عالَم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

86

السنة الثامنة عشرة / تموز-آب

2003

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.

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسام

رئيس هيئة التحرير

الدكتور محمد قعقع

الدكتور فؤاد العجل

الدكتور أحمد الحاج سعيد

الدكتور محمد فؤاد الرباط

الدكتور إلياس أبو شاهين

هيئة الطاقة الذرية السورية

مكتب نظم المعلومات

http://serversmiso.aecs.sy

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

3- يُقدم المؤلف أو المترجم في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية «Key Words» (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

الجمهورية العربية السورية – هيئة الطاقة الذرّية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – مجلة عالم الذرّة – دمشق – ص. ب 6091
E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy

رسوم الاشتراك

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

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

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

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

سعر العدد الواحد

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

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها.
للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية الكتابة إلينا على العنوان التالي:
هيئة الطاقة الذرّية السورية – مكتب الترجمة والتأليف والنشر
دمشق ص.ب 6091 – الجمهورية العربية السورية
أو الاتصال على رقم الهاتف6111926/7 – فاكس 6112289

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقالات

☐ إزالة مُلوحة مياه البحر بالمُفاعلات النوويّة . . . . . س. نيسان، ل. فولبي 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ استخدام الطاقة النوويّة في الفضاء . . . . . ك. ربسيت، ب. بجبي 17
ترجمة هيئة التحرير

☐ المفاعلات ذات الاستطاعة الصغيرة والمتوسطة. . . . . ب. بارّه 23
لإنتاج الطاقة في الماضي والحاضر ترجمة هيئة التحرير

☐ مُصادم الهدرونات الكبير تحدٍّ تقانيٌّ لا سابق له. . . . . ج - و. باروش 27
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

☐ حَشْوة الفطيرة المُصدِرة للضوء 36
☐ الليتيوم تحت الضغط يصبح ناقلاً فائقاً 37
☐ مسرّع يهدف إلى إيجاد منبع جميع العناصر 39
☐ البوزونات تساعد في قهر ضغط فِرمي 41
☐ الناقلية الفائقة القائمة على البلوتونيوم بدرجة حرارة انتقال أعلى من 18 كلفن 42
☐ الأمواج الكونية تُظهر الاستقطاب 45
☐ آلية "كرة الطاولة" لنقل البورون في جذور النبات 46
☐ البلوتونيوم 49

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

☐ النموذج الثلاثي الأطوار في متعدّد الإسترات المتلدّنة . . . . . د. منذر قطان 53
بالحرارة والمسحوبة: مفارنة بين تجارب قياسات التحليل أ. دارجنت، ج. غرينت
الحراري التفاضلي وتيار إزالة الاستقطاب المثار حرارياً

☐ قياس درجة الحرارة الوسطية لقلب مفاعل . . . . . د. إبراهيم خميس. 60
منبع النترونات السوري المصغَّر باستخدام التفاعلية

☐ خواص مركّبات خشب - بلاستيك: . . . . . د. إلياس حنا بكرجي، نعمان سلمان. 64
تأثير الإضافات اللاعضوية

☐ تقييم بعض المواد العلفية غير التقليدية للمجترّات في الزجاج . . . . . د. محمد راتب المصري 68
عن طريق معامل هضم المادة العضوية
والطاقة والكتلة الحيوية المِكروبية

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- تحليل آليّة نقل التيّار في الخلايا الشمسيّة $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ . . . . . د. معين سعد، د. عمار قسيس 77
- تصميم وتنفيذ لوحات إلكترونية محلية لنظام التحكم الآلي بالمفاعل MNSR . . . . . د. إبراهيم خميس، موفق نصري 79
- أشكال الفسفور في الأتربة السورية وتحديد المتاح منها . . . . . د. فارس أصفري 81
  د. رفعت المرعي، محمد حاميش
- تعيين تراكيز السيزيوم 137 ,134 و السترونسيوم 90 في بعض منتجات سلسلة الجبال الساحلية الزراعية . . . . . د. محمد سعيد المصري، 83
  عامر نشواتي، بشرى العاقل
- تأثير أشعة غاما في بعض الأنواع الجرثوميّة من مستحضر عِرق السُّوس السريع الذوبان وفي الخصائص الكيميائية والحسيّة لخلاصته المائية . . . . . محمد عمار العدوي، 84
  عبير القائد، د. محفوظ البشير

كتب حديثة مختارة

- التشابك: أعظم سرٍّ في الفيزياء . . . . . (تأليف: أ. أكزيل) 88
  (عرض وتحليل: ف. فيدرال)
- أسرع من سرعة الضوء: قصة تأمل علمي . . . . . (تأليف: ج. ماجيغو) 89
  (عرض وتحليل: ج. إليس)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 96

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

المقالات

إزالة مُلوحة مياه البحر بالمُفاعلات النوويّة*

س. نيسان، ل. فولبي
مفوضية الطاقة الذرية الفرنسية - كادراش - فرنسة

ملخص

يُشير هذا التقرير إلى أهميّة مُشكلة شَحّ المياه التي ستتعرّض لها عدّة مناطق في العالم في السّنوات القادمة. يمكن أن تكون إزالة ملوحة مياه البحر حلاً يُغري بتأمين احتياجات نحو ثلثي سكان العالم إلى المياه. وُصفت مختلف تقنيات إزالة الملوحة بصورة مختصرة. في هذا النص، تظهر إزالة الملوحة بالمفاعلات النوويّة كحلٍّ يُنافس منافسة قويّة، الأساليب التي تعتمد على الطاقات الأحفورية ليس فقط لإنتاجها الكهرباء ومياه الشرب في آن واحد، بل لتخفيضها أيضاً انطلاق غازات مفعول الدفيئة إلى حدّها الأدنى.

الكلمات المفتاحية: المفاعلات النووية، إزالة ملوحة مياه البحر، تقطير بالمفاعيل المتعددة، تقطير التبخير السريع المتعدّد المراحل، انضغاط البخار، التناضح العكسي، التحالّ الكهربائي.

إشكالية المياه

الماء سلعة غذائية ضرورية لوجود الإنسانية وتطوّرها الاجتماعي والاقتصادي.

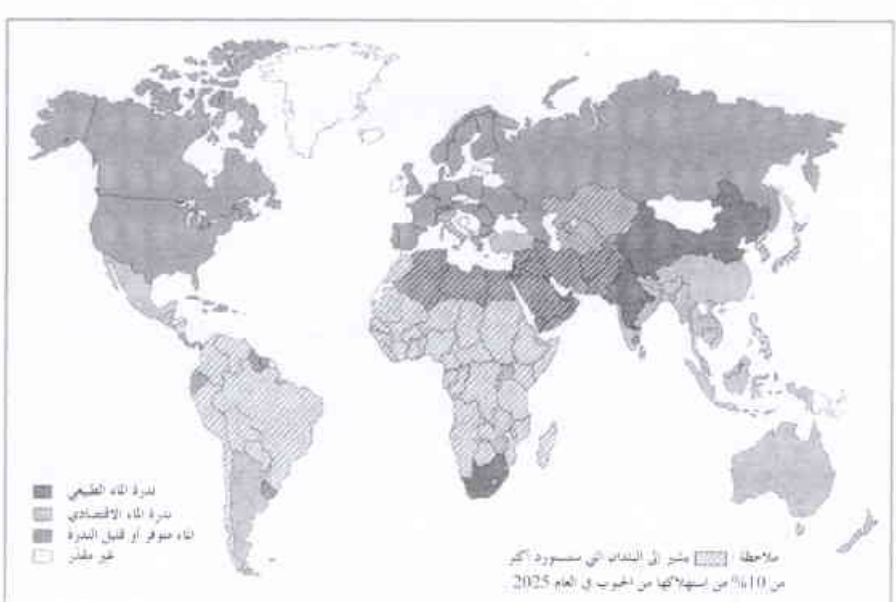
فكمية المياه الموجودة على سطح الكرة الأرضيّة هي أكبر من 1 مليار كيلومتر مكعّب، وتُغطي 70% من سطح الأرض، بينما لا يتعدّى الاستهلاك العالمي 1500 كم^3/سنة. وللوهلة الأولى فإنّ هذا الاختلاف الشاسع أولى أن يكون مُطمئناً.

إلاّ أنّ 97,5% من هذه المياه هي مياه ملحة قليلة الملوحة (المسوسة) والكمية المتاحة هي فقط 2,5%. ومع ذلك، فإن 70% من هذا الجزء الأخير هو على شكل جليد (في القطب الجنوبي، وغرينلندة و...). والقسم الكبير من الجزء المتبقي موجود في رطوبة التربة وفي الطبقات المائية العميقة. وعليه، فإن الجُزء المُتاح فعلياً من الماء للاستخدام المباشر من مَرْتبة 0,007% فقط أي نحو70,000 كم^3.

إنّ هذا الجُزء الصغير يتوزّع بصورة غير متجانسة إلى أبعد الحدود. هذا، وإذا أضفنا النمو السكاني إلى النمو الصناعي فإنّ ذلك يؤدي إلى نقص كبير جداً في مياه الشرب في مناطق عدة من العالم. وبحسب لجنة الموارد الطبيعية [1]، فإنّ 80 بلداً وتقريباً 40% من سكان العالم، كانوا في عام 1997، في حاجة ماسّة إلى المياه.

فالموارد المائية لم تكن فقط نادرة وإنما مُوزّعة توزيعاً غير متساوٍ. وهي أيضاً بصورة خاصة غير ثابتة. وبالإضافة إلى النمو السكاني، فإنّ هذه الموارد والمنظومات البيئيّة التي تُجدّدها مهدّدة إلى أبعد الحدود في الوقت الحاضر بأسباب متعدّدة: كالاستثمار الجائر والتلوّث، والتغيّرات المناخية، واستخدام الأقاليم واستغلالها بشكل اعتباطي إلخ... وهكذا، فمثلاً في عام 1960 كانت الموارد المتجدّدة للمياه العذبة في أفريقية نحو 15,000م^3/فرد/سنة. بينما في عام 2025 ستصبح 2000 م^3/فرد/سنة.

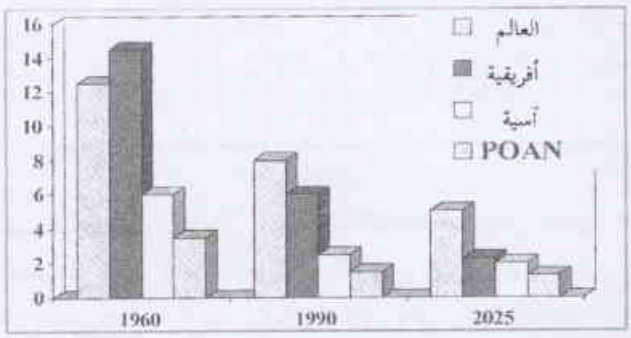
وفي الوقت الحاضر، فإنّ النتيجة المباشرة من شح المياه وإفساد نوعيتها هي 3,3 مليار مريض و 2 مليون وفاة/سنة في العالم.



الشكل 1– مناطق العالم التي تعاني نقصاً في الماء

* نُشِر هذا المقال في مجلة *RGN ANNEE*, N°6, December 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 2– المصادر المتجدّدة من الماء (مقدرة بـ 1000 متر مكعب / ساكن / سنة) تكون نادرة، أو قليلة، أو في طريقها إلى النقصان [1] تعني POAN = الشرق الأدنى والأوسط وشمال أفريقية.

فإذا لم يتم عمل أي شيء بسرعة، سيتأثر ثُلثا سكان العالم تقريباً في المستقبل ما بين 2020–2030 بشح مياه الشرب شحاً متوسطاً أو حاداً أو بشح مياه السقي أو الاثنين معاً. والبُلدان التي سيُصيبها هذا الشح بصورة خاصة:

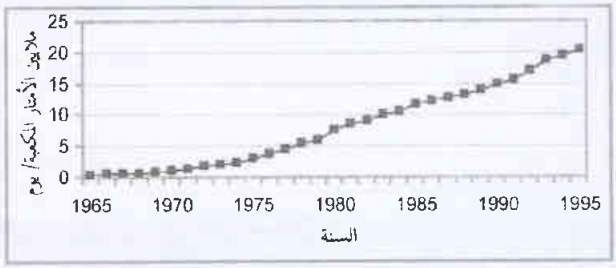
- مجموع بلدان شمال أفريقية،
- بلدان جنوب الاتحاد الأوروبي مثل إسبانية (مناطق الجنوب والشرق)، واليونان، وإيطاليا، (مناطق الجنوب والجزر)، والبرتغال (أمنتيغو وألغارف وجزر بورتو سانتو والكورفو)،
- بلدان البحر المتوسط الأخرى مثل قبرص ومالطة وغيرها،
- بلدان أمريكا اللاتينية وبلدان آسيا الجنوبية والشرقية.

تدلُّ التقديرات الأولية على أنَّ الاحتياجات إلى الماء في منطقة البحر المتوسط فقط سترتفع إلى نحو 10 ملايين متر مكعب باليوم في عام 2010.

