تثار من قبل مناهضي الطاقة النووية، الذين يضعون كذرائع معطيات نهائية حول عدم كفاية موارد اليورانيوم المقيَّمة، وهذا ما يحاولون لاحقاً جاهدين برهانه من خلال منع الإنتاج والاستكشاف في المناطق التي يستطيعون فعل ذلك فيها.

الحقيقة هي أنه توجد كميات كافية من اليورانيوم من أجل تطوير «متوقع» لمنشآت من المفاعلات النووية التي تستخدم الماء الخفيف. وإضافة إلى التخمينات القوية من أجل أن يكون تطوير أكثر قوة ممكناً يجب بالتحديد تحويل الموارد المأمولة إلى موارد معروفة. وهذه مسألة استثمار، وحول هذا الموضوع (انظر الشكل 9) لنتذكر أن فترة الاستثمارات المدعومة كانت محدودة جداً زمنياً.

بكل تأكيد، إن الحساسية القوية للموارد لأسعار السوق ولاعكوسية بعض القرارات التي يفرضها السوق أثناء الإنتاج يجب أن تساعد على تجنب كل احتدام أو هبوط حاد، وبشكلٍ خاص بفعل المسببات الخارجة عن الصناعة. لنتجنب هدر مواردنا.

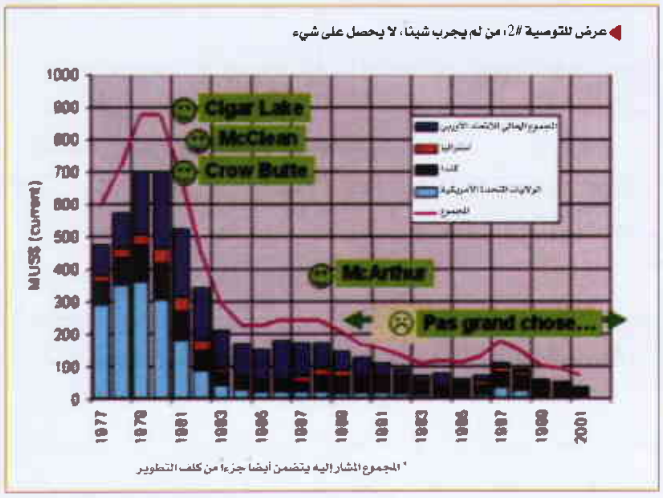
في كل الأحوال، يمكن أن نؤكد اليوم أن مفاعلات الانشطار النووي من النوع الولود التي ثبت جدواها يمكن أن تطيل مدة الموارد بمعامل يقارب 50 على الأقل، وهذا ما يضمن استدامة زمنية حقيقية للانشطار النووي.

بدون شك الإجابة الأفضل فيما يتعلق بالمنجمي هي إعادة إجراء التنقيب بوتيرة أعلى وإجراء البحث والتطوير اللازمين، طالما أن شروط السوق والعقود الموقعة تسمح بالتمويل.

يرتكز الكهربائيون على الآفاق التي من أجل أن تكون طويلة (20 إلى 40 سنة) بشكلٍ خاص من أجل الطاقة النووية، يجب ألا تبقى أقل صناعية. وخلال هذه الفترات، يمكن أن تتغير التنافسية النسبية للوسطاء المتعددة لإنتاج الكهرباء تغيّراً كبيراً. على الكهربائي إذن أن ينظم «مزيجاً» من الإنتاج حول التقانات التي تسمح له بأفضل ضمان للتنافسية على المدى الطويل، ومن ضمنها الطاقة النووية.

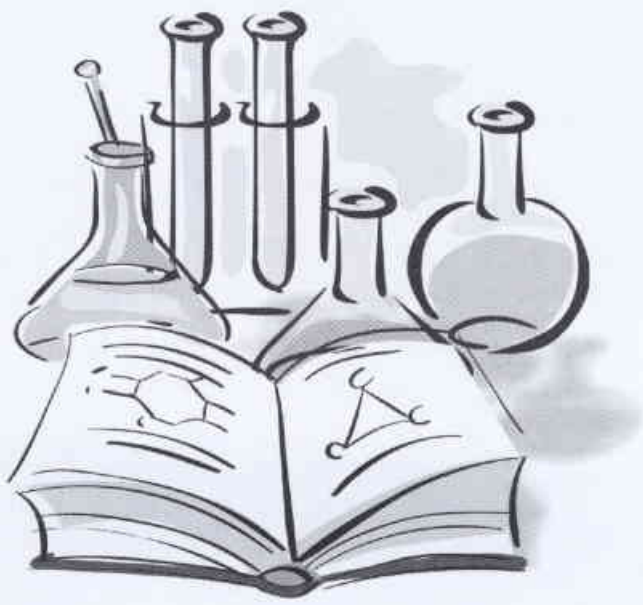
في هذا المنظور، فهو يقترح على مزوديه وبشكل خاص على مزوديه باليورانيوم، علاقة رابح/رابح: فالضمان لمنفذ تسويق على المدى الطويل مقابل ضمان التزويد بشروط تضمن للمنجمي مستوى من الربح يأخذ بعين الاعتبار نسبة الأخطار على المدى البعيد. وفي ظل علاقة متوازنة كهذه، يمكن أن يؤسس السعر على الأسس الصناعية للعرض (تكاليف+استهلاك+هامش مناسب)، وليس فقط حول سعر المواد الأولية التي هي عرضة لتأرجحات الأسواق اللامعقولة أحياناً.

بدون الاستناد إلى مثل هذه الاتفاقات، التي تعطي سوق اليورانيوم الوضوح على المدى الطويل وهذا ما يحتاج السوق له، فإن الصناعة النووية المدنية لن تتمكن من مواجهة مستقبلها. وبعيداً عن مناقضة مثل هذا لمتطلب، فإن مستقبل التنافس المتزايد على المدى الطويل في أسواق الكهرباء يستدعي العقلنة لمثل هذه الشراكة.



الشكل9. عرض تاريخي لنفقات كلف استكشاف اليورانيوم في العالم والمكتشفات الهامة.

أخبار علمية



❶ البنية الإلكترونية للرصاص السائل ☆

لقد دُرِست المعادن المتبلورة بصورة مكثفة على مدى الأربعين عاماً الماضية. وقد تمخضت الموديلات النظرية المعقدة والوسائل التجريبية عن فهم جيد جداً بوجه عام لهذه المواد. وعلى النقيض من ذلك، فإن البنية الذرية والإلكترونية للمعادن السائلة لم تبلغ ذلك القدر من الفهم. ففي المعدن السائل، تتغير البنية الذرية في الزمان والمكان، والمعلومات الوحيدة التي يمكن الحصول عليها تكون وسطية. إن انعدام الدورية periodicity يجعل من الصعب جداً تعيين ما إذا كانت الإلكترونات مرتبطة بذرة بعينها أم إنها حرة التموضع في السائل بأكمله، لأن البنية العصابية (التي تعين الخواص الإلكترونية) لا يعود من الممكن قياسها.

نشر بومبرجر وآخرون Baumberger et al[1] أول قياسات مباشرة للبنية العصابية للرصاص السائل عند السطح البيني interface رصاص/نحاس. ولقد استعملوا إصداراً ضوئياً ذا مَيْز زاوي ليبينوا أن سطح فرمي Fermi (الذي يفصل الحالات الإلكترونية المشغولة عن الحالات الفارغة) يستديم في الطور السائل وأن توضّع دالة الموجة الإلكترونية يعتمد بشدة على التناظر في عصابتي الرصاص P_{xy}.

أدخل رايتشرت وآخرون Reichart et al [2] منذ أربع سنوات خلت حيلة تمكّنهم من دراسة البنية الذرية للرصاص السائل. وقد كان من المتوقع [3,4] أن تتجمع الذرات، في السوائل الثلاثية الأبعاد أحادية الذرة كالرصاص، في عناقيد لتشكل مجسمات ذوات العشرين وجهاً icohedroms. وجادل رايشرت وآخرون بأن كمون السطح السليكوني عند السطح البيني للرصاص السائل مع سطح من السليكون (001)، لايستطيع أن يُسبب أي ترتيب ordering طويل المدى في الرصاص، ولكنّه يستطيع أن يحطم المجسمات ذوات العشرين وجهاً إلى أنصاف خماسية الوجوه يمكن أَسْرها عند سطح السليكون بتوجيه مفضَّل. لذلك قاسوا تبعثر أشعة X المنعكسة كلياً (والسريعة الزوال)، والتي لا تكون حساسة إلا للبنية السائلة عند السطح البيني، وذلك من طبقة رصاص سائل محمولة على سليكون (001). لقد كشفوا تناظراً موضعياً خماسي الطيات وحصلوا على دليل تجريبي لشظايا عشرينيات الأوجه المُتَنَبَّأ بها.

يدرس بومبرجر وآخرون [1] اليوم الخواص الإلكترونية لأفلام من الرصاص السائل على سطح من النحاس. وهم ينفِّذون مطيافية الإصدار الضوئي (الفوتوني) ذي المَيْز الزاوي angular resolved photoemission spectroscopy للحصول على البنية العصابية E (k) للرصاص السائل. وللقيام بذلك يدرسون رقاقة أحادية الجزيء monolayer من الرصاص محمولة على سطح من النحاس (111) أثناء رفع درجة الحرارة مروراً بدرجة تحول الفلم إلى الانصهار (الذي يحدث عند 568 K). إن أفلام الرصاص المرسَّبة على النحاس Cu (111) تنمو طبقة تلو الأخرى وفق توجيه محدد (فهي تشكل أفلاماً "مُنضَّدة" epitaxial films) [5]. وبسبب القرب من الركازة Cu (111)، فإنه يمكن استرجاع المعلومات المتعلقة بعزم الحالات الإلكترونية للطور السائل.

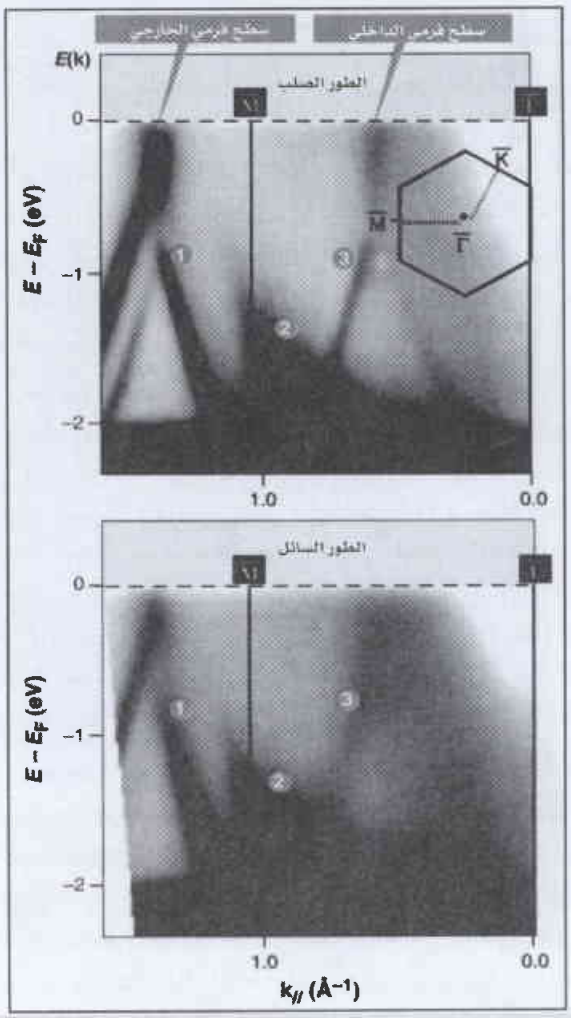
قبل أن نناقش النتائج، علينا أن نقدم بعض التعاريف. فالبلورة الثلاثية الأبعاد يمكن أن توصف بثلاثة متجهات vectors غير واقعة في مستوٍ واحد تعرِّف خلية الوحدة unit cell. ويرافق كل شبيكة بلورية الشَّبيكة العكسية، التي هي الأخرى تعرف بثلاثة متجهات. وتوجد علاقة بسيطة جداً بين متجهات الفضاء المباشر والفضاء العكسي (أو فضاء العزم). أما منطقة بريلوان Brillouin zone فهي قطاع فرعي من الشبيكة العكسية تشتمل على كل نقاط التناظر المهمة. وبالنسبة للبلورات الثلاثية الأبعاد تكون منطقة بريلوان مجسماً متعدد الوجوه polyhedron.

تتلخص النتائج في هذا الشكل الذي يبين البنية العصابية المشاهدة تجريبياً في طبقة (رقاقة) الرصاص أحادية الجزيء على امتداد اتجاه التناظر (ГM) للصلب (اللوحة العلوية) وللسائل (اللوحة السفلية). وقد لاحظ المؤلفون وجود سطح فرمي داخلي وسطح فرمي خارجي (انظر الشكل). هذان السطحان لفرمي يستمران في الطور السائل. وتلاحظ حول النقطة M ثلاث عصائب في كلا الطورين. العصابتان 1 و3 يرجعان إلى حالات p_{xy} للرصاص، في حين تنتج العصابة 2 من العصابة sp للنحاس. يقابل الخط الداكن القوي الواقع عند (-2.2 eV) العصابة 3d للنحاس.

توحي المقارنة بين عصائب الطورين السائل والصلب بوجود مشابهات قوية، ولكنها توحي أيضاً بوجود اختلافات كبيرة. لا تتوسع العصابة 1 إلا قليلاً، مما يشير إلى أن الحالات الإلكترونية تحافظ على طابعها خلال انتقالها من الصلب إلى السائل. أما بخصوص العصابة 3، فإن الحالات تتغير من حالات متسعة في الصلب إلى حالات شديدة التموضع في السائل، حسبما يُرى من التوسع الكبير لهذه العصابة والنقص في الشدة. إن حالات العصابة 3، حسبما جاء في [1]، لم تعد تحقق الشرط الأساسي للحالة اللاتموضعة delocalized [6]. ولقد أعلن روتنبيرغ وآخرون عن مشاهدة مماثلة في مواد شبه بلورية [7].

لماذا تسلك العصابتان 1 و3 سلوكاً مغايراً إلى هذا الحد في الطور السائل؟ ربما يكمن السبب إما في التناظر أو في الطول الموجي للتابع الموجي wave function. ويعزو بومبرجر وآخرون هذا

☆ نُشر هذا الخبر في مجلة Science, 24 December 2004.



من الصلب إلى السائل. بنية عصابية تجريبية E (k) على امتداد الاتجاه ΓM من أجل طبقة أحادية الجزيء على سطح النحاس (111)، تمّ الحصول عليها بالإصدار الضوئي ذي الميز الزاوي. (في الأعلى) طبقة صلبة في درجة حرارة الغرفة. المسدس الصغير: منطقة بريلوان ثنائية البعد لطبقة الرصاص. E_F هي طاقة فرمي، و $k_{//}$ هو اندفاع الإلكترون الضوئي. (في الأسفل) الشيء نفسه من أجل طبقة سائلة عند الدرجة k 585.

الاختلاف إلى تناظر التوابع الموجية الذرية. إن عصائب سطح فرمي الداخلي تملك سرعة مجموعة سالبة (أي إن طاقة العصابة تتناقص مع تزايد متجهة التابع الموجي)؛ وهو سلوك مميز للتوابع الموجية من النمط p، التي تغير طورها عند موقع النواة الذرية. وفي الصلب تقع النهاية الصغرى للعصابة عند حد منطقة بريلوان، أما في السائل فإن حدّ المنطقة هذا لا يعود موجوداً.

تفتح النتائج التي نشرها بومبرجر وآخرون [1] إمكانات جديدة لدراسة المعادن السائلة وتبين أن الإصدار الضوئي ذو الميز الزاوي يمكن أن يكون وسيلة قوية لهذا الغرض. لكن الأمر مازال بحاجة إلى مزيد من التجارب. وعلى وجه الخصوص، قد يكون من الممتع القيام بدراسة مفصلة لأهمية الطول الموجي وتناظر التابع الموجي عن طريق تحليل سطوح بينية مختلفة من نوع سائل/صلب. كما أن تأثير الركازة يجب أن يدرس بعناية أيضاً. وأخيراً ينبغي متابعة التجارب على أشباه البلورات، لأنها تبدي بعض التشابه مع سائل عند سطح بيني ما: إذ تبين الحالات الإلكترونية علاقة تشتت [7] توافق توزع الكمون للوسط الموضعي ولكن مع سعات متخامدة بقوة.

REFERENCES **المراجع**

[1] F. Baumberger, W. Auwarter, T. Greber, J. Osterwalder, Science 306, 2221 (2004); published online 25 November 2004 (10/1126/science. 1103984).

[2] H. Reichart et al., Nature 408, 839 (2000).

[3] F. C. Frank, Proc. R. Soc. London A 215, 43 (1952).

[4] J. D. Bernal, Proc. R. Soc. London A 280, 299 (1952).

[5] F. Baumberger et al., surf. Sci 532, 82 (2003).

[6] N. F. Mott, Adv. Phys. 16, 49 (1967)

[7] E. Rotenberg et al., Nature 406, 602 (2000). ❑

❷ هوائيات من الأنابيب النانوية ☆

يستطيع صفيف من الهوائيات ذو بضعة أمتار ارتفاعاً واتساعاً أن يلتقط ويرسل الأمواج الراديوية. ولقد اتضح هذا المفعول عند أطوال موجية كهرمغنطيسية أصغر بكثير من ذلك في صفيف نانوي من أنابيب الكربون النانوية.

بيَّن وانغ وآخرون Wang et al [1] في مجلة Applied physics letters وبطريقة واضحة أن صفيفاً متراصفاً من أنابيب نانوية من الكربون يمكن أن يسلك سلوك هوائي كهرمغنطيسي. ولا يؤكد بيانهم العملي هذا مفعولاً سابق التنبؤ فحسب، بل ويشير أيضاً إلى استخدامه في نبائط عملية.

الهوائيات أدوات مألوفة كمكاشيف ومرسلات للأمواج الراديوية. ولكن نظراً لتباين أبعادها فهي تستطيع أن تستقبل أطوالاً موجية مختلفة-كأمواج الراديو والأمواج الضوئية والأمواج المكروية وغيرها. ونشير إلى أن جميع الهوائيات تتّصف بخاصّيتين أساسيتين: الأولى هي أن استجابتها تختلف باختلاف استقطاب الإشعاع الوارد (ونعني بالاستقطاب أن الحقل الكهربائي للإشعاع ذو اتجاه محدد).

☆ نُشر هذا الخبر في مجلة Nature، 24 December 2004.

ويكون الإرسال أضعف ما يمكن إذا كان مستوي الاستقطاب يصنع زاوية 90 درجة مع المحور الطويل للهوائي: وهو ما يعرف باسم مفعول الاستقطاب polarization effect، والثانية هي أن استجابة الهوائيات تختلف باختلاف أطوالها، وتكون أقوى ما يمكن حينما يبلغ الطول أحد مضاعفات نصف الطول الموجي (λ) للإشعاع (أي: λ 1.5، λ 1.0، λ 0.5، وهكذا): وهذا ما يعرف باسم مفعول طول الهوائي antenna length effect.

لقد تمَّ تعرُّف استقطاب أنابيب الكربون النانوية وخواص هوائياتها من وجهة نظر نظرية [2] عقب أول اصطناع تجريبي [3, 4] للأنابيب النانوية الكربونية وحيدة الجدار single wall carbon nanotubes وذلك في عام 1993. ومن ناحية تصوّرية، يمكن اعتبار الأنابيب النانوية الكربونية وحيدة الجدار (SWCNTs) بأنها تتشكّل عبر لفّ طبقة وحيدة من الغرافيت (تدعى طبقة الغرافين graphene layer) لتصبح أسطوانة ملساء تخلو من أي خط التحام. وعلى نحو مشابه، يمكن اعتبار الأنبوب النانوي الكربوني المتعدّد الجدران multiwall carbon nanotube (MWCNT) مؤلفاً من تجميع مُتَمحْور coaxial assembly من أسطوانات من الأنابيب النانوية الكربونية وحيدة الجدار (الواحدة داخل الأخرى) ويكاد يكون الفاصل بين الأنابيب مساوياً للفاصل بين الطبقات في الغرافيت الطبيعي. ولهذا السبب، فإن الأنابيب النانوية أجسام أحادية البعد ذات اتجاه معرف تماماً على امتداد محور الأنبوب النانوي يشبه اتجاهات الغرافيت في المستوي.

أنجز وانغ وآخرون [1] تجاربهم على صفيفات عشوائية من MWCNTs تتراصف وفق محاورها الطولية، وتشبه، بالمقياس النانوي، غابة كثيفة من الأشجار تنمو من ركازات سليكونية، ويسلك كل أنبوب نانوي كربوني متعدد الجدران MWCNT في صفيف الأنابيب النانوية وبشكل فعّال سلوك قضيب معدني بقطر يبلغ 50 nm تقريباً وطول يمتد من 200 nm إلى 1000 nm (بالرغم من أن الـ MWCNTs داخل كل صفيف يكون لها نفس الطول تقريبا).

إن الجديد المتميز في هذا العمل هو التبيان الواضح والمباشر لمفعول طول الهوائي. فباستخدام الضوء المرئي، بيَّن وانغ وآخرون أن النهايات العظمى تحدث في كمية الضوء المنعكس حينما يكون الطول الوسطي للأنابيب النانوية في صفيف ما يساوي مضاعفات فردية من نصف الطول الموجي للضوء الوارد. وكذلك قدموا تبياناً نشطاً لمفعول الاستقطاب عبر مقارنة كمية الضوء المستقطب المنعكس عن صفيف من الأنابيب النانوية بكمية الضوء المنعكس عن سطح معدني ذي انعكاسية عالية موضوع جنباً إلى جنب مع غابة الأنابيب النانوية. وفيما يخصُّ السطح المعدني، ينبغي أن تكون متجهة vector الحقل الكهربائي في مستوي السطح المعدني كي يكون انعكاس الضوء أعظمياً. وعلى النقيض من ذلك، يكون الانعكاس من صفيفات الأنابيب النانوية هو الأقوى حينما تنطبق متجهة الحقل الكهربائي للضوء المستقطب على محور الأنابيب النانوية (عمودي على الركازة).

ترتبط خاصيات صفيفات الأنابيب النانوية هذه بالسلوك الكهرمغنطيسي الخاص للغرافيت الصفائحي، الذي يملك عمقاً قشرياً لامتناحياً anisotropic skin depth قوي الشدة. ويقصد بالعمق القشري المسافة المميّزة لاختراق موجة كهرمغنطيسية في مادة ما. فإذا استُقطب الإشعاع بحيث يوازي مستوي طبقات الغرافيت، فإن العمق القشري يكون قصيراً ويتم امتصاص الضوء بصورة قوية. أما إذا كان الاستقطاب عمودياً على مستوي هذه الطبقات، فإن عمق اختراق الضوء يكون أكبر بأكثر من عشرة أضعاف ويكون الامتصاص ضعيفاً جداً. لقد تمَّ استثمار هذا اللاتناحي anisotropy لخواص الغرافيت الكهرمغنطيسية في بناء مقطبات تحت حمراوية ومكروية، قبل إيجاد الفلم البولاروئيدي في الستينيات من القرن العشرين.

إن هذه الظواهر الاستقطابية مفيدة في الدراسات الأساسية للامتصاص الضوئي للأنابيب النانوية الكربونية، وفي الانعكاس عليها والإصدار منها. إذ تتناسب شدة الضوء المتبعثر مع امتصاص وإصدار الضوء [5-7] وبهذا فهي مسبار حساس للعمليات الضوئية في الأنابيب النانوية الكربونية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن للاستقطاب دوراً مهماً في تحديد ما إذا كان الأنبوب النانوي الكربوني ميامناً أو مياسراً right or left-handed [8].

لقد شاهدت عدة مجموعات بحثية مفاعيل الاستقطاب في أنابيب الكربون النانوية حسبما يذكر وانغ وآخرون [1]، وذلك في تجارب أجريت على رزم من أنابيب كربون نانوية متعددة الجدران (MWCNTs) [9]، ووحيدة الجدار (SWCNTs) [10]، وSWCNTs معدنية مستقلة [11]، وSWCNTs نصف ناقلة مستقلة [12]، وعلى SWCNTs ذات نصف قطر صغير جداً (0.4 nm) في قالب من الزيوليت [13]. وعبر تحقيق الدراسات الاستقطابية على SWCNT فرادى أمكن إثبات الكبح الكلي للحقل الكهربائي العمودي على محور الأنبوب النانوي، وأمكن دراسة النموذج الثنائي القطب لأنبوب نانوي مفرد– وذلك في الحالة التي يكون فيها الأنبوب معزولاً بشكل جيد عن SWCNTs وفي الحالة التي يتأثر فيها الأنبوب الكربوني مع SWCNT قريب منه [12].

يقترح العمل الذي قام به وانغ وآخرون [1] جملة من التطبيقات في الإلكترونيات الضوئية، كمستقطبات ما تحت الأحمر أو مكاشيف الاستقطاب، باستخدام صفيفات يكون لأنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران (MWCNTs) فيها مجال من الأطوال، ومكاشيف لأطوال موجية معينة، تصنَّع من أجلها MWCNTs ليكون لكل منها الطول المراد نفسه. تُفضل MWCNTs على SWCNTs بسبب خاصيتها المعدنية الكهربائية وقوتها الميكانيكية الكبيرة، كما أن تباعدها العشوائي يمنع ظواهر التداخل.

يمكن بسهولة التوسع في تحضير صفيفات من نوع MWCNT لتغدو عملية إنتاج واسعة باستخدام التقانة المتوافرة. ولقد تمَّ توظيف أموال كبيرة على مدى السنوات العشر من تاريخ أنابيب الكربون النانوية أسْهم فيها القطاع الخاص لصالح البحث والتطوير في مجال الأنابيب النانوية: وقد تفرز التقانة التي استنبطها وانغ وآخرون [1] تطبيقات إلكتروضوئية ذات أهمية تجارية كبيرة.

المراجع **REFERENCES**

[1] Wang, Y. et al. Appl. Phys. Lett. 85, 2607-2609 (2004)

[2] Ajiki, H. & Ando, T. Physica B Cond. Matt. 201, 349-352 (1994).

[3] Iijima, S. & Ichihashi, I. Nature 363, 603-605 (1993).

[4] Bethune, D. S. et al. Nature 363, 605-607 (1993).

[5] Saito, R., Dresselhaus, G. & Dresselhaus, M. S. Physical properties of Carbon Nanotubes (Imperial College Press London, 1998).

[6] Dresselhaus, M. S. & Eklund, P. C. Adv. Physics 49, 705-814 (2000).

[7] Dresselhaus, M. S., Dresselhaus, G., Jorio, A., Souza Filho, A. G. & Saito, R. Carbon 40, 2043-2061 (2002).

[8] Samsonidze, Ge. G et al. Phys. Rev. B69, 205402 (2004).

[9] Rao, A. M. et al. Phys. Rev. Lett. 84, 1820-1823 (2000).

[10] Jorio, A. et al. Phys. Rev. Lett. 85, 2617-262- (2000).

[11] Duesberg, G. S., Lao, I., Burghard, M., Syassen, K. & Roth, S. Phys. Rev. Lett. 85, 5436-5439 (2000).

[12] Jorio, A. et al. Phys. Rev. B65, R121402 (2002).

[13] Sun, H. D., Tang, Z. K., Chen, J. & Li, G. Solid State Commun. 109, 365-369 (1999). ❑

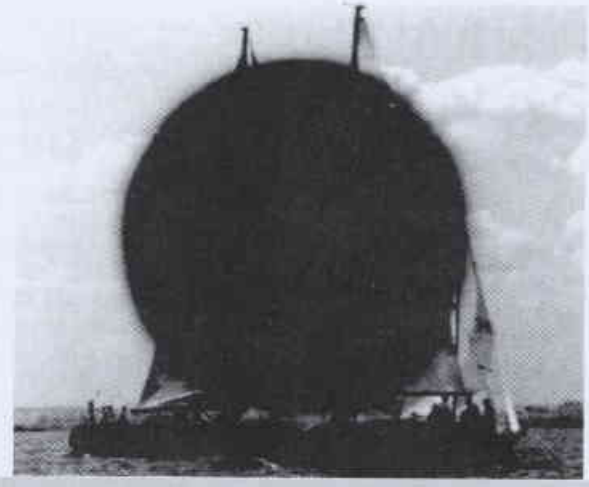
③ هل كان مشروع الجينوم البشري يستحق هذا الجهد؟ ★

تمثَّل أحد وعود مشروع الجينوم البشري بأنه سيُقدِّم وسائل لتحديد هويّة العوامل الجينيّة التي تسهم في أمراض معقّدة شائعة مثل السرطان وداء السكري. ولسوف يوحي اكتشاف هذه العوامل، بدوره، بأهداف ممكنة للمعالجة الدوائية ولأشكال أخرى من المعالجة. وفي عدد 15 نيسان/إبريل 2005 من مجلة سيانس، ثمَّة ثلاث نشرات علمية (لكلٍ من: إدوارد وزملائه [1]، وهاينيس وزملائه [2]، وكلاين وزملائه [3]) تدلي بدلوها حول هذا الوعد بخصوص مرضٍ يُسبِّب القعود والعمى، اسمه التنكُّس البقعي المرتبط بالشيخوخة (AMD) age-related macular degeneration. وباستخدامهم بضع وسائل مشتقة من الجينوم وتطبيقها على مجموعات غير متداخلة من مرضى AMD، كتبت مجموعات البحث الثلاث هذه تقارير مفادها أن ضرباً variant مشتركاً في العامل المتمّم complement factor للجينة H (أو ما يُرمز له اختصاراً بـ (CFH) على الصبغي البشري 1q31 تُقدِّم جزءاً مهمّاً من الاختلاف بين الأفراد المصابين وغير المصابين بهذا المرض، الذي يُبتلى به أكثر من عشرة ملايين أمريكي (على سبيل المثال) ويُعدُّ سبباً رئيساً للعمى بين كبار السن. إن منظومة المتمِّمة هذه هي هدف عدد من الأدوية والمعالجات المُعدِّلة modulatory drugs. وتؤكد هذه الحقائق، جنباً إلى جنب مع المكتشفات الجديدة، الفوائد الصحية الواسعة والمحتملة "لعلم الجينوم".

البقعة macula هي منطقة مستديرة في مركز شبكية العين وتحتوي على كثافة عالية من الخلايا المخروطية cone cells. وهذه الأخيرة هي الخلايا المستقبلة الضوئية التي تتخصَّص في تمييز الألوان، وفي مَيْز resolve الأجسام المتقاربة المسافة فيما بينها، وفي اكتشاف الحركة. والبقعة مسؤولة عن الـ 30% المركزية من الحقل الإبصاري، كما أنها حاسمة في الرؤية الكاملة التي تثري حياتنا (انظر الشكل). إن مرض التنكس البقعي المرتبط بالشيخوخة يُسبِّب اطِّراد تلف البقعة بحيث يؤدي في نهاية المطاف إلى أن يُصبح المرضى في حكم العميان. ويُصيب هذا الاضطراب الأفراد فوق الخمسين من العمر، مع أن أعراضه، في بعض الأشكال الوراثية منه، تظهر في سنٍ أصغر من ذلك. هذا، ويُنغِّص التنكُّس البقعي هناء حياة المبتلين به ممّا يُشكّل عبئاً على المجتمع.

لهذا المرض المُعقّد أعراضٌ مختلفة وعوامل مساهمة عديدة. إنه لمن المُسلَّم به أن الأمراض المعقّدة تنجم عن تآثرات interaction بين مفاعيل بيئية وجينية واتفاقية stochastic. وبالنسبة إلى المرض AMD، يُعتبر التدخين وتناول الليبيدات في الوجبات الغذائية عاملي خطورة بيئية [4]، بينما يُعتبر العمر لوحده عامل خطورة إضافي. وهناك كذلك أدلة قوية تشير إلى إسهام جيني genetic. فالتوافق بين التوائم الحقيقية والوشائج الأسرية والخطورة الزائدة لدى الأقرباء من الدرجة الأولى تُبدي جميعها أن الاختلافات الجينية تلعب دوراً رئيساً في سن خطورة هذا المرض AMD [5]. ولكن كيف نعثر على هذه العوامل الجينية (الوراثية)؟

★ نُشر هذا الخبر في مجلة *Science*, 15 April, Vol 308, 2005.



منظر من المحيط الخارجي. إن للتنكّس البقعي المرتبط بالشيخوخة تأثيراً مدمّراً على الرؤية المركزية. ومع أن الرؤية المحيطية غالباً ما تفلت من هذا التأثير، لكن الأشياء الواقعة في مركز الرؤية يحميها الرمش أو تنعدم تماماً. ونشير إلى أن الرؤية المركزية (الإبصار المركزي) يتيح لنا القراءة وتعرّف الوجوه والتمتع بالبيئة من حولنا. مثلما يشاهد في مشهد الغارب الشراعي هذا. وتغيّر هذه الصورة المبيّن انعدام الرؤية لدى ملايين الأفراد المصابين بالتنكس البقعي المرتبط بالشيخوخة.

وبكلمات أكثر شمولية، هناك ثلاث طرائق لاكتشاف الجينات التي تسهم في الأمراض المُعقّدة وتتلخّص في: استقصاء الجينة المُرشّحة، ورسم خريطة الوَصْل linkage mapping، ودراسة الترابط بين "الحالة والشاهد" case-control. أما استقصاء الجينة المُرشّحة فيعتمد على انتقاء الجينات المحتملة التي تُسبِّب الأمراض، مثل الجينات التي تُسبِّب الأشكال الموروثة للأمراض، ومن ثمَّ إجراء سَلْسَلَة sequencing لهذه الجينات لدى مرضى الأمراض المُعقّدة. وأما رسم خريطة الوصل فإنها تلي عَزْل segregation المناطق الصبغية التي تُعيِّنها الضروب variants الجينية العشوائية في العائلات المصابة بالأمراض المعقّدة بحثاً عن المناطق التي تلازم مسار المرض. ونذكر أنه بالنسبة لمرض AMD، تتفاوت العائلات ما بين الأزواج التي يجمعها النَّسَب وبين الأنساب الواسعة الامتداد. وأخيراً، تبحث دراسة الترابط بين "الحالة والشاهد" عن الاختلافات في تواتر frequency الضروب الجينية الشائعة بين الحالات المتكافئة من الناحية الإثنية من جهة والشواهد controls من جهة أخرى بغية اكتشاف الضروب التي ترتبط بقوة مع المرض. إن الهدف الأخير لكل طريقة يتمثّل في تحديد أي الطفرات mutations (بمعنى الضروب الجينية النادرة ذات العلاقة السببيّة القوية مع المرض)، أو الضروب الشائعة ذات الشكلية المتعددة polymorphic (بمعنى الضروب الشائعة ذات العلاقة السببيّة الضعيفة) التي تؤثر في سن خطورة المرض. وبالطبع، ما ذكرناه هو نهايتا طيف يمتد بينهما. وبالنسبة للمرض AMD، فإن كُلاً من هذه الطرائق والإمكانات قد مُورِسَتْ ودُوفِعَ عنها.

لقد جرى استقصاء جينات تُسبِّب بضعة أشكال موروثة للتنكُّس البقعي باعتبارها مرشحة للمرض AMD. فعلى سبيل المثال، تسبِّب طفرات في الجينة (ABCA4) مرض شتارغارت المتنحّي recessive Stargardt disease، وهو شكل استهلالي مبكر للتنكّس البقعي. وتقترح نشرة علمية سابقة في مجلة سيانس تلازماً بين ضروب في الجينة ABCA4 والمرض AMA [6]. ولكن، كان يصعب جزئياً تأييد هذا الادعاء بسبب الدرجة الاستثنائية للتغيُّر الجيني genetic variation بين البشر. فبالرغم من أننا متماثلون بنسبة 99.9%، فإننا يختلف بعضنا عن بعض في ملايين من المواقع النوكليوتيدية. ويغيّر العديد من هذه الاختلافات أحد الحموض الأمينية ضمن بروتين ما، أو يؤثر في الوظيفة البروتينية بطرق أخرى. وبالنسبة للجينة (ABCA4) يوجد ما لا يقل عن 11 استبدالاً substitutions حمضيّاً أمينيّاً ضمن الجينة وكذلك أكثر من ذلك عدداً من الضروب النادرة [7]. إنه ليصعب جدّاً اكتشاف إشارة ضد هذه الخلفية الضوضائية.

وهنا يبادر رسم خريطة الوصل بعملية إنقاذ. "فالإشارة signal" في هذه الحالة يتم تجميعها عبر العائلات ويتم ضمّ الضروب المختلفة ضمن الجينة، إذا كانت هذه الضروب يُسهم كل واحد منها في تحديد الصفة trait. ولقد جرى اختبار الواسمات markers الجينيّة التي تغطي جميع الصبغيات البشرية بحثاً عن الانعزال segregation في بضع مجموعات من عائلات "التنكس البقعي المرتبط بالشيخوخة المتحقّق" المستقلة. فوجد أن بضعة من مسوح الوصل linkage scans هذه على امتداد الجينوم تتضمّن منطقة على الصبغي (1q31) [8-12]. وهناك ما يوحي بأن الجينة التي تسبِّب شكلاً استهلالياً متأخراً للتنكُّس البقعي (في الموضع ARMD1) إنما ترسم كذلك هذه المنطقة [13]. ولكن كانت المشكلة فيما يتعلق برسم خريطة الوصل تتمثّل في أن المناطق التي تمَّ تحديدها كبيرة بحيث يصل طولها حتى عشرات الملايين من أزواج الأسس base pairs وتؤوي مقادير لا حصر لها من الجينات. ثمّة أكداس صغيرة من هذه الخرائط، ولكنها تبقى صعبة المراس.

ينطلق ثلاثي النشرات العلمية الراهن [1-3] من هذه النقطة بالذات. وثمّة ناتج حديث من مشروع الجينوم البشري يتمثّل في مجموعة من الضروب المتعدّدة الشكليّة polymorphic Variants جيدة التحديد على اتساع الجينوم، تُدعى التعدُّدية الشكلية الوحيدة النوكليوتيد single-nucleotide polymorphisms (SNP) . وقد تمَّ، حتى الوقت الحاضر، تحديد ما ينوف عن مليون تعدُّدية شكليّة وحيدة النوكليوتيد (SNP) [14]. كما استخدم كلاين وزملاؤه رقائق (شبيبات) جينية من شركة Affymetrix Corporation من أجل اختبار الترابط بين أكثر من (100 000) تعدُّدية لدى 96 حالة مريض AMD و50 حالة شاهد. وأشارت أقوى إشارة في رسم الخريطة إلى الصبغي (1q31). وبعد ذلك قام الباحثون من أصحاب النشرات الثلاث المذكورة آنفاً بإشباع المنطقة بتعدُّديات الشكليّة (SNP). وتتبَّع إدوارد وزملاؤه

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

رسم خريطة الوصل المبكّرة وصولاً إلى المنطقة (1q31)، إذ اختبروا 86 تعدُّدية شكليّة لدى 400 حالة إصابة و202 حالة شاهد. أما هاينيس وزملاؤه فقد أجروا اختبار وصل إضافي ضمن المنطقة (1q31) وتتبَّعوا 61 تعدُّدية شكلية لدى 495 حالة إصابة و185 حالة شاهد. (مع الإشارة إلى أن حالة الإصابة والحالات الشاهدة تنتمي إلى أصل أمريكي وأصول أوربية). صحيح أن الدراسات الثلاث جميعها أشارت إلى الجينة CFH، ولكن أيُّ ضرب أو ضروب نوعية ضمن هذه الجينة يرتبط مع مرض التنكّس البقعي المرتبط بالشيخوخة؟

وهناك هدف حديث وراء مشروع الجينوم البشري، وهو تحديد بنية النمط البسيط (النصفي) haplotype للصبغيات البشرية عند المجموعات الإثنية ethnic المختلفة، وهو هدف مدرج في مشروع الهاب ماب Hap Map الدولي [16]. ونشير إلى أن الأنماط البسيطة (النصفية) هي أطقم ضروب دناوية DNA نوعية قريبة جداً بعضها من بعض على الصبغي الذي لا يعاني التَشُبَ recombination إلاّ نادراً جدّاً. ويعكس أنموذج الضروب غير المتشبة، والتي تُعرف باسم اللّبنات ذات النمط البسيط، التاريخ التطوّري للبشر طيلة الخمسين ألف سنة وحتى المئة ألف سنة الماضية. وتستوعب اللّبنات ذات النمط البسيط عادةً عشرات الآلاف من أزواج الأسس. ولعلّ إحدى الفوائد الفورية لمشروع هاب ماب تتمثّل في كونه يوفر جسراً بين رسم خريطة الوصل في ملايين أزواج الأسس وخريطة التعدُّدية الشكليّة في أزواج وحيدة الأسس.

لقد حقّق كلاين وزملاؤه استخداماً صريحاً لمعطيات الهاب ماب من أجل تفكيك التعدُّديات الشكلية الوحيدة النوكليوتيد في المنطقة CFH. كما طوَّر إدوارد وزملاؤه وهاينيس وزملاؤه معطيات ذات نمط بسيط مبنيَّة على العيّنات التي اختبروها. وفي جميع الحالات الثلاث، تشير معطيات النمط البسيط إلىCFH SNP نوعي يسبِّب استبدال الحمض الأميني تيروزين tyrosine بالهستيدين histidine عند الحمض الأميني 402 (Tyr402His). فالأفراد الذين يحملون نسخة وحيدة من أليل الهستيدين histidine allele في التعدُّدية الشكليّة (Tyr402His) تزداد خطورة مرض AMD لديهم بمقدار الضعفين إلى أربعة أضعاف، في حين تزداد هذه الخطورة بمقدار خمسة أضعاف إلى سبعة أضعاف لدى الأفراد الذين يحملون نسختين من هذا الأليل. ويكون أليل الهستيدين ضمن جماعة هذه الدراسة الاستعراضية مسؤولاً عن 20-50% من الخطورة الكلّية للإصابة بمرض التنكّس البقعي المرتبط بالشيخوخة.

هل تدعم أدلة البيولوجيا النتائج الإحصائية؟ إن منظومة المتمِّمة complement system هي المكوِّن الأصيل للاستجابة المناعية. إذ تَستهلّ عمل المناعة بتوسّط المتمِّمة عن طريق متعضِّية دقيقة microorganism تطلق شلالاً من التأثرات البروتينية في الدم يُسبِّب بدوره طهو المتعضِّية المهاجمة وإتلافها. وكذلك تستطيع أنسجة المضيف (الثويّ) host أن تطلق شلّال المتمِّمة فتسبِّب بذلك التهاباً مزمناً وتلفاً نسيجياً. ونشير إلى أن العامل H يُعدِّل شلال المتمِّمة عن طريق إبطال نشاط مكوِّنات المتمِّمة وعن طريق ربط binding عوامل استهلالية مثل البروتين التفاعلي-C [16]. ونذكر أن البروتين CFH يحتوي على عشرين وحدة متكرِّرة لستّين حمضاً أمينيّاً في كلّ وحدة. ويُطلق على هذه الوحدات اسم مقياسات التحكّم control modules بالمتمِّمة. فالمقياسة السابعة تحتوي على التعدُّدية الشكليّة Tyr402His، وهي تتآثر مع واسمات سطحية مثل الهبارين haparin وحمض الصفصاف. ويُتوقع أن يُضعِف تحويل التيروزين إلى هستيدين في هذا الموقع بالذات ذلك التآثر، وبذلك يُحتمل أن تؤثر هذه التعدُّدية الشكليّة في فعالية (نشاط) المتمِّمة.

لطالما جرى الإيحاء بدور المتمِّمة في مرض التنكُّس البقعي المرتبط بالشيخوخة [17]. فالسِّمات المميِّزة للمرض (AMD) تتضمّن براريق drusen متعدِّدة وضموراً جغرافياً وتوعية حديثة في مشيمية العين. إن البراريق، التي تُعدُّ السّمة المعرِّفة لهذا المرض، هي ترسُّبات صغيرة مائلة للون الأصفر تتألف من ليبيد وبروتين وحطام خلوي يتشكّل تحت الظهارة الصباغية لشبكية العين التي تضمُّ الخلايا الضوئية. أما الضمور الجغرافي فيأتي نتيجة لتنكُّس degeneration الخلايا الضوئية والظهارة الصباغية. وأما التوعية الحديثة neovascularization لمشيمية العين فيُحتمل أن تكون عقابيل للالتهاب المزمن الذي سبَّبته منظومة المتمِّمة. وعلاوة على ذلك، فإن التدخين والحمية الغذائية وتقدّم العمر تُعدُّ جميعها من متعالقات نشاط المتمِّمة.

وبالإجمال، توحي هذه الدراسات الثلاث الجديدة والمعلومات التي سبقتها على عامل المتمِّمة H بعلاقة سببيّة مباشرة بين الأليل الهستيديني للتعدُّدية الشكليّة وزمن خطورة هذا المرض من عمر الإنسان. وماذا بعد؟ لقد جرى استعراض هذه الدراسات في الماضي، ولذلك فإننا نحتاج إلى مزيد من الأبحاث في الخطورة المنتظرة لدى الأفراد الذين يحملون نسختين من الأليل الهستيديني. وسيكون من الممتع جداً أن نعلم ما إذا كان الأليل الهستيديني موجوداً لدى مجموعات إثنية أخرى، وما إذا كان هذا الأليل وغيره يسهم في الإصابة بمرض التنكُّس البقعي المرتبط بالشيخوخة لدى القوقازيين. إن نشاط المتمِّمة يستجيب للمعالجة الدوائية ولتبدُّلات أسلوب المعيشة. فهل يكون لأساليب المعيشة هذه مفاعيل تفاضليّة على خطورة المرض AMD لدى أفراد ذوي نسخة واحدة أو نسختين من الأليل الهستيديني؟ وهل هناك عوامل متمِّمة complementary factor أخرى، غير التي ذكرناها، تُسهم في الإصابة فيه. وأخيراً، لئن كان اكتشاف النمط CFH Tyr402His في الدنا DNA البشري سهل المقايسة، فكيف لنا أن ندمج هذا

الاختبار في تشخيص المرض AMD ومعالجته؟

وكما كان الوعد، فإن مشروع الجينوم البشري يُقدِّم تبصُّرات جديدة قوية حول الأمراض البشرية ويثير كثيراً من أسئلة التحدّي.

المراجع **REFERENCES**

[1] A.O. Edwards et al. Science 308, 421(2005); published online 10 March 2005 (10.1126/science.1110189).

[2] J.L. Haines et al. Science 308, 419 (2005); published online 10 March 2005 (10.1126/science.1110359).

[3] R.J. Klein et al. Science 308, 385 (2005); published online 10 March 2005 (10.1126/science.1109557).

[4] L. Hyman, R. Neborsky, Curr. Opin. Ophthalmol. 13, 171 (2002).

[5] E.M. Stone, V. C. Sheffield, G.S. Hageman, Hum. Mol. Genet. 10, 2285 (2001).

[6] R. Allikmets et al. Science 277, 1805 (1997).

[7] A.R. Webster et al., Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 42, 1179 (2001).

[8] G.R. Abecais et al., Am. J. Hum. Genet. 74, 482 (2004).

[9] S.K. Iyengar et al., Am. J. Hum. Genet. 74, 20 (2004).

[10] J. Majewski et al., Am. J. Hum. Genet. 73, 540 (2003).

[11] J.M. Seddon et al, Am. J. Hum. Genet. 73, 780 (2003).

[12] D.E. Weeks et al. Am. J. Hum. Genet. 75, 174 (2004).

[13] M.L. Klein et al. J. Ophthalmol. 116, 1082 (1998).

[14] R. Sachidanandam et al. Nature, 409, 928 (2001).

[15] The International HapMap Consortium, Nature 426, 789 (2003).

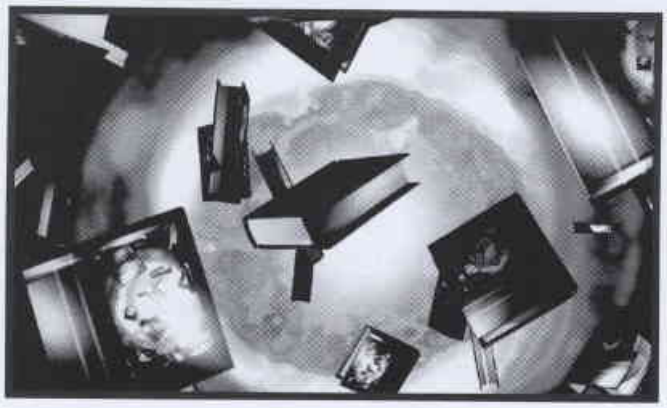
[16] S.R. de Cordoba et al. Mol. Immunol. 41, 355 (2004).

[17] G.S. Hageman et al., Prog. Retinal Eye Res. 20 705 (2001).

❹ صدى الضجّة الكبيرة ☆

يمكن أن يتم رفع المعايير إذا توقف انتشار الكتب العلمية المبسّطة

من المحتمل أن يكون ستيفن هوكينغ S. Hawking قد بسّط الكتابة العلمية إلى درجة كبيرة جعلت المرء يطالعها في سريره قبل النوم، لكن هذه الظاهرة انتهت. وتغيّر موقف الناشرين وبائعي



الكتب من الكتابات العلمية المبسّطة، إذ لم تعد السوق رائجة كما كانت قبل عقد من الزمن. فقد ولّت الأيام التي كان فيها الناشرون يتهافتون للحصول على ما يلي كتاب "تاريخٌ موجزٌ للزمن Brief History of Time" أو "خط الطول Longitude"، ولم يعد يسعدهم أن يدفعوا مبالغ كبيرة لمواجهة المنافسة.

ومعظم المؤلفين الذين كانوا يطلبون مبالغ تُدفع سلفاً وتبلغ قيمتها أرقاماً مؤلفة من ست خانات لقاء كتب عن أمور علمية حديثة أو عن تواريخ القصص عن تلك الأمور تجدهم اليوم يناضلون للحصول على صفقة. وطبعاً هذا لا يعني أن جمهور الكتب العلمية الجادّة المبسّطة قد تبخّر، إذ مازال هناك الكثير من القراء المتلهفين للكتب الموثوقة والممتعة المصوغة بعناية. غير أن "التجارة" –القطاع التجاري من سوق النشر –قد رفعت المستوى بالنسبة لنوع الكتب التي يمكنها أن تجد مكاناً على رفوف بيع الكتب.

لماذا أصبحت هذه الضجّة الكبيرة تذمراً؟ يتمثّل جزء من المشكلة في أن التجارة قرّرت أن الكتب العلمية المبسّطة ليست هي النوع المراد وجوده. لذلك لحق الكثير من الناس –الأكاديميين والصحفيين –المركب القائل بأن السوق أصبحت مشبعة وأن الناشرين يخسرون. وعندما يتعلق الموضوع بكتب علم الوراثة أو علم الكون أو الرياضيات أو علم الأعصاب، فإن الجمهور تواق للاختيار. فما هو عدد الكتب المتعلقة بالتهديد الوشيك للكويكبات والنيازك أو بتسلسل الجينوم البشري أو تحدي فرضية ريمان Riemann التي يحتاجها الناس حقاً؟

لقد تجاوزت سرعة النشر العلمي المبسّط سرعة التقدم العلمي، حتى أنه أصبح من العسير على المولعين بالكتب العلمية المبسّطة أن يذكروا إنجازاً علمياً واحداً في مجال مفهومنا للوعي البشري رغم العدد الضخم من الكتب حول هذا الموضوع. فالأفكار الكبيرة لا تظهر كثيراً، وعندما تظهر مثل هذه الأفكار تصدر مباشرة كتب

☆ نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, 16 December, Vol 432, 2004.

عديدة حول الفكرة ذاتها. ويشهد على ذلك مثلاً الفيض الأخير من عناوين الكتب حول نظرية الشبكة لمارك بوكانان M. Buchanan، ودنكان واتس D. Watts، وألبرت لازلو باراباسي A-L. Barabasi، وفيليب بول P. Ball، وستيفن ستروغاتز S. Strogatz. ولكن رغم السمعة الراسخة لهؤلاء المؤلفين، لم يلقَ أيٌّ واحدٍ من هذه العناوين رواجاً لأنه يوجد حدٌّ يتعلق بكمية العناوين المتشابهة التي يمكن للسوق أن تستوعبها.

وهذا يعني أنه يجب على الناشرين اليوم أن يكونوا متأكدين بشكلٍ مطلق أن لدى أي كتاب علمي يوافقون على نشره ما يؤهله للتفوق في زحمة الكتب. وهم يركّزون بشكلٍ كبيرٍ على الأعمال الأصيلة التي تعالج قضايا مهمّة والمكتوبة بحيويةٍ وأسلوب ممتع من قبل مؤلفين متمكنين من مواضيعها. ونظراً لاعتماد نجاح النشر هذه الأيام على التسويق، فإنه من المفيد أن يكون لدى المؤلفين نوع ما من الشهرة العامة. وبهذه الطريقة تمكّنت المراجعة الطريفة، إنما المبتذلة، للعلم المعنونة بـ "تاريخ موجز لكل شيء تقريباً A Short History of Nearly Everything" لمؤلفها بيل برايسون B. Bryson من الوصول إلى قوائم الكتب الأكثر مبيعاً، وهذا ما لم يتوصّل إليه الكثير من المؤلفين العلميين المعتمدين.

ولكن إضافة إلى قلّة الطلب الجماهيري، هناك قوة أكثر أذى تتآمر لمنع الكتب العلمية المبسّطة من الانتشار، وهي تتمثّل بمجموعة من المشترين في المكاتب الرئيسة لسلسلة محلات بيع الكتب المهمّة الذين يقرّرون ما هي الكتب التي يجب وضعها في محلاتهم. وهذا يتباين بشكل صارخ مع ما حدث قبل سنوات قليلة عندما كانت عمليات الشراء تتم من قِبَل الكوادر الفرعية، الأمر الذي بدّل وجه عمليات النشر بشكلٍ كاملٍ.

وعلى سبيل المثال، فقد تمَّ مؤخراً إبلاغ ناشر يعمل في مؤسسة تجارية رئيسة في المملكة المتحدة أن "الحسابات الرئيسة" قرّرت أن الحكايات العلمية الصغيرة قد "انتهت"، وهكذا أصبح من الصعب عليه أن يتبنّى أي شيء يتعلق بهذا النوع من الكتابة. وقد تمَّ ذلك رغم عدم وجود دليل يشير إلى أنه تمَّ إشباع رغبة الجمهور في قراءة الكتب المشابهة لكتاب سايمون سينغ S. Singh "مبرهنة فيرما الأخيرة Fermat's Last Theorem".

ويبدو ظاهرياً من كلّ ذلك أنه كانت هناك عودة إلى التاريخ التقليدي – الذي يتضمّن ملاحم مثل ملحمة ديبورا كادبيري D. Cadbury "صيادو الديناصور The Dinosaur Hunters" أو ملحمة جيني أوغلو J. Uglow "الرجل القمري The Lunar Man". ولا يمكننا اعتبار هذه النزعة أمراً غريباً. ففي عالم تزداد فيه الأخطار بشكلٍ متزايدٍ، لا بدّ من وجود طلبٍ متزايدٍ على الكتب الخطيرة بما في ذلك عناوين الكتب المأخوذة من الأجندة، مثل كتاب إيريك شلوسر E. Schlosser "أمة الطعام السريع Fast Food Nation"، وكتاب جورن لومبورغ Bjorn Lomborg "عالم البيئة المتشكك"، أو حتى عناوين الكتب الطموحة، مثل كتاب روجر بنروز R. Penrose " الطريق إلى الحقيقة The Road to Reality"، الذي لا يقدّم أي شيء أقل من مساقٍ كاملٍ متقدمٍ في الفيزياء الحديثة.