إزالة الملوحة

ولمجابهة هذا الطلب، فإن إزالة ملوحة ماء البحر (وفي مستوى أقل، إزالة ملوحة المياه المالحة بعض الشيء - المسوسة) هو حل جذّاب واقتصادي، لأنه يُسهم في تنمية دائمة للبلاد المعنية وذلك لأسباب متعددة:

- الاحتياطي الهائل من ماء البحر المتاح
- الهبوط الملاحظ لتكلفة إزالة الملوحة.



الشكل 3– السعة الكلية لإزالة الملوحة المقامة (أو المطلوبة).

- الحقيقة في أنَّ إزالة الملوحة تأتي بحلٍّ لاحتياجات مختلفة: الاستعمالات المنزلية والصناعية والاستعمالات الزراعية ومعالجة المياه.

وليس من المدهش أن يكون سوق إزالة الملوحة حالياً في ذروة نُموّه، فمعدّله السنوي نحو 7%.

لماذا إزالة الملوحة بالمفاعلات النووية؟

إنَّ الحجج كلّها التي تقود إلى استخدام الطاقة النووية لإنتاج الطاقة الكهربائية، تشهد أيضاً في صالح إزالة الملوحة بالمفاعلات النووية:

- إن إزالة الملوحة بالمفاعلات النووية تنافس جيداً إزالة الملوحة بمصادر الوقود الأحفوري.
- إنَّ المفاعلات النووية تزوّد بالحرارة التي تغطي مجالاً عريضاً من درجات الحرارة، وهذا ما يُتيح تكيّفاً سريعاً لكل الطرائق.
- وبفضل طرائق متجددة، تُتيح المفاعلات النووية استخداماً سهلاً للحرارة، التي عادةً ما تضيع في المنبع البارد.
- وإزالة الملوحة بالمفاعلات النووية مواتية للبيئة.

إنَّ إزالة الملوحة عملية تتطلب الكثير من الطاقة. لذلك فإنَّ استراتيجية المستقبل، المُعتمدة على استخدام الطاقة الأحفورية فقط لإزالة الملوحة لن تكون عمليةً ولامرغوباً فيها: نظراً لأنَّ احتياطيات الطاقة الأحفورية محدودة (ويجب الحفاظ عليها من أجل استخدامات أساسية أخرى) بينما الاحتياجات من الماء ستزداد دائماً مع النمو السكاني ومع زيادة مستوى حياة السكان. إنَّ إجراءات حفظ المياه المُعتمدة على إعادة تكرير المياه الوسخة، والإقلال من التسرب، وتنظيم شبكات التوزيع وتحديثها إلخ... تُسهم كلها بالتأكيد في إنقاص هذا الطلب، ولكنها من جهة أخرى لايمكن أن تمنع انتشار مَعامل إزالة الملوحة، وبالتالي، محطات توليد الكهرباء الأحفورية لإنتاج الطاقة، مع ما يتبعها من نتائج تضرُّ البيئة وصحة السكّان.

واعتماداً على زيادة 10 ملايين متر مكعب/يوم في عام 2010، من الممكن أن نبيّن أنَّ استخدام الطاقة النووية بدلاً من المصادر الأحفورية يمكن أن يُجنّب منطقة البحر المتوسط فقط نحو،

- 20,000,000 طن/سنة من غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2
- 200,000 طن/سنة من غاز ثنائي أكسيد الكبريت SO_2
- 60,000 طن/سنة من أكاسيد النتروجين NO_x
- 16,000 طن/سنة هدروكربونيات أخرى

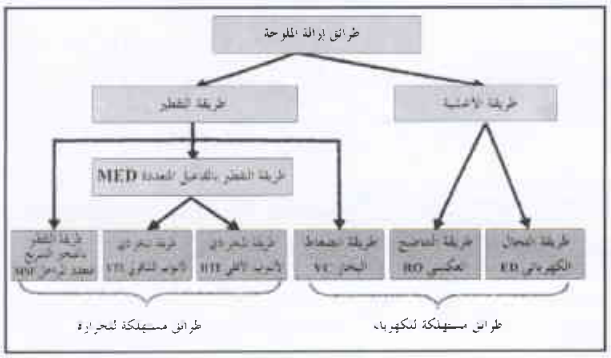
إنَّ التخفيضات المحتملة لهذه الإصدارات في العالم كله ستكون أكثر من ضعفي هذه الأرقام [2].

تتجاوب إزالة الملوحة بالمفاعلات النوويّة مع الاحتياجات الأساسية للبشر. وهكذا تُساهم في إقناع الجماهير بقبول الطاقة النوويّة.

طرائق إزالة الملوحة

تُقسم معظم الطرائق التجارية لإزالة ملوحة مياه البحر، التي ثبتت صلاحيتها التقنيّة، إلى مجموعتين كبيرتين: الطرائق التي تعتمد على التبخير والطرائق التي تعتمد على الفصل باستخدام الأغشية.

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

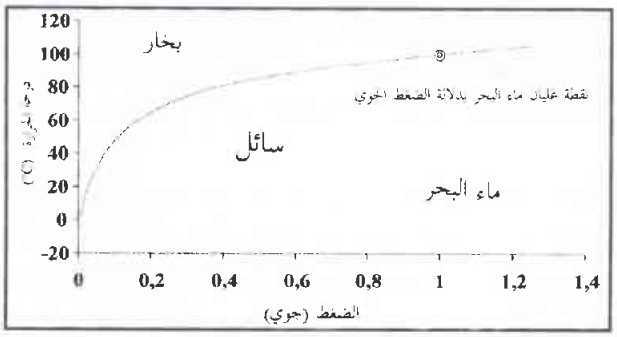


الشكل 4– الطرائق المتنوعة لإزالة الملوحة

إنَّ جميع الطرائق التي تستخدم تقنية التقطير (باستثناء طريقة انضغاط البخار) تستعمل الطّاقة الحراريّة. أمّا الطرائق التي تستخدم الأغشية، وكذلك انضغاط البخار، فإنّها تستدعي الطاقة الكهربائيّة أو الآليّة (الميكانيكيّة).

التقطير

إنَّ المبدأ الأساسي المُطبّق في طرائق التقطير، مفاده أنَّ درجة حرارة غليان الماء تتناقص بتناقص الضغط. فيمكننا إذاً استخدام حرارة تكاثف البخار المنتج في إحدى المراحل لتسخين الماء في المرحلة التالية (الشكل5).



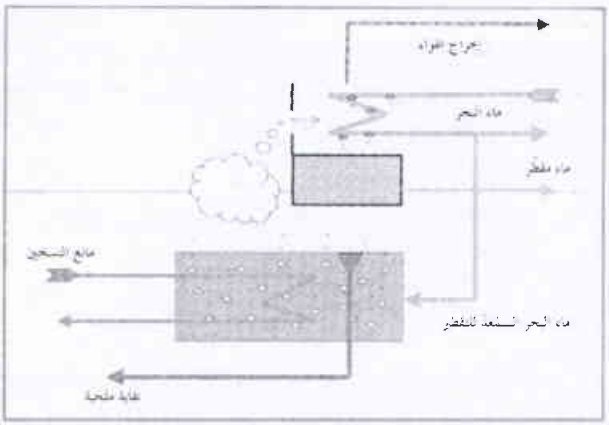
الشكل 5– تغيّر درجة حرارة غليان ماء البحر بدلالة الضغط

طريقة التقطير المتعدّد المفاعيل (MED)

المثال الأفضل لشرح مبدأ عمل هذه الطريقة هو "جهاز التقطير البحري bouilleur marin" المستخدم منذ زمن بعيد على متن السفن (الشكل 6). يتألّف هذا الجهاز من حزمة أنابيب يغذّيها مائع مُسخّن، تُغطّس في ماء البحر في الجزء الأسفل من وعاء مُغلق مُخلّى من الهواء. يؤدّي المائع المسخّن إلى تبخير ماء البحر. والبخار المتكوّن يتكثّف على حزمة أنابيب أخرى، موضوعة في الجزء الأعلى من الوعاء حيث يجري فيها ماء البحر البارد. يسيل الماء المُقطّر والمكثّف من الأنابيب ويُجمع في قناة ومنها يُضخّ للاستعمالات المختلفة.

تُدخل كمية من ماء البحر، أكبر من النتاج، في الوعاء. تُفرّغ مضخّة أخرى جزءاً من الماء الملح بحيث تبقى فيها ملوحة ماء البحر بتركيز مقبول.

واستهلاك الطاقة في المُقطّر البحري من مَرْتبة 590 كيلو حريرة/كغ. وهذا مرتفع جداً وليس مقبولاً إلاّ في المراكب حيث ينبغي التخلّص من كمية كبيرة من الحرارة الآتية من آلات مُختلفة.

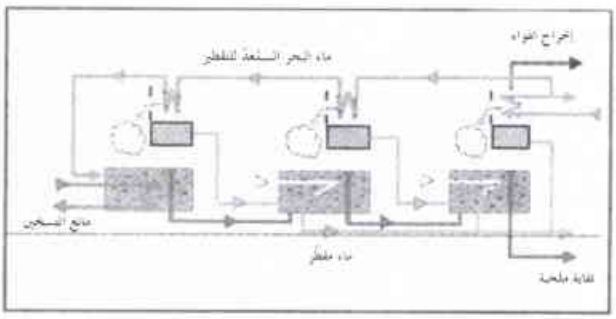


الشكل 6– وحدة تقطير بمفعول وحيد

وفي التطبيق الصناعي لطريقة التقطير المتعدّد المفاعيل نضاعف إذاً المفاعيل (الشكل7). يسخَّن ماء البحر في الوعاء الأول فيتبخّر بذلك جزء منه. يتكثّف قسم من هذا البخار بمجموعة من الأنابيب حيث يدور فيها ماء البحر البارد نسبياً. أمّا الجزء الآخر من البخار فيُرسل إلى المفعول التالي، الواقع تحت ضغط أقل من ضغط الأول. وقياساً على ذلك، يُستخدم الماء الشديد الملوحة المسخّن في المفعول الأوّل لتسخين كذلك ماء البحر في الوعاء الثاني.

ويتكثّف البخار الآتي من المفعول الأوّل في الثاني على حزمة الأنابيب وينتج كمية مساوية تقريباً للبخار بدءاً من ماء البحر، وهكذا دواليك.

وبعد كل مفعول، يرسل الماء المقطّر المجمّع.



الشكل 7– وحدة تقطير متعدّد المفاعيل (MED)

تُنتج طريقة التقطير المتعدّد المفاعيل ماءً عذباً تقريباً (يحوي 5–25 جزءاً من المليون من تركيز الأملاح الكلّي TDS) بدءاً من ماء البحر الحاوي 35000–45000 جزء من مليون جزء من تركيز الأملاح الكلّي. تعتمد كفاءة أداء هذه الطريقة بصورة رئيسة على الوسيط GOR (أي نسبة كتلة الماء الذي أُزيلت ملوحته إلى كتلة البخار المُستهلَك). والوسيط GOR في طريقة التقطير المتعدّد المفاعيل يساوي نظرياً إلى عدد المفاعيل، ولكنّه عملياً، أدنى بقليل بسبب ضياع الحرارة.

تُنشأ مَعامل التقطير المتعدّد المفاعيل بحزم من أنابيب طويلة شاقولية (LTVE) أو من أنابيب أفقية بأغشية رقيقة (HTTFE) بُغية تحسين مُعامل التبادل.

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

ففي النمط ذي الأنابيب الشاقولية، يصل ماء البحر، الذي سبق وسُخّن بالماء العذب الناتج، إلى الجزء العلوي من حزمة الأنابيب الشاقولية ويُشكّل غشاء على الجدار الداخلي للأنابيب. يُستقبل الماء الشديد الملوحة في أسفل الخلية. يُرسل كل من الماء الشديد الملوحة والبخار، الذي يُستخدم كمائع للتسخين، إلى الجزء الأعلى من الخلية الثانية وهكذا دواليك.

أمّا في النمط ذي الأنابيب الأفقية بأغشية رقيقة، فإنّ المبدأ الذي يؤخذ به هو رشّ الماء الشديد الملوحة الذي سبق وسخّن على السطح الخارجي لحزمة الأنابيب الأفقية، بينما يجري البخار داخل الأنابيب حيث يتكثّف، منتجاً الماء العذب. ومزية هذه الطريقة هي مضاعفة معامل التبادل الحراري ثلاث مرّات، بالنسبة إلى قيمته في الطريقة ذات الحزمة الغاطسة.