ما زال هناك سوق للكتب العلمية الشائعة – لكنها أصبحت كصدى للضجّة الكبيرة الأصلية – وأصبح الناشرون بشكلٍ متزايدٍ محنّكين وفطنين، وقد حدث تخفيض لعدد دور النشر التجارية التي تفهم وتستسيغ وتنجح في مجال الكتابات العلمية. ومما يثير السخرية بالنسبة لوكيل، أعتقد أن هذه أخبار طيبة. وهذا يعني أنه لن يتم قبول المؤلفين إلا من قِبَل محرّرين ملتزمين بشكلٍ حقيقي، الأمر الذي يعني بالتالي أنه عندما تُنشر كتبهم سيكون إقبال الناس على شرائها وقراءتها والحديث عنها أمراً أكثر احتمالاً. وهو ما يُعتبر حالة من إشعاع هوكينغ أكثر من كونه ظاهرة هوكينغ. ❑

5 استعداد للزلازل

تراهن بعض البلدان على أن ثوانيَ معدودة قد تنقذ أرواحاً ☆

تستثمر اليابان والمكسيك وتايوان في أنظمة إنذار مبكر يمكن أن تمنح ثواني ثمينة للإنذار قبل هزّة عُظمى.

ما الذي تملك أن تفعله مع إنذار لمدة 5 إلى 50 ثانية لزلزال كبير؟

إنه ليس بسؤال أكاديمي. فالمنظومات التي تستطيع اكتشاف زلازل بالقرب من بؤرتها، وإرسال التحذيرات قبل أن يبدأ الاهتزاز، هي إما قيد العمل في الموقع أو قيد نشرها في المكسيك وتايوان واليابان، كما تجري دراسة نَصْبها في مواضع تمتد من جنوب

☆ نُشر هذا الحبر في مجلة *Science*, Vol 306, 24 December 2004 .

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

كاليفورنيا إلى اسطنبول. ويقتنع المتحمسون بأن الإنذارات القصيرة الأمد تستطيع إنقاذ الأرواح عن طريق وقف القطارات قبل مرورها فوق سكة الحديد المخرَّبة، وإخلاء المصاعد واستنفار وحدات الإنقاذ. ويقول ماساتو موتوساكا M. Motosaka، وهو مهندس ياباني مختص بالزلازل في جامعة توهوكيو Tohoku في سينداي Sendai: "يُعدُّ هذا التقدُّم فاتحة عهد جديد في السلامة من الزلازل".

ولكن ليس الجميع بمتفقين، إذ يلحظ المتشككون أن أنظمة الإنذار هذه لا تمنح الوقت الكافي لتقليل الإصابات بالقرب من المركز السطحي للزلازل. ومما يثير قلقهم أيضاً أن مثل هذه الأنظمة قد تثني عن الإنفاق على الاستعداد للزلازل، الأمر الذي يعتبرونه ذا إمكانية أكبر نفعاً. ويقول روبرت أولشانسكي R. Olshansky، المتخصص في تخطيط المدن من جامعة إيلينوي University of Illinois في أوربانا-شامبين Urbana-Champaign: "لا تفيد الإنذارات إلاّ في بعض الحالات، وما استثمار الكثير من الأموال والآمال في أنظمة إنذار قصيرة إلاّ التهاءً عن العمل الأصعب والأقل متعة مثل تحسين الأبنية القديمة، وهو ما يحتاجه حقاً تحسين السلامة الزلزالية.

أكثر سرعةً من موجة S المتسارعة

لا تُعدُّ منظومات الإنذار المبكّر أجهزة تنبّؤ، بل إنها -بدلاً من ذلك- تكشف الزلازل الحقيقية بالقرب من بؤرتها وترسل إنذارات إلى منظومات مؤتمتة وإلى الناس حتى مسافات تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات. إنها تعمل بنجاح لأن الإشارات الإلكترونية التي تبث عبر الأسلاك أو الهواء تسري أسرع من الموجات الزلزالية المنتقلة عبر الأرض. وتستفيد خطط الإنذار أيضاً من وجود نمطين من الموجات الزلزالية التي تتولّد حينما ينفلق صدعٌ ما. فالموجات الأوليّة والأسرع انتقالاً (P) تتشعّع بشكل مباشر انطلاقاً من المركز السطحي. أما الموجات الثانوية (S)، التي تسبِّب الحركات الاهتزازية المسؤولة عن معظم الدمار، فإنها تتلكأ بعشرات الثواني ممتدة فوق مسافة بضع مئات من الكيلومترات. ويوضّح هيرو كانامورى H. Kanamori، وهو مختص بالزلازل في مؤسسة كاليفورنيا للتقانة (Caltech) في باسادينا Pasadena قائلاً: "تحمل موجات (P) المعلومات في حين تحمل موجات (S) الطاقة". ولسوء الحظ، تصل موجات (P) وموجات (S) إلى جوار المركز السطحي بشكل متزامن تقريباً، مما يجعل الإنذار مستحيلاً حيث يكون الزلزال على أشده.

بعيداً عن المركز السطحي، ثمّة فسحة من الزمن لتحليل الإشارات وتوليد الإنذارات أوتوماتيكياً. فبعد زلزال لوما بريتا Loma Prieta في كاليفورنيا في شهر تشرين الأول/أكتوبر 1989، نشرت مؤسسة المسح الجيولوجي الأمريكي (USGS)

يتم حالياً تركيب محطات Nowcast في جميع أنحاء اليابان.

مصفوفة مؤقتة لثلاثة أجهزة قياس للزلازل seismometers قامت بتحذير عمّال يهدمون جسراً منهاراً على طريق سريع في أوكلاند بخصوص الزلازل الارتدادية. ولقد أبلغت هذه المنظومة العمال إشعاراً بطول 23 ثانية عن موجات S ناشئة من 12 هزة ارتدادية ذات قوة تفوق 3.7.

لقد أُقيمت مجموعتان مستديمتان من منظومات الإنذار المبكر في مواضعها الملائمة في أوائل التسعينيات من القرن الماضي في المكسيك واليابان. في عام 1991 أنشأ مركز التجهيز والتسجيل الزلزالي المكسيكي (CIRES)، وهو منظمة خاصّة لا ربحية، شبكة مؤلفة من 12 جهازاً على امتداد ساحل المحيط الهادي للبلاد قريباً من أكابولكو، حيث يعتقد العلماء بأن زلزالاً بقوة 8 درجات على وشك الحدوث. فإذا عمل هذا النظام كما هو مخطط له، يمكن للقاطنين في العاصمة، على بعد 280 كيلومتراً، أن يتلقوا إنذاراً مدته 70 ثانية. وقد زوِّدت المدارس وبعض المكاتب الحكومية بخطوط إرسال مخصَّصة، كما يمكن للمواطنين الاستماع إلى إذاعات البث المؤتمتة. ونشير إلى أنه قد تمّ منذ عامين إقامة نظام مماثل لمدينة أواكساكا Oaxaca، في جنوبي المكسيك.

وعلى نحو مماثل، ثمّة احتمال لا بأس به في إثبات نفع منظومات الإنذار المبكّر في اليابان تجاه أشد الزلازل تدميراً والتي تنشأ على مَبْعَدة من الساحل الباسيفيكي، حيث يتم انضغاط الصفيحة الأمريكية الشمالية تحت الصفيحة الفلبينية. وعلى سبيل المثال، يقول موتوساكا إن منطقة سينداي Sendai ستستقبل تحذيراً مدته 15 ثانية من تأثيرات لزلازل بقوة 7 إلى 8 درجات على مبعدة من الشاطئ توشك أن تحدث، مع العلم بأن العلماء يقدِّرون لزلزال كهذا فرصة تصل إلى 40% خلال العشر سنوات المقبلة.

في عام 1992، بدأ العاملون في السكك الحديدية في نشر منظومة الإنذار والاستقصاء الطارئ للزلازل (UrEDAS)، على امتداد خطوط القطار السريع في البلاد. فبعد اكتشاف الموجات P، تقوم بقطع الكهرباء عن القطارات في القطاعات القريبة إذا كان الاهتزاز المتوقع سيتخطّى عتبة مفترضة. وفي شهر شباط/فبراير،

اتصال مباشر Call ahead يمكن لأجهزة الإنذار المبكّر أن تنقذ الأرواح في المصاعد وغرف العمليات.

بدأت هيئة الأرصاد اليابانية بنشر ما سوف يغدو منظومة إنذار مبكّر هي الأشمل في العالم، إذ تطال أكثر من 200 محطة في أنحاء الجزر الأربع. ولقد بُدئ بتركيب هذه الشبكة التي تكلّف 90 مليون دولار، (وتُسمى بـ" ناوكاست Nowcast") في عام 2003، وقد تستكمل في غضون عامين إذا تواصل التمويل. وفي شهر كانون الأول/ديسمبر من عام 2000، قام مكتب الطقس المركزي في تايوان بتشغيل شبكة منتشرة في أرجاء الجزيرة تضم 86 محطة للزلازل وتقوم بإنذار المكتب المركزي من جهة وإحدى المستشفيات من جهة أخرى، وكلاهما في مدينة تايبي Taipei.

لا تزال السلطات تحاول أن تتبيّن الطريقة المثلى لاستخدام منظومات الإنذار المبكّر. فالموظفون المسؤولون في دائرة الطقس في تايوان يتلقون الإنذارات على شاشات حواسيبهم، الأمر الذي "يسمح للموظفين بالانتقال إلى محطات الاستجابة للكوارث بشكل أسرع ببضع ثوانٍ مما لو انتظروا حتى بدء الاهتزاز"، حسب قول يي- مين وو Yih-Min Wu، وهو عالم زلازل في الجامعة الوطنية في تايوان معنيٌّ بإعداد المنظومة. ومن المحتمل أن يتم ضم خط تايوان للقطار السريع إلى هذه المنظومة حالما تبدأ خدمة هذا القطار في الخريف المقبل.

أما المنظومة اليابانية، وهي جزئية التشغيل، فإنها ترسل الإنذارات إلى مجموعة مراكز محلية للاستجابة للكوارث، وإلى شركات خاصّة، ومدرسة ابتدائية، ومشفىً جامعيٍّ في مقاطعة توهوكيو Tohoku في الشمال الشرقي من طوكيو. ويقول السيد موتوساكا من جامعة توهوكيو، الذي يقود دراسة حكومية عن فوائد الإنذار المحتملة، بأن بالتوعية والتدريبات المتعلقة بالزلازل يمكن إدراجها ضمن المناهج المدرسية، مثلما يتم عمله الآن في مدرسة ناكاماشي Nakamachi الابتدائية في سينداي. فقد تعلّم الطلاب أن يتواروا تحت المقاعد المدرسية درءاً لقرميدات السقف المتهاوية ومثبتات المصابيح، كما أبلغ المعلمون بضرورة فتح الأبواب كيلا تنقفل وتعيق الإخلاء evacuation الذي يلي الزلزال. وأما في المستشفيات، فقد تسمح الإنذارات للجرّاح بالتوقف أثناء الإجراءات الجراحية الدقيقة وتمنح فرق الإنقاذ ثواني إضافية من أجل الاستعداد.

ويقول توماس هيتون Thomas Heaton، وهو مهندس زلازل في شركة Caltech ومناصر قديم لمنظومات الإنذار المبكّر بأن قائمة التطبيقات الممكنة لمنظومات الإنذار المبكّر لا تنتهي. فهي تتضمّن إضاءة جميع إشارات المرور باللون الأحمر وإغلاق الصمّامات في خطوط أنابيب النفط والغاز وإيقاف كهرباء محطات الطاقة النووية، وإعداد إنذارات التسونامي tsunami. ويقول هيتون: "لا أعتقد أن أحداً ما يعلم في الوقت الحاضر ما ستكون عليه جميع التطبيقات المحتملة مستقبلاً".

ثمّة قضية لم تُحلّ وهي تتمثّل فيما إذا كان من الضروري توجيه إنذارات عبر البث الإذاعي إلى عامّة الناس. لقد أصدرت المنظومة المكسيكية 11 إنذاراً عن زلازل قوية (بقوة 6 درجات أو أكثر) خلال 41 عاماً بدون متاعب تذكر، وفقاً للسيد خوان إيسبينوزا-آراندا Juan Espinosa-Aranda ، المدير العام لـ CIRES الذي يقول: "على خلاف

ما توقعه الجميع، لم يسبق أن واجهتنا أية مؤشرات بأن الإنذارات قد سبَّبت هلعاً". وحسبما يقول هيتون، فإن جزءاً من السبب، يمكن أن يكمن في مضمون الرسالة اللطيف: "في تسعين في المئة من الحالات ستكون الرسالة أن اهتزازاً خفيفاً سيحدث وما عليكم إلا الاسترخاء والاستمتاع".

دون إنذارات

يعترف المؤيدون حتى الآن، أن نفع منظومات الإنذار المبكِّر يبقى زهيداً. فخلال 12 عاماً، يستطيع العاملون في UrEDAS في اليابان أن ينوِّهوا بحالة واحدة فقط صدّ فيها الإنذار موقفاً خطيراً محتملاً. حدث هذا في شهر أيار/مايو من العام 2003، عندما ضرب زلزال بقوة 8 درجات شمال شرق مدينة طوكيو: إذ أوقف الإنذار قطارين متجهين إلى جسرٍ كان قد تعرَّض للتشققات في 23 دعامة.

وعلى النقيض من ذلك، فقد خرج قطارٌ سريعٌ عن مساره أثناء أحدث وأقوى زلزال في ذلك البلد، (في 23 تشرين الأول/أكتوبر في ولاية نيجاتا Niigata Prefecture)، لأن القطار كان شديد القرب من المركز السطحي إلى حدٍّ لم يستطع معه الإنذار أن يصل في الوقت المناسب. وعلى نحو مماثل، لم يكن بإمكان أي منظومة إنذار مبكر أن تُخفِّف من زلزال Kobe المدمِّر في عام 1995، الذي حصد أرواح 5000 إنسان، لأن الصدع الذي انفلق كان يسري تحت المدينة مباشرة. ويعترف موتوساكا، قائلاً: "إن الإنذارات لن تفيد" في مثل هذه الحالات.

يقول العلماء بأن تلك الحقيقة الدامغة تعني أنه لا يجوز أن تحلّ منظومات الإنذار المبكّر محلّ الاستعدادات للزلازل. ويقول أولشانكي Olshanky من جامعة إيلينوي: " نحتاج إلى إنفاق أموال لأغراض التخفيف والاستعداد. فالركون إلى وعود التنبّؤ والإنذارات يصرفنا عن هذا الواجب".

إن التشكيك بالإنذارات الزلزالية يبدو على أشده في الولايات المتحدة، ويعود ذلك في جزء منه إلى كون أكثر الصدوع خطورة يوجد بالقرب من المناطق المدنية. ويقول هيتون من كالتيك Caltech بأن الوكالات الفدرالية قد رفضت العديد من اقتراحاته لاختبار نموذج أولي من منظومات الإنذار المبكّر لصالح جنوب كاليفورنيا بعد تلقيهم نقداً دفعه إلى القول: "إن نصف المنتقدين قال إنها فكرة رائعة، والنصف الآخر قال إنها ليست كثيرة الفائدة".

ولمعرفة أيّهما هو المصيب، يحتاج علماء الزلازل إلى بيانات موثَّقة. وعلى الرغم من أنهم لا يتمنون سوء الطالع، فإنهم يعرفون أن الزلازل لا يمكن تفاديها. وهم يعوِّلون على المكسيك وتايوان واليابان لتقوم بدور مطارح اختبار. ❑

⑥ دراسة حاسمة تؤجج الجدل حول الهواتف النقّالة ☆

تزعم دراسة مموّلة من قبل الاتحاد الأوربي أنها تبين بشكل حاسم أنه يمكن للإشعاع الكهرمغنطيسي الذي تصدره الهواتف النقالة وخطوط القدرة الكهربائية أن يؤثر على الخلايا البشرية عند مستويات من الطاقة تعتبر غير ضارة عموماً. وبالرغم من أن هذه الدراسة أُعدت للبتِّ في هذه القضية بشكل نهائي، إلا أن معظم الخبراء مازالوا غير مقتنعين.

لقد انتظم في مشروع ريفلكس REFLEX الممتد على مدى أربع سنوات 12 مجموعة من سبع دول أوربية ومن المفترض أن تكون كل هذه المجموعات قد نفذت تجارب متماثلة. ومن ثم جرت مقارنة النتائج لمعرفة ما إذا ظهرت نتائج متوافقة. فماذا كان الاستنتاج الذي تم التوصل إليه؟ يقول مدير المشروع فرانتز أديلكوفر F. Adlkofer الذي يعمل في مؤسسة فيروم Verum في مدينة ميونيخ بألمانيا: "إن الإشعاع الكهرمغنطيسي ذا الترددات المنخفضة والمرتفعة قادر على توليد تأثير جيني سام لدى أنماط معينة من الخلايا وليس جميعها، ويمكن أيضاً لهذا الإشعاع أن يغير وظائف جينات معينة عبر تنشيطها وإخماد نشاطها".

لكن وبالتأكيد لم يحقق المشروع هدفه الرامي إلى إنهاء الخلاف حول هذا الموضوع. ويتساءل ميشيل ريباشولي M. Repacholi، الذي يعمل في منظمة الصحة الدولية في مدينة جنيف، كم كانت هذه التجارب موحدة المعايير، ويقول بأن النتائج أبعد من أن تكون حاسمة. ويشير إلى أنه في إحدى التجارب ذكرت مجموعتان أنه يمكن لإشعاع التردد المنخفض جداً الذي تصدره خطوط القدرة الكهربائية أن يولد تكسرات في الشريط المضاعف للدنا DNA، وهذا أمر يعتبره معظم العلماء مستحيلاً، بينما توصلت مجموعة أخرى إلى نتائج معاكسة. ويقول: "يجب على المرء أن يسأل عما جرى من خطأ أو كان مختلفاً لدى هذه المجموعة حتى توصلت إلى النتائج التي تزعمها".

ويعترف داريوس ليزنسكي D. Leszczynski أحد باحثي المشروع، وهو يعمل في السلطة الفنلندية للسلامة الإشعاعية والنووية، أن التجارب المنفذة من قبل المجموعات المختلفة لم تكن موحدة المعايير بشكل تام. كما يقول أنه على الرغم من رصد

☆ نُشر هذا الخبر في مجلة *NewScientist*, 25 December 2004. 1January 2005 .

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

مليوني يورو للتمويل، فقد تسببت بعض العوائق المالية في استخدام المجموعات المختلفة أنماطاً مختلفة من التجهيزات. ❑

⑦ تخفيف الألم مغنطيسياً لا يفيد إلا إذا كانت لديك قناعة بذلك ☆

هل يعتبر تخفيف الألم الذي يبدو أن الأساور المغنطيسية تمنحه للناس الذين يعانون من حالات مثل داء الفصال العظمي osteoarthritis بمنزلة مثال آخر عن مفعول المادة الغُفل placebo؟ ربما يكون الأمر هكذا حسب ما تقترحه الدراسة الأخيرة.

تصعب دراسة هذه القضية بشكل منهجي، لأن تجارب التعمية blinded trials تعتمد على كون المرضى على غير علم فيما إذا جرى إعطاؤهم علاجاً حقيقياً أو مادة غُفلاً. ولكن تسهل معرفة ما إذا كان السوار مغنطيسياً؛ فإما أن يلتصق بالمواد المعدنية أو لا يلتصق.

ومن أجل الالتفاف على ذلك، قام فريق يترأسه تيم هارلو T. Harlow وهو طبيب بريطاني من كولمبتون في ديفون بتقديم أسلوب ثانٍ للمراقبة. فقد أعطوا 194 شخصاً يعانون من الفصال العظمي في الورك أو الركبة سواراً ضعيف المغنطيسية أو سواراً عديم المغنطيسية أو سواراً قوي المغنطيسية.

وبعد 12 أسبوعاً من لبس الأساور طيلة اليوم أفادت المجموعات الثلاث بانخفاض في الألم. وأفادت المجموعات التي تلبس أساور مغنطيسية بآلام تقل عما أفادت به المجموعة الثالثة. لكن لم يكن هناك فرق ذو مغزى من الناحية الإحصائية في إدراك الألم بين المجموعتين اللتين تلبسان أساور مغنطيسية حسبما يُتَوقّع لو كان للمغنطيسية تأثير فيزيائي (المجلة البريطانية الطبية، العدد 329، الصفحة 1450).

يقول مارك واينميللر M. Winemiller الذي يعمل في عيادة مايو Mayo Clinic في روتشيستر في مينيسوتا والذي تُبدي دراساته الخاصة أن الضبان المغنطيسي ليس أفضل بكثير من المواد الغُفل التي تستخدم للتفريج من ألم العقب. ولكن حتى لو خطر ذلك ببالنا فأقل ما في الأمر أن الأساور المغنطيسية لن تؤذي جسمك. ولأن سعرها الذي يبلغ حوالي 50 جنيهاً أسترلينياً لن يضعضع حسابك المصرفي بقدر كبير. ❑

⑧ الكدميوم ☆☆

الرمز:	Cd
العدد الذري: (عدد البروتونات في النواة)	48
الوزن الذري: (حدوثه طبيعي)	112

ما هو؟

الكدميوم معدن لين ذو لون رمادي مائل إلى الفضي، يتصف بكونه طَروقاً وقابلاً للسحب والتشكيل ومشابهاً لمعدن الزنك. وعند تسخينه يحترق في الهواء مصحوباً بضوء ساطع ليكوِّن أكسيد الكدميوم (CdO). أما في الطبيعة، فإن الكدميوم موجود بشكل رئيسي على هيئة سبعة نظائر مستقرة ونظير واحد مشع. (النظائر هي أشكال مختلفة للعنصر تملك نفس عدد البروتونات في النواة، لكنّ لها عدداً مختلفاً من النترونات). أما وفرة النظائر السبعة المستقرة فتكون حسب التالي: كدميوم-106 (1.3%)، كدميوم-108 (0.9%)، كدميوم-110 (12%)، كدميوم-111 (13%)، كدميوم-112 (24%)، كدميوم-114 (29%)، وأخيراً كدميوم-116 (7.5%). أما النظير المشع الرئيسي (كدميوم-113)، فهو يؤلف حوالي 12% من الكدميوم الطبيعي وله عمر نصف طويل جداً.

يوجد تسعة نظائر مشعة رئيسية للكدميوم، ثلاثة منها فقط (وهي: كدميوم-109، كدميوم-113، كدميوم-113m)- تملك عمر نصف طويل بما يكفي لتبرير اهتمام محتمل بخصوصها. أما عمر النصف لكل من الستة المتبقية فهو أقل من 45 يوماً. يضمحل الكدميوم-109 بأسره إلكتروناً ليغدو ذا عمر نصف يساوي 1.3 عاماً، لذا فإن أياً منها مما تولد منذ أكثر من 20 عاماً يكون قد اضمحلّ منذ زمن طويل. أما نظيرا الكدميوم الآخران فإنهما يضمحلان بإصدارهما لجسيم بيتا. إن النشاط النوعي الشديد الانخفاض للكدميوم-113 يحد من مخاطره الإشعاعية. وهكذا، فإن الكدميوم-m113 (الحرف m يعني مقلقل أو شبه مستقر) هو النظير الأكبر شأناً في مواقع للإدارة البيئية، مثل هانفورد Hanford. يضمحل الكدميوم-m113 بإصدار جسيمات بيتا بدون إشعاعات غاما.

استحصاله

يوجد الكدميوم في خامات نادرة مثل السفاليرات sphalrite والغرينوكيت greenockite، ويتشكل كمنتج جانبي خلال عملية إنتاج الزنك والنحاس والرصاص. وتعد الولايات المتحدة من ضمن الدول العشر الأولى المنتجة له، إذ تقوم بتكرير أكثر من 1000 طن متري

☆ نُشر هذا الخبر في مجلة *NewScientist*, 25 December 2004. 1January 2005.

☆☆ نُشر هذا الخبر في مجلة *ANL*. November 2001.

الخواص الإشعاعية لنظائر الكدميوم الرئيسة							
النظير	عمر النصف (yr)	النظائر الطبيعية (%)	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط التحلل	طاقة الإشعاع (MeV)		
					ألفا α	بيتا β	غاما γ
Cd-109	1.3	<<1	2.600	EC	-	0.083	0.026
Cd-113	9.3 million billion	12	0.34 trillionth	β	-	0.083	-
Cd-113m	14	<<1	240	β	-	0.019	-

EC- أسر الإلكترون، Ci= كوري، g = غرام، و MeV = مليون فولت الكتروني. الشرطة (-) تعني ان العملية غير محتملة. أعطيت القيم مقربة الى اهم منزلتين رقميتين.

من الكدميوم في كل عام. ويأتي أغلب الكدميوم الذي يدخل إلى البيئة من التعدين وصهر وتنقية المعادن وعمليات احتراق الفحم والنفط وكذلك عمليات حرق النفايات. وينتج الكدميوم- m113 بواسطة عملية التنشيط النتروني للنظير المستقر (الكدميوم-112) وكناتج انشطاري. فعندما ينشطر نيوكليد شطور (fissile nuclide) مثل اليورانيوم-235، فإنه ينفصم بشكل لا تناظري إلى شدفتين كبيرتين (و هما ناتجان انشطاريان لكل منهما عدد كتلة يتراوح بين حوالي 90 و 140) بالإضافة إلى اثنين أو ثلاثة من النترونات. وفي مفاعل نووي، تستطيع هذه النترونات أن تسبب انشطارات إضافية (منتجةً تفاعلاً متسلسلاً)، فتنفلت من المفاعل، أو تُشعِّع المواد القريبة. ويستخدم الكدميوم في مكونات المفاعلات مثل قضبان التحكم والدروع التي تمتص النترونات، مما ينتج عنه تكوين نظائر مختلفة تتضمن الكدميوم-m113. وتُعد الحصيلة الانشطارية للكدميوم-m113 منخفضة جداً (حوالي 0.0002 %). ويوجد هذا النظير المشع في الوقود النووي المستهلك والنفايات المشعة التي تصاحب المفاعلات النووية العاملة ومحطات معالجة الوقود.

استخدامه

يستخدم معظم الكدميوم في الولايات المتحدة (حوالي 75%) في بطاريات (النيكل والكدميوم). وكان قد استخدم أيضاً كطلاء مضاد لتآكل الفولاذ والحديد الصلب (الزهر)، كما أنه أحد مكوّنات سبائك ذات خصوصية معينة. وكذلك، يستخدم الكدميوم في أنصاف النواقل (مثل سلنيد الكدميوم وتيلوريد الكدميوم)، وفي الأصباغ والملونات وكمثبت في اللدائن مثل كلوريد البوليفينيل، وكذلك يستخدم كماص (absorber) للنترونات في دروع وقضبان التحكم في المفاعل النووي. وقد قل استخدامه في الولايات المتحدة مؤخراً بنسبة تقارب 50%، وذلك استجابةً للهموم البيئية.

وجوده في البيئة

يوجد الكدميوم في تربة الولايات المتحدة بتركيز متوسط يبلغ حوالي 0.15 ملغم لكل كيلوغرام (ملغم/كغم). كذلك توجد مقادير ضئيلة من الكدميوم-m113 في التربة حول العالم نتيجةً للسقط الإشعاعي الناتج عن تجارب سابقة للأسلحة الجوية. ويمكن كذلك أن يوجد في منشآت نووية معينة، كالمفاعلات والمنشآت التي تعالج الوقود النووي المستهلك (المستنفد). ويكون الكدميوم عادةً عديم الانتقال نسبياً، وتقدر تراكيزه في التربة الرملية بأنها أعلى بحوالي 80 مرةً من تراكيزه في المياه البينية (المياه في الفضاء المسامي بين جسيمات التربة)، وهو أقل انتقالاً في الترب الطينية، حيث تقدر نسب تراكيزه بأكثر من 500. أما النسبة النمطية لتركيز الكدميوم في النباتات إلى نسبته في التربة فتبلغ 0.15 (أو 15%). وعلى العموم لا يعد الكدميوم-m113 ملوِّثاً رئيسياً في المياه الجوفية في مواقع وزارة البيئة (مثل هانفوردHanford) و ذلك بسبب انخفاض تركيزه نسبياً في النفايات كنتيجة لحصيلة انشطاره المنخفضة. و توجد أعلى تراكيزه في هانفورد في المناطق التي تحتوي على النفايات الناجمة عن معالجة الوقود المشعع، كتلك التي في الحاويات الكائنة في الجزء المركزي من الموقع، و كذلك -إلى حدٍّ أقل- في مناطق طرح النفايات السائلة على ضفاف نهر كولومبيا.

مسيرته في الجسم

يمكن أن يدخل الكدميوم إلى الجسم عن طريق تناول الطعام أو شرب الماء أو استنشاق الهواء. ويعد الامتصاص المعدي المعوي انطلاقاً من الطعام أو الماء المصدر الأساسي للتراكمات الداخلية للكدميوم لدى عامة الناس. وبوجه عام، يكون الامتصاص المعدي المعوي قليلاً جداً، إذ إن ما نسبته حوالي 5% فقط من الكمية المبتلعة يتم انتقاله إلى مجرى الدم. ويتراكم 30% من الكدميوم الذي يصل إلى الدم في الكبد، كما تتراكم 30% أخرى في الكليتين، وتنتشر البقية في أنحاء الأعضاء والأنسجة الأخرى في الجسم (عبر طرائق مُبسطة لا تعكس إعادة التوزع الانتقالي). ويغادر الكدميوم الجسم متصفاً بعمر نصف بيولوجي مقداره حوالي 25 عاماً.

تأثيراته الصحية الأولية

لا يعد الكدميوم-m113 خطراً على الصحة إلا إذا دخل الجسم. ولا يمثل خطراً خارجياً لأنه يضمحل بإصداره جسيم بيتا منخفض الطاقة نسبياً دون إشعاع غاما. وبينما يتركز الكدميوم في الكبد والكليتين، يستطيع أيضاً أن يترسب في أعضاء وأنسجة أخرى معتمداً على تركيبه الكيميائي. أما أهم ما يثير القلق بخصوصه فهو تحريضه السرطاني بسبب جسيمات بيتا التي ترافق اضمحلاله المشع. وكذلك يبدي الكدميوم سمية كيميائية، حيث يستطيع الكدميوم المستنشق أن يخرب الجهاز التنفسي مسبباً التهيج القصبي و الرئوي. وقد يسبب التعرض المستمر للكدميوم الانتفاخ

الرئوي أو التهاب القصبات. وقد يسبب تكرار فترات التعرض الوجيزة تلفاً مستديماً في الكلية، مما يؤدي إلى حصيّات كلويّة و مشاكل صحية أخرى. ويصنف الكدميوم لدى وكالة حماية البيئة (EPA) كمادة مسرطنة محتملة بالنسبة للإنسان. وقد استند هذا إلى دراسات على عمال صهر الكدميوم الذين نشأ لديهم سرطان رئوي بعد تعرضهم للاستنشاق المستمر. ولكن لم يتبين أنه يسبب السرطان عبر تناوله ابتلاعاً.

خطورته

لقد تم حساب معاملات الخطورة العمريّة للوفاة بالسرطان لجميع النكليدات المشعة تقريباً، بما فيها الكدميوم (راجع المؤطر على يسار الصفحة). فبينما تَظهَر معاملات تناوله عن طريق الابتلاع أقل مما هي عليه عن طريق الاستنشاق، فإن تناوله-عبر الابتلاع- يعد على العموم أكثر الوسائل شيوعاً في دخوله إلى الجسم. وكبقية النكليدات المشعة، فإن معاملات الخطورة لتناوله عبر مياه الصنبور تشكل 80% تقريباً من معاملات الخطورة لتناوله عبر الابتلاع الغذائي.

وبالمثل، فقد حددت EPA قيماً لتقدير خطورة نشوء السرطان أو أية آثار صحية مضادة أخرى كنتيجة لاستنشاق أو ابتلاع الكدميوم. وتدعى القيمة السمية لتقدير خطورة الإصابة بالسرطان بعامل الانحدار (SF)، وكذلك تدعى القيمة المحددة للتأثير اللاسرطاني بالجرعة المرجعية (RfD). ويعد عامل الانحدار (SF) تقديراً لفرصة إصابة شخص معرض للمواد الكيميائية بالسرطان جرّاء استهلاكه لـ 1 ملغم لكل كيلوغرام من وزن الجسم يومياً (ملغم/كغم-اليوم) طيلة عمره. ويعتمد عامل الانحدار الاستنشاقي للكدميوم على دراسات لأشخاص تعرضوا للكدميوم في أماكن عملهم وكذلك على أبحاث أجريت على الحيوانات. وتعتبر الجرعة المرجعية RfD تقييماً لأعلى جرعة يمكن تناولها يومياً دون أن تتسبب بتأثير لاسرطاني مُعاد. وقد تم وضع الجرعات المرجعية الفموية للطعام ومياه الشرب (الموضحة في المؤطر اليساري) باستخدام موديل للحركية السمية Toxickinetic model يربط تناول الكدميوم بالتراكيز في الكلية. ❑

معاملات الخطورة الإشعاعية (الراديولوجية)

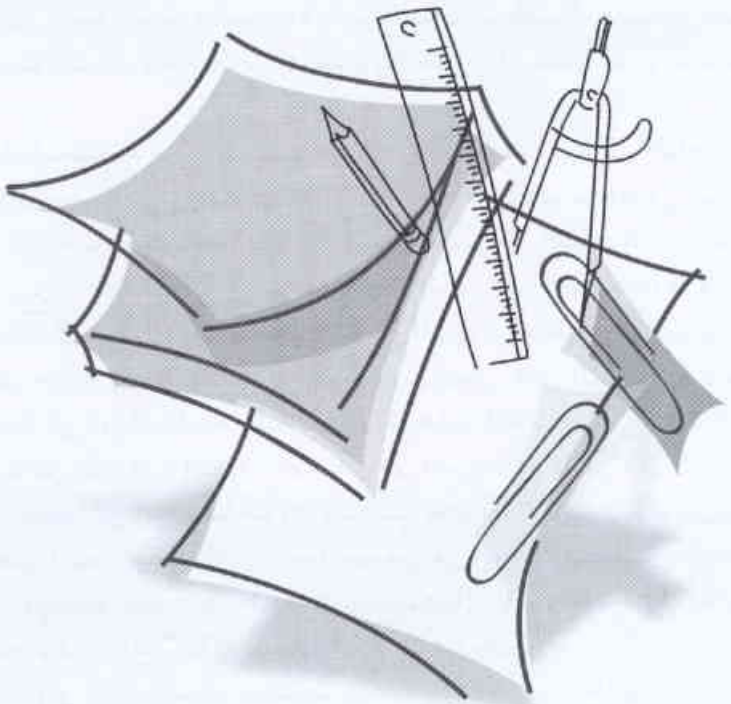
يوضح لنا الجدول التالي معاملات الخطورة الإشعاعية (بشكل انتقائي) بالنسبة للاستنشاق والابتلاع، وقد أعطيت القيم القصوى للاستنشاق (لم يتم تقديم أنماط افتراضية للامتصاص) كما استخدمت قيم غدائية للابتلاع. درجات الخطورة تخص عمر الوفاة بالسرطان لكل وحدة تزويد intake (بيكوكيوري pCi)، وقد تم تقدير المعدل حسب الأعمار جميعها ولكلا الجنسين (وتذكر بأن 10^{-9} يساوي بليون، و 10^{-12} يساوي تريليون). وتتاح كذلك قيم أخرى، بما فيها النسبة المرضية (نسب انتشار المرض في منطقة ما).

التظير	درجة الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الابتلاع (pCi^{-1})
كدميوم- 109	2.0×10^{-11}	4.2×10^{-12}
كدميوم- 113	8.1×10^{-11}	2.0×10^{-11}
كدميوم- m113	9.3×10^{-11}	2.5×10^{-11}

من أجل المزيد من المعلومات، راجع صفحة الحقائق المرافقة حول الخواص الإشعاعية، التبويب الداخلي ومعاملات الخطورة والجدول المرافق رقم 1.

قيم السمية الكيميائية		
الخطورة السرطانية	الأثر اللاسرطاني	
الاستنشاق SF	الجرعة المرجعية (عن طريق الفم)، الماء	الجرعة المرجعية (عن طريق الفم)، الغذاء
6.3 لكل ملغم / كغم - d	0.0005 لكل ملغم / كغم - d	0.00 3 لكل ملغم / كغم - d

ورقات البحوث



تقدير إنتاج المادة الجافة والآزوت الممتص في نباتات ذرة السورغوم العلفية النامية في ترب مالحة وغير مالحة مضافاً إليها مخلفات من نبات السيسبان*

د. فواز كردعلي
قسم الزراعة، هيئة الطاقة الذرية، ص.ب. 6091، دمشق، سوريا

ملخص

أجريت تجربة أصص لدراسة تأثير إضافة ثلاثة نماذج من مخلفات نباتية (جذور، أوراق أو كليهما) من نبات السيسبان (Sesbania aculeata Pers) في نمو نبات ذرة السورغوم العلفية Sorghum bicolor L المزروعة في تربة مالحة وأخرى غير مالحة. هدفت التجربة إلى: (1) تحديد تأثير إضافة أجزاء مختلفة من نبات السيسبان في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي لنباتات ذرة السورغوم؛ (2) تقدير النسب المئوية وكميات الآزوت الممتص من المصادر المختلفة؛ (3) تقدير كفاءة استعمال آزوت المخلفات النباتية؛ (4) مقارنة بين الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري (^{15}N) في حساب الآزوت الممتص من المخلفات النباتية في نبات الذرة؛ (5) اختبار طريقة الفرق لحساب الآزوت الممتص من المخلفات النباتية.

جرى استعمال طريقتين للتمديد النظيري لقياس الآزوت الممتص من المصادر المختلفة، حيث أضيف للتربة سماد آزوتي لاعضوي موسوم بالنظير ^{15}N (طريقة غير مباشرة) أو بإضافة مخلفات من نبات السيسبان موسومة بالنظير ^{15}N (طريقة مباشرة). فيما يتعلق بالطريقة غير المباشرة، فقد أضيف إلى التربتين مخلفات غير موسومة من نبات السيسبان ثم أضيف سماد آزوتي موسوم بالنظير ^{15}N، على صورة سلفات أمونيوم وذلك على أربع دفعات متتالية.

أدت إضافة الأجزاء النباتية المختلفة من نبات السيسبان إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي لنبات الذرة مقارنة بالشاهد. كما أن إضافتها إلى التربة المالحة قد ساهم في الحد من التأثير السلبي للملوحة في نمو النباتات. تراوحت النسب المئوية للآزوت الممتص من المواد العضوية في كامل نبات الذرة النامي في تربة غير مالحة بين 3.9 و 33%، في حين تراوحت النسب بين 4.9 و 19.8% في النباتات النامية في تربة مالحة. بلغت كفاءة استعمال آزوت المخلفات النباتية في الذرة النامية في تربة غير مالحة 61 و 45 و37% من الآزوت الموجود أصلاً في جذور وأوراق وكامل مخلفات السيسبان، على التوالي؛ في حين كانت النسب 48 و 15 و 16% في الذرة النامية في تربة مالحة. أشارت بيانات هذه التجربة إلى أن إضافة المخلفات النباتية إلى نباتات الذرة قد ساهمت في رفع قيم الآزوت الممتص من التربة. وبالتالي فإن التأثير الإيجابي لإضافة المخلفات النباتية لم ينجم فقط عن زيادة إتاحة الآزوت التي تحويها التربة فقط، بل عن ارتفاع إتاحة آزوت التربة أيضاً. لم تختلف معنوياً نسب وكميات الآزوت الممتص من أوراق السيسبان، المحسوبة وفق الطريقة غير المباشرة، عن الطريقة المباشرة، مما يشير إلى إمكانية استعمال الطريقة غير المباشرة، كطريقة بسيطة، لقياس الآزوت الناجم عن المخلفات النباتية المستخدمة كأسمدة خضراء.

أشارت بيانات هذه الدراسة إلى أن استعمال مخلفات نبات السيسبان Sesbania aculeata كأسمدة خضراء لتسميد ذرة السورغوم قد ساهم في تحسين نموه وفي تزويده بنسب جوهرية من الآزوت. ويُقترح استعمال هذه الأسمدة في الترب المالحة، كمادة استصلاح حيوي، بحيث تكون من الطرق الواعدة لتحسين نمو النباتات.

الكلمات المفتاحية: سيسبان، ذرة السورغوم، أسمدة خضراء، مخلفات، ^{15}N.

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Journal of Plant, Nutrition 2004.

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

مقدمة

يُعدّ الآزوت من العناصر الرئيسة والضرورية في إنتاج المحاصيل الزراعية وهذا ما يجعل استعمال الأسمدة الآزوتية في الإنتاج الزراعي في تزايد مستمر. ونظراً لارتفاع أسعار هذه الأسمدة وتلوث المياه الجوفية الناجم عن الإفراط في استعمالها، يحتاج المزارعون إلى مصادر بديلة من الآزوت، أكثر اقتصادية ونظافة للبيئة.

تُعدُّالنباتات البقولية من المكونات الرئيسة في أنظمة الدورات الزراعية وفي الزراعات المختلطة. ونظراً للأهمية الكبيرة لهذه النباتات سيما الحبية منها والعلفية، من حيث تثبيت الآزوت الجوي، فإنه يمكن للمحاصيل التي تزرع بعدها أو إلى جانبها أن تستفيد من الآزوت الذي تطرحه في التربة. وتعد مخلفات النباتات البقولية التي تستعمل كأسمدة خضراء ذات أهمية كبيرة في إفادة النباتات الأخرى بسبب احتوائها على نسب مرتفعة من الآزوت القابل للإفادة وهي صفة لا تتمتع بها المحاصيل الأخرى غير البقولية [1].

ازداد الاهتمام في الآونة الأخيرة باستعمال الأسمدة الخضراء للنباتات البقولية في الأنظمة الزراعية نظراً لكونها مصدراً هاماً للآزوت في تنمية المحاصيل اللاحقة، وبديلاً جيداً للأسمدة الكيميائية الآزوتية المكلفة اقتصادياً والملوثة بيئياً [2، 3، 4، 5]. تتصف الأسمدة الخضراء أيضاً بفوائد أخرى في الإنتاج الزراعي إذ وجد أن لها دوراً هاماً في زيادة إتاحة المغذيات في التربة وفي رفع قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء [6] وفي خفض حدة الإصابة بالأمراض النباتية [7] وفي تزويد النباتات بعناصر غذائية أخرى كالفسفور والبوتاسيوم والمغنيزيوم والكالسيوم [8].

لتقييم أهمية آزوت المخلفات البقولية في الإنتاج الزراعي، لا بد من تحديد كمِّيٍّ للآزوت الذي تمتصه المحاصيل الزراعية من هذه المخلفات. وتتوفر، لإجراء ذلك، عدة طرائق منها طريقة الفرق في كميات الآزوت الممتص بين نباتات أضيف لها أسمدة خضراء وأخرى شاهد. وعلى الرغم من أن هذه الطريقة تعطي معلومات زراعية مفيدة عن كمية الآزوت المتاح للمحاصيل الزراعية غير أن هناك محدوديات لاستعمالها بسبب قلة دقة القياس [9].

تعد طريقة استعمال مخلفات نباتية موسومة بالنظير ^{15}N (الطريقة المباشرة) من الطرائق الهامة لتقدير الآزوت الممتص من المواد العضوية في المحاصيل الزراعية [10، 11، 12]. كما تعد الطريقة غير المباشرة للتمديد النظيري للآزوت ^{15}N من الطرائق الجيدة والتي استعملت على نطاق واسع لتقدير كفاءة تثبيت الآزوت الجوي والتي يمكن استعمالها أيضاً لتقدير الآزوت الممتص من المواد العضوية [13، 14، 15].

يعدّ نبات السيسبان Sesbania aculeata من النباتات البقولية السريعة النمو والجيدة في تكيفها مع أنواع مختلفة من الترب (رملية وطينية) وذات تحمل جيد للملوحة وللغدق [16، 17].

تعتبر الهند والباكستان الموطنين الأصليين لهذا النوع، وقد أدخل إلى سوريا في عام 1997 بهدف استثمار الأراضي المالحة لإنتاج الأسمدة الخضراء والأعلاف. ومن الجدير بالذكر أن هذا النوع النباتي يستخدم على نطاق واسع كسماد أخضر في حقول الرز وذلك في العديد من الدول الآسيوية [18، 19، 20]. ومع ذلك لا تتوفر معلومات كافية عن استخدام هذا النوع النباتي في تسميد المحاصيل الأخرى وخاصة في الدول الواقعة في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط. إضافة إلى ذلك، لا توجد معلومات كافية عن استخدامه في الأراضي المالحة. لذلك هدفت تجربة الأصص هذه إلى مايلي:

1- دراسة تأثير إضافة أجزاء مختلفة من نبات السيسبان Sesbania aculeata في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي لنباتات ذرة السورغوم المزروعة في تربة مالحة وغير مالحة.

2- تقدير النسب المئوية وكميات الآزوت الممتص من المصادر المختلفة (تربة وسماد ومخلفات نباتية) في ذرة السورغوم المزروعة في تربة مالحة وغير مالحة.

3- تقدير كفاءة استعمال آزوت المخلفات النباتية.

4- مقارنة بين الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري في حساب الآزوت الممتص من المخلفات النباتية في نبات الذرة.

5- اختبار طريقة الفرق لحساب الآزوت الممتص من المخلفات النباتية.

ومن الجدير بالذكر أن هذه الدراسة تعدّ أول تقرير يتناول استعمال مخلفات نبات السيسبان Sesbania aculeata المُدخل حديثاً إلى سوريا، كسماد أخضر، بهدف تحسين نمو ذرة السورغوم ضمن الظروف المالحة وغير المالحة.

المواد والطرائق

خواص التربة

أجريت التجربة في أصص يحوي كل منها 7.7 كغ تربة مالحة وتربة غير مالحة تم الحصول عليها من مواقع مختلفة من حوض الفرات الأدنى (35° 15' N 40° 20' E, at 203 m above sea level) الواقع في جنوب شرق مدينة دير الزور. ويبين الجدول 1 أهم الصفات الفيزيائية والكيميائية للتربتين المستعملتين في التجربة.

المخلفات النباتية والمعاملات

الطريقة غير المباشرة

جرى اعتيان ثلاثين نباتاً من السيسبان Sesbania aculeata مزروعاً في الحقل وذلك عند مرحلة الإزهار، وفصلت الأجزاء الهوائية عن الجذور وتم تحديد إنتاج المادة الجافة ومحتواها من الآزوت حيث بلغت N% 3.01 و1.7% في كلٍ من الأوراق والجذور، على التوالي. كما تم تحديد نسبة الأجزاء الهوائية إلى الجذور حيث بلغت 9 إلى 1 وذلك اعتماداً على إنتاج المادة الجافة لكل منهما.

الجدول 1: بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للترب المستعملة

تربة غير مالحة	تربة مالحة	الخصائص
29.4	22.5	الرمل %
36.6	49.1	السلت %
34.0	28.4	الطين %
1.0	5.2	الناقلية الكهربائية (EC_e (dS/m
8.3	8.1	pH
0.75	0.53	المادة العضوية %
16.7	17.5	% $CaCO_3$
0.06	0.07	%N
10.95	15.36	Available P (µg/g)
		الأيونات (meq/l)
2.8	26.4	Cl^-
4.0	3.0	HCO_3^-
آثار	آثار	CO_3^-
4.4	11.5	Na^+
3.8	3.8	K^+
2.4	24	Ca^{++}
8.8	23.8	Mg^{++}
12.6	33.7	SO_4^-
36.9	18.25	CEC سعة التبادل الكاتيوني (meq 100 g soil)
3.0	3.2	Na^+
1.34	1.86	K^+
18.1	11.3	Ca^{++}
10.8	1.56	Mg^{++}

نظراً لأن المجموع الخضري لنبات السيسبان Sesbania aculeata يراكم عادة بين 3.8 و4.2 طن مادة جافة/هكتار [19] فقد جرى اعتماد قيمة مكافئة لـ 4 طن/هكتار في هذه الدراسة حيث توافق هذه القيمة كمية مقدارها 11.5 غ من الأوراق/أصيص. وكانت المعاملات على الشكل التالي:

المعاملة الأولى: شاهد بدون إضافة مخلفات نباتية.

المعاملة الثانية (L): أضيف إلى كل أصيص 11.5 غرام من أوراق السيسبان بحيث تمثل هذه المعاملة إضافة أوراق السيسبان إلى محصول آخر مزروع في حقل آخر.

المعاملة الثالثة (R): أضيف إلى كل أصيص 1.3 غرام من جذور السيسبان بحيث تمثل هذه المعاملة استجابة المحاصيل المزروعة في تربة سبق وأن زرعت بنباتات السيسبان بعد حصاد مجموعها الخضري.

المعاملة الرابعة (L+R): أضيف إلى كل أصيص 11.5 غرام من أوراق السيسبان و1.3 غرام من الجذور، وتمثل هذه المعاملة استجابة المحاصيل الزراعية التي ستزرع في تربة كانت مزروعة بنباتات السيسبان بعد قلبها كاملةً بالتربة.

بعد مضي شهر تقريباً على إضافة مخلفات السيسبان، وفق المعاملات السابقة، زرعت حبوب ذرة السورغوم العلفية بمعدل 5 نباتات في الأصيص الواحد. ووضعت الأصص ضمن ظروف مناخية طبيعية ورُتبت وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأربعة مكررات حيث بلغ عدد الأصص 16 أصيصاً لكل نوع تربة. أضيف إلى كل أصيص ما يكافئ 20 كغ N/هـ سلفات أمونيوم (7.3 مغ N/كغ تربة) مغنى بنظير الآزوت ^{15}N بنسبة قدرها 10.7 ذرة ^{15}N%. جرت إضافة السماد الآزوتي على أربع دفعات بفاصل زمني 2 أسبوع بين الدفعة والأخرى (5 كغ N/هـ، في كل دفعة). اتبع هذا المنهج من الإضافة للحصول على حالة ثبات steady state في تركيز النظير ^{15}N في حوض الآزوت داخل التربة ولتقليص حدة ظاهرة تسكين الآزوت. هذا وقد جرى الحفاظ على رطوبة التربة في الأصص بحدود 70% من السعة الحقلية طيلة الفترة التجريبية.

الطريقة المباشرة

جرى الحصول على أوراق موسومة بالنظير ^{15}N من نبات السيسبان وذلك بتنمية نباتات في تربة فقيرة بالآزوت أضيف لها سلفات أمونيوم مغناة بالنظير ^{15}N (10.07 ذرة ^{15}N%)، وجرى اعتيان الأوراق بعد شهرين من الزراعة حيث بلغ محتواها من الآزوت الكلي 3.38% ومحتواها من نظير الآزوت 2.9385% فوق السوية الطبيعية.

استعملت أربعة أصص في هذا الاختبار مملوءة بتربة مالحة أضيف إليها 11.5 غرام من أوراق السيسبان الموسومة بالنظير ^{15}N. وبعد مضي شهر على الإضافة زرع كل أصيص بخمسة نباتات من ذرة السورغوم بحيث خضعت الأصص كافة إلى الشروط التجريبية ذاتها التي خضعت لها النباتات في الطريقة غير المباشرة.

حصاد النباتات والتحاليل

حصدت نباتات الذرة بعد 70 يوماً من الزراعة. جففت العينات النباتية (جذور وأوراق) بدرجة حرارة 70°C وطحنت وحدد محتواها من الآزوت بالهضم وفق طريقة كلداهل؛ كما حددت النسبة النظائرية $^{15}N/^{14}N$ فيها باستعمال مطياف الإصدار الضوئي (جاسكو 150- اليابان).

الحسابات

جرى حساب النسب المئوية للآزوت الممتص من المخلفات النباتية Ndfr% باستعمال المعادلة التالية:

$$\%Ndfr = (1 - \frac{atom\ \%^{15}N\ excess\ _{treatment}}{atom\ \%^{15}N\ excess\ _{control}}) \times 100$$

Treatment: النباتات النامية في تربة أضيفت إليها مخلفات نباتية

Control: النباتات النامية في تربة بدون إضافة مخلفات نباتية

حسبت كميات الآزوت الممتص من المخلفات النباتية (مغN/ أصيص) باستعمال المعادلة التالية:

$$Ndfr\ (mg) = \frac{\%Ndfr}{100} \times total\ N\ (mg)$$

كفاءة استعمال آزوت السماد العضوي %N recovery:

$$\%N\ recovery\ from\ residue = \frac{Ndfr(mg)}{N\ added\ as\ residue\ (mg)} \times 100$$

النسبة المئوية للآزوت الممتص من السماد الآزوتي %Ndff وكفاءة استعمال آزوت السماد المضاف:

$$\%Ndff = \frac{atom\ \%^{15}N\ excess\ _{plant}}{atom\ \%^{15}N\ excess\ _{fertilizer}} \times 100$$

$$\%N\ recovery\ from\ fertilizer = \frac{Ndff\ (mg)}{N\ added\ as\ fertilizer\ (mg)} \times 100$$

نسبة الآزوت الممتص من التربة:

$$\%Ndfs = 100 - (\%Ndfr + \%Ndff)$$

جرى حساب النسبة المئوية للآزوت الممتص من أوراق السيسبان الموسومة (الطريقة المباشرة) باستعمال المعادلة التالية:

$$\%Ndfr = \frac{atom\ \%^{15}N\ excess\ _{plant}}{atom\ \%^{15}N\ excess\ _{residue}} \times 100$$

حيث إن:

Plant: ذرة السورغوم.

Residues: أوراق السيسبان الموسومة المضافة إلى التربة المالحة.

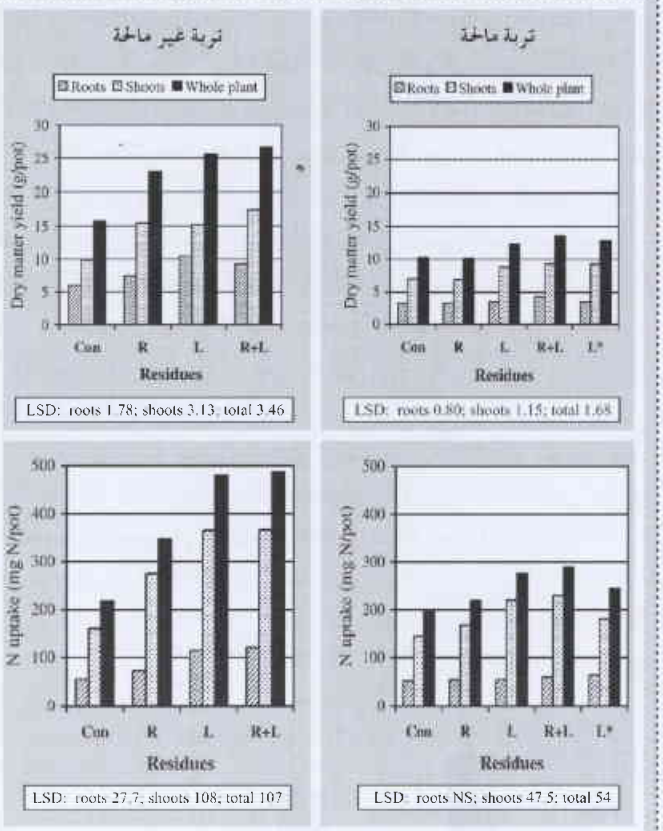
التحليل الإحصائي

خضعت البيانات لاختبار تحليل التباين (ANOVA) وقورنت المتوسطات باستخدام اختبار الفرق المعنوي الأقل (LSD) عند سوية احتمال قدرها $P<0.05$.