انتشرت حديثاً، طريقة بدرجة حرارة منخفضة ($t \leq 70\ C$) معدّلة عن النمط HTTFE، دُعيت LT- MED وهي في تقدّم لافت لتطبيقات ذات سعة متوسّطة في إزالة الملوحة. ومزايا هذه الطريقة المعدّلة هي:

- استهلاك منخفض للطاقة
- مُعامل تبادل مرتفع
- تصميم بحجم صغير
- جودة أحسن للماء الناتج
- احتياج أقل إلى المعالجة المُسبقة
- حساسية أقل للتآكل ولظاهرة الترسّبات الكلسية (ضمن الأنابيب)

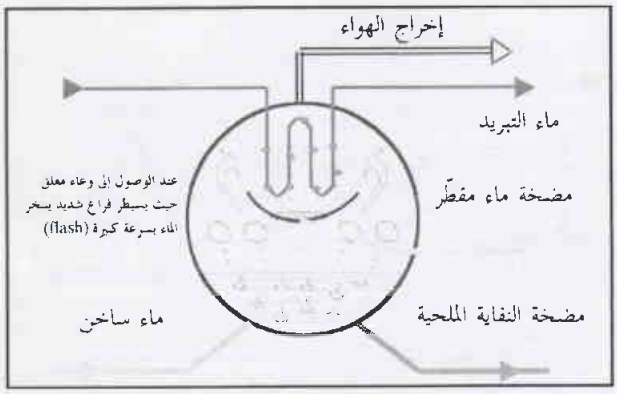
وهناك مزية كبيرة جداً لطرائق التقطير بالمفاعيل المتعددة (بالمقارنة، مثلاً مع طريقة التقطير المتعددة المراحل السريعة (MSF)) تكمن في إمكانية الحصول على عدد كبير من المفاعيل لدرجة حرارة مفروضة. ففي حالة كمّيات صغيرة أو متوسطة من الماء الذي يُراد إزالة ملوحته، فإن هذه الطريقة هي التي ستسيطر في المستقبل. وتتراوح حالياً التكلفة النوعية لطرائق التقطير المتعددة المفاعيل بين 900-2000 دولار/ متر مكعّب.

طريقة التقطير بتمددات متوالية للبخار (طريقة التبخير السريع المتعدّد المراحل، MSF).

إن 60% تقريباًمن الكميات العالمية المراد إزالة ملوحتها تستخدم طريقة التقطير بالتبخير السريع المتعدد المراحل MSF. وهذا يعود بقسمه الأكبر إلى بساطة تشغيلها واستمارها ووصولها إلى درجة متقدمة من التطور الصناعي.

تثير هذه الطريقة الاهتمام بصورة خاصة في الأمكنة التي تكون فيها الحرارة متاحة بسهولة على شكل بخار بدرجة حرارة منخفضة، وحيث يكون هناك حاجة إلى كميات كبيرة جداً من الماء لإزالة ملوحته. وهذه هي حالة منشأة الجبيل بصورة خاصة في المملكة العربية السعودية مع سعتها البالغة 0.9 مليون متر مكعب/يوم. ويبيّن الشكل8 مبدأ تشغيل طريقة التقطير بالتبخير السريع المتعدد المراحل.

لنفترض وجود وعاء مغلق مخلّى من الهواء، ومعزول ولايحوي إلاّ ماء البحر، بتوازن مع بخاره بدرجة حرارة t وتحت ضغط p. عندما نُدخل كمية من الماء الحار (بدرجة حرارة $t + \Delta t$) في الوعاء،



الشكل 8- خلية من وحدة التبخير المتعدّد المراحل السريعة (MSF).

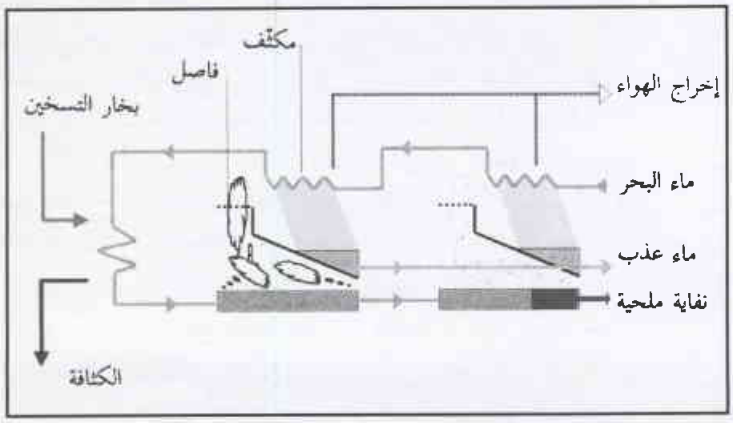
وإذا كان الضغط أقل من ضغط الإشباع، ينتج تبخّر فوري بالتمدد. فتنتقل الحرارة الكامنة في البخار إلى الماء الذي يجري في أنابيب المكثّف.

والبخار المنتج هكذا يتكثّف على حزمة من الأنابيب (المكثّف) واقعة في القسم العلوي من الوعاء. وبعد ذلك يُجمع الماء العذب في مجمع الماء العذب.

يقتضي تنفيذ طريقة التبخير السريع المتعدد المراحل في المستوى الصناعي وجود عدّة خلايا (عادة ما تكون أقل من 40) متصلة على التسلسل (الشكل 9). يُرسل ماء البحر أوّلاً إلى منظومة معالجة كيميائية مسبقة حيث تضاف مواد كيميائية أو حمض لإزالة تشكّل الرواسب والقشور الكلسية القلوية في الأنابيب. ثم يُعمل على إزالة التهوية لإنقاص كمية الأكسجين وثاني أكسيد الكربون المنحلّين في الماء بُغية تخفيض مخاطر التآكل.

تُرفع درجة حرارة الماء، بعد عمليات تسخين متتالية في مُكثّفات الخلايا (عادة ما تكون أقل من 40)، إلى درجة الحرارة العظمى المرغوب فيها (بين 80 و120 درجة مئوية) في مسخّن مُساعد. ويدخل بعد ذلك إلى أسفل الخلية الأولى في وحدة التقطير ويمرّر بعدئذٍ من خلية إلى أخرى (ويُحتفظ بضغوط متناقصة على التتالي) بتأثير فروق الضغط. وتجمع الكثافة التي تمر أيضاً من خلية إلى أخرى كماء منتج.

تُنتج طريقة التقطير بالتبخير السريع المتعدّد المراحل أيضاً، مثل طريقة التقطير المتعدد المفاعيل MED، الماء النقي مع نسبة أعظمية قدرها 5-25



الشكل 9- التقطير المتعدّد المراحل السريعة.

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

جزء من مليون جزء من التركيز الكلّي للأملاح. ويعتمد استهلاك الطاقة في طريقة MSF على درجة حرارة المنبع الحراري وعلى وسيط GOR، ويتراوح بين 55 و 120 kWth.h/m³. إنّ استهلاكاً كهربائياً من مرتبة 4 kWe.h/m³ ضروري أيضاً لتشغيل المضخّات والمنشآت المساعدة الأخرى.

وتتراوح تكلفة الاستثمار النوعية لمنشأة من النوع MSF بين 1000- 3000 دولار أمريكي / متر مكعب / يوم.

التقطير بطريقة انضغاط البخار (VC)

يبيّن الشكل 10 مُخطّط مبدأ هذه الطريقة التي تقوم على استثمار الحقيقة التي مفادها أنّ البخارعندما ينضغط، تزداد درجة حرارته وضغطه بينما ينقص حجمه.

يوضع ماء البحر الذي يُراد إزالة ملوحته في وعاء مغلق ويُجعل في حالة الغليان. لنفترض أنّه في النقطة A (الضغط 0.7 بار ودرجة الحرارة 90°C) على مخطّط موليه. يُشفط البخار الناتج بالضاغط الذي يرفع درجة حرارته إلى 138°C وضغطه إلى 1 بار مطلق (النقطة B). يرسل هذا البخار بعد ذلك بمجموعة من الأنابيب في أسفل الوعاء حيث يتبرّد تحت ضغط ثابت (النقطة C)، ومن ثمّ يتكثّف فيتخلّى عن حرارته إلى ماء البحر، فيؤدّي إلى غليانه.

الشكل 10– تقطير بانضغاط البخار

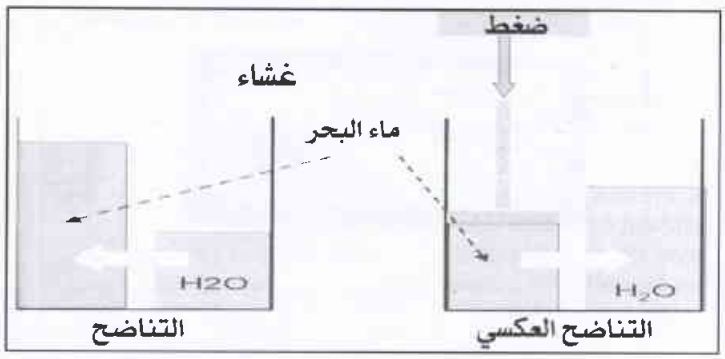
إنّ إحدى مزايا طريقة انضغاط البخار هي استهلاكها القليل للطاقة وبساطة تشغيلها . فالطاقة التي تُقدّمها ليست على شكل حرارة، وإنّما طاقة ميكانيكية أو كهربائية. وتتحدّد سعة إزالة الملوحة في منشآت انضغاط البخار بقدرة الضواغط.

إنّ الاستهلاك النوعي لمنشآت التقطير بطريقة انضغاط البخار ذات السعة الكبيرة هو من مرتبة 7.5-8.05 kWh/m³.

طريقة التقطير بالتناضح العكسي (RO) Osmose inverse:

التناضح حادثة طبيعية تظهر عندما يُعزل سائل ممدّد (الماء العذب مثلاً) عن سائل مركز(ماء البحر) بغشاء نصف نفوذ فيسمح مميّزه بمرور نوع من الجزيئات (الماء) ويمنع ما دون ذلك.

وكما يبدو من الجزء الأيسر من الشكل 11، ينتشر الماء العذب، عبر الغشاء، نحو الماء المِلح. فيرتفع مستوى الماء الملح. وعندما يحصل التوازن، فإنّ الاختلاف بين المستويين: مستوى الماء العذب ومستوى الماء المِلح يدعى الضغط التناضحي. ويتعلق هذا الضغط باختلاف تركيز الملح في السائلين.



الشكل 11– التناضح والتناضح العكسي

وإذا طبّق، بالعكس، ضغط أعلى من الضغط التناضحي على الجزء الذي يحوي ماء البحر، تلاحظ العملية العكسية: حيث يتم الجريان عبر الغشاء في الاتجاه العكسي وجزيئات الماء تمر من جانب الماء الملح إلى جانب الماء العذب لأنّ النفوذية الاصطفائية للغشاء تمنع أيّ هجرة لجزيئات الملح.

تُعدّ طريقة التناضح العكسي، إذا ما قورنت بطرائق التقطير، جديدة نسبياً، لأنّ أول مصنع تجاري لها، قد بُني خلال السبعينيات.

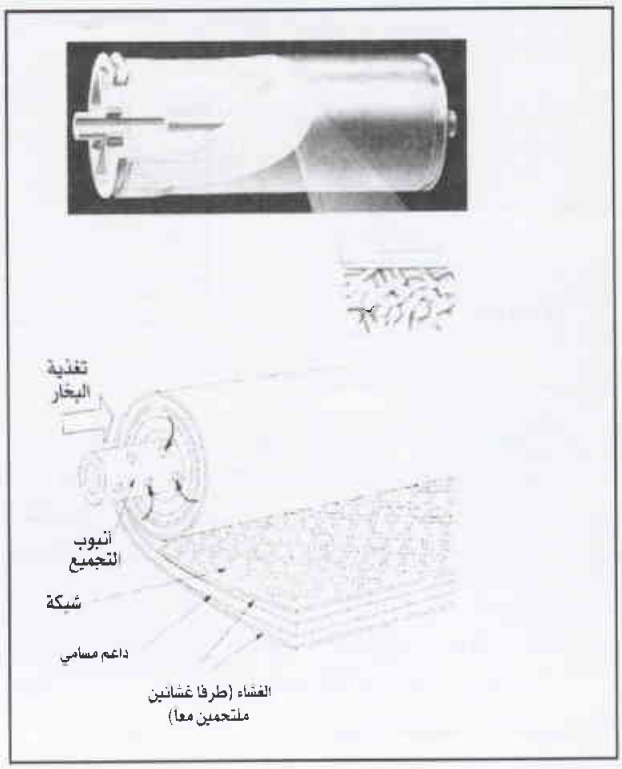
يحوي عملياً المصنع التجاري بطريقة التناضح العكسي المكوّنات الآتية:

- المنظومة ما قبل المعالجة،
- مضخات ذات ضغط عالٍ،
- وحدات مجهزة بالغشاء،
- منظومة ما بعد المعالجة،

تُعدّ منظومة ما قبل المعالجة أساسية في طريقة التناضح العكسي لأن على سطوح الأغشية أن تبقى نظيفة. إذ تجب إزالة كل الأجسام الصلبة المعلّقة كما يجب أن يعالج الماء لتجنّب ترسيب الأملاح أو تكاثر المتعضيات المكروية. وبصورة عامة، تشتمل مرحلة ما قبل المعالجة على ترشيح دقيق جداً (يتم الآن بمساعدة أغشية ترشيح نانوية) وعلى معالجة حامضية (أو بإضافة منتجات كيميائية أخرى) تمنع تكاثر المتعضيات المكروية.

أمّا المضخّة العالية الضغط فتقدّم الضغط الضروري لإمرار الماء العذب عبر الغشاء. ونظراً لأنّ الضغط التناضحي يصل حتى 25 بار في حالة ماء البحر بوجود الماء العذب، فينبغي أن يتمكّن الغشاء من مقاومة الضغوط العالية. كما ينبغي أن تكون أبعاد مساماته، بالإضافة إلى ذلك، من مرتبة عدة أنغستروومات. ومؤخراً تقدّمت تقانة الأغشية تقدّماً محسوساً وتعدّ الآن طريقة التناضح العكسي الأكثر استعمالاً في العالم بعد طريقة التبخير السريع المتعدد المراحل (MSF). ونوعا الأغشية الأكثر استعمالاً لإزالة ملوحة مياه البحر هما الغشاء ذو الليف الأجوف والغشاء ذو النوع الحلزوني (الشكل 12).