النتائج والمناقشة

إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي

أدت إضافة المخلفات النباتية المختلفة من نبات السيسبان (R جذور، L أوراق، R+L أوراق مع جذور) إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي لنباتات ذرة السورغوم، مقارنة بالشاهد (الشكل 1). ففي التربة غير المالحة بلغت كميات المادة الجافة 15.9 و23 و 25 و 26.6 غ/ أصيص في كل من الشاهد، والمعاملات R و L و R+L، على التوالي، (الجدول2)، بحيث بلغت النسب المئوية للزيادة عن الشاهد 45 و61 و67% (الشكل1).



الشكل 1.
إنتاج المادة الجافة (غ/أصيص) والآزوت الكلي (مغ N /أصيص) في الأجزاء النباتية المختلفة من ذرة السورغوم النامية في تربة مالحة وغير مالحة والمضاف إليها مخلفات نبات السيسبان باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري للآزوت ^{15}N. (R جذور، L أوراق، L+R كامل النبات. بالنسبة للطريقة غير المباشرة) "L: إضافة أوراق سيسبان معلمة بالنظير ^{15}N (طريقة مباشرة).

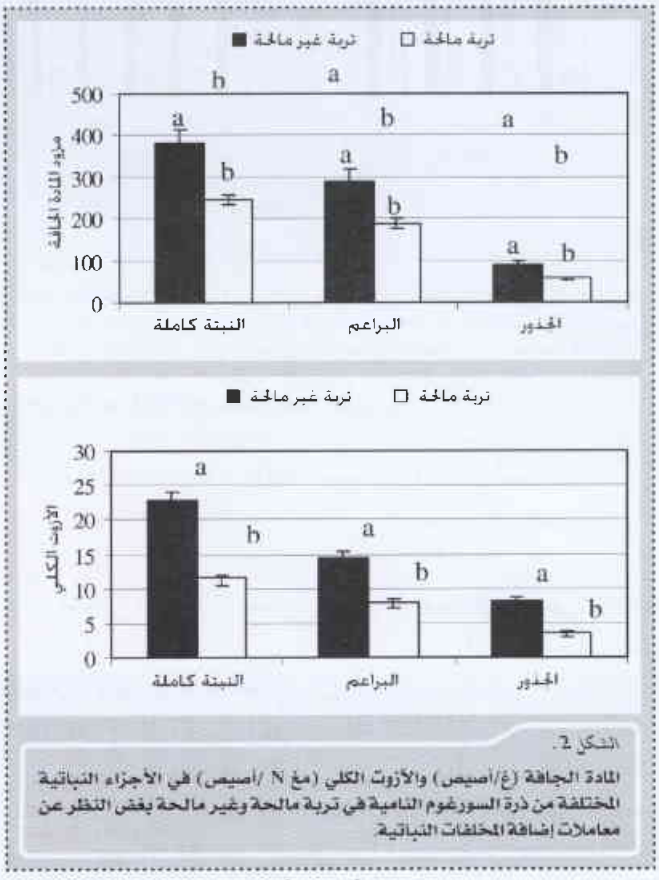
بلغت كميات إنتاج المادة الجافة لذرة السورغوم المزروعة في التربة المالحة 10.3 و10.1 و12.3 و13.6 غ/أصيص في الذرة المزروعة في التربة المالحة في كل من الشاهد، والمعاملات R و L و R+L، على التوالي (الشكل1). وكانت النسب المئوية للزيادة عن الشاهد 20 و32% نتيجة لإضافة أوراق وجذور مع أوراق السيسبان، على التوالي. أشارت هذه النتائج إلى أن تحسن إنتاج المادة الجافة للسورغوم النامية في الظروف المالحة نتيجة لاستعمال السيسبان كسماد أخضر كان أقل تأثيراً مقارنة بالظروف غير المالحة. لذلك يمكن الاستنتاج بأن نجاح استعمال نباتات السيسبان كأسمدة خضراء بهدف رفع نمو المحاصيل الأخرى يتأثر بنوع المخلفات النباتية وبملوحة التربة [21, 22].

كان منحى نتائج الآزوت الكلي متوافقاً مع منحى نتائج المادة الجافة (الشكل1). كانت كميات الآزوت الكلي في نباتات السورغوم المضاف إليها مخلفات السيسبان أعلى معنوياً من الشاهد. ففي التربة غير المالحة بلغت نسب الزيادة في الآزوت الكلي على الشاهد 59 و120 و124% نتيجة لإضافة جذور وأوراق وجذور مع أوراق السيسبان، على

التوالي، حيث كانت القيم 218 و 347 و479 و487 مغN /أصيص في كل من الشاهد، والمعاملات R وL وR+L، على التوالي.

أما في التربة المالحة فقد بلغت كميات الآزوت في نباتات الذرة 197 و219 و276 و289 مغ N/أصيص في كل من الشاهد، والمعاملات R و L وR+L على التوالي (الشكل 1)، بحيث بلغت النسب المئوية للزيادة على الشاهد 11 و40 و47% بنفس ترتيب المعاملات السابقة. يعود التأثير الإيجابي لإضافة مخلفات السيسبان في نمو نباتات ذرة السورغوم (إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي) إلى الاستفادة الفضلى من عوامل النمو كزيادة في إتاحة آزوت التربة والمخلفات النباتية.

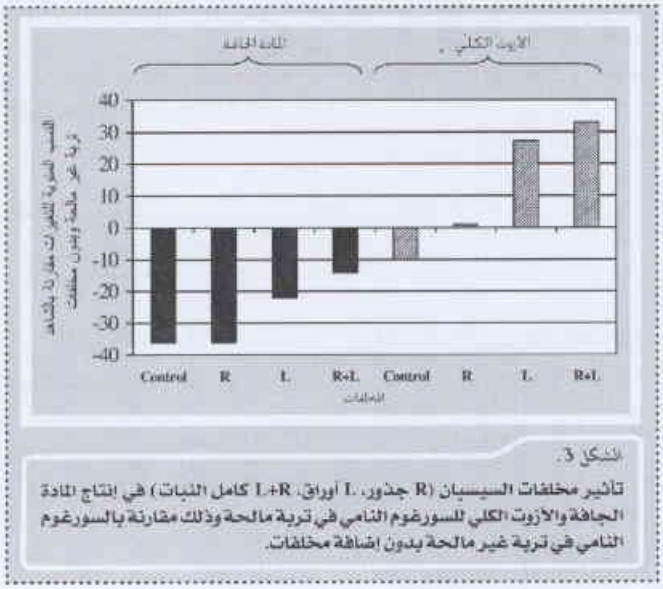
وبغض النظر عن المعاملات المختلفة من المخلفات النباتية فإن إنتاج المادة الجافة والآزوت الممتص في الأجزاء المختلفة من نباتات السورغوم النامية في التربة المالحة كانت أقل معنوياً من تلك النامية في تربة غير مالحة (الشكل 2).



الشكل 2.
المادة الجافة (غ/أصيص) والآزوت الكلي (مغ N /أصيص) في الأجزاء النباتية المختلفة من ذرة السورغوم النامية في تربة مالحة وغير مالحة بغض النظر عن معاملات إضافة المخلفات النباتية

معروف أن للملوحة تأثيراً سلبياً في نمو النبات وأن الحد الأقصى في انخفاض إنتاجية النباتات المزروعة في ظروف مالحة يجب أن لا يزيد عن 50% من إنتاجيتها في الظروف غير المالحة [16]. واعتماداً على هذا المفهوم، فإنه من الممكن تقييم دور السماد الأخضر للسيسبان في أداء نباتات ذرة السورغوم المزروعة في الظروف المالحة مقارنة بالظروف غير المالحة (الشكل 3).

أدت زراعة السورغوم في تربة مالحة إلى انخفاض في إنتاج المادة الجافة بمعدل 36% مقارنة بزراعته في التربة غير المالحة وذلك في النباتات الشاهد التي لم يضفْ إليها مخلفات نباتية.



الشكل 3.
تأثير مخلفات السيسبان (R جذور، L أوراق، R+L كامل النبات) في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي للسورغوم النامي في تربة مالحة وذلك مقارنة بالسورغوم النامي في تربة غير مالحة بدون إضافة مخلفات.

ولدى إضافة مخلفات السيسبان (الأوراق مع الجذور) إلى نباتات السورغوم في التربة المالحة تقلصت نسبة الانخفاض في إنتاج المادة الجافة إلى 14%. إضافة إلى ذلك، يستنتج من بيانات الآزوت الكلي أن النسبة المئوية لانخفاض الآزوت الكلي المتراكم في السورغوم النامي في تربة مالحة كانت بحدود 10% من القيمة التي راكمتها النباتات في التربة غير المالحة وذلك في معاملة الشاهد. ولكن بنتيجة إضافة مخلفات السيسبان إلى التربة المالحة زال هذا الفرق تماماً، حيث كانت كمية الآزوت متماثلة بين التربتين عند استعمال جذور السيسبان، وازدادت الكميات بمعدل 27 و33% نتيجة لإضافة أوراق وكامل مخلفات السيسبان إلى التربة المالحة، وذلك مقارنة بالسورغوم النامي في تربة عادية وغير المعامل بمخلفات نباتية. يستنتج من البيانات السابقة أن إضافة المخلفات النباتية إلى النباتات المزروعة في تربة مالحة قد ساهم في تحسين نموها. لذلك فإنه من الممكن استعمال السيسبان كسماد أخضر في الأراضي المتأثرة بالأملاح وذلك بزراعة السيسبان وقلبه في التربة قبل زراعة المحاصيل الأخرى، الأمر الذي يؤدي إلى تحسين في نمو النباتات عن طريق تأمين مصدر من الآزوت من جهة وتحسين مواصفات التربة من جهة أخرى، ولو أن هذا يستدعي اختبار ذلك في الظروف الحقلية.

الآزوت الممتص من المصادر المختلفة

سببت المعاملات التي تلقت مخلفات نباتية غير موسومة، وبخاصة معاملتي أوراق وكامل نبات السيسبان، في الحصول على قيم منخفضة للنظير ^{15}N (فوق المستوى الطبيعي) وذلك مقارنة بالشاهد (بدون إضافة مخلفات)، مما يشير إلى حدوث تمديد نظيري سببه أن المخلفات النباتية قد ساهمت بجزء من آزوت نباتات السورغوم (الجدول 2).

تراوحت النسب المئوية للآزوت الممتص من المخلفات النباتية (%Ndfr)، باستعمال الطريقة غير المباشرة للتمديد النظيري بين 3 و40% في جذور السورغوم النامية في تربة غير مالحة. في حين تراوحت القيم بين 3 و21% في النباتات النامية في تربة مالحة (الجدول 3). وفي الأوراق، تراوحت القيم (%Ndfr) من 4–31% في تربة غير مالحة ومن 6 – 20% في تربة مالحة (الجدول4).

أما في كامل نبات ذرة السورغوم النامي في تربة مالحة فقد بلغت القيم 3.9، 33، 28.5% في النباتات المعاملة بجذور وأوراق وجذور مع أوراق السيسبان، على التوالي؛ وكانت النسب في التربة المالحة 4.9 و18 و19.8% وذلك بالترتيب ذاته للمعاملات السابقة (الجدول 5). أشارت هذه النتائج إلى أن مخلفات السيسبان المستعملة كسماد أخضر، وبخاصة المجموع الخضري، قد ساهمت بجزء من متطلبات السورغوم لعنصر الآزوت. ومن الجدير بالذكر أن قيم %Ndfr المتحصل عليها في هذه الدراسة كانت ضمن مجال القيم ذاتها التي حصل عليها باحثون آخرون، باستعمال نباتات بقولية أخرى، مثل الفصة في تسميد الشيلم [23]، والفاصولياء Phseolus calcaratus والسيسبان ذي العقد الساقية Sesbania rostrata، وفي تسميد الرز [24].

بلغت كميات الآزوت الممتص من المخلفات النباتية (جذور وأوراق السيسبان وكليهما معاً) في ذرة السورغوم النامية في تربة غير مالحة 13.5 و156 و140مغ N/أصيص، على التوالي. في حين كانت القيم 11و51 و59 مغ N/أصيص في ذرة السورغوم النامية في تربة مالحة وذلك بنفس ترتيب المعاملات السابقة (الجدول 5). ومن الملاحظ أن أعلى كمية من الآزوت الممتص من المخلفات كانت في المعاملتين اللتين استعملت فيهما الأوراق وكامل النبات وكلا المعاملتين تحويان كمية مرتفعة من الآزوت. وقد أكد [22] وجود تناسب في كميات الآزوت الممتص في نبات القمح مع كميات الآزوت المضافة بشكل مخلفات نباتية بقولية.

الجدول 2: النسب المئوية للنظير ^{15}N فوق السوية الطبيعية في الأجزاء المختلفة من نبات ذرة السورغوم Sorghum bicolor المزروعة في تربة غير مالحة وفي تربة مالحة بعد إضافة مخلفات من السيسبان Sesbania aculeata وذلك باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للنظير ^{15}N.

الطريقة غير المباشرة				
	تربة غير مالحة		تربة مالحة	
المعاملة [c]	أوراق	جذور	أوراق	جذور
الشاهد	0.4473a[a]	0.4113a	0.4488a	0.4135a
R	0.4283a	0.3998a	0.4240a	0.4010a
L	0.3103b	0.2470c	0.3683b	0.3368b
R+L	0.3120b	0.3152b	0.3605b	0.3288b
LSD 0.05	0.042	0.047	0.047	0.059
الطريقة المباشرة				
L*[b]	-	-	0.5607	0.5067

[a] المتوسطات المشار إليها بأحرف صغيرة متشابهة لا تختلف معنوياً فيما بينها (P>0.05)
[b] (L): إضافة أوراق سيسبان معلمة.
[c] R= جذور، L= أوراق، R+L= كامل النبات.

الجدول 3: النسب المئوية وكميات الآزوت الممتص من المخلفات النباتية للسيسبان Ndfr ومن السماد الآزوتي Ndff ومن التربة Ndfs في جذور نبات ذرة السورغوم Sorghum bicolor المزروع في تربة غير مالحة وفي تربة مالحة بعد إضافة مخلفات من نبات السيسبان Sesbania aculeata وذلك باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري بالنظير ^{15}N.

الطريقة غير المباشرة						
تربة غير مالحة						
	Ndfr		Ndff		Ndfs	
المعاملة [c]	%	mg N/pot	%	mg N/pot	%	mg N/pot
الشاهد	-	-	4.27a	2.43b	95.73a	54.36b
R	02.81c[a]	02.0c	4.15a	3.02ab	93.04a	67.78ab
L	39.95a	46.5a	2.56c	2.92ab	57.49c	65.52b
R+L	23.35b	27.2b	3.27b	4.00b	73.37b	89.75a
LSD 0.05	**7.65**	**12.1**	**0.49**	**1.12**	**6.12**	**24.07**
تربة مالحة						
الشاهد	-	-	4.29a	2.20a	95.71a	50.35a
R	03.02b	01.75b	4.16a	2.27a	92.81a	50.54a
L	18.56a (A)	10.51a(A)	3.50b	1.94a	77.94b(A)	43.18a(A)
R+L	20.50a	12.46a	3.41b	2.05a	76.09b	45.68a
LSD 0.05	**7.69**	**5.60**	**0.62**	**NS**	**6.17**	**NS**
الطريقة المباشرة						
L*[b]	**17.24 (A)**	**11.01(A)**	-	-	**82.76 (A)**	**52.65 (A)**

a المتوسطات المشار بأحرف صغيرة متشابهة لا تختلف معنوياً فيما بينها (P>0.05).

b تشير الأحرف الكبيرة إلى المقارنة بين الطريقتين المباشرة باستعمال أوراق سيسبان معلمة (L*) والطريقة غير المباشرة باستعمال أوراق سيسبان غير معلمة مع سماد آزوتي معلم (L).

c R جذور، L أوراق، L+R كامل النبات.

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

الجدول 4: النسب المئوية وكميات الآزوت الممتص من المخلفات النباتية للسيسبان Ndfr ومن السماد الآزوتي Ndff ومن التربة Ndfs في أوراق نبات ذرة السورغوم Sorghum bicolor المزروع في تربة عبر مالحة وفي تربة مالحة بعد إضافة مخلفات من نبات السيسبان Sesbania aculeata وذلك باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري بالنظير ^{15}N.

الطريقة غير المباشرة						
تربة غير مالحة						
Ndfs		Ndff		Ndfr		
mg N/pot	%	mg N/pot	%	mg N/pot	%	المعاملة [c]
153.2±18.5b	95.36a	07.60b	4.64a	-	-	الشاهد
250.3±19.6a	91.30a	12.19a	4.45a	011.5b	04.26b[a]	R
243.3±40.2a	66.14b	11.859ab	3.22b	109.2a	30.64a	L
242.3±23.2a	66.51b	11.80ab	3.24b	112.0a	30.25a	R+L
82.46	**4.15**	**4.31**	**0.44**	**35.1**	**5.2**	**LSD 0.05**
تربة مالحة						
137.3b	95.34a	6.65b	4.66a	-	-	الشاهد
148.6ab	90.07a	7.26ab	4.40a	08.87b	05.53b	R
174.5 a	76.58b	8.53a	3.74b	45.99a	19.70a	R+L
36.4	**6.01**	**1.64**	**0.49**	**24.19**	**7.55**	**LSD 0.05**
الطريقة المباشرة						
146.5 (A)	**80.92 (A)**	-	-	**34.57 (A)**	**19.08 (A)**	**L*[b]**

a المتوسطات المشار إليها بأحرف صغيرة متشابهة لا تختلف معنوياً فيما بينها (P>0.05).

b تشير الأحرف الكبيرة إلى المقارنة بين الطريقتين المباشرة باستعمال أوراق سيسبان معلمة (L*) والطريقة غير المباشرة باستعمال أوراق سيسبان غير معلمة مع سماد آزوتي معلم (L).

c R= جذور، L= أوراق، R+L= كامل النبات.

لقد أشارت نتائج هذه الدراسة عموماً إلى أن من فوائد استعمال السيسبان كسماد أخضر توفير جزء من متطلبات نبات السورغوم من عنصر الآزوت، بحيث كانت الفائدة في التربة المالحة أقل نسبياً من التربة غير المالحة حيث يعود سبب ذلك إلى انخفاض النشاط الميكروبي نتيجة الإجهاد الملحي.

الجدول 5: النسب المئوية وكميات الآزوت الممتصة من المخلفات النباتية للسيسبان Ndfr ومن السماد الآزوتي Ndff ومن التربة Ndfs في كامل نبات ذرة السورغوم Sorghum bicolor المزروع في تربة غير مالحة وفي تربة مالحة بعد إضافة مخلفات من نبات السيسبان Sesbania aculeata وذلك باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري بالنظير ^{15}N.

الطريقة غير المباشرة						
تربة غير مالحة						
Ndfs		Ndff		Ndfr		
mg N/pot	%	mg N/pot	%	mg N/pot	%	المعاملة [c]
207.5b	95.46a	10.03b	4.54a	-	-	الشاهد
318.1a	91.69a	15.21a	4.38a	013.50b	03.92b[a]	R
308.8a	63.87b	14.77a	3.05b	155.71a	33.07a	L
332.1a	68.24b	15.80a	3.25b	139.27a	28.51a	R+L
88.40	4.48	4.68	0.47	32.6	6.00	LSD 0.05
تربة مالحة						
187.67a	95.47a	08.84a	4.53a	-	-	الشاهد
199.14a	90.76a	09.53a	4.34a	10.62b	04.89b	R
214.48a (A)	78.19b (A)	10.31a	3.76b	51.11a (A)	18.05a (A)	L
220.22a	76.54b	10.58a	3.68b	58.46a	19.79a	R+L
NS)	5.79	(NS)	0.48	29.49	7.26	LSD 0.05
الطريقة المباشرة						
199.1(A)	**81.38 (A)**	-	-	**45.58 (A)**	**18.62 (A)**	**L*[b]**

a المتوسطات المشار إليها بأحرف صغيرة متشابهة لا تختلف معنوياً فيما بينها (P>0.05).

b تشير الأحرف الكبيرة إلى المقارنة بين الطريقتين المباشرة باستعمال أوراق سيسبان معلمة (L*) والطريقة غير المباشرة باستعمال أوراق سيسبان غير معلمة مع سماد آزوتي معلم (L).

c R= جذور، L= أوراق، R+L= كامل النبات)

حصلت نباتات ذرة السورغوم النامية في تربة غير مالحة مضافاً إليها مخلفات السيسبان على كمية من آزوت التربة (Ndfs) أعلى معنوياً مما حصلت عليه نباتات الشاهد (بدون إضافة مخلفات)، حيث بلغت كميات الآزوت المتص من التربة (Ndfs) في كامل نبات السورغوم 208، 318، 308، 332 مغ N/أصيص وذلك في كل من الشاهد والمعاملات R وL وR+L، على التوالي (الجدول5). وفي النباتات النامية في تربة مالحة، كانت قيم الآزوت المتص من التربة في المعاملات المضاف إليها مخلفات السيسبان أعلى أيضاً من الشاهد.

كان منحى نتائج كميات الآزوت المتص من السماد متوافقاً مع منحى نتائج كميات الآزوت المتص من التربة، حيث كانت كميات الآزوت المتص من السماد في المعاملات التي تلقت مخلفات نباتية أعلى من الشاهد وخاصة عند استعمال التربة غير المالحة (الجدول5).

إن ارتفاع قيم الآزوت المتص من التربة في المعاملات التي تلقت مخلفات نباتية قد لوحظ أيضاً في العديد من الدراسات الأخرى التي استعملت محاصيل ومخلفات نباتية مختلفة [10، 21، 24]. لقد أدخل [25] مفهوم تآثر النتروجين المضاف Added Nitrogen Interaction (ANI) أو ما يسمى التأثير المحفز priming effect. وقد بيَّن أن هذا التآثر ينجم عن استثمار حيز أكبر من التربة من قبل جذور النباتات نتيجة إضافة الأسمدة العضوية، مؤدياً إلى ازدياد امتصاص الآزوت من التربة. وجد [21] أن هذا التأثير ينجم إما عن زيادة في نمو الجذور أو نتيجة لارتفاع معدل معدنة الآزوت العضوي في التربة. وقد بينت الدراسة التي أجراها [10] أن التأثير الإيجابي أو المغير للآزوت العضوي المضاف قد ترافق مع زيادة نمو المجموع الجذري. وفي الدراسة الحالية لوحظ أيضاً وجود تأثير إيجابي مفيد لإضافة مخلفات السيسبان في رفع إنتاج المادة الجافة في جذور السورغوم (الشكل 1). إضافة إلى ذلك، بين الباحثون أن تأثير إضافة المخلفات النباتية في رفع كمية الآزوت المتص من التربة يعود أيضاً إلى زيادة في نشاط أحياء التربة الدقيقة المسؤولة عن معدنة الآزوت العضوي في التربة [10] لذلك يمكن القول أن الحصول على تأثير إيجابي لإضافة مخلفات السيسبان في زيادة كميات الآزوت الذي امتصته نباتات السورغوم يعود، رئيسياً، إلى زيادة في نمو الجذور وإلى تحفيز عملية معدنة الآزوت العضوي في التربة [10، 21، 25].

يمكن الاستنتاج، على ضوء النتائج السابقة، أن التأثير الإيجابي لمخلفات السيسبان في زيادة نمو السورغوم لا يعود فقط إلى إتاحة آزوت المخلفات المضافة فقط، بل يعود إلى زيادة في إتاحة آزوت التربة للنباتات أيضاً.

كفاءة استعمال آزوت المخلفات النباتية

كانت نسب الآزوت المتاح من المخلفات النباتية المضافة لنباتات السورغوم في التربة غير المالحة 61 و45 و37% من أصل كميات الآزوت الموجودة في كل من جذور وأوراق وكامل مخلفات السيسبان، على التوالي؛ وكانت النسب ذاتها في التربة المالحة 48 و14.8 و15.7% (الجدول6). تشير هذه القيم إلى أهمية إضافة المخلفات النباتية للنوع Sesbania aculeata في تزويد السورغوم بجزء من متطلباته لعنصر الآزوت.

بينت نتائج باحثين آخرين أن قيم كفاءة استعمال آزوت الأسمدة الخضراء تتراوح بين 17 و52% من أصل الكميات المضافة. وبيَّن [10] أن نبات الرز يستطيع تمثيل حوالي 19.3% من آزوت مخلفات السيسبان Sesbania aculeata. وقد حصل [26] على كفاءة استعمال

الجدول 6: النسب المئوية لكفاءة استعمال آزوت المخلفات النباتية لنبات السيسبان Sesbania aculeata والسماد الآزوتي اللاعضوي في كامل نبات ذرة السورغوم Sorghum bicolor المزروع في تربة غير مالحة وفي تربة مالحة بعد إضافة مخلفات من نبات السيسبان وذلك باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للنظير N^{15}.

المعاملة [c]	آزوت لاعضوي	آزوت عضوي
الطريقة المباشرة		
تربة غير مالحة		
الشاهد	17.77b[a]	-
R	26.97a	61.37a
L	26.18a	45.00a
R+L	28.02a	37.00a
LSD 0.05	8.30	NS
تربة مالحة		
الشاهد	15.68a	-
R	16.89a	48.26a
L	18.27a	14.77b (A)[b]
R+L	18.75a	15.74b
LSD 0.05	**(NS)**	**20.60**
الطريقة المباشرة		
L*[b]	-	**11.72 (A)**

a المتوسطات المشار إليها بأحرف صغيرة متشابهة لا تختلف معنوياً فيما بينها (P>0.05).

b تشير الأحرف الكبيرة إلى المقارنة بين الطريقتين المباشرة باستعمال أوراق سيسبان معلمة (L*) والطريقة غير المباشرة باستعمال أوراق سيسبان غير معلمة مع سماد آزوتي معلم (L).

c R= جذور، L= أوراق، R+L= كامل النبات.

مقدارها 46% في نبات الرز نتيجة استخدام نبات Sesbania rostrata كسماد أخضر.

من الملاحظ في الجدول السابق ارتفاع قيم كفاءة استعمال آزوت المخلفات الجذرية للسيسبان مقارنة بالمخلفات الأخرى (الأوراق وكامل النبات). لقد بينت دراسات عديدة أن معدنة المخلفات النباتية في التربة تتأثر بعدة عوامل منها نوع وكمية المادة العضوية، نوع

التربة، الحرارة، الرطوبة وغيرها [1، 21، 22]. إضافة إلى ذلك، بينت دراسات أخرى أهمية موعد إضافة المخلفات النباتية وطريقة إضافتها [27، 28]. كذلك أوضح [29] أنه عند إضافة مخلفات نباتية ذات نسبة C/N مرتفعة كمخلفات الشيلم على سبيل المثال فإنه يمكن الحصول على تأثير إيجابي لهذه المخلفات عند إضافتها قبل شهر من زراعة المحصول اللاحق. وفيما يتعلق بالمخلفات النباتية ذات نسبة C/N منخفضة كالنباتات البقولية مثلاً فإنه يمكن الحصول على معدنة سريعة لآزوتها العضوي حتى لو أضيفت عند الزراعة. فعلى الرغم من الارتفاع النسبي لقيمة C/N في جذور السيسبان (N1:C33) مقارنة بالأوراق (N1:C18)، فإن إضافة كميات قليلة من الجذور قبل شهر من الزراعة من جهة، وارتفاع متطلبات ذرة السورغوم من عنصر الآزوت من جهة أخرى قد تكون من الأسباب التي أدت إلى ارتفاع قيم كفاءة استعمال ذرة السورغوم للآزوت المضاف على شكل مخلفات جذرية من السيسبان.