إنّ الهدف من المعالجة اللاحقة هو ثبات جودة المياه المنتجة وتحضيرها للتوزيع. وعلى العموم تشمل هذه المرحلة ضبط الأس الهدروجيني PH وإزالة الغازات مثل غاز H_2S.



الشكل 12- مخطط مبدأ وحدات التناضح العكسي من النمط الحلزوني والليف الأجوف

في السنوات العشر الأخيرة، سمح تطويران بتخفيض تكلفة إزالة الملوحة بالتناضح العكسي: الأول، تطوير أغشية قوية من نوع الليف الأجوف والحلزوني يمكنها أن تتحمّل الضغوط العالية والتي مميّزاتها تسمح بمرور كمية كبيرة من الماء، مع تطوير أغشية لطرائق الترشيح النانوي أو الترشيح الفائق. والثاني تطوير المضخّات التي تستعيد جزءاً من الطاقة بتحويل اختلاف الضغط إلى طاقة مفيدة، فتنخفض بذلك الطاقة الكلّية المطلوبة من المنظومة بكاملها. تستهلك منشآت التناضح العكسي لإزالة ملوحة مياه البحر بصورة نموذجية نحو $3kwh/m^3$.

طريقة التحالّ الكهربائي (ED)

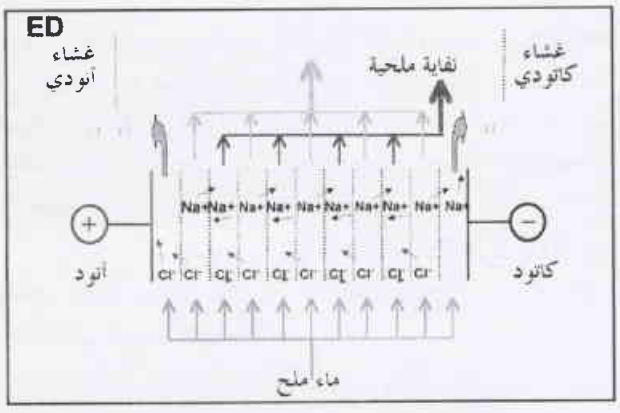
أدخلت هذه الطريقة، التي أساسها الغشاء أيضاً، من الناحية التجارية في الستينيات أي قبل طريقة التناضح العكسي بعشر سنوات ويمثّل الشكل 13 مبدأ عملها، الذي يرتكز على الحوادث الآتية:

- إنَّ معظم الأملاح المنحلَّة في ماء البحر تتأيّن إلى أيونات مشحونة بشحنة موجبة أو شحنة سالبة.

- إنَّ هذه الأيونات تهاجر نحو الإلكترودات ذات الشحنات المعاكسة بوجود توتّر كهربائي.

- إنَّه من الممكن إنشاء الأغشية التي لاتكون نفوذة إلاّ للأيونات ذات الشحنة الموجبة (النوع C) أو ذات الشحنة السالبة(النوع A).

ليكن لدينا خليّة ذات عدد كبير من الحجيرات منفصلة على التناوب بأغشية من النوع C ومن النوع A. ولنضع على طرفي الخلية إلكتروداً سالباً وآخر موجباً.



الشكل 13- مبدأ إزالة الملوحة بالتحال الكهربائي

فعندما نطبّق توتراً كهربائياً مستمراً بين الإلكترودين، تمر الأيونات الموجبة من الحجيرات ذات الرتّبة الزوجية إلى الحجيرات ذات الرتبة الفردية وتخترق غشاء من النوع C لتتجه إلى الكاتود. والأمر نفسه، تمر الأيونات السالبة من الحُجيرات ذات الرتبة الزوجية إلى الحجيرات ذات الرتبة الفردية وتخترق غشاء من النوع A، لتتجه نحو الأنود.

وعليه، ينتج من ذلك نقصان تركيز الأملاح في الحجيرات ذات الرتبة الزوجية وزيادة تركيز الأملاح في الحجيرات ذات الرتبة الفردية.

واستهلاك الكهرباء في طريقة التحال الكهربائي يتناسب مع درجة الملح في المياه المعالجة. ولهذا السبب يفضّل استخدام هذه الطريقة لإزالة ملوحة المياه القليلة الملوحة.

الطرائق الأخرى

هناك طرائق أخرى، لم تنل النجاح التجاري الذي نالته الطرائق التي ذكرناها، ولكن تستحق أن تُذكر بسبب أصالتها أو فائدتها العلمية.

طريقة التجميد

ترتكز هذه الطريقة على تبريد ماء البحر واستخلاص بلّورات الجليد التي تُذوّب للحصول على الماء العذب.

عملياً، إنَّ هذه الطريقة مُعقّدة لأن عملية الفصل لا تكون كاملة تماماً، إذ من الضروري فصل البلّورات عن الماء الملح وغسلها قبل أن تُذوَّب.

طريقة الفصل بتشكُّل الهدرات

تَستخدم هذه الطريقةُ حقيقةً مفادها أنَّ الهدروكربونيات ذات الأوزان الجزيئية القليلة، مثل البروبان، يمكن أن تتحد مع الماء لتشكّل هدرات تتبلور بدرجة حرارة منخفضة وتتفكك بسهولة.

ففي خلية تشكّل الهدرات، تنفصل البلّورات عن ماء البحر، وتغسل وتُفكّك إلى ماء عذب وبروبان. وبعد ذلك يمكن أن يُضغط البروبان ويمدّد في الخلية لتبريد الهدرات إلخ.....

طريقة تبادل الأيونات

تتميّز بعض الراتنجيات، غير الذوّابة، بخاصيّة مفادها، أنها تُبادل بعض أيوناتها بأيونات الأملاح المنحلة في المحلول (ماء البحر) الذي نضع هذه الراتنجيات بتماس معه.

نستخدم راتنجيات أنيونية لتبادل أنيونات المحلول بأيونات OH^- والراتنجيات الكاتيونية التي تتيح تبادل الكاتيونات (Na^+) بالأيونات H^+.

وهذه الطريقة، تُفيد أكثر ما تفيد، في إزالة أملاح الماء الضعيف الملوحة.

طريقة التسخين الشمسي

نسعى طرائق التقطير المختلفة بالطاقة الشمسية إلى استنساخ دورة الماء في الطبيعة. تُسخّن أشعة الشمس الماء الملح ويتكثّف جزء من الماء المتبخّر على سطح بارد وتجمع الكثافة كماء منتَج قابل للشرب. وهكذا، في حوض من نوع الدفيئة يوجد الماء الملح في القاع ويتكثف على السقف الزجاجي، المائل ميلاً خفيفاً. وهناك عدة أشكال معدّلة من هذا المخطط البسيط جداً قيد الدارسة لزيادة فعاليتها. وكل هذه الأشكال المعدّلة تُعاني من المشكلات التالية التي تعيق تصنيعها:

- ضرورة تأمين مساحة تجميع كبيرة جداً (متر مربع لكل 4 ليتر/يوم من الماء المنتج، إذاً 100 هكتار لسعة 4000 متر مكعب/يوم)،
- تكلفة الاستثمار مرتفعة جداً،
- سريعة التأثر بالتغيّرات الجوية وتكلفة الصيانة مرتفعة.

ربط المفاعلات النووية بطرائق إزالة الملوحة

يمكن أن يُزوّد مفاعلٌ نووي طرائقَ إزالة الملوحة بالطاقة الضرورية، وهي إما على شكل حرارة (طرائق MED و MSF) وإما على شكل طاقة كهربائية (طرائق VC و RO). إضافة إلى الطاقة اللازمة لإزالة الملوحة، فإن دمج أيّ طريقة يتطلب الكهرباء للضخ والخدمات أخرى.

والمنظومات المُدمجة لإزالة الملوحة (مفاعل + طريقة) يمكن أن تكون أيضاً على نوعين: منظومات مخصّصة أو منظومات مشتركة co-generation.

ففي المنظومة المخصّصة، تُستخدم طاقة المفاعل النووي فقط لإنتاج الماء. أما في المنظومة المشتركة، فيستخدم فقط جزء من طاقة المفاعل لإزالة الملوحة والباقي يُخصّص لإنتاج الكهرباء.

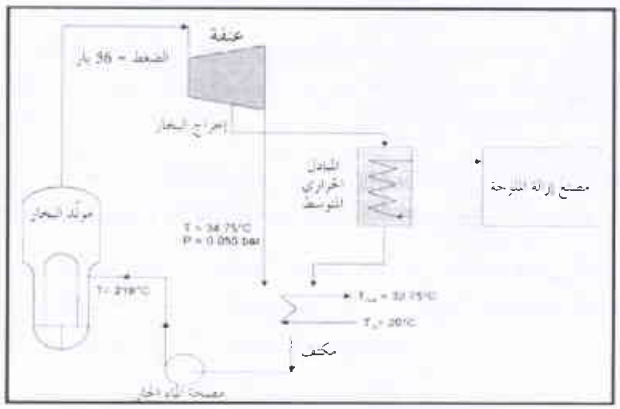
ففي المنظومة المخصّصة، إن الترابط بين المفاعل والطريقة بسيط نسبياً ولا يتطلب اعتبارات خاصة إلاّ اختيار السعات الملائمة (إنتاج الكهرباء، أو الحرارة، وإنتاج الماء).

وهذا الاقتران أكثر تعقيداً في منظومات مشتركة (الشكل 14). ومهما يكن التطبيق العملي، يتطلب الربط بعض الاعتبارات النوعية لتصميم المنظومتين.

الأمان

إنّ أمان منظومة مندمجة لإزالة الملوحة بالمفاعلات النووية يعتمد بصورة رئيسة على أمان المفاعل النووي والوسط البيني الذي يصل بين هذا المفاعل وبين الطريقة.

عندما يربط مفاعل نووي بمنظومة التناضح العكسي RO في الموقع نفسه (منظومة مُجاورة)، فالترابط بين المفاعل وبين الطريقة ضعيف جداً.



الشكل 14- مبدأ ترابط مفاعل نووي بطريقة لإزالة الملوحة

والتدقيق الوحيد الذي ينبغي أن يُجرى به يرتكز إذاً على ضياع الطاقة الكلّي للتغذية الكهربائية.

في حالة طريقة التقطير بالمفاعيل المُتعددة MED، أو طريقة التبخير السريع MSF، إنّ الترابط الذي هو حراري بصورة أساسية شديد جداً. إنّ الاستثمارات الموقتة سواء في مستوى المفاعل أو في مستوى مصنع إزالة الملوحة يمكن أن يكون لها تأثير مباشر نظرياً في عمل وأمان إحدى المنظومتين أو الأخرى. فينبغي أن نتحقق من أن الأمر لايعود إلى حالة حادث عرضي أو طارىء.

والصعوبة الكامنة في استثمار مفاعل من نمط "المشترك co-generation"، تأتي من أنّ إنتاج الكهرباء يعتمد على صبيب البخار. فمنظومة إزالة الملوحة بالحرارة لا تستجيب بصورة مرضية إلى اختلافات الحمولة المفاجئة. في الواقع، إنّ مثل هذا الاختلاف يمكن أن يقود إلى إنقاص صبيب الماء الملح إلى ما تحت قيم مقبولة لتشغيل الطريقة. ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بتبني شكلية تشجّع توصيل المبخّرات على التوازي.

وبالطبع، فإنّ متطلبات الأمان الأساسية في الربط بالطرائق الحرارية هي في منع كل تلوّث ذي نشاط إشعاعي للماء الناتج. وهذا ما يستوجب وجود حاجزين آليين على الأقل بين الدارة الأولية للمفاعل ودارة مياه البحر. يُعدّ مولّد البخار في حالة المفاعل REP، كحاجز أول. وهكذا سيكوّن المكثف أو المبادل المتوسط بين البخار الخارج من العنفة وطريقة إزالة الملوحة هو الحاجز الثاني.

ويُشكّل مبدأ عكس الضغوط (الضغط الأكثر ارتفاعاً من جانب الطريقة)، كما أنّ التحضيرات من أجل مراقبة النشاط الإشعاعي، هي جزء أساسي من المنظومة المتكاملة. هذا، وفي كل الأحوال، ينبغي أن تُؤمّن هذه الإجراءات المستوى صفر من النشاط في دارة الماء المنتج.

الوثوق /الجهوزية

إنّ الواقع في أن الماء أساسي للحياة ولصحة البشر يقتضي جهوزية مستمرة في كل الظروف. والحالة هذه لاتوجد منشأة صناعية، مهما كان هدفها سواء أكان إنتاج الكهرباء أو إنتاج الماء، بجهوزية 100%. وهناك دوماً لاجهوزية طارئة أو مبرمجة. والإجراءات التناوبية التي تؤمّن تغذية غير متقطّعة بالماء هي إذاً ضرورية.

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

وتؤخذ متطلّبات الجهوزية بالحسبان بدءاً من تصميم المنظومة المتكاملة لإزالة الملوحة بالمفاعلات النووية. ومن بين هذه الإجراءات يمكن أن نذكر مثلاً:

- استعددات كافية لسعات التخزين وتكرارية منظومات إزالة الملوحة (إعدادات إضافية) ولإنتاج القدرة (ديزل، وصلات موثوقة للشبكة).

- تصميم منظومة متكاملة بطريقة يمكن من خلالها فصل الأجزاء المنتجة للقدرة والأجزاء المنتجة للماء في كل مرة نحتاج فيها تشغيل إحدى المنظومتين أو الأخرى بصورة منفصلة.

- استخدام المنظومات الهجينة بدمج أكثر من طريقة. وهكذا يمكن جمع MSF و RO أو جمع MED و RO. ومثل هذه المنظومة تكون اقتصادية بصورة خاصة عندما نحتاج إلى منتَجين اثنين: ماء الشرب (المنتج بطريقة RO مع 200-300 جزء من مليون جزء من المواد الصلبة المنحلّة الكلية TDS والماء النقي (المنتج بطريقة MSF وMED) للتطبيقات الصناعية.

الخبرة باستثمار منظومات إزالة الملوحة بالمفاعلات النووية

إن الخبرة باستثمار المفاعلات النووية المرتبطة بطرائق إزالة ملوحة مياه البحر قليلة نسبياً (100 سنة- مفاعل) بالمقارنة مع الخبرة بمفاعلات القدرة (=10000 سنة- مفاعل). ومن جهة ثانية، بقيت سعات إزالة الملوحة مع هذه المنظومات صغيرة نسبياً (<2000 مترمكعّب /يوم)، ومع ذلك، فهي كافية لفهم الظاهرات التكنولوجية والفيزيائية.

إنّ أول مفاعل نووي، استُخدم لإنتاج الكهرباء، وتدفئة المدن والحصول على الماء العذب، كان BN350 في أكتاي (كازاخستان). وبُدىء العمل في هذا المفاعل (وهو يعمل بالنترونات السريعة) بين عامي 1973 و 1999.

وزوّد هذا المفاعل كذلك بمعلومات مُهمّة لتطوير مخطّطات الترابط وتحسين طرائق إزالة الملوحة مثل طرائق: LT-MED، وMSF بـ 34 طبقة، وLT- HTMED وHTTFE.

وبسبب ضَعْف عام (ناتج من تصنيع الجزء الأسفل من أنابيب مولد البخار، GV وَلحْمِها) وتسرّب في منظومة REN، تميّز استثمار BN350 بمشكلات دوريّة في الجهوزية جعلت إنتاج الماء العذب والحرارة إنتاجاً غير اقتصادي.

في اليابان، هناك 8 مفاعلات نووية (REP) قيد الاستثمار . رُبطت هذه المفاعلات بطرائق MED و MSF وكذلك بطريقة RO (الجدول 1). بلغت سعة إنتاج الماء بين 1000 و2000 متر مكعب/ يوم. يستخدم الماء العذب للاحتياجات المحلية، وبصورة خاصة لتغذية مولّد البخار. ولم يبلّغ عن أية مشكلة تقنية أو مرتبطة بالأمان حتى الوقت الحاضر.

وتقوم الهند حالياً بإجراء ربط منظومة هجينة (MSF- RO) بمركز توليد كلباكّام في تاميل نادو لإنتاج 2 × 170 MWe، بالإضافة إلى 6300 متر مكعب /يوم من الماء العذب.

أمّا برنامج إزالة الملوحة النووي الصيني فيرتكز على تطوير المفاعلات المخصّصة (مشتقة إلى أبعد الحدود من المشروع الفرنسي THERMOS)

الجدول I: مصانع توليد الكهرباء مع إزالة الملوحة النووية في اليابان

الاسم	المكان	الاستطاعة (MW)	السعة (مترمكعب / يوم)	المفاعل / الطريقة
Ikata- 1,2	Ehime	566	2000	REP/MSF
Ikata- 3	Ehime	890	2 X 1000	REP/RO
Ohi-1,2	Fukui	2 X 1175	3 X 1300	REP/MSF
Ohi-3,4	Fukui	2 X 1180	2 X 1300	REP/RO
Genkai-3	Fukuoka	1160	1000	REP/RO
Genkai-4	Fukuoka	1180	1000	REP/MED
Takahama-3,4	Fukui	2 X 870	1000	REP/RO

المنتجة للحرارة مُرتبطة بالطريقة MED. إنّ هذا المفاعل باستطاعة قدرها 5 MWth هو قيد التشغيل منذ 1989. وهناك مفاعل آخر، ينتج 3500 متر مكعب / يوم، يُتوقّع تركيبه في موقع شانداو. وكان قد خطط لإقامة مفاعل مماثل بقدرة 10 MWth في موقع تان تان في المغرب، ولكن لأسباب غير معروفة، أُلغي هذا المشروع في الوقت الحاضر.

المُبادرات العالميّة

انطلقت في عام 1990 دراسة مُهمّة جداً قامت بها شركة MWD للمياه في كاليفورنية الجنوبية ووزارة الطاقة DOE. وكانت منظومة إزالة الملوحة بالمفاعلات النووية المعنية نسخة معدّلة عن MHTGR (4X350MWth)، وتعمل بتوليد مشترك co-generation، ومرتبطة بطريقة MED، وتنتج 466 MWe و 401.000 متر مكعب / يوم من المياه العذبة. كانت النتائج مهمة جداً من ناحية أنّه للمرّة الأولى تدلّ دراسة تقنية-اقتصادية مستقلّة على تنافسية إزالة ملوحة مياه البحر بالمفاعلات النووية بالنسبة لمصادر أحفورية وفي الإطار الأمريكي.

ومنذ عام 1991، تابعت الوكالة الدولية للطاقة النووية (AIEA) تشجيع إزالة ملوحة مياه البحر بالمفاعلات النووية، وبصورة خاصة لبلاد شمال أفريقية وجنوب شرق آسية. وضمن هذا الإطار، نُفّذت اتفاقات تعاون متعدّدة:

- تعاون بين مركز Obnisk الروسي والمؤسسة الكندية CANDESAL، في مشروع توليد كهربائي يقام على طوفية (المفاعل من نوع KLT- 40، مشتق من كاسحات الجليد، ومرتبط بطريقة RO).

- تعاون بين شركة KAERI (الكورية الجنوبية) وشركة BATAN (الأندونيسية)، الموقّع في 16 آب 2001، لدراسة إمكانية تنفيذ منظومة تعتمد على مفاعل كوري SMART، (حالياً قيد الدراسة) مرتبط بطريقة MED.

- تعاون بين فرنسة، وتونس والمغرب لدراسة إمكانية تنفيذ إزالة ملوحة مياه البحر بالمفاعلات النووية لمواقع نوعية في هذين البلدين المغربيين (المفاوضات قائمة).

مشروع EURODESAL

هذا المشروع [2] هو الأول من نوعه حول إزالة ملوحة مياه البحر بالمفاعلات النووية حيث التوجه هو في الواقع توجه عالمي. انطلق المشروع

في شباط 2001، في إطار اجتماع PCRD الخامس للجنة الأوربية . سيّر الأعمال اتحاد الصناعيين ومنظمات البحث والتطوير، التي تشمل : هيئة الطاقة الذرية الفرنسية (منسّقة المشروع)، وشركة ANSALDO (الإيطالية)، وشركة EMPRESARIOS AGRUPADOS (الإسبانية)، وشركة CANDESAL (الكندية)، وشركة FRAMATON (الفرنسية) وشركة IRRADIARE (البرتغالية) مع جامعة روما في إيطالية.

ويمكن أن نذكر من بين النتائج التي تمّ الحصول عليها حتى الآن:

- تقدير تكلفة إنتاج ماء الشرب بالمفاعلات الجديدة مثل مفاعل AP- 600 ومفاعل GT-MHR؛ بالمقارنة مع التكلفة المتحصّلة من مفاعل مرجعي موجود (REP 900 MWe) ومن منظومات تعتمد الطاقة الأحفورية والمتجدّدة.
- إعداد مخطّطات ترابط مبتكرة وإيصالها إلى المردود الأمثل.
- التحقّق من الأمان المستند بصورة نوعية إلى تأثيرات الترابط المحتملة.

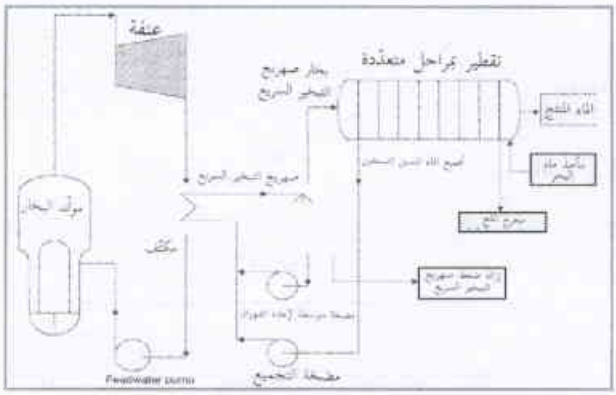
تستند النتائج المتوقّعة للمشروع إلى:

- تقدير أوّلي متماسك للمنظومات المدمجة لإزالة الملوحة بالمفاعلات النووية.
- تطوير المواصفات التقنية- الاقتصادية لمشروع رائد لإزالة الملوحة بالمفاعلات النووية في موقع أو موقعين خاصين(لإسبانية و تونس أو المغرب أو الاثنتين معاً).
- تقدير كمون التصدير المحتمل لمنظومات متطوّرة إلى بلدان أخرى.

التجديد

يرتكز التجديد الأهم لمشروع EURODESAL على تطوير مخطّطات الترابط الذي يستخدم حرارة مفاعل نووي وتفقد هذه الحرارة عادة في المنبع البارد. وهكذا، فمثلاً، في الترابط الاتفاقي مع الطريقة MED، يُصفّى البخار من طوابق العنفة المختلفة. وهذا ما يقود إلى إنقاص مردود العنفة وبالتالي ضياع قدرة كهربائية، كما يشير إليه الجدول التالي II.

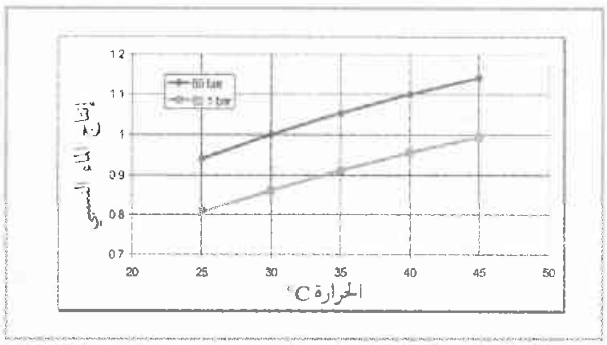
نستخدم، في مخطّط الترابط الذي صمّمته شركة EURODESAL، الحرارة الضائعة في المنبع البارد عن طريق المكثّف (الشكل 15). ففي الشروط الاسمية، تكون حرارة الماء عند مخرج



الشكل 15- مخطّط ترابط مبتكر للمفاعل REP وطريقة MED

المكثّف من مرتبة (REP) 33°C. وهذه الحرارة يمكن مع ذلك زيادتها (60°C>) بتغيير الضغط وصبيب الجريان في المكثّف.

والشيء نفسه، في حالة الترابط والطريقة RO، تقترح شركة EURODESAL تسخيناً مسبقاً وزيادة قليلة من ضغط الماء الذي يغذّي الطريقة . وهذا من أجل زيادة نفوذية الأغشية وبالتالي إنتاج ماء الشرب وإنقاص تكلفة الإنتاج، (الشكلان 16 و17). تدلّ التجارب الحديثة التي قدمتها شركة CANDESAL على أنّ هذا النقصان هو أهم من النقصان الناتج بالحساب مع الأنظمة الجاهزة.



الشكل 16- الإنتاج النسبي للماء بدلالة درجة حرارة وضغط ماء التغذية

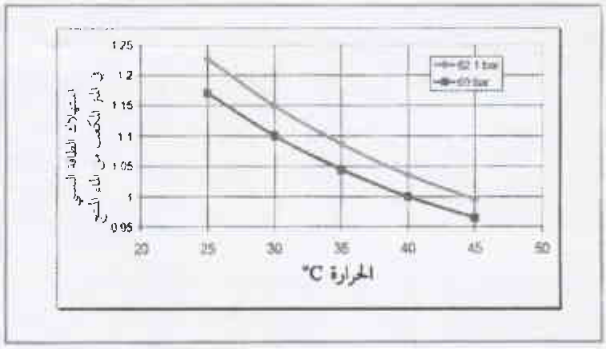
الربح في إزالة ملوحة مياه البحر بالمفاعلات النووية

إنّ التقديرات الاقتصادية لإزالة الملوحة بالمفاعلات النووية وبالمصادر الأحفورية ،هي قيد التنفيذ حالياً في إطار مشروع EURODESAL. وتستند هذه التقديرات إلى تنظيمات متنوعة للمفاعلات النووية (REP900, AP- 600[2])، ومنظومات بالطاقات الأحفورية (الفحم الحجري وعنفات الغاز والدورة المدمجة) وعلى طرائق إزالة الملوحة RO، وMED, RO مع تسخين مسبق (RO- PH). كانت النتائج الأولى التي تمّ الحصول عليها، مشجعة للغاية (الأشكال 18-20). إنّ تكلفة إزالة الملوحة، بالنمط "المشترك

الجدول II: الاستطاعة الكهربائية الصافية الجاهزة مع ترابط اتفاقي بطريقة MED.