كانت نسب الآزوت المتاح من المخلفات النباتية المضافة إلى التربة المالحة أقل من النسب الملاحظة في التربة العادية، وقد يعود السبب في ذلك إلى اختلاف معدلات معدنة الآزوت العضوي بين التربتين نتيجة لاختلاف الكثافة الميكروبية بينهما. وجد [30] أن معدل معدنة الآزوت العضوي للمخلفات النباتية في الترب المالحة ذات الناقلية الكهربائية المرتفعة أقل من الترب ذات الناقلية الكهربائية المنخفضة. غير أن المخلفات العضوية أدت إلى تحسين واضح في بعض الصفات الفيزيائية للترب المالحة. ونظراً لأن نباتات السيسبان Sesbania aculeata تعد من النباتات البقولية المتحملة للملوحة، وبسبب قدرتها على تثبيت الآزوت الجوي ضمن هذه الظروف [17] وارتفاع محتواها من الآزوت، فإن استعمالها كأسمدة خضراء في الترب المالحة، قد يكون طريقة واعدة في عمليات الاستصلاح الحيوي للترب المتأثرة بالأملاح. غير أن ذلك يحتاج إلى دراسة طويلة المدى تهدف إلى ديمومة استثمار الأراضي المالحة والمياه المالحة في الإنتاج الزراعي.

يعد التوفير في استعمال الأسمدة الآزوتية الكيميائية من أهم الفوائد الاقتصادية التي يمكن جنيها نتيجة استعمال الأسمدة الخضراء. فقد بيَّنت العديد من الدراسات أن الأسمدة الخضراء توفر جزءاً كبيراً من الأسمدة الآزوتية التي تتطلبها المحاصيل الزراعية [5،3]. نلاحظ من هذه الدراسة أن مخلفات السيسبان قد ساهمت مساهمة عالية في تحقيق متطلبات السورغوم من عنصر الآزوت. فقد كانت كمية الآزوت في مخلفات السيسبان (جذور، أوراق، جذور مع أوراق) المضافة للسورغوم مكافئة لـ 8 و120 و128 كغN/هـ، على التوالي. فعند استعمال الأوراق في تسميد السورغوم في التربة العادية، كانت كفاءة استعمال الآزوت 45%، وبالتالي يمكن القول أنه أمكن توفير كمية من الآزوت مكافئة لـ 54 كغ N/هـ نتيجة لاستعمال أوراق السيسبان كسماد أخضر في التربة العادية. أما في التربة المالحة فيمكن توفير كمية بحدود 18 كغ N/هـ. هذا وقد بيَّن بعض الباحثين [4،2] أن استعمال نوع السيسبان Sesbania rostrata بعمر 40-60 يوماً في تسميد محصول الرز قد أدى إلى توفير كمية من السماد الآزوتي بحدود 50-70 كغ N/هـ.

كفاءة استعمال آزوت السماد

أدت إضافة مخلفات السيسبان في التربة العادية إلى زيادة في كفاءة استعمال السماد الآزوتي. بلغت كفاءة استعمال 20 كغ N/هـ من سلفات الأمونيوم 18% في الشاهد، وارتفعت هذه النسبة إلى 27 و26 و28% نتيجة لإضافة جذور وأوراق وكامل مخلفات السيسبان، على التوالي (الجدول 6). لقد حصل [6] على نتائج مشابهة نسبياً إذ تبين أن إضافة مخلفات نبات (Cyamopsis tetragonoloba) مع السماد الآزوتي قد رفع من كفاءة استعمال هذا الأخير وذلك في نبات Pennisetum glaucum وذلك بمعدل وصل إلى 30%. وقد بيَّن [31] أيضاً تحقق تحسن في كفاءة استعمال السماد الآزوتي بوجود المواد العضوية. وقد بين باحثون آخرون [6، 31] أن السبب في ذلك يعود إلى زيادة في الماء المتاح وارتفاع النشاط الميكروبي نتيجة وجود المخلفات النباتية. أما في التربة المالحة فإن إضافة المخلفات النباتية لم يرفع معنوياً من كفاءة استعمال السماد الآزوتي (الجدول6).

مقارنة بين الطريقة المباشرة وغير المباشرة لتقانة ^{15}N في تقدير الآزوت الممتص من أوراق السيسبان

أجريت هذه المقارنة على نباتات السورغوم النامية في تربة مالحة وبإضافة مخلفات من أوراق السيسبان، بلغت كمية الآزوت الممتص من أوراق السيسبان في نبات السورغوم 51 مغ N/أصيص وبنسبة مئوية قدرها 18% من الآزوت الكلي في السورغوم وذلك عند استعمال الطريقة غير المباشرة للتمديد النظيري. ونلاحظ أن هذه القيمة لا تختلف معنوياً عن القيم المتحصل عليها من جرَّاء تطبيق الطريقة المباشرة باستعمال أوراق سيسبان موسومة بالنظير ^{15}N حيث بلغت كمية Ndfr 46 مغ N/أصيص، وبنسبة قدرها 18.6% من آزوت السورغوم النامي في تربة مالحة (الجدول 5). ومن الملاحظ أيضاً عدم وجود اختلافات معنوية بين الطريقتين في قيم إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي في مختلف أجزاء نباتات السورغوم (الشكل 1). تشير هذه النتائج إلى إمكانية استعمال الطريقة غير المباشرة للتمديد النظيري ^{15}N، كطريقة بسيطة لقياس الآزوت الناجم عن المخلفات النباتية المستعملة كأسمدة خضراء. غير أنه يجب اتباع بعض الاحتياطات أثناء تطبيق هذه الطريقة وذلك بعدم إضافة الأسمدة الآزوتية المعلمة والمخلفات النباتية في آن واحد. فقد بين [11] أن قيم Ndfr المتحصل عليها وفق الطريقة غير المباشرة أعلى من القيم المتحصل عليها وفق الطريقة المباشرة عند إضافة السماد الآزوتي والمخلفات النباتية معاً، وذلك بسبب حدوث انخفاض سريع

في قيمة ^{15}N المتاح في التربة من جهة وإلى اختلاف في معدل تسكين الآزوت immobilization بين الشاهد والمعاملات المضاف إليها مخلفات نباتية، من جهة أخرى لقد وضّح [32] أن درجة تسكين الآزوت تكون مرتفعة في الترب المضاف إليها سماد آزوتي ومخلفات نباتية معاً وذلك مقارنة بإضافة سماد آزوتي فقط، الأمر الذي يؤدي إلى إعطاء قيم مختلفة عن الواقع، عند تطبيق طريقة التمديد النظيري.

وفي دراسة حديثة أجراها [23] جرى الحصول على نسب متماثلة من Ndfr في نبات الشيلم المعامل بمخلفات نبات الفصة وذلك بين الطريقة المباشرة (23%) والطريقة غير المباشرة (21%) وذلك عند إضافة السماد المعلم قبل الزراعة.

في الدراسة الحالية، تمت إضافة أوراق السيسبان قبل شهر من زراعة ذرة السورغوم ويمكن لهذه الفترة أن تكون كافية لتحلل الجزء الأكبر من الآزوت العضوي في أوراق السيسبان التي اتصفت بانخفاض نسبة C/N (N1:C18). فقد بين [18] أن أكثر من 80% من آزوت أوراق نبات السيسبان Sesbania aculeata يمكن أن يتحلل في غضون أسبوعين من الإضافة. إضافة إلى ذلك، فإن إضافة كمية قليلة من السماد الآزوتي، وفق أربع دفعات (5 كغ/هـ في كل دفعة) وبفاصل أسبوعين بين الدفعة والأخرى، قد ساهم في تخفيض حدة تسكين الآزوت، وحافظ على ثباتية في قيم ^{15}N المتاح. لذلك، فإن اتباع هذا المنهج من الإضافة قد ساهم، إلى حد كبير، في الحصول على تماثل في قيم الآزوت المتص من المخلفات، بين الطريقة المباشرة وغير المباشرة.

اختبار طريقة الفرق في محتوى الآزوت

تعد طريقة الفرق N-Difference من التقانات غير النووية التي تعتمد على قياس كمية الآزوت الكلي في النباتات المعاملة وغير المعاملة بمخلفات نباتية، وأن الفرق بينهما يعبر عن الآزوت المتص من المخلفات. واعتماداً على البيانات المبوبة في الجدول 5 فإنه يمكن اختبار هذه الطريقة لحساب الآزوت المتص من المخلفات في نباتات السورغوم. بلغت القيم المتحصل عليها 129. 262. 270 مغ N/أصيص في النباتات النامية في تربة غير مالحة وكانت 22.7. 79.3، 92.7 مغ N/أصيص في النباتات النامية في تربة مالحة وذلك في المعاملات التي أضيفت إليها جذور، وأوراق، وجذور مع أوراق السيسبان، على التوالي. ونلاحظ بوضوح أن هذه القيم أعلى بكثير من القيم المتحصل عليها من جراء تطبيق الطريقة النظيرية (الجدول5)، لذلك لا تُعدُّ طريقة الفرق طريقة مجدية لحساب الآزوت الناجم عن المخلفات. ويعود هذا الاختلاف، في القيم بين الطريقتين، إلى اختلاف مقدرة الشاهد من المعاملات المختلفة في امتصاص آزوت التربة. فمن المعروف أن طريقة الفرق تعتمد أساساً على فرضية أن النباتات المسمدة بمصدر آزوتي ما والنباتات الشاهد تمتص كميات متماثلة من آزوت التربة؛ لكن تبين من نتائج دراستنا هذه أن الفرضية المنوَّه بها غير صحيحة نظراً لأن المعاملات المضاف إليها مخلفات نباتية قد امتصت كميات من آزوت التربة أكبر مما امتصته نباتات الشاهد.

الاستنتاجات

- أدت إضافة مخلفات نبات السيسبان إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي للسورغوم. وقد ساهم استعمال السيسبان كسماد أخضر في توفير جزء من متطلبات السورغوم لعنصر الآزوت، إضافة إلى إمكانية تحقيق وفر في استعمال السماد الآزوتي.
- إن التأثيرات المفيدة لمخلفات السيسبان في زيادة نمو السورغوم لا تعود فقط إلى إتاحة آزوت المخلفات المضافة فقط، بل تعود أيضاً إلى زيادة في إتاحة آزوت التربة للنباتات.
- من الممكن استعمال الطريقة غير المباشرة، كطريقة بسيطة، لقياس الآزوت الناجم عن المخلفات النباتية المستخدمة كأسمدة خضراء.
- لا تعد طريقة الفرق في كميات الآزوت من الطرائق المناسبة لتقدير الآزوت المتص من المخلفات النباتية.
- أدى استعمال مخلفات السيسبان في التربة المالحة إلى الحد من التأثير الضار للملوحة في نمو النباتات. لذلك فإن استعمال السيسبان كسماد أخضر، في التربة المالحة، يمكن أن يكون طريقة واعدة في عمليات الاستصلاح الحيوي للترب المتأثرة بالأملاح، وإن الفائدة الحقيقية من استعمال الأسمدة الخضراء لا تتحقق فقط من زيادة إتاحة عنصر الآزوت فقط، بل من خلال تأثيرها في تحسين خواص التربة أيضاً، الأمر الذي يقتضي اختبار ذلك في تجارب حقلية طويلة الأجل.

REFERENCES المراجع

[1] Giller, K. E.; Wilson, J. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems; CAB International: Oxon, UK, 1993; 313.

[2] Kolar, S. J.; Grewal, S. H.; singh, B. Nitrogen substituation and higher productivity of rice-weat copping systems through green manuring. Trop. Agric. 1993, 70, 301-304.

[3] Ladha, J. K.; Watanabe, I.; Saono, S. Nitrogen fixation by leguminous green manure and Practices for its enhancement in tropical lowland rice. Green Manure in Rice Farming;: International Rice Research Institute. Manila, Philippines,.1988; 165-183.

[4] Manguiat, I. J.; Guinto, D. F.; Perez, A. S.; Pintor, R. M. Response of rainfed lowland rice to green manureing with S. rostrata. Trop. Agric. 1992, 69, 133-136.

[5] Sharma, S. N.; Das, K. C. Effect of green manureing with Dhaincha (Sesbania aculeata) on growth and yield of direct-sown and transplanted rice under intermediate deep water conditions (0-50 cm). J. Agric. Sci. 1994, 122, 359-364.

[6] Aggarwal, R. K.; Kumar, P.; Power, J. F. Use of crop residue and manure to conserve water and to enhance nutrient availability and pearl millet yield in an arid tropical region. Soil Tillage Res. 1997, 41, 43-51.

[7] Woodward, J. L. W.; Pfleger, F. L.; Fritz, V. A.; Allmras, R. R. Green Manures of Oat, Rape and Sweet Corn for Reducing Common Root Rot in Pea (Pisum sativum) Caused by Aphanomyces euteiches. Plant Soil. 1997, 188, 43-48.

[8] Lupwayi, N. Z.; Haque, I. Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from sesbania and leucaena leaves varying in chemicals composition. Soil Biol. Biochem. 1998, 30 (3), 337-343.

[9] Powlson, D. S. Barraclough, D. Mineralization and assimilation in soil-plant system. In Nitrogen Isotope Techniques; Knowles, R.; Blackburn, T. H., Eds.; Academic Press Inc: San Diego, CA 1993; 209-242.

[10] Azam, F. Comparative effects of organic and inorganic nitrogen sources applied to a flooded soil on rice yield and availability of N. Plant Soil. 1990, 125, 255-262.

[11] Hood, R. C.; Goran, K. N; Aigner, M.; Hardarson, G. A. Comparison of direct and indirect 15N isotope techniques for estimating crop N uptake from organic residues. Plant Soil. 1999, 208, 259-270.

[12] Xu, Z. H.; Saffigna, P. G.; Myers, R. J. K.; Chaoman, A. L. Nitrogen cycling in leucaena (Leucaena leucocephala) Alley Cropping in semi-arid Topics. I. Mineralization of nitrogen From leucaena residues. Plant Soil. 1993, 148, 63-72.

[13] Fried, M.; Middelboe, V. Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. Plant Soil. 1977, 47 (3) 713-715.

[14] Senaratn, R.; Hardarson, G. Estimation of the residual N effect of faba bean and pea on two succeeding cereals using 15N methodology. Plant Soil. 1988, 110, 81-89.

[15] Kumarasinghe, K. S.; Eskew, D. L. Comparison of direct and indirect 15N Methods for evaluation of N uptake by rice from azolla. In Isotopic Studies of Azolla and Nitrogen Fertilization of Rice; Kumarasinghe, K. S.; Eskew, D. L, Eds.; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1993; 16-21.

[16] Sandhu, G. R.; Haq, M. I. Economic utilization and Amelioration of salt-affected soils. In Membrane Biophysics and Salt Tolerance in Plants. Qureshi, R. H., Muhammad, S., Aslam, M., Eds.; University of Agriculture: Faisalabad, Pakistan. 1981; 111-114.

[17] Kurdali, F; Al-Ain, F. Effect of different water salinity levels on growth, nodulation and N2-fixation by dhaincha and on growth of sunflower using a 15N tracer technique. J. Plant Nutr. 2002, 25 (11) 2483-2498.

[18] Beri, V.; Meelu, O. P.; Khind, C. S. Studies on Sesbania aculeata Pers. as green manure for N-accumulation and substitution of fertilizer N in wetland rice. Trop. Agric. 1989, 66 (3) 209-212.

[19] Sharma, S. N.; Prasad, R.; Singh, S. The role of mungbean residues and Sesbania aculeata green manure in the nitrogen economy of rice-wheat cropping system. Plant Soil. 1995, 172, 125-129.

[20] Sharma, S. N.; Ghosh, A. Effect of green manuring with Sesbania aculeata and nitrogen fertilization on the performance of direct-seeded flood-prone lowland rice. Nutr. Cycl Agroecosyst. 2000, 57, 141-153.

[21] Rees, R. M.; Yan, L. Ferguson, M. The release and plant uptake of nitrogen from some plant and animal manures. Biol. Fertil. Soils. 1993, 15, 285-293.

[22] Biederbeck, V. O.; Campbell, C. A.; Rasiah, V. Zentner, R. P. Wen, G. Soil guality Attributes as influenced by annual legumes used as green manure. Soil Biol. Biochem. 1998, 30 (8-9), 1177-1185.

[23] Hood, R. C.; Merckx, R.; Jensen, E. S.; Powlson, D.; Matijevic, M.; Hardarson, G. Estimating crop N uptake from organic residues using a new approach to the 15N isotope dilution technique. Plant Soil. 2000, 223, 33-44.

[24] Manguiat, I. J.; Singleton, P. W.; Rocamora, P. M.; Calo, M. U.; Taleon, E. E. Effectiveness of Sesbania rostrata and Phaseolus calcaratus as green manure for upland rice grown in acidic soil. Plant Soil. 1997, 192, 321-331.

[25] Jenkinson, D. S. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen _ So called priming effect. J. Soil Sci. 1985, 36, 425-444.

[26] Diekmann, K. H.; De Datta, S. K.; Ottow, J. C. G. Nitrogen Uptake and Recovery from urea and green manure in lowland rice measured by 15N and non isotope techniques. Plant Soil, 1993, 148, 91-99.

[27] Baggs, E. M.; Watson, C. A.; Rees, R. M. The fate of nitrogen from incorporated cover crop and green manure residues. Nutr. Cyc. Agrosyst. 2000, 56, 153-163.

[28] Kumar, K.; Goh, K. M. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. European J. Agro. 2002, 16 (4), 295-308.

[29] Rayns, F. W.; Lennartson, E. K. M. The nitrogen dynamics of winter grown manures. In Soil Management in Sustainable Agriculture; Cook, H. F.; Lee, H. C. Eds.; Wye College Press. Kent, UK, 1995; 308-311.

[30] Badia, D. Straw management effects on organic matter mineralization and salinity in semiarid agricultural soils. Arid Soil Res. Rehabilitation. 2000, 14, (2), 193-203.

[31] Hornick, S. B.; Parr, J. F.; Restoring productivity of marginal soils by organic amendments. Am. J. Alter. Agric. 1987, 2, 64-68.

[32] Shen, S. M.; Hart, P. B. S.; Powlson, D. S.; Jenkinson, D. S. The nitrogen cycle in the broadbalk wheat experiment. 15N labelled fertilizer residues in the soil and in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem. 1989, 21, 529-533.

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

تأثير أشعة غاما في بيوض
فراشة ثمار التفاح، Cydia pomonella (L.) ★

محمد منصور، فاطر محمد
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

دُرست حساسية بيوض فراشة ثمار التفاح، Cydia pomonella (L.)، مختلفة الأعمار، لأشعة غاما، حيث عُرِّضت البيوض بأعمار تراوحت بين 1-24 ساعة و 97 -120 ساعة، بفارق 24 ساعة بين المجموعة والأخرى، لجرع إشعاعية تراوحت بين 10 و 350 غراي، وذلك بحسب عمر البيوض المدروسة، ودُرس تأثير هذه الجرع في نسبة الفقس وقدرة اليرقات الفاقسة على الوصول إلى طور الحشرة الكاملة. أوضحت نتائج هذه الدراسة أن حساسية البيوض لأشعة غاما ازدادت مع زيادة الجرعة وانخفضت مع تقدمها في العمر عند التشعيع. فقد انخفض معدل فقس البيوض بشكل معنوي عند تعريضها، بعمر 1-24 ساعة، لجرعة قدرها 20 غراي، ووصل معدل الفقس إلى نحو 1% عند الجرعة 60 غراي، في حين بلغ معدل الفقس نحو 10% عند تعريض البيوض بعمر 25-48 ساعة للجرعة نفسها (60 غراي). وانخفضت حساسية البيوض بعمر 49-72 ساعة بشكل ملحوظ إذ لم تؤثر جرعة 60 غراي معنوياً في نسبة الفقس. كما بلغت حساسية البيوض أدنى معدل لها عند تشعيعها بعمر 97-120 ساعة (مرحلة الرأس الأسود). أي قبل الفقس بساعات عدة، إذ لم تؤثر جرعة 100 غراي في معدّل الفقس في حين بلغت نسبة البيوض الفاقسة عند الجرعة 350 غراي حوالي 56%. وكان للأشعة المؤينة أيضاً تأثير واضح في قدرة اليرقات الناتجة من بيوض مشعّعة على التحول إلى حشرات كاملة. فتعريض البيوض في مرحلة الرأس الأسود إلى جرعة 60 غراي منع تحول اليرقات الناتجة منها إلى حشرات كاملة، وأدت جرعة 100 غراي إلى موت جميع اليرقات الناتجة من بيوض معاملة قبل تعذرها.

الكلمات المفتاحية: حشرات، حجر زراعي، تشعيع، بيوض، فراشة ثمار التفاح، Cydia pomonella (L.).

مقدمة

تُعتبر فراشة ثمار التفاح Cydia pomonella (L.)، آفة مفتاحية على أشجار التفاح في سوريا والعديد من دول العالم الأخرى، كما أنها ذات أهمية حجرية في بعض دول العالم [1]. يمكن لهذه الآفة أن تنتقل، من بلد لآخر، على هيئة بيوض على الثمار أو يرقات بداخلها [2]. ورغم أن التبخير بغاز ميثيل البروميد (MB) يؤثر بشدة في يرقات هذه الآفة، غير أن التخوّف من الآثار البيئية الناتجة عن استعمال هذا الغاز قادت إلى بحث جاد عن طرائق بديلة [3]، وتُعدُّ الأشعة المؤينة من البدائل المطروحة لهذا الغرض. فقد أشارت الدراسات التي تمّت على فراشة ثمار التفاح إلى إمكانية استعمال الأشعة المؤينة كمعاملة حجر زراعي ضد يرقات هذه الحشرة [4، 5، 6]. والجدير ذكره أن احتمال انتقال يرقات الحشرة في الثمار المصدرة، من الناحية العملية، قليل جداً، لأن عملية الفرز أثناء التعبئة ستبعد أية ثمار مصابة، بيد أن انتقال البيوض على الثمار أكثر احتمالاً، نظراً لصعوبة الكشف عنها أثناء الفرز والتعبئة.

دُرس تأثير أشعة غاما في بيوض فراشة ثمار التفاح من قبل العديد من الباحثين [7، 8، 9، 10]. ولكن معظم هذه الدراسات أُجريت بهدف الحصول على حشرات عقيمة لمكافحة هذه الآفة [7،8،9]، ولذلك فإن فائدتها محدودة لأغراض الحجر الزراعي. مع ذلك، فقد بيّنت إحدى هذه الدراسات [10] أن تعريض بيوض فراشة ثمار التفاح في مرحلة الرأس الأسود (قبل ساعات قليلة من الفقس) لجرعة قدرها 100 غراي أدّى لقتل جميع اليرقات الناتجة من هذه البيوض قبل وصولها لمرحلة الحشرة الكاملة. ولكن لا بد من الإشارة هنا إلى أن السلالات الجغرافية يمكن أن تختلف في درجة حساسيتها للأشعة المؤينة، مما يؤكد على أهمية التحرّي عن الحساسية الإشعاعية للسلالات الجغرافية المتباعدة، وخاصة السلالة السورية منها، المختلفة مورفولوجياً عن السلالة الأوربية [11].

تدرس هذه الورقة حساسية بيوض فراشة ثمار التفاح من السلالة السورية للأشعة المؤينة وتناقش إمكانية استعمال أشعة غاما (كبديل للمواد الكيميائية) كمعاملة حجر زراعي ضد بيوض هذه الحشرة.

★ نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Radiation Physics Chemistry 2004.

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

المواد والطرائق

الحشرات المستعملة

مصدر البيوض المستعملة في هذه الدراسة من مزرعة لتربية فراشة ثمار التفاح رُبِّيت مخبرياً لمدة 34 جيلاً على بيئة اصطناعية محلية مشابهة لتلك التي أوجدها برنتون وزملاؤه [12] بعد استبدال بعض مكوناتها المستوردة بمكونات محلية. فقد استُبدِل الغلوتين في بيئة برنتون بمزيج من نسب متساوية من دقيق الذرة والشعير والقمح، كما استُبدِل دقيق الكنولا بدقيق فول الصويا. نشأت المزرعة المذكورة من فراشات جُمعت من مواقع متعددة بالقرب من مدينة دمشق في صيف عام 1994، كما طُعمت هذه المزرعة في كل صيف بذكور تمَّ جمعها من المنطقة نفسها. وضُبطت عملية التربية على حرارة 26 ±2 °C ورطوبة بنسبة 50 ± 10% ونوبة ضوئية مكونة من 16 ساعة إضاءة و8 ساعات ظلام، ويستغرق طور البيضة تحت هذه الظروف نحو خمسة أيام.

التشعيع

شُعِّعت البيوض في جهاز كوبالت 60 مزود بمصدر لأشعة غاما يحيط بحجرة التشعيع (15×25 سم) وهو من نوع Issledovatel Gamma Irradiator, Techsnabexport Co. Ltd. USR. بلغ معدل الجرعة عند التشعيع نحو 44.24 غراي/دقيقة بمعامل تجانس (نسبة الجرعة العظمى إلى الصغرى) مقداره 1.14 وقد استُعمل محلول فركي (Fricke solution) في معايرة معدل الجرعة. شُعِّعت البيوض وهي محمولة على شرائح من الورق الشمعي قياس 12×15 سم بمعدل 300 - 400 بيضة على كل شريحة وكُرِّرت كل جرعة 4 مرات. تراوح عمر البيوض عند تشعيعها بين 1 - 24 و97 - 120 ساعة بفاصل 24 ساعة بين المجموعة والأخرى. وضعت البيوض عند تشعيعها في وسط حجرة التشعيع وتراوحت الجرع المستعملة بين 10 و350 غراي وفقاً لعمر البيوض.

تأثير أشعة غاما في معدل فقس البيوض

أعيدت البيوض، بعد تشعيعها مباشرة، إلى المختبر وحُفظت في درجة حرارة 27 ±1°C حتى وصولها إلى مرحلة الرأس الأسود (97 - 120 ساعة)، زُرعت عندها على بيئة اصطناعية موضوعة في علب بلاستيكية قياس 6×18×15 سم يحوي كل منها حوالي 800 غرام من وسط التربية وحُضنت في درجة الحرارة نفسها. تُركت الشرائح الورقية الحاملة للبيوض لمدة أربعة أيام على سطح البيئة الاصطناعية بحيث لامس السطح الحامل للبيوض سطح البيئة، ثم جُمعت الأوراق من على سطح البيئة الاصطناعية وفُحصت وسُجِّل عددها على كل شريحة، وعدد الفاقس منها، وحُسبت نسبة الفقس.

تأثير الأشعة المؤينة في معدل تحول اليرقات إلى حشرات كاملة

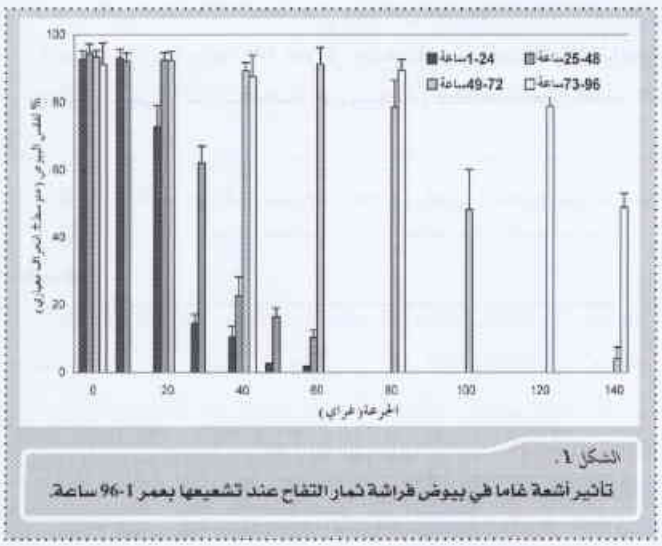
غُطِّيت العلب البلاستيكية المحتوية على اليرقات الناتجة من البيوض المشعة في التجربة السابقة، وخاصة تلك التي شُعِّعت في طور الرأس الأسود، بقماش من الموسلين لمنع الفراشات الناتجة من الهروب من العلب، وحضنت لمدة شهرين في درجة حرارة 27 ±1°C، فُتحت العلب بعدها وسُجِّل عدد الفراشات الموجودة (ميتة) في كل علبة، كما فُحصت البيئة في العلب التي لم تظهر فيها أية فراشات لمعرفة فيما إذا كانت تحتوي على أية عذارى. حُسبت نسبة تحول اليرقات إلى حشرات كاملة من قسمة عدد الفراشات الناتجة من كل علبة على عدد البيوض الفاقسة فيها.

تحليل النتائج

حُلِّلت نتائج التجارب السابقة باستعمال اختبار تحليل التباين، كما استُعمل اختبار فيشر لأقل فرق معنوي (Fisher's protected least significant difference test) أو اختبار LSD لإيجاد الفروق المعنوية بين المعاملات المختلفة.

النتائج

يبيّن الخطان البيانيان 1 و2 نتائج تأثير أشعة غاما في معدل فقس بيوض فراشة ثمار التفاح، وتشير هذه النتائج إلى أن حساسية البيوض للأشعة المؤينة تناقصت مع تقدمها في العمر، وانخفضت هذه الحساسية إلى أدنى معدل لها عند تشعيع البيوض في مرحلة الرأس الأسود (بعمر 97 - 120 ساعة).

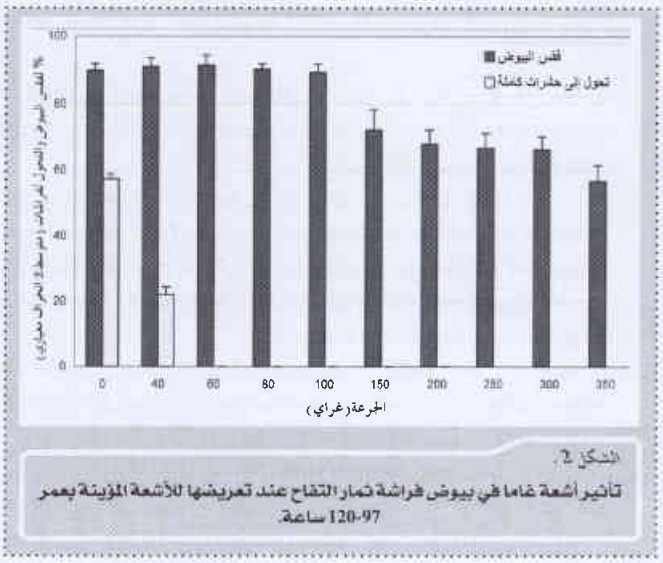


الشكل 1.
تأثير أشعة غاما في بيوض فراشة ثمار التفاح عند تشعيعها بعمر 1-96 ساعة.

يعرض الخط البياني 2 أيضاً نتائج دراسة تأثير الأشعة المؤينة في معدل تحول اليرقات الناتجة من بيوض تعرضت في مرحلة الرأس الأسود لجرعة من أشعة غاما تراوحت بين 40 و350 غراي، ويبيّن الشكل أن جرعة 40 غراي خفَّضت بشكل معنوي معدل تحول اليرقات إلى فراشات ($P< 0.05$) وأدت جرعة 60 غراي إلى وقف هذا التحول كلياً. بيّنت نتائج فحص بيئة التربية أيضاً أن نسبة منخفضة من اليرقات الناتجة من بيوض تعرضت لجرعة 60 أو 80 غراي استطاعت الوصول إلى طور العذراء، غير

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

أن جميع اليرقات الناتجة من بيوض تعرضت لجرعة 100 غراي ماتت قبل وصولها إلى هذا الطور.



الشكل 2:
تأثير أشعة غاما في بيوض فراشة ثمار التفاح عند تعريضها للأشعة المؤينة بعمر 97-120 ساعة.

المناقشة

تبيِّن نتائج هذه الدراسة أن حساسية بيوض فراشة ثمار التفاح للأشعة المؤينة تناقصت مع تقدمها في العمر وبلغت هذه الحساسية أدنى معدل لها عند تشعيع البيوض في مرحلة الرأس الأسود. تتفق هذه النتائج، بشكل عام، مع نتائج الدراسات التي تمت على مجموعة واسعة من الحشرات [13]، وبشكل خاص مع تلك التي أجريت على فراشة ثمار التفاح [11،10،9] ولكنها تختلف عن دراسات نشرها آخرون [8] والتي أشارت إلى أن جرعة قدرها 151 غراي لم توقف فقس بيوض فراشة ثمار التفاح بعمر يوم واحد. وربما تعود الزيادة القليلة في حساسية السلالة السورية للأشعة المؤينة، مقارنة بالسلالة الأمريكية، [10] إلى ارتفاع معدل الجرعة في هذه الدراسة، إذ كلما زاد معدل الجرعة، كلما زادت شدة التأثير [14]، كما يمكن أن يعود بعض التأثير لعوامل أخرى مثل الاختلافات الوراثية بين السلالتين وطرائق الدراسة.

تشير هذه النتائج إلى أن وقف فقس بيوض فراشة ثمار التفاح، وخاصة عندما تكون في مرحلة الرأس الأسود، يتطلب جرعاً عالية نسبياً (أعلى من 350 غراي) من الأشعة المؤينة، ويمكن لهذه الجرع أن تؤذي الثمار المعالجة [16،15] وخاصة عند تطبيقها تجارياً، حيث يمكن أن يزيد معدل تجانس الجرعة عن 1:3 [14]. ولكن إذا قبلنا بعدم وصول اليرقات الناتجة من بيوض معاملة إلى حشرات كاملة، كأساس للمعاملة [17]، يمكن اعتبار هذه النتائج واعدة. فمثلاً أدى تعريض البيوض قبل فقسها بساعات قليلة (مرحلة الرأس الأسود) لجرعة 60 غراي (وهي جرعة منخفضة) إلى وقف تحولها كلياً إلى حشرات كاملة.

وعموماً، فمن المرغوب فيه عند استعمال أشعة غاما كمعاملة حجر زراعي ضد الحشرات، اعتماد جرعة واحدة لأنواع عدة أو مراحل مختلفة من تطور النوع نفسه بدلاً من اعتماد جرع معينة لكل نوع من الأنواع، أو لكل مرحلة من مراحل تطور ذلك النوع، مما يتطلب توفر معلومات كافية عن حساسية الأنواع المختلفة من الآفات الزراعية للأشعة المؤينة لتحديد مثل هذه الجرع، وتقدم هذه الدراسة بعضاً من المعلومات الضرورية لتحديد جرعة عامة مناسبة لتشعيع بيوض حشرات رتبة حرشفيات الأجنحة.

REFERENCES المراجع

[1] Shel'deshova, G. G., 1967. Ecological factors determining distribution of the codling moth Laspeyresia pomonella L. in northern and southern hemisphere. Entomol. Rev. 46: 349-361.

[2] Moffitt, H. R. 1989. A system approach to meeting quarantine requirements for insect pests of deciduous fruits. Proc. Wash. State Hortic. Assoc. 85: 223-225.

[3] Ross, R. 1999. Current status of domestic and international controls for methyl bromide and the status of alternatives. The use of Irradiation as a Quarantine Treatment of Food and Agricultural Commodities (ed. by J. H. Moy and L. Wong), pp. 4-10. University of Hawaii, Manoa.

[4] Burditt, A. K., 1986. Gamma irradiation as a quarantine treatment for walnuts infested with codling moths (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. 79: 1577-1579.

[5] Toba, H. H. and H. R. Moffitt. 1996. Post treatment development and fertility of nondiapausing codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) larvae and their progeny following gamma irradiation. J. Econ. Entomol. 89: 56-62.

[6] Mansour, M. 2003. Gamma irradiation as a quarantine treatment for apples infested by codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Appl. Entomol. 127: 137-141.

[7] Proverbs, M .D. & J. R. Newton. 1962. Influence of gamma radiation on the development and fertility of the codling moth, Carpocapsa pomonella (L.) (Lepidoptera: Olethreutidae). Can. J. Zool. 40: 401-420.

[8] Hough, W. S. 1963. Effects of gamma radiation on codling moth eggs .J. Econ. Entomol. 56: 660-663.

[9] Hathaway, D. O. 1966. Laboratory and field cage studies of the effects of gamma radiation on codling moths. J. Econ. Entomol. 59: 35-37.

[10] Toba, H. H. and A. K. Burditt. 1992. Gamma irradiation of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) eggs as a quarantine treatment. J. Econ. Entomol. 85: 464-467.

[11] Talhouk, A. S., 1969. Insects and Mites Injurious to Crops in Middle Eastern Countries. Hamburg und Berlin .Verlag Paul Parey. No. 21, PP. 239.

[12] Brinton, F. E., M. D. Proverbs and B. E. Carty. 1969. Artificial diet for mass production of the codling moth ,Carpocapsa pomonella (Lepidoptera: Olethreutidae). Can. Entomol. 101: 577-584.

[13] Tilton, E. W. & J. H. Brower. 1983. Radiation efects on arthropods, p. 269-316. In E. S. Josephson & M. S. Peterson [eds.], Preservation of food by ionizing radiation, Vol. 2, CRC, Boca Raton, Fla.

[14] Hallman, G. 2000. Expanding radiation quarantine treatments beyond fruit flies. Agr. and Forest Entomology. 2: 85-95.

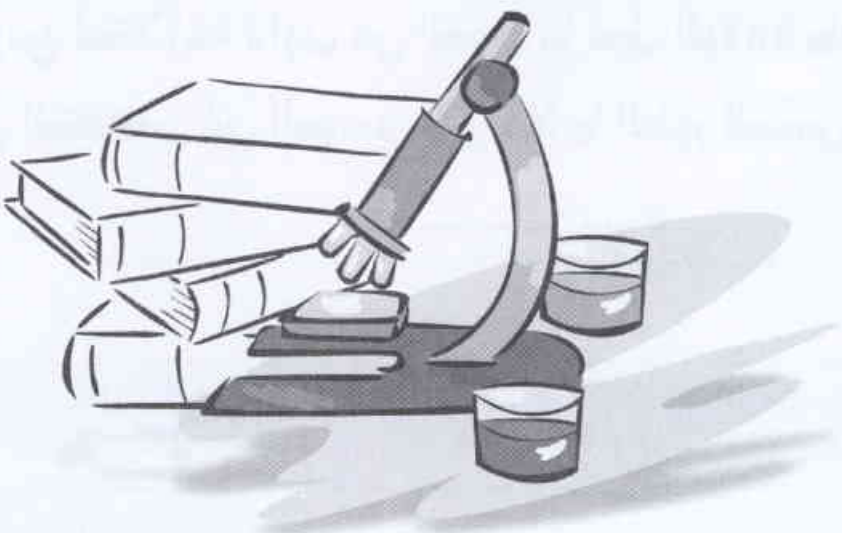
[15] Drake, S. R., P. G. Sanderson and L. G. Neven. 1998. Quality of apples and pears after exposure to irradiation as a quarantine treatment. In. Proceedings, 1998 Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Orlando, Fl. pp.1-5. Methyl Bromide Alternative Outreach. Fresno, CA.

[16] Mansour, M., F. Mohamad and M. Al-Bacheer. 2002. Gamma irradiation as a phytosanitary measure for exported Syrian fresh fruit. Final RCM of the Co-ordinated research program on: "Irradiation as a phytosanitary treatment for food and agricultural commodities". IAEA, Vienna, Austria, 4-8 Nov. 2002.

[17] Hallman, G. 2001. Irradiation as a Quarantine Treatment. In: Food irradiation: Principles and Applications. R. A. Molins (ed.). John Wiley & Sons, Inc.

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

التقارير العلمية



دراسة أثر كواركات بحر ديراك على ديناميّة الغلوونات★

د. حازم سومان
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

جرت في هذا البحث محاولة دراسة الفروق الممكنة نتيجة وجود الكواركات الديناميكية على مقدارين غلوونيين: المنتشر الغلووني والعقدة الثلاثية الغلوونات التي يمكن اشتقاق ثابتة الترابط الشديد منها.

استخدمت لهذا الغرض ثلاث مجموعات من منظومات دينامية ذات نكهتين من فرميونات ويلسون، ولكل من هذه المجموعات الثلاث معامل قفز مختلف يحدد كتلة كواركات البحر الممكنة. إضافة إلى ذلك فقد استخدمت مجموعة من منظومات الإخماد من أجل المقارنة. وجميع المنظومات المدروسة جرى إنشاؤها على شبكات متقاربة الأبعاد بحيث يمكن افتراض تشابه الآثار الناجمة عن محدودية الامتداد الشبكي الزمكاني ومحدودية الفاصل الشبكي بينها.

كان الارتياب في المنتشر الغلووني صغيراً، وبيّنت الدراسة وجود فروق معنوية في مجال ما تحت الأحمر. وقد تمثل ذلك بفروق معنوية في معاملات الموائمة المتعلقة بمجال ما تحت الأحمر.

أما بالنسبة للعقدة الثلاثية الغلوونات فقد تم حساب ثابتة الترابط الشديد g(p) والثابتة Λ_{MOM} في منهج الاستنظام MOM ولكن ضجيج المحاكاة كان عالياً نتيجة لمحدودية عدد المنظومات المتوفرة وطغى على الفروق المحتملة.

الكلمات المفتاحية: الكروموديناميك الشبكي، كواركات بحر ديراك، المنتشر الغلووني، العقدة الثلاثية الغلوونات.

التشخيص السريع لمتلازمة داون في الحمل ما قبل الولادة باستخدام تقانة تألق التهجين في الموضع على خلايا الطور البيني★★

د. محمد راتب شيبان ، د. وليد الأشقر
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية- دائرة الوراثة البشرية و المناعيات- هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تناولت هذه التجربة عرض المعلومات وخطوات العمل لوضع اختبار روتيني سريع في تشخيص متلازمة داون أثناء الحمل وبعد الولادة وذلك باستعمال تقانة تألق التهجين في الموضع باستخدام مسبار خاص بالصبغي 21 موسوم مباشرةً بـ (FITC, Texas Red) أو الـ (biotin, Dig) ودرس من 30 - 50 نواة خلية مهجنة في الطور البيني لبعض حالات متلازمة داون التي لا تعطي زراعاتها الخلوية انقسامات مناسبة. تعطى النتيجة خلال يومين من الاعتيان مقارنةً بالطريقة التقليدية للزراعة الخلوية التي تستغرق 12-15 يوماً.

الكلمات المفتاحية: التشخيص ما قبل الولادة، مسابر الـ DNA، متلازمة داون، تألق التهجين في الموضع، الطور البيني.

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

★★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أُنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

القيمة الغذائية والإنتاجية لدريس القطف Atriplex lentiformance النامي فوق تربة مالحة وتأثيره على الخصوبة والمؤشرات التناسلية لإناث الماعز الشامي★

د. محمد راتب المصري ، د. معتز زرقاوي، د. خلف خليفة
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق – سوريا

ملخص

أدى استبدال 35% من كمية تبن القمح بدريس القطف إلى توفير 20 غ/حيوان/يوم من العلف المركز. بلغت كمية المادة العضوية 516 و285 و629 غ/كغ والطاقة الاستقلابية 6.01 ،3.76 ،6.55 ميغاجول/كغ مادة جافة والمادة الجافة المنتجة 5295 و1716 و3579 كغ/هكتار للدريس الكامل وللسوق وللأوراق مع الشماريخ الزهرية على التوالي. لم يؤثر القطف على معدل ظهور الشياع وعلى تركيز هرمون البروجسترون في الدم وع لى الوزن الحي وعلى طول فترة الحمل.

الكلمات المفتاحية: قطف، قيمة غذائية، إنتاج، تناسل، ماعز.

تحضير طاقم بروموأيدا وضبط جودته★★

د. توفيق ياسين ، ماجدة دادوخ ، رناء المالكي
قسم الكيمياء - دائرة النظائر المشعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق – سوريا

ملخص

حضر طاقم بروموأيدا المعد للوسم بـ ^{99m}Tc من أجل تصوير الجهاز الكبدي الصفراوي وفق شروط مثلى حيث كان محتوى العبوة 10^{mg} من بروموأيدا و0.2^{mg} من كلور القصديري ثنائي الماء $Sncl_2 2H_2O$.

أظهر الطاقم المحضر نوعية عالية الجودة ومطابقة للمواصفات الدستورية العالمية من خواص النقاوة الفيزيائية والكيميائية والكيميائية لإشعاعية وصلاحيته للحقن البشري كما زادت قيم الوسم بـ ^{99m}Tc عن 95% إذ كانت القيمة الوسطية بحدود 96.17±1.38%. أظهرت دراسة التوزع البيولوجي في الجرذان أن حوالي 84.34±6.23% من المادة المحقونة قد طرحت عبر الجهاز الصفراوي إلى الأمعاء خلال ساعة من الحقن في حين كان التوضع في الكليتين بحدود 0.73±0.5% وفي الكبد بحدود 0.92±0.41.

درس أيضاً النشاط الأعظمي لـ ^{99m}Tc الممكن وسم الطاقم به وكان بحدود 03icm.

الكلمات المفتاحية: مركبات صيدلانية مشعة، بروموأيدا، تكنيشيوم 99 م، جهاز كبدي صفراوي.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ 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

دراسة توزع الكمون ضمن عينة متوازية المستطيلات ثلاثية الأبعاد لامتناحية★

د. عادل نادر
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

لقد قمنا في هذا العمل بحساب توزع الكمون ضمن مجموعة من الجمل الأومية بهندسات مختلفة هي: متوازي مستطيلات لامتناحي، قرص رقيق، كرة وأسطوانة لامتناحية، وذلك بهدف جعل قياس المقاومة النوعية لعينات لها هذه الهندسة دقيقاً ولا يحتاج إلى قصّ العيّنة لتغيير شكلها الهندسي.

كما قمنا أيضاً بحساب توزع الكمون ضمن جملة متعددة الطبقات، وبيّنا بأنه لا يمكن استخدام النموذج التقريبي المعتمد على حساب متوسط المقاومة النوعية.

الكلمات المفتاحية: قياس المقاومة النوعية، توزع كثافة التيار، النواقل الفائقة ذات درجات الحرارة العالية، الجمل المتعددة الطبقات.

خارطة إشعاعية إقليمية بمطيافية أشعة غاما للقطر العربي السوري ★★

موسى عيسى، رشاد الحنت، رامز ناصر
قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق - سوريا

ملخص

تمت الموافقة والدمج بين مجموع معطيات المسح الإشعاعي لمطيافية أشعة غاما الجوية والمحمول بالعربة، في إعداد خارطة إشعاعية إقليمية مقياس 1/1000.000 لأراضي القطر، لكل من النشاط الإشعاعي الكلي Ur، %K، ppm eU وppm eTh.

حددت الخرائط الناتجة أشكال توزع العناصر المشعة بالقطر، ارتبطت مع مواقع التوضعات الفوسفاتية والغلوكونية. كما لوحظ توزع واسع لتمعدنات ثانوية لليورانيوم في الصخور الفوسفاتية والقريبة منها، ناتجة عن بعثرة المحاليل من الصخور الفوسفاتية الحاملة للمواد المشعة بدلاً من تركزها، مما يعطي احتمالاً ضعيفاً لاكتشاف توضعات سطحية مألوفة لليورانيوم. ويبقى احتمال وجود توضعات يورانيوم تحت سطحية مجال تساؤل مفتوح للإجابة عليه من خلال وضع خطط للتنقيب تحت السطحي.

الكلمات المفتاحية: جوي، محمول بالعربة، سوريا، خريطة، يورانيوم، مسح إشعاعي.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أنجزت في قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

برنامج الإشراف الطبي للعاملين المتعرضين مهنياً للإشعاع ★

د. بشار عبد الغني
قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا
د. محمد حسان خريطة ، د. عدنان بدّور
قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تم في هذا العمل إعداد برنامج حاسوبي باستخدام بيئة البرمجة Delphi بهدف تشكيل قاعدة بيانات تتضمن كافة المعلومات الخاصة بالعاملين المراقبين صحياً في القطر وبنتائج الفحوصات والتحاليل الدورية الضرورية التي تجرى لهم.
يقوم البرنامج المذكور بمعالجة الملفات الطبية وبياناتها بهدف أرشفة هذه المعلومات لاسترجاعها ومعالجتها عند الحاجة، حيث يمكن الاستفادة منها في الدراسات الوبائية للأمراض المهنية الناتجة عن الإشعاع وفي دراسات إحصائية أخرى تستخدم في تقييم برامج الوقاية الإشعاعية في المنشآت والمشافي والمؤسسات المختلفة.

الكلمات المفتاحية: برنامج حاسوبي، المراقبة الطبية، المتعرضون مهنياً للإشعاع.

الكشف عن المورثة الورمية p53 لدى مريضات سرطان الثدي بتقانة التلوين المناعي النسيجي ★★

د. عادل باكير ، خلود حماد
قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تتموضع الجينة p53 على الذراع القصيرة للصبغي 17. وترمّز بروتيناً نووياً ذا وزن جزيئي 53 كيلو دالتون. تنظّم هذه الجينة تكاثر الخلايا الطبيعية، وتسبب الطفرات التي تصيب جينة p53 بروتيناً غير وظيفي يتراكم في نوى الخلايا الورمية. أشارت التقارير إلى أن فرط تعبير بروتين p53 في النوى يعتبر مؤشراً على الإنذار السيئ في سرطان الثدي. هدفت هذه الدراسة إلى تحديد تواتر إيجابية بروتين المورثة الورمية p53 في سرطان الثدي البدئي. أجريت الدراسة المناعية النسيجية على مقاطع نسيجية مثبتة بالفورمالين ومدمجة بالبارافين لمريضات سرطان الثدي بلغ عددهن 70 مريضة. لوحظت إيجابية التلوين المناعي لدى 43% من المريضات.

الكلمات المفتاحية: الجينة p53، سرطان الثدي، الإنذار، التلوين المناعي النسيجي.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسمي الخدمات العلمية والوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الطب الإشعاعي – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تصميم وتنفيذ نظام التحليل بواسطة عدّ النترونات المتأخرة ★

د. إبراهيم خميس ، د. خالد حداد
قسم الهندسة النووية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

صمم ونفذ في هذا العمل نظام التحليل بعدّ النترونات المتأخرة بهدف تحديد تراكيز العناصر الانشطارية في العيّنات الجيولوجية والبيئية. وصفت مكونات النظام الرئيسة، وجرت معايرة النظام باستخدام عيّنات يورانيوم عيارية. حددت حساسية النظام في حالة الكشف عن اليورانيوم في عيّنات جيولوجية وزنها بضعة ملّي غرام، بنحو muinaru 4cpm/µg.

الكلمات المفتاحية: عدّ النترونات المتأخرة، تحديد تركيز اليورانيوم U^{235} في العيّنات البيئية والجيولوجية.

توسيع البرنامج COBRET لإجراء المعالجة اللاحقة للكود PARET تحت بيئة النوافذ ★★

د. علي حينون ، عفيف منذر ، نضال غازي
قسم الهندسة النووية - دائرة أمان المفاعلات - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

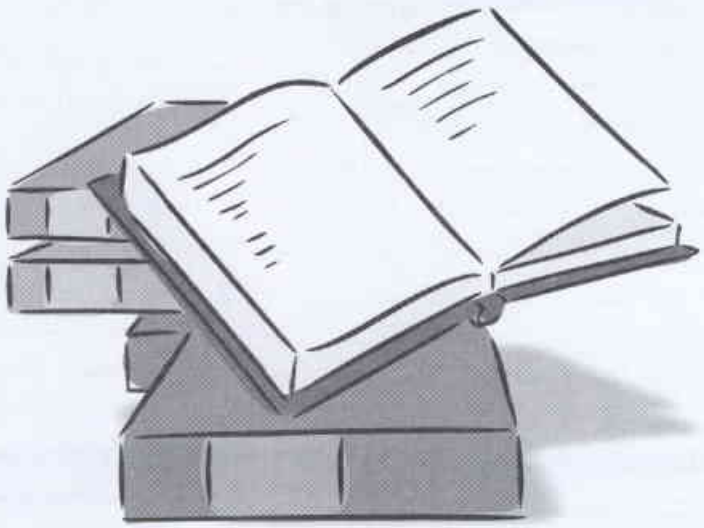
في إطار اختبار وتحقيق واستخدام البرمجيات الحاسوبية المعتمدة في تحليل مفاعلات البحث جرى في عمل سابق تطوير واجهة التحكم COBRET (COBRA PARET) باستخدام لغة البرمجة Visual BASIC للعمل تحت بيئة النوافذ (Windows 98, 2000 and XP). وقد استكمل هذا العمل بتطوير الوحدة الجديدة ParetChart التي تسمح بإجراء المعالجة اللاحقة للكود PARET. وتقوم الوحدة الجديدة التي جرت مكاملتها ضمن بيئة COBRET بقراءة ومعالجة وإظهار نتائج متحولات الجملة الترموهدروليكية (درجة الحرارة، سرعة الجريان، محتوى البخار...) والديناميكية (التفاعلية، دور المفاعل، الاستطاعة، الطاقة) بشكل بياني كتابع للزمن عند حيز حجمي معين أو لطول القناة المدروسة عند لحظة زمنية محددة. وقد بينت اختبارات التأهيل أن الإصدار الجديد للواجهة COBRET أصبح قادراً على تنفيذ معالجة متكاملة لحسابات الكودين COBRA وPARET متضمناً تحضير معطيات التلقين وإظهار نتائج الحسابات في بيئة تخاطبية مرنة.

الكلمات المفتاحية: البرنامج COBRET، الوحدة ParetChart، الكود PARET، Visual BASIC، واجهة التخاطب.

★ تقرير مختصر عن عمل تقني أنجز في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

كتب حديثة مختارة



1- في عمق الأشياء
Deep Down Things★

تأليف: بروس سخوم من جامعة جورج هوبكنز
عرض وتحليل: ستيفين بالترزياي

غالباً ما تُعرض فيزياء الجسيمات particle physics وكأنها قائمة مواد للتسويق: إذ توجد مجموعة كواركات وجسيمات أخرى تستشعر قلّة من قوى مختلفة تبثّها صفيفة أخرى من الجسيمات. ويتناول العارضون مبادئ أساسية متردِّدة أو غير قاطعة على الإطلاق. أما بروس سخوم B. Schumm فإنه يتّخذ مقاربة أكثر طموحاً تهدف إلى التبصُّر في الأفكار المجيدة المتعمّقة في الفيزياء الحديثة وذلك في كتابه "في عمق الأشياء Deep Down Things".

يقول سخوم في المقدمة: "قد لا يكون المشوار سهلاً، ولكن المثابرة ستلقى الثواب". وبالتأكيد، سيُثاب النجاح. ورغم أن الفيزيائيين غالباً ما يقولون بأن تخصّصهم العلمي هذا لا يتّسع للإجابة على كلمة "لماذا" ولا يستطيع إلا قَوْل كيفية حدوث الشيء، فإنني أعتقد أنّ لدى المتقصّين مستوى تغدو معه كلمة "كيف" عميقة بحيث تصل أهلية كلمة "لماذا". وإذا لم تكن أنت متقصّياً بالغ الإلحاح فإن كتاب "في عمق الأشياء" هذا سيحقّق وصولك مستوى كلمة "لماذا".

وفي صميم هذا الكتاب، يمكنك أن تتعلّم كيف أن بعضاً من الإزعاج الفلسفي بالإضافة إلى بعض الرياضيات البحتة تحمل ضمناً وجود القوى الأساسية للطبيعة.

ولا تُعدُّ الكهرومغنطيسية والقوى النووية شأناً عرضيّاً، إذ ثمّة منطق أكثر عمقاً يتطلّب وجودهما. ولكن هناك ثمنٌ لا بد من دفعه. ويحاول سخوم دفعنا سريعاً عبر الميكانيك الكمّي العادي والنسبية relativity وصولاً إلى الصفحة 49، بحيث يصل بنا إلى فهم المادة الصعبة المتمثّلة في نظرية الحقل الكمومي، ونظرية المجموعات، وجبر لي Lie algebras، وفضاءات التناظر الداخلية ونظرية العيار. وهو يحقّق عملاً جيداً بشكل رائع في شرحه لكل هذه الأمور بأسلوب سهل رحيم، ولكن مجال التخصّص هذا هو ميدان جهيد إلى درجة أن محاولاته الظريفة كدليل إرشاد قد تترك القارئ لاهثاً.