		مياه العذبة المنتجة م³/يوم		الاستطاعة المستهلكة (MWe)		الاستطاعة الصافية الجاهزة (MWe)	
مصادر	MWe	MED	RO	MED	RO	MED	RO
المفاعل REP	619	530 000	546 000	91* +42* = 133	108	486	511
	928	795 000	808 000	136* + 61*= 197	160	731	768
فحم حجري	617	530 000	546 000	103* + 37* = 140	108	477	509
	925	795 000	808 000	154* + 54* = 208	160	717	765

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



الشكل 17– الاستهلاك النسبي للطاقة بدلالة درجة حرارة وضغط ماء التغذية

co-generation"، تختلف ما بين 0.5 -1.14 $/m^3 بحسب منبع الطاقة، وطريقة إزالة الملوحة، وكمية الإنتاج ونسبة التحديث.

وفي كل الحالات المدروسة، ومع نسبة تحديث تتراوح ما بين 5-8%، فإنّ تكلفة إزالة الملوحة بالمفاعلات النووية هي أقل بصورة منهجية من تكلفة المنظومات المرتكزة على الطاقات الأحفورية.

- إنّ تكلفة إزالة الملوحة، بالعنفة الغازية ذات الدورة المدمجة أكثر بنحو (12-50%) من التكلفة المتحصّلة من المفاعلات النووية ومن المنظومات بالفحم الحجري المسحوق (PC).

- إنّ تكلفة المتر المكعّب من الماء المنتج بالمفاعل AP- 600 والمفاعل REP900 هي نفسها على نحو ظاهر.

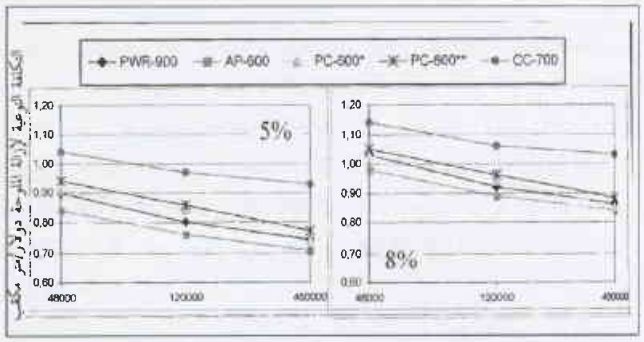
- إنّ تكلفة إزالة الملوحة بطريقة RO أقل على ما يبدو من تكلفة الطريقة MED، غير أنّ نوعية الماء الناتج أقل جودة نسبياً.

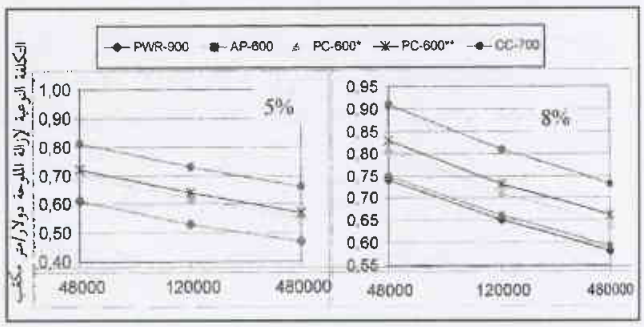
- إنّ تكلفة إزالة الملوحة بطريقة RO، مع التسخين المسبق (RO-PH) أقل بنحو 6-10% من تكلفة طريقة RO لوحدها. وستنخفض تكلفة RO- PH أيضاً مع وصول تقنية كامل المنظومة إلى المردود الأمثل.

- استخدام منبع طاقة طوارئ يزيد تكلفة إزالة الملوحة بنحو 40%.

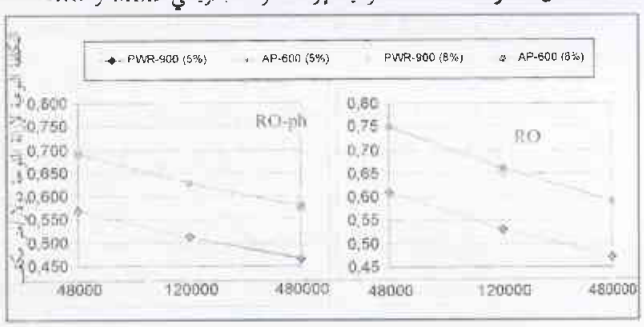
الاستنتاجات

إنّ إزالة ملوحة مياه البحر هي حلّ جذّاب لسد احتياجات شح المياه المتوقّع في مناطق متعدّدة من العالم وفي السنوات القادمة.





الشكلان 18 و 19: التكلفة النوعية لإزالة الملوحة بطريقتي MED و RO



الشكل 20– التكلفة النوعية لإزالة الملوحة بطريقتي RO و RO-PH

إنّ إزالة ملوحة مياه البحر بالمفاعلات النووية هي طريقة اقتصادية ومنافسة إلى أبعد الحدود بالنسبة إلى إزالة الملوحة بدءاً من الطاقات ذات الأصل الأحفوري.

لاتوجد مشكلة تقنية خاصة مرتبطة بترابط طرائق إزالة الملوحة التي تمنع استخدام الطاقة النووية في هذا التطبيق الأساسي لقسم كبير من البشر.

المراجع REFERENCES

[1] A. MACOUN, Alleviating Water Shortages-Lessons from the Middle East. The International Desalination and Water Reuse Quarterly, Vol. 10/2 (2000).

[2] IAEA, Use of Nuclear Reactors for Seawater Desalination Tecdoc N°574 (1990).

[3] S. NISAN, O. ASUAR ALONSO, B. BIELAK, G. CARUSO, L. CINOTTI, J-R. HUMPHRIES, N. MARTINS, A. NAVIGLIO, L. VOLPI. Applications of Innovative Nuclear Reactor Concepts for Sea- water Desalination in Southern Europe; The EURODESAL project.

FISA 2001, 12-13, (2001), Luxembourg.■

استخدام الطاقة النووية في الفضاء*

ك. ريسيت
مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية ساكلي - فرنسة
ب. بمبي
المركز الوطني للدراسات الفضائية - أيفري - فرنسة

ملخص

يجري التوجه الآن نحو نمطين من أنماط استخدام الطاقة النووية للتطبيقات الفضائية. وأكثرهما شيوعاً هو إنتاج الكهرباء. يمكن لهذه الكهرباء أن تستخدم في تغذية السواتل ومركبات الاستكشاف والمحطات القمرية أو الكوكبية وكذلك في تغذية الدافعات الكهربائية. والطريقة الثانية للاستفادة من الطاقة النووية في الفضاء هي الدفع النووي الحراري. يُستخدم المفاعل النووي حينئذ كمبادل حراري بسيط ذي غاز ينفلت فيما بعد في أنبوب اعتيادي مألوف. يعرض هذا المقال هذين التطبيقين، اللذين يعتمدان على مفاعلين صغيري الحجم استناداً إلى مشروعين يُداران بالتعاون بين المركز الوطني للدراسات الفضائية CNES ومفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية: مشروع إراتو ERATO كمولد كهربائي ومشروع مابس MAPS للدفع النووي الحراري.

الكلمات المفتاحية: الطاقة النووية، التطبيقات الفضائية، إنتاج الكهرباء، سواتل، السقط النووي، مولدات النظائر المشعة الكهرحرارية، دافعة كهربائية، وقود الإرغول، الدفع النووي الحراري.

الاستعمالات الممكنة للطاقة النووية في الفضاء

إنتاج الكهرباء

منذ بداية النشاطات الفضائية في العالم كان تشغيل السواتل ومسايير الاستكشاف الكوكبي والمركبات الفضائية المكوكية ومحطات الفضاء الآلية والمسكونة بحاجة مستمرة إلى الطاقة الكهربائية. بالإضافة إلى ذلك، ومهما كانت طريقة إنتاج الطاقة، فإنّ المنظومات الفضائية العملياتية في الوقت الحاضر كانت تُجعل أمثلَ حالاً من حيث مدة حياتها وأدائها مع اهتمام دائم باقتصاد احتياطيات الطاقة المحمولة عليها. وحتى لا تُحدّ نشاطات البشر في الفضاء لانعدام مصدر الطاقة المناسب، لا تستبعد الوكالات الفضائية اللجوء إلى الطاقة النووية في مهمّاتها المستقبلية. ومن بين هذه المهمّات يجري التوجه في الوقت الحاضر إلى استكشاف الكواكب البعيدة وتغذية المحطات القمرية أو المريخية أو البعثات الثقيلة نحو المريخ التي تمثّل فيها الطاقة النووية مصدر الطاقة بلا منازع.

توجد طرائق متعدّدة لإنتاج الكهرباء في الفضاء وكل طريقة لها مجالها التطبيقي المميّز (الجدول I). وبعيداً عن المولّدات الكيميائية المعدّة لتطبيقات قصيرة المدة والألواح الشمسية الكبيرة الحجم المربكة والمقتصرة على التطبيقات القريبة من الشمس، ضمنت المولّدات ذات النظائر المشعّة RTG** عدداً كبيراً من المهمات حتى الوقت الحاضر. مع ذلك يطرح استقراء استطاعة هذه المولّدات مشكلات لا يمكن تجنّبها من حيث قابلية الصنع والأمان وكذلك من حيث التزوّد بالبلوتونيوم ^{238}PU. ففي هذا الإطار يقدّم المولّد الكهرنووي مجالاً كبيراً من الاستطاعة من أجل كتلة نوعية ضعيفة نسبياً (kg/kWe).

يمكن أن يُقرن المفاعل الكهرنووي **بدافعات كهربائية** propulseurs e'lectriques . وهذه هي حالة المهمات نحو الكواكب الخارجية حيث يمكن أن تستفيد السواتل عند ذلك فائدة كبيرة من هذا الاقتران. يضمن مصدر الاستطاعة أيضاً تغذية المسبار أثناء المهمة العلمية وهذا ما يسمح باستطاعات إصدار أعلى بمئة إلى ألف مرة من الاستطاعات على مسايير الناسا NASA. وأخيراً يتوافق مستوى الاستطاعة (30-300 kWe) أيضاً مع الاستطاعة الضرورية لتزويد محطة قمرية (ليل بطول 14 يوماً) أو مريخية بالكهرباء.

الجدول I – متوسط إنتاج الكهرباء في الفضاء

الكتلة النوعية	الاستقلالية في العمل	مجال الاستطاعة	مولّدات
~ 5 kg/kWe	-	بضع ساعات	مولّدات عنفية بالإرغول
~ 15 kg/kWe	بضع عشرات من kWe	عدة مئات من الساعات	مولّدات كهروكيميائية (مفاعلات على الوقود)
100 à 200 kg/kWe (مع مدخرات)	بضعة عشرات من kWe	10 سنوات	مولّدات شمسية فولط ضوئية
150 à 300 kg/kWe	20 - 100 kWe	7 سنوات	مولّدات شمسية دينمية
~ 200 kg/kWe (RTG) ~ 100 kg/kWe (DISP)	بضعة kWe	بضع عشرات من السنين	مولّدات ذات نظائر مشعة (^{238}Pu):RTG, DISP#
30 kg/kWe à 200 kWe 100 kg/kWe a 20 kWe	10kWe- 1MWe	10 سنوات	مفاعلات نووية

منظومة القدرة النظيرية الديناميكية #

---

* نُشير هذا المقال في مجلة *RGN*, N°6, December 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

** Radioisotope Thermoelectric Generator RTG مولد كهرحراري ذو نظير مشعّ.

الدفع النووي الحراري ومشكلة النقل الفضائي

إن الطاقة المتاحة لواحدة كتلة المادة المنشطرة أعلى بسبع مراتب من الطاقة المنتجة بأفضل تفاعل كيميائي (H_2/O_2) الذي يسخّن الغاز قبل أن ينفلت في أنبوب. وبالطبع لن تتحوّل، في أية حالة، هذه الطاقة بكاملها إلى انتالبية للغاز الدافع مع الأخذ بالحسبان المشكلات الناجمة عن درجات الحرارة العالية والضياعات بالانتقال الحراري وتلك الناجمة عن حقيقة أنّ جزءاً فقط من الوقود النووي هو الذي يحترق. ومع ذلك فإنّ فكرة استخدام مفاعل نووي لتسخين الغاز الدافع تبدو جذّابة .

وبالفعل فإنّ قانون نيوتن الثاني المطبّق على مركبة فضائية كتلتها m تتحرك بسرعة V وتقذف الغاز بسرعة V_{ej} يستلزم:

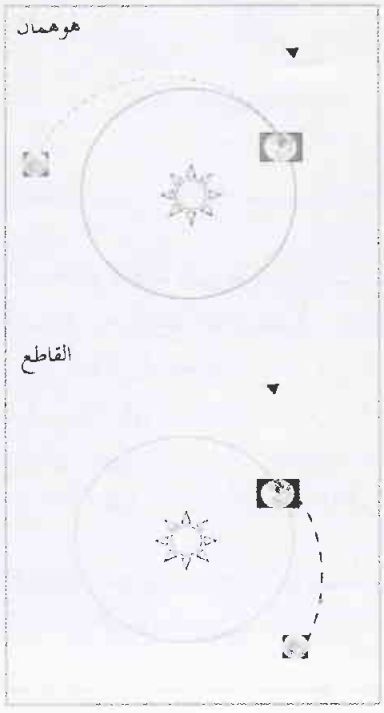
$$m\frac{dV}{dt} = F = -\frac{dm}{dt}V_{ej} \qquad (1)$$

يُتيح الدفع F المعطى إلى المركبة خلال زمن ما بالحصول على زيادة سرعة قدرها ΔV:

$$\Delta V = V_{ej} Log \frac{M \text{ البدئية}}{M \text{ النهائية}} \qquad (2)$$

يتوافق الفرق بين الكتلة البدئية والكتلة النهائية مع وقود الإرغول المحترق. وهذه الكمية تكون أقل من أجل نفس الزيادة في السرعة كلما كانت سرعة القذف أعلى. لكن الحفاظ على طاقة غاز حار ينفلت في أنبوب يُظهر أنّ سرعة القذف هذه متناسبة مع $\sqrt{T/M}$ حيث M هي الكتلة الجزيئية للغاز المقذوف. وعند الاحتراق H_2/O_2 تصل درجة الحرارة في حجرة الأنبوب إلى مرتبة 3500 K من أجل كتلة قدرها 18 g/mol. وعند الأخذ بالحسبان الهدروجين المسخّن بمفاعل نووي حتى درجات حرارة من مرتبة 2000 K يحصل ربح سريع بعامل قدره 2 على سرعة القذف وبالتالي على استهلاك الإرغول. يدل هذا التقدير السريع لمراتب المقادير على أن الطاقة النووية تفتح الطريق إلى تشكيلة جديدة من الدافعات حيث تكون الدافعة الكيميائية قد وصلت إلى أدائها الأفضل مع المزدوجة H_2 O_2.

تمت تغطية المهمات الفضائية القريبة من الكرة الأرضية **للتطبيقات التجارية** (سواتل الاتصالات والتلفزيونات والتصوير) بالدفع الكيميائي المألوف. فمن أجل **مهمة آلية نحو المرّيخ** حيث لا تكون مدة الرحلة عاملاً حاسماً وحيث تكون الحمولة المجدية متواضعة فإنّ الدفع الكيميائي يمثّل أيضاً الحل. وبالمقابل من أجل مهمة مأهولة تكون الحمولة المجدية لوضعها على المريخ من مرتبة 30 طن ومدة الرحلة يجب أن تكون أيضاً أقصر مدة ممكنة. وتكون مجريات مهمة "حديثة" هي أولاً حقن بقاذف ثقيل "تقليدي" من نمط أريان 5 على مدار أرضي منخفض (500 كم)



الشكل 1– مسار هوهمان والمسار القاطع

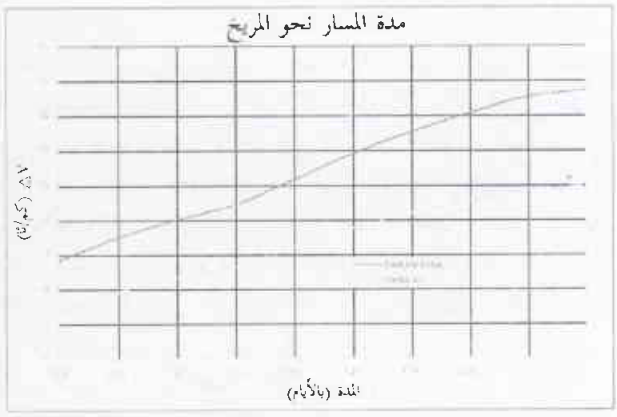
لمركبة نقل. ومن المستحسن تحديد الكتلة التي ستوضع في المدار المنخفض (استطاعة أريان 5 هي من مرتبة 20 طن!). ويجب أيضاً تجنّب الإطلاق المتعدّد ومناورات الموعد والتجميع في المدار، والمعيار الحالي هو تحديد الكتلة في المدار المنخفض بنحو 120 طن (كتلة ممكنة لصاروخ فائق ثقيل فائق).

ومسار النقل الأفضل من الناحية الاقتصادية هو المسار المسمّى مسار هوهمان Hohman، ولكن بالنسبة إلى المريخ فإنّ الرحلة تستغرق 258 يوماً. ولتقصير مدة النقل تُستخدم مسارات قاطعة (الشكل 1).

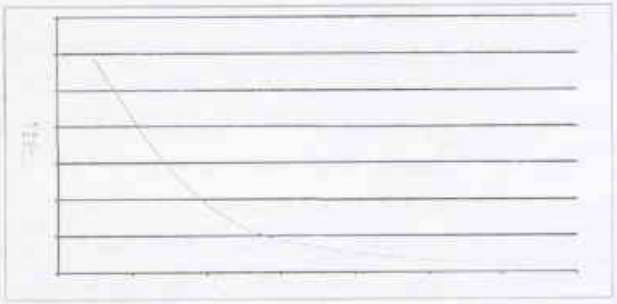
يُبيّن الشكل 2 الحاجة إلى ΔV للنقليات المريخية بدلالة زمن النقل. وتوافق ΔV مجموع حدّين:

* $\Delta V1$ للتحرّر الجذب التثاقلي للأرض واتخاذ مسار إهليلجي تُشكل الشمس محرقاً له ويُلاقي مسار الكوكب المقصود.

* $\Delta V2$ لتبطيء المسبار وجعله يُلتقط بالحقل التثاقلي للكوكب.



الشكل 2– الاحتياج إلى ΔV للنقليات المريخية بدلالة مدة النقل.



الشكل 3– كتلة وقود الإرغول بدلالة الدفع النوعي لمهمّة هدفها وضع حمولة مجدية قدرها 20 طن على المرّيخ.

* الدفع النوعي (S) = سرعة قذف الغاز $/G_o$

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

يبيّن الشكل 3 كتلة وقود الإرغول بدلالة الدفع النوعي ISP* لمهمة هدفها وضع حمولة مجدية على المريخ قدرها 20 طن ولمدة 205 أيام. يبدو بوضوح أنّ الدفع النووي للمهمات المأهولة نحو المريخ هو الحل الجيد. أمّا بالنسبة إلى مهمات الكواكب الأخرى فإنّ الجدول II يشير إلى أزمنة الانتقال بمسارات هوهمان وإلى ΔV الموافقة لمهمات نحو كواكب المنظومة الشمسية.

الجدول II – مدة الانتقال

	بلوتون	نبتون	أورانوس	زحل	المشتري	المريخ	الزهرة	عطارد
ΔV كم /ث	11.1	15.2	14.5	17.7	23.3	5.7	8.8	13.2
المدة /بالسنين	45	31	16	6	2.7	0.7	0.4	0.3

تقود الاعتبارات نفسها، التي تمّ تطويرها على المهمة المريخية، للتفتيش عن أعلى دفع نوعي ممكن. ويكون من المناسب عندئذ استخدام الدفع الكهربائي (أيوني أو بلازمي) الذي يتيح دفعاً نوعياً من مرتبة 10.000 s. وهذا النمط من الدفع يتطلّب استطاعة كهربائية قدرها بضعة ميغا واط. وهذا المستوى من الاستطاعة لا يمكن التوصّل إليه بالخلايا الفوتوفولطية. واللجوء إلى الطاقة النووية في هذه الحالة أيضاً يمثّل حلاً مقبولاً **(دفع نووي كهربائي)**.

مظاهر الأمان

من الناحية النفسية، ومع الأخذ بالحسبان الرأي العام الكامن أو النشط المضاد لاستعمال الطاقة النووية في بلدان متعددة، يمكن اعتبار إرسال مفاعل نووي في الفضاء كنوع من التحدّي.

من الناحية التاريخية يسهل أن نذكّر أنّ الأمريكيين والروس قد أرسلوا ويتابعون إرسال مواد نووية في الفضاء (مفاعلات نووية مع سواتل عسكرية والبلوتونيوم ^{238}Pu في المولّدات RTG المقامة على سواتل ..CASSINI, GALILO, ULYSSE). ظهر إدراك المسائل المطروحة على المستوى الدولي حول أمان مصادر الطاقة النووية في الفضاء بعد الأحداث التي أحصيت للسواتل السوفييتية المجهّزة بمفاعلات نووية: كوسموس 954 في عام 1978 (الذي سقط شمال كندا) وكوسموس 1402 في عام 1983 (الذي سقط في المحيط الهندي شمال مدغشقر).

ومع ذلك فإنّ التوصيات العالمية بشأن الأمان تكون أقل وضوحاً وتجسيداً للاستخدامات النووية الفضائية من معظم استخدامات الطاقة النووية الأخرى (النقل العالمي للمواد المشعّة، الدفع البحري) التي من أجلها قادت اتفاقية متعدّدة الجوانب إلى وضع قواعد ومعايير للأمان العام. وعلى الرغم من الأبعاد العالمية لهذه المظاهر من الأمان المرتبطة بعالمية المخاطر الإشعاعية المحتملة لا يوجد أي معيار كمي فيما يتعلّق بأمان مصادر الطاقة النووية في الفضاء.

وهذا الواقع يَفرض على مصممي المنظومات النووية الفضائية الاهتمام بتنفيذ – بالتوازي مع دراسة الأبعاد والاحجام– تحليل الأمان (المؤهل للاستكشاف) المستند إلى أهداف وخيارات الأمان المحدّدة في الغالب من قبلهم. وينتج عن ذلك أساس عام من معايير الأمان مقبول بصورة عامة ومأخوذ بالحسبان بدءاً من دراسات التصميم:

* يُطلق المفاعل خالٍ من كل منتجات مشعّة (منتجات انشطار وعناصر ما بعد اليورانيوم) ماعدا منابع إقلاع محتملة وأجسام متشكّلة بالتباين الأول للمعايرة. إنّ اللجوء إلى وقود اليورانيوم لايمكن تفاديه.

* لن يصبح تشغيل المفاعل ممكناً إلاّ عندما يكون على مدار مرتفع بصورة كافية ويُدعى هذا المدار مدار الأمان. ويفتّش في الغالب عن تلاؤم بين تنامي السمّية الإشعاعية لموجودات القلب ومدة حياة الساتل على هذا المدار.

* **إن طرح أجسام مشعّة** في الفضاء يجب أن يُخفّض إلى الحدّ الأقصى. وهذه النظرة تُصادف بصورة عامة في برامج الأمن الكبيرة التي تتنبأ بإنقاص الأخطار إلى سوية ضعيفة جداً بقدر ما تكون قابلة للتنفيذ بصورة معقولة.

* يجب إبقاء المفاعل في الحالة دون الحرجة في كل حالات الحوادث (حريق، سقوط الساتل على مسار الرمي، الغطس في المحيطات، ...).

وكمثال توضيحي على النقطة الأولى فإنّ تقييماً، قامت به تيكنيكاتوم Thechnicatome أثناء دراسة منظومة القدرة النووية القمرية Lunar Nuclear Power System (LunPS)، بيّن أنّ الأخطار المتعرض لها بعبارة معدّل الجرعة المكافئة بفشل الإطلاق كانت من أجل المفاعل Lun PS أقل بنحو 7 إلى 10 مراتب مما هي عليه من أجل مجموع مولّدات RTG في مهمة كاسّيني. ومن جهة أخرى بيّنت دراسة مشروع مابس أنّه في نهاية قرنين من الزمن سيمثّل الجرد الإشعاعي للمفاعل في نهاية الاستعمال نشاطاً أقل من 1 وهذا يقابل جرعة يتم تلقّيها في وسط قريب من المفاعل وهذه تُقارن بسرعة كبيرة مع جرعة يتم تلقّيها في الفضاء بين الكواكب والتي تبقى عدائية من وجهة النظر هذه. (أشعة كونية وأشعة شمسية : (ions &&α ،p^+ :p^+، α وأيونات).

تصاميم المولدات الكهرنووية

المتطلّبات ومشكلة المنبع البارد

يتألّف المولّد الكهرنووي الفضائي من:

* مفاعل نووي يُشكل المنبع الحار للمنظومة
* منظومة تحويل الطاقة
* مُشعّ يُمثل المنبع البارد (إشعاع نحو الفضاء)
* درع حماية إشعاعية يحمي من تشعيع المواد الحساسة المحمولة.