إنني أتوقع أن أي طالب فيزياء جامعي غريق بين الكتب الدراسية والمحاضرات يمكن أن يعتبره مبعث سرور له. أما بالنسبة للقارئ العام ذي الذكاء الخارق، فإنه، إلى حدٍّ بعيد، ليس عسيراً، ولكن يجدر بك أن تكون مثابراً.

2 ـ عوالم متوازية
Parallel Worlds★★

تأليف: ميشيو كاكو/ آلان لين
عرض وتحليل: ستيفين بالترزياي

بقدر ماهي فكرة الأكوان الأخرى غريبة، فقد أصبحت أمراً عادياً تقريباً في مجال الفيزياء. وتتمحور العوالم المتوازية حول تأويل واحد للميكانيك الكمومي. فالمقولات التوسعية للنظرية الكونية تعني ضمناً كذلك وجود شجرة لانهائية من أكوان متفرِّعة. وقد اقترح علماء الكون إمكانية وجود أكوان متوازية تتباعد بمقدار مليمتر واحد إذا ما نُسِبت إلى بُعدٍ ما لكونٍ أعلى سوية.

في كتاب عوالم متوازية Parallel Worlds، يستكشف ميخيو كاكو Michio Kaku هذا العالم الحدسي غير المحدود بافتراض نهاية محددة له في المخيّلة. ومن المحتمل أن يصبح كوننا في يوم من الأيام غير مضياف للحياة، ويعتقد كاكو أن حضارة ما متقدمة بما فيه الكفاية قد تستطيع الانفلات من هذا الكون والعثور على موطن في عالم موازٍ له.

إنها فكرة تلقى استحساناً، لكن كتاب كاكو يثير قليلاً من الإحباط. صحيح أنه يحوي مقاطع ظريفة وشفافة وبعض القصص الشخصية المروية بشكل جميل، لكن توجد أيضاً تفسيرات مشوَّشة أو على غير صلة بالموضوع. فنحن في غنى عن التطور التاريخي المفصّل لنظرية الخيط String theory (كاكو هو فيزيائي يعمل على نظرية الخيط)، وكنت سأكتفي بالكتاب بدون الفصل الأخير الذي يتناول المضامين الأخلاقية واللاهوتية للوجود الكوني بدون تحقيق نتيجة تذكر. وقلة هم الذين لن يوافقوا على أنه "ينبغي علينا أن نحاول مغادرة العالم وهو مكان أفضل مما كان عليه عندما دخلناه"، ولكننا نتساءل: من يشتري مثل هذا النوع من الكتب من أجل ذلك النوع من الأفكار؟

وفي نهاية المطاف نصل إلى خطط كاكو بشأن الانفلات من هذا الكون عبر مسلك متعرِّج. أما مادة آخر الكتاب فلا تخلو من تسلية. فعلى سبيل المثال، يقدِّم المؤلف اقتراحه المحيِّر بأن الحضارة كيما تستطيع كسب قدرة محوسبة كافية للتحكم في مسلك متعرج، فقد يكون لزاماً عليها أن تمتد عبر كامل المجرّة وأن تستخدم قوة نجومها.

ويورد مؤلف الكتاب قائمة خطوات مثل "وضع واختبار نظرية تصلح لكل شيء"، و"إرسال مسابر عبر ثقب أسود" و"خلق كون طفل" و"استخدام طاقة سالبة من الحالات المعصورة squeezed"، بالرغم من أن بعض هذه الخطوات يمثّل بدائل وليس وَصْلات لازمة في السلسلة. وإذا ما سارت عجلة إحدى الخطوات، فإن ذلك لايُعدُّ محورياً فيما يخصُّ أياً من خطط الانفلات. وختاماً، فإنني لست مقتنعاً بادعاء كاكو التحريضي بقدر ما كنت آمل الاقتناع به.

★ B. Schumm.
– العرض والتحليل عن مجلة *New Scientist*, 15 January 2005، وتمّت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.
★★ M. Kaku/ A. Lane.
– العرض والتحليل عن مجلة *NewScientist*, 5 February 2005، وتمّت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF DELAYED NEUTRON COUNTING SYSTEM★

I. KHAMIS, KH. HADDAD

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

ABSTRACT

The delayed neutron counting based analysis system were designed and build in this work in order to measure the concentration of fissionable materials in geological and environmental samples. The system components were described and calibrated using reference uranium samples. The system sensitivity was determined to be 4cpm/μg for uranium detection in geological samples of few mg weight.

Key Words

delayed neutron counting, determination of 235U concentration in environmental and geological samples.

★ A short report on a technical work achieved in the *Department of Nuclear Engineering*, Atomic Energy Commission of Syria.

EXTENDING THE PROGRAM COBRET TO PERFORM POST PROCESSING FOR THE CODE PARET UNDER WINDOWS★

A. HAINOUN, A. MONTHER, N. GHAZI

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

ABSTRACT

In the framework of testing, verification and application of computer codes PARET and COBRA in the design and safety analysis of research reactors. The user interface COBRET was developed using the programming language Visual Basic 6. It runs under Windows and enables the Pre and Post processing of the code COBRA. In this work the new module ParetChart has been developed and integrated under the interface COBRET enabling a comprehensive post processing of PARET results. The new module creates graphic files, processes the data and presents the various system variables as function of time (for selected control volume) or of channel length (for selected time). The system variables include neutronics parameters, like rode power, reactivity, and reactor period, in addition to the thermal hydraulic parameters of the considered system, like temperatures, flow rate, pressure and void distribution. The test and evaluation of ParetChart demonstrates the capability of the new COBRET version in performing complete pre and post processing for both COBRA and PARET code in an interactive, flexible and user friendly interface.

Key Words

COBRET, ParetChart module, , PARET, Visual BASIC, User Interface.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Nuclear Engineering*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

PROGRAM OF MEDICAL SURVEILLANCE FOR OCCUPATIONALLY EXPOSED WORKERS TO IONIZING RADIATION★

B. ABDUL GHANI

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

M. HASSAN KHARITAH, A. BADOUR

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

ABSTRACT

A computer program using Delphi environment has been developed in this work in order to create a data base containing the national medical records of all occupationally exposed workers to radiation all over the country. It also carries out all their necessary medical examination and laboratory tests. The program manages the data in all medical records and archives it for review and assessment. This data base can be used in epidemiological studies and occupational health cases related to exposure to radiation. In addition to statistical studies used in the assessment of radiation protection programs in different practices.

Key Words

computer program; medical surveillance; exposed workers to ionizing radiation.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Scientific Services & Protection and Safety*, Atomic Energy Commission of Syria.

DETECTION OF P53 ONCOGENE IN TUMOUR BREAST CANCER TISSUES★

A. BAKIR, K. HAMMAD

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

ABSTRACT

The p53 gene is located on the short arm of the chromosome 17. It encodes a 53- Kd nuclear protein. This gene regulates proliferation of normal cells. Most p53 mutations result in a nonfunctional protein that accumulates in tumour cell nuclei. In breast cancer, it has been reported that overexpression of p53 protein in nucleus is an indicator of poor prognosis,. This study was designed to determine the frequency of p53 protein immunoreactivity in primary breast cancer. Immunohistochemical study on the expression of p53 protein was performed in routine formaline fixed, paraffin-embedded tissue sections from 70 breast cancer patients. Positive p53 immunostaining was found in 43% of the patients.

Key Words

p53 oncogene, breast cancer, prognosis, immunohistochemistry

★ A short report on a scientific laboratory study achieved in the *Radiation Medicine*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

validity for human injection, and the labeling yield exceeded 95 % with average value of about 96.17 ± 1.38 %. the biodistribution study in rats showed that an average of 84.34 ± 6.23% of injected dose was cleared via the hepatobiliary system in one hour where only about 0.73 ± 0.5 % of it was located in the kidneys and about 0.92 ± 0.41 in the liver. this study also showed that each vial content can be labeled with maximum activity of ^{99m}Tc of about 30 mci..

Key Words

radiopharmaceutical compounds, bromo-Ida, ^{99m}Tc, hepatobiliary.

★ A short report on a scientific laboratory study achieved in the *Department of Chemistry*, Atomic Energy Commission of Syria.

POTENTIAL DISTRIBUTION INSIDE A THREE-DIMENSIONAL PARALLELEPIPEDIC ANISOTROPIC SAMPLE★

A. NADER

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

ABSTRACT

We calculated in this work the potential distribution in ohmic systems of various geometries: anisotropic parallelepiped, thin disk, sphere and anisotropic cylinder. Our aim was to render the resistivity measurement more precise and to avoid to cut the sample for changing its geometry.

We also calculated the potential distribution in a multi-layer system and we showed that the approximate model considering the average resistivity cannot be used.

Key Words

resistivity measurement, current flow, high T_c superconductors, multi-layer systems.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Physics*, Atomic Energy Commission of Syria.

REGIONAL RADIOMETRIC MAP OF SYRIA, USING GAMMA-RAY SPECTROMETER★

M. AISSA, R. AL-HENT, R. NASSER

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

ABSTRACT

The regional radiometric gamma-ray spectrometry map of Syria, scaled *1/1000.000*, for surficial concentrations of the total radioactivity *(Ur), eU, eTh* and *%K* was completely achieved after normalizing the airborne and carborne data sets to match each other.

It worthy notice that, the anomalies found to be closely related to either Phosphate and/or glauconite deposits. It is worthmentioning that throughout the survey work many scattered occurrences of secondary uranium mineralization were found as spots in some formations and phosphate rocks. Where this phenomena attributes to chemical and physical dissimenating instaed of accumulating the radioelements..

So, that leads to a weak expectation for usual surface uranium deposits where attributed to the oxidizing condition. Then this expectation remains, as an open question requires answering through planning to sub-surface prospecting.

Key Words

airborne, carborne, Syria, map, uranium, radiometric survey.

★ A short report on a scientific study achieved in the *Department of Geology*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

RAPID PRENATAL DIAGNOSIS OF DOWN SYNDROME BY FLUORESCENCE IN SITU HYBRIDIZATION (FISH) IN INTERPHASE CELLS★

M. R. SHEIBAN, W. AL ACHKAR

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

ABSTRACT

In this report, we present a complete information of work steps for using FISH technique as a routine test of rapid prenatal and postnatal detection of Down Syndrome (DS). A special probe of the chromosome (21) labeled directly with FITC, Texas Red or Biotin, Dig was applied. To guarantee an accurate result, 30-50 Hybridized nuclei in Interphase per probe set for each case were analyzed. This procedure is considered as a fast way to give results within two days from sampling compared to the classic way of cell culture where 12 -15 days are needed.

Key Words

prenatal diagnosis, DNA probes, down syndrome, fluorescence in situ hybridisation (FISH), interphase.

★ A short report on an exploratory laboratory experiment achieved in the *Department of Molecular Biology and Biotechnology*, Atomic Energy Commission of Syria.

YIELD AND NUTRITIVE VALUE OF ATRIPLEX LENTIFORMANCE HAY GROWN ON A SALINE SOIL AND ITS EFFECT ON SOME FERTILITY AND REPRODUCTIVE PARAMETERS OF FEMALE DAMASCUS GOATS★

M. R. AL-MASRI, M. ZARKAWI , K. KHALIFA

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

ABSTRACT

Substituting wheat straw with 35% of A. lentiformance hay saved 20 g concentrated feed/animal/day. The values of digestible organic matter in A. lentiformance were 516, 285 and 629 g/kg DM and of metabolizable energy 6.01, 3.76 and 6.55 MJ/kg DM and of dry matter yield 5295, 1716 and 3579 kg/ha for total plant, stalks and leaves with flower-clusters, respectively. A. lentiformance hay had no effects on the matting rate, progesterone concentration, live weight and duration of the pregnancy.

Key Words

atriplex lentiformance, nutritive value, yield, reproduction, goat.

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

PREPARATION AND QUALITY CONTROL OF BROMO IDA KIT★

T. YASSINE, M. DADOKH, R. ALMALKI

Department of Chemistry, Radio isotope Division, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Bromo-Ida Kit for hepatobiliary imaging after labeling with ^{99m}Tc was prepared according to an optimum conditions, where each vial contains 10 mg of bromo-Ida and 0.2 mg of stannous chloride dihydrate $SnCl_2.2H_2O$. The prepared kit showed high quality satisfying the requirements of international pharmacopeias from the points of physical, chemical, radiochemical and biological purities, and its

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

EFFECTS OF GAMMA RADIATION ON CODLING MOTH, CYDIA POMONELLA (L.), EGGS★

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

ABSTRACT

The radiosensitivity of codling moth, *Cydia pomonella* (L.), eggs in different stages of development was studied. Eggs ranging in age from 1-24 to 97-120 h were exposed, at 24 h intervals, to gamma radiation doses ranging from l0 to 350 Gy. The effects of gamma radiation on egg hatch, pupation and adult emergence was examined. Results showed that the radiosensitivity of codling moth eggs decreased with increasing age. Egg hatch in 1-24 h old eggs was significantly affected at 20 Gy dose and at 60Gy dose, egg hatch decreased to about 1%. At the age of 25-48 h, however, egg hatch at 60 Gy dose was about 10%, and egg sensitivity to gamma Irradiation decreased significantly in the 49-72 h age group; 60 Gy dose had no significant effect on egg hatch. Eggs irradiated few hours before hatch (at the blackhead stage), were the most resistant ones; 100 Gy had. no significant effect on egg hatch and at 350 Gy dose over 56% of the eggs hatched. When adult emergence was used as a criterion for measuring effectiveness, however, the effect of gamma radiation was very severe. A dose of 60 Gy completely prevented adult emergence and at l00 Gy dose all resulted larvae died before pupation.

Key Words

insecta; quarantine; irradiation; eggs; *Cydia pomcmella* (L.).

★ This paper appeared in *Radiation Physics and Chemistry*, (2004).

REPORTS

STUDY OF THE SEA QUARKS EFFECTS ON THE GLUON DYNAMICS★

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

ABSTRACT

The possible differences due to dynamical quarks were studied for two gluonic quantities: The gluon propagator and the 3-gluon vertex, from which the strong coupling constant g(p) can be derived.
Three samples of dynamical configurations with two flavor Wilson quarks were used. The three samples have different values meaning different masses of the dynamical quarks. Additionally, a quenched sample was used for comparison reasons. All of the samples studied were generated on lattices of comparable dimensions. Thus the similarity of the finite size effects as well as the finite lattice spacing a effects might be assumed.

The uncertainty in the gluon propagator was small. The results shows significant differences in the infra-red regime. This was demonstrated in the differences of the fit parameters related to the infra-red regime.

For the three gluon vertex, the strong running coupling g(p) and the constant Λ_{MOM} were determined. However, the simulation noise was high due to the limited number of available configurations. It supersedes the possible differences.

Key Words

lattice chromodynamics, sea quarks, gluon propagator, 3-gluon vertex.

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

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

This article aims at pinpointing the knowledge we have about the world uranium resources, their limits of uncertainty and the relation between knowledge resources and market evolution.

To conclude, some susceptible tracks are proposed to improve the using process of uranium resources particularly in softening the impact of high prices.

Key Words

energy, climatic changes, oil prices, geopolitic evolutions, electronuclear power, nuclear fission uranium resourses, market prices.

★ This article appeared in *RGN*, October-November 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

ESTIMATES OF DRY MATTER YIELD AND NITROGEN UPTAKE IN SORGHUM GROWN ON SALINE AND NON-SALINE SOILS MANURED WITH DHAINCHA PLANT RESIDUES★

F. KURDALI

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

ABSTRACT

A pot experiment was conducted to determine the effects of manuring with three types of plant residues (roots, shoots and roots plus shoots) of dhaincha (*Sesbania aculeata* Pers.) on growth of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) grown on saline and non-saline soils. The objectives of this experiment were (1) to determine the effects of adding different plant residues of dhaincha on dry matter yield and Nitrogen (N) uptake of sorghum; (2) to estimate the percentages and amounts of N derived from various N sources; (3) to estimate N recoveries from sesbania residues; (4) to make comparison between the direct and indirect ^{15}N tracer techniques for estimating sorghum N uptake from sesbania residues; and (5) to test feasibility of using the non-isotopic technique (N-difference) for estimating N derived from plant residues.For measuring N uptake from various sources, two isotopic dilution techniques were utilized by adding to these soils either ^{15}N-labelled inorganic N fertilizer (indirect method) or ^{15}N-labelled sesbania leaves (direct method). For the indirect method, both soils manured with each type of sesbania residue, received four split applications of ^{15}N-labelled ammonium sulfate. Results indicated that each type of sesbania residue, applied as green manure, resulted in significant increases in both dry matter yield and N uptake of sorghum as compared with the unmanured control. In addition, sesbania residues decreased the harmful effect of salinity on plant growth. Percentages of N derived from residues (%Ndfr) in sorghum grown in non-saline soil ranged between 3.9 and 33%, whereas in saline soil the observed values ranged between 4.9 and 19.8%. The N recoveries in sorghum grown in non-saline soil were 61, 45 and 37% of the total amount contained in sesbania root, shoot and root plus shoot, whereas the values in sorghum grown in saline soils were 48, 14.8 and 15.7%, respectively. The beneficial effects of sesbania residues are attributed not only to the additional N availability to the plants, but also to its effects on the enhancement of soil N uptake. Percentages and amounts of Ndfr calculated using the indirect method were not significantly different from those obtained by the direct method indicating that the indirect method used herein is feasible and simple for measuring N release from organic residues. The findings suggest that the use of Sesbania aculeata residues, particularly the shoots, as green manure, can provide a substantial portion of total N in sorghum. Moreover, the use of sesbania green manure in saline soils, as a bio-reclaiming material, can be a promising approach for enhancing plant growth on a sustainable basis.

Key Words

sesbania aculeata, sorghum bicolor, green manure, residues, ^{15}N.

★ This paper appeared in *Journal Of Plant Nutrition*, (2004).

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

frontiers of basic science. We review state-of-the-art atomic time and frequency standards and discuss some of their uses in science and technology.

Key Words

metrology, atomic clocks, microwaves, cesium, timekeeping, space-time, international system, binary pulsers.

★ This article appeared in *Science*, November 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

THE LIQUID-SALT REACTORS OF IV GENERATION★

C. GARZENNE (*EDF*)
M. DELPECH (*CEA*)

ABSTRACT

The Melted Salt Reactors (MSRs) occupy a distinguished place in the six families of the IV Generation systems due to their unusual characteristics which made them classified among the non-classical concepts and also in the category of the closed cycle systems which use an optimal of the natural resources. The MSR fuel appears in the form of liquid mixture of fluorides salts of lithium, beryllium, possibly sodium and zirconium, in which the actinides are dissolved. In the scheme suggested by the Oak Ridge Laboratory, this fuel, in the origin of the concept, enters the reactor from the bottom of the core toward the top at a temperature of about 550°C, circulating in canals of graphite, where its moderating effect permitted to reach the criticality and productivity of the fission energy. At the same time, the salt plays the role of heat carrier, and springs from the core at a temperature of about 700°C before passing through the heat exchangers. The thermal energy is so transferred to a secondary heat carrier salt, then through a generator of supercritical vapor until it reaches the energy conversion system, with a high yield (44%) considering the high temperature of the primary salt.

Key Words

liquid-salt reactors, IV Generation reactors, actinides, sodium fluorides.

★ This article appeared in *RGN*, July-August 2003. It is translated into Arabic by Antoune Marine.

SUPERCONDUCTING QUANTUM BITS★

H. MOOIJ

Kavli Institute of Nanoscience, Delft University of Technology, Netherlands

ABSTRACT

Superconducting devices can be used to explore the boundaries between the quantum and classical worlds, and could also have applications in quantum information.

Key Words

quantum bit, SQUID, superconductor, charge qubit, flux qubit.

★ This article appeared in *Physics World*, December 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

URANIUM MARKET AND RESOURCES★

G. CAPUS (*AREVA/COGEMA, Direction du marketing Opérationnel*)
T. ARNOLD (*EDF, Division Combustible Nucléaire*)

ABSTRACT

Under the combined effect of various factors, such as interrogations related to facing the climatic changes, the increasing prices of oil versus announced decrease of its resources, the major geopolitical evolution and the remarkable development of Asia, we live nowadays a revival of nuclear power in the very front of stage.

In this context, the following question is posed: could the nuclear fission be a sustainable source of energy when taking into consideration the availability of uranium resources?

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

ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

METHODS AND CRITERIONS FOR IV GENERATION SYSTEM CHOICE★

F. CARRÉ, G-L. FIORINI

CEA, Direction de l'énergie nucléaire, Direction du développement et de l'innovation nucléaires

ABSTRACT

The international forum of IV Generation has been built up in 2000, initiated by the American Energy Department with an initial participation of nine countries (and of ten today). In a primary phase of these works, which was finished in october 2002, the forum objects were to define the list of nuclear systems conditions which could be ready to use in 2030 to make a sustainable energy development, and select previously the most promising technology to attain these purposes. This article presents, with its trumps and limits, the methodology which was used to select, starting from 120 propositions, one set of 6 systems which includes key technologies for the nuclears of the 21st century.

Key Words

nuclear reactor, sustainability, safety, reliability, proliferation resistance.

★ This article appeared in *RGN*, July-August 2003. It is translated into Arabic by Dr. Elias Abouchahine.

ATOM LASER: QUEST FOR INDUSTRIAL FUTURE★

C. WESTBROOK

est directeur de recherche au laboratoire Charles-Fabry de l'institut d'optique du CNRS et de l'université Paris-Sud

P. BOUYER

est chargé de recherche au laboratoire Charles-Fabry

C. MICHAUT

journaliste scientifique spécialisée en physique et en chimie, est collaboratrice régulière de La Recherche

ABSTRACT

In 60s, the physicists domesticated the light in lasers. Since 1995, they have known also how to domisticate the matter in the Bose-Einstein condensats in which it is impossible to distinguish atoms each from others. By letting them to escape, one could create an atomic laser. When its practical applications will start?

Key Words

Bose-Einstein condensation, trap, gravity.

★ This article appeared in *La Recherche*, September 2003. It is translated into Arabic by Antoune Marine.

STANDARDS OF TIME AND FREQUENCY AT THE OUTSET OF THE 21ST CENTTURY★

S. A. DIDDAMS, J. C. BERGQUIST, S. R. JEFFERTS, C. W. OATES

ABSTRACT

After 50 years of devetopment, microwave atomic clocks based on cesium have achieved fractional uncertainties below 1 part in 10^{15}, a level unequaled in all of metrology. The past 5 years have seen the accelerated development of optical atomic clocks, which may enable even greater improvements in timekeeping. Time and frequency standards with various lavels of performance are ubiquitous in our society, with applications in many technological fields as well as in the continued exploration of the

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

- YIELD AND NUTRITIVE VALUE OF ATRIPLEX LENTIFORMANCE HAY GROWN ON A SALINE SOIL AND ITS EFFECT ON SOME FERTILITY AND REPRODUCTIVE PARAMETERS OF FEMALE DAMASCUS GOATS ..... M. R. AL-MASRI, M. ZARKAWI , K. KHALIFA 83
- PREPARATION AND QUALITY CONTROL OF BROMO IDA KIT ..... T. YASSINE, ET ALL 83
- POTENTIAL DISTRIBUTION INSIDE A THREE-DIMENSIONAL PARALLELEPIPEDIC ANISOTROPIC SAMPLE ..... A. NADER 84
- REGIONAL RADIOMETRIC MAP OF SYRIA, USING GAMMA-RAY SPECTROMETER ..... M. AISSA, ET ALL 84
- PROGRAM OF MEDICAL SURVEILLANCE FOR OCCUPATIONALLY EXPOSED WORKERS TO IONIZING RADIATION ..... B. ABDUL GHANI, ET ALL 85
- DETECTION OF P53 ONCOGENE IN TUMOUR BREAST CANCER TISSUES ..... A. BAKIR, K. HAMMAD 85
- DESIGN AND CONSTRUCTION OF DELAYED NEUTRON COUNTING SYSTEM ..... I. KHAMIS, KH. HADDAD 86
- EXTENDING THE PROGRAM COBRET TO PERFORM POST PROCESSING FOR THE CODE PARET UNDER WINDOWS ..... A. HAINOUN, ET ALL 86

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

- DEEP DOWN THINGS ..... BY: B. SCHUMM 88
  OVERVIEW & ANALYSIS: S. BATTERSBY
- PARALLEL WORLDS ..... BY: M. KAKU, ALAN LANE 88
  OVERVIEW & ANALYSIS: S. BATTERSBY

ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 96

CONTENTS

ARTICLES

- METHODS AND CRITERIONS FOR IV GENERATION SYSTEM CHOICE ..... F. CARRÉ, G-L. FIORINI 5
- ATOM LASER: QUEST FOR INDUSTRIAL FUTURE ..... C. WESTBROOK, ET ALL 16
- STANDARDS OF TIME AND FREQUENCY AT THE OUTSET OF THE 21ST CENTURY ..... S. A. DIDDAMS, ET ALL 22
- THE LIQUID-SALT REACTORS OF IV GENERATION ..... C. GARZENNE, M. DELPECH 32
- SUPERCONDUCTING QUANTUM BITS ..... H. MOOIJ 35
- URANIUM MARKET AND RESOURCES ..... G. CAPUS, T. ARNOLD 41

NEWS

- THE ELECTRONIC STRUCTURE OF LIQUID LEAD ..... *SCIENCE* 51
- NANOTUBE ANTENNAS ..... *NATURE* 52
- WAS THE HUMAN GENOME PROJECT WORTH THE EFFORT? ..... *SCIENCE* 54
- ECHO OF THE BIG BANG ..... *NATURE* 57
- SOME COUNTRIES ARE BETTING THAT A FEW SECONDS CAN SAVE LIVES ..... *SCIENCE* 58
- CONCLUSIVE STUDY OF CELLPHONES FUELS CONTROVERSY ..... *NEWSCIENTIST* 61
- MAGNETIC PAIN RELIEF ONLY WORKS IF YOU BELIEVE IN IT ..... *NEWSCIENTIST* 62
- CADMIUM ..... *ANL* 62

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

- ESTIMATES OF DRY MATTER YIELD AND NITROGEN UPTAKE IN SORGHUM GROWN ON SALINE AND NON-SALINE SOILS MANURED WITH DHAINCHA PLANT RESIDUES ..... F. KURDALI 66
- EFFECT OF GAMMA RADIATION ON CODLING MOTH, CYDIA POMONELLA (L.), EGGS ..... M. MANSOUR, F. MOHAMAD 77

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

- STUDY OF THE SEA QUARKS EFFECTS ON THE GLUON DYNAMICS ..... H. SUMAN 82
- RAPID PRENATAL DIAGNOSIS OF DOWN SYNDROME BY FLUORESCENCE IN SITU HYBRIDIZATION (FISH) IN INTERPHASE CELLS ..... M. R. SHEIBAN, W. AL ACHKAR 82

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.

E-mail :aalam_al_zarra@aec.org.sy

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-THARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

Managing Editor

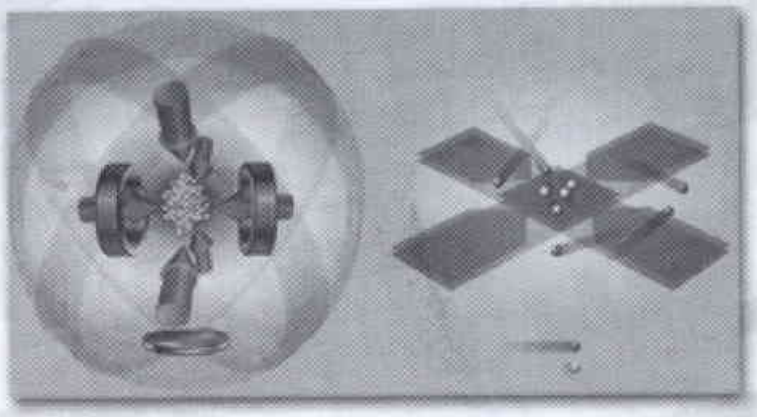
Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Adel Harfoush

Dr. Ziad Qutob



98

20th Year / JULY - AUGUST /

2005

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.

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