ومن بين المتطلّبات المفروضة على المنظومات الفضائية، تلك التي تتعلّق بالكتلة والحجم الأصغري وهي أساسية. يقودهم هذا التراص إلى تصوّر مفاعلات من حجم صغير تعمل باليورانيوم المُغنى إلى حد كبير (93%). ومن جهة ثانية إنّ اللجوء إلى الإشعاع نحو الفضاء كمنبع بارد وإنقاص حجم المشع إلى أدنى الحدود هي أمور قسرية جداً. وهذا ما يقود في الغالب إلى التفكير في درجات حرارة تشغيل مرتفعة جداً في المفاعل. وبالفعل فإنّ الاستطاعة المشعّة في الفضاء ترتبط بالاستطاعة المزوّدة W بالعلاقة:

$$\varepsilon\sigma S_{rad} T_r^4 = \frac{1-\eta}{\eta} W \qquad (3)$$

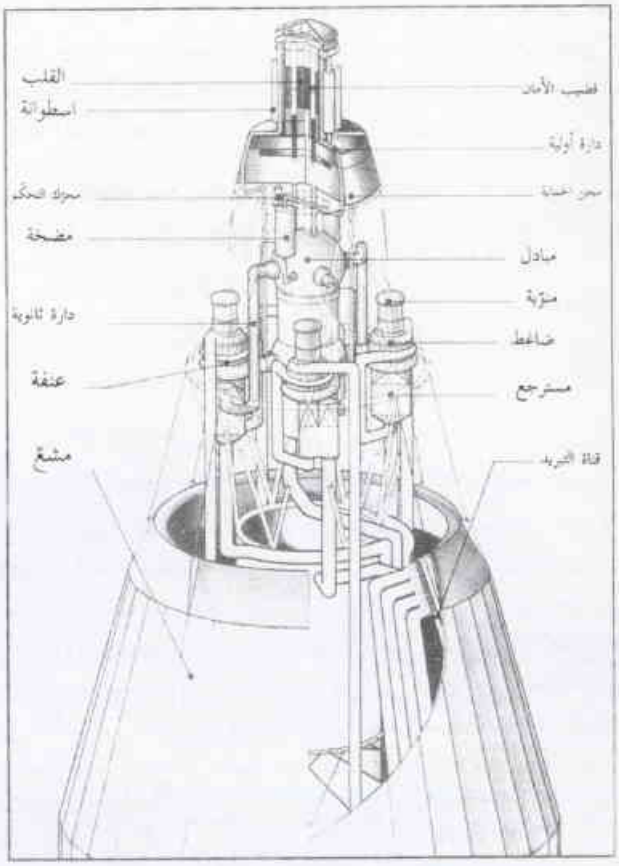
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

حيث η يمكن أن تُوضّح بمردود كارنو Carnot بدلالة T_r و T_{ch}، درجتي حرارة المنبعين البارد والحار. ويُعبّر عن مساحة سطح المشع S_{rad} بالعلاقة:

$$S_{rad} = \frac{1}{\varepsilon\sigma}\,\frac{W}{T_r^3\,(T_{ch}-T_r)} \qquad (4)$$

إنها تُمثّل حداً أصغرياً من أجل $T_r = (3/4)T_{ch}$ يقابل قيمة لمردود كارنو قدرها 25%. من المناسب أولاً الإشارة إلى أنّ المردود الترموديناميّ الحقيقي سيكون محدوداً بقيم من مرتبة 20%. وسنلاحظ بعد ذلك أنّه من المستبعد العمل في درجات حرارة منخفضة جداً عند مستوى المشعّ. فدرجات حرارة متوسّطة T_r من 500 و800K تتوافق على التوالي مع استطاعات مشعة من 2.1 و14 kW/m^2 من أجل قدرة إصدار قدرها 0.6. وأخيراً إن اعتبار درجة حرارة متوسّطة T_r قدرها 800 K عند مستوى المشع يقود إلى تصوّر **درجات حرارة عند مخرج القلب أعلى كثيراً من 1000 K.**

من هذه الاعتبارات يتبيّن بوضوح أنّ مفاعلاً من عدة مئات من kWe مع مردود قدره 20% يجب أن يُفرغ استطاعة بالإشعاع من مرتبة MWth وهذا يقابل مساحة سطح لمشع قدرها $100\ m^2$. يبدو إذن أن متطلبات الحجم لمنظومة إنتاج الطاقة في الفضاء هي حدود استقراء الإمداد باستطاعات كهربائية عالية. وفقط السعي إلى درجات حرارة عالية في المفاعل يسمح بتجنّب المشكلة وإنقاص حجم المشعّ إلى حد كبير.



الشكل 4- المولّد النووي إراتو

ومع ذلك فمن أجل درجة حرارة ثابتة T_{ch} (1500 K)، تتطلّب مراعاة النهاية الصغرى للمعادلة (4) فرض تقانات مبتدعة من أجل المواد المستخدمة في المشعّ.

القضايا الرئيسة لتصميم المولّدات الكهرنووية الفضائية

إن تقانات المولّدات الكهرنووية الفضائية، سواءٌ أكانت من أجل الإمداد بالكهرباء أو من أجل الدافعات الكهربائية قد تطوّرت إلى حدّ كبير خلال هذه العقود الأخيرة. لقد دُرست منظومات متعدّدة لإمداد بضع عشرات إلى عدة مئات kWe من الاستطاعة لفترات تتراوح بين سبع إلى عشرِ سنوات. وخلال هذه المشاريع قُرنت تصميمات مختلفة لمفاعلات بالغاز أو بالمعدن السائل مع منظومات تحويل الطاقة متنوعة جداً (كهرحراري، أيوني حراري، برايتون Brayton، رانكين Rankine وستيرلينغ Stirling).

إنّ اختيار المزدوجة - تصميم المفاعل / منظومة التحويل - هو أساس كل دراسات تصميم المولّد الكهرنووي. ومن بين المشاريع المختلفة المدروسة اختيرت، على الغالب، **المزدوجة مفاعل بالمعدن السائل / تحويل كهرحراري** (برنامج SP-100 في الولايات المتحدّة). واعتماداً على وقود UN المبرّد بالليثيوم (1300K)، يمكن أن تتغير الاستطاعة الكلية للمنظومة بتغيير عدد أقلام الوقود والمحوّلات الكهرحرارية. إن هذه المرونة وحجمها الصغير يجعلان هذه المزدوجة مرجعاً.

تقدّم **المزدوجة معدن سائل / سترلينغ Stirling** مردوداً أفضل وتجعل درجات حرارة تشغيل المواد أخفض. وهي بالمقابل تستدعي دورة تحويل أكثر تجديداً ومعرفة جيدة أقل. وبالإضافة إلى ذلك، فإنّ منظومة تحويل من نوع برايتون معتمدة على دورة برايتون تتطلّب في الغالب مساحات أكبر للمشعّ من منظومة التحويل السكوني بعناصر حرارية.

وفيما يتعلّق **بالتصميم الأيوني الحراري** فقد أُرسل الروس خلال الحرب الباردة إلى مدار أرضي أكثر من 30 مفاعلاً من هذا النوع (توباز TOPAZ I). ففي هذا التصميم يتولّد التيار بين الغلاف المعدني للوقود (2000 K~)، الذي يُصدر إلكترونات بالتهيّج الحراري، وبين مجمّع (1000 K~) يقع على بعد عدة مئات من المليمترات من الغلاف. يمكن أن يكون المجمّع المبرّد بمعدن سائل (NaK في توباز II) موضوعَ منظومة ثانية من التحويل (عنصر حراري SiGe على توباز) تستعمل ما تبقى من الطاقة غير المحوّلة بالمفعول الأيوني الحراري. وعلى الرغم من المردود الضعيف نسبياً (5%~) فإنّ هذا التصميم يتمتع بميّزة تقديم مساحة صغيرة للمشعّ. ومع ذلك، فإنّ تدنّي المردود للحيّز بين الإلكترودات خلال حياة المفاعل يستبعد الاستعمال على مدى أكثر من ثلاث سنوات. وبالإضافة إلى ذلك، فإنّ التقانة التي حذق بها الروس بصورة أساسية في الوقت الحاضر تقتصر على تطبيقات ذات استطاعات ضعيفة (100 kWe>).

إلى جانب البرامج الكبيرة الأمريكية والروسية التي ذكرناها درست فرنسة ما بين عامي 1982 و 1989 مفاعلاً كهرنووياً عبر مشروع إراتو الناجم عن تعاون بين المركز الوطني للدراسات الفضائية CNES ومفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية CEA [1]. تركّزت الدراسات المعتمدة على تقانات قصيرة الأجل على مولّد 200 kWe ومن ثم على مولّد 20 kWe فيما بعد. وقد أدّت دراسات التصميم والأبعاد إلى ثلاثة تصميمات

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

الجدول III – خصائص المولّد إراتو 200 kWe

الاستطاعة الحرارية	1100 kW
قطر وارتفاع القلب	32/32 cm
قطر المفاعل	48.8 cm
الوقود (^{235}U 93%)	UO2 ou UN
كتلة اليورانيوم	113 kg
العاكس	BeO
كثافة استطاعة الوقود	~ 100 W/cm^3
كثافة استطاعة قلب المفاعل	~ 10 kW/litre
المبرّد	Lithium
الصبيب	5.4 kg/s
درجة حرارة الدخول إلى القلب	1147 °C
درجة حرارة الخروج من القلب	1197 °C
مساحة المشع	140 m^2
الارتفاع الكلي	17 m
الوزن الكلي	7000 kg

للقلب مصنّفة بحسب تقانتها من حيث الوقود – سائل التبريد – مواد الغلاف والبنية:

- UO2/sodium/Inox T < 700°C
- UC2/He/alliages sp. T < 850°C
- UN/lithium/Mo-Re T < 1150°C

معايير إقامة أبعاد القلب

وفي إطار الاهتمام الدائم لأمثلة الاستطاعة النوعية (kWe/kg) للمنظومات الفضائية المولّدة للكهرباء تبدي المفاعلات في غالب الأحيان أبعاداً صغيرة (20 إلى 30 سم للقطر والارتفاع) وتستعمل اليورانيوم المغنى إلى 93%. والاستطاعة النوعية التي تحصل عند ذلك تكون من مرتبة بضع عشرات من لتر /kW للقلب. وفي الاختيارات التي تحصل عند دراسات التصميم فإن مزية اللجوء أو عدم اللجوء إلى قلب ذي نترون سريع أو مُبطأ ليست واضحة. (الجدول IV).

إذا كان المفاعل الحراري ذو اليورانيوم المُغنى بصورة مرتفعة يقدّم الحجم الحرج الأصغر فهنالك بارامترات أخرى يجب أن تؤخذ بالحسبان. فنسبة الاحتراق الأعظمي للوقود (مرتبطة بالاستطاعة وبعدد سنوات التشغيل المطلوبة) والتحكم بالتفاعلية وذروات الاستطاعة كلّها معايير يجب أن تؤخذ بالحسبان.

إنّ عدم تجاوز نسبة متوسطة محدّدة من الاحتراق في القلب [مثلاً 70000 MWj/t] من أجل مفاعل ذي استطاعة 1MWth (200kWe) ينبغي أن يعمل 10 سنوات، يفرض شحنة دنيا من اليورانيوم أعلى من 50 كغ بينما عند ذروة تهدئة القلب المبرّد بـ NaK ومُهدأ بـ ZrH يكفي نحو 11 كغ. والمعيار التقاني الوحيد للوقود يقتضي اختيار مفاعل فوق حراري epithermique وبالتالي أكبر كتلة وأكثر ثقلاً. وبالإضافة إلى ذلك، فإنّ التحكّم بالتفاعلية وإدارة ذروات الاستطاعة ومشكلات تبريد المهدّئ كلها تعدّ مساوئ للقلوب ذوات النترونات الحرارية.

الجدول IV – المزايا بحسب نوع قلب المفاعل

نوع القلب	سريع	مُبطأ حرارياً
الحجم الحرج للمنظومة وكتلتها	– –	+ +
معدّل احتراق الوقود	+ +	– –
التحكّم بالتفاعلية	+ +	– –
توزّع الاستطاعة	+ +	– –
الأضرار الناجمة عن المواد (dpa، الانتفاخ)	– –	+ +
إدارة درجات الحرارة العالية	+ +	– –

الدفع النووي الحراري

إنّ تعريف مبدأ الدفع النووي الحراري المذكور من قبل يقود مباشرة إلى تقييد تقاني وضغوط ستُصادف عند دراسة تصميم مفاعل الدفع:

• من المفترض أن يقاوم الوقود وجزء من مواد بنية المفاعل درجات حرارة عالية جداً (< 2000K.). وبالمقابل تكون أزمنة التشغيل المتراكمة بالنسبة إلى حياة المفاعل ضعيفة جداً. وبالفعل، على عكس الدافعة الكهربائية ذات الدفع الضعيف جداً، يتمتّع المحرّك النووي الحراري بدفع يمكن مقارنته بالمحرّكات القرّية cryogeniques وتكون الأزمنة قصيرة للوصول إلى تزايد السرعة. إذن يكون الوقود النووي مطلوباً إلى حدّ كبير في درجات الحرارة ولكنه أقل من حيث نسبة الاحتراق.

• في الصيغة: الدفع (N)= الصبيب (kg/s) × سرعة القذف (m/s)، ترتبط سرعة القذف بدرجة حرارة الهدروجين عند خروجه من قلب المفاعل ويُفرض الصبيب بمستوى الدفع المطلوب. فمثلاً من أجل دفع أضعف بعشر مرات من محرّك فولكان أريان V أي نحو 100 kN (10طن) يتطلّب مفاعل 450 MWth لتسخين نحو 14kg/s من

الجدول V – الصفات النوعية لـ مابس

الاستطاعة	300 MW
عدد عناصر الوقود	19
قطر ارتفاع القلب	60/70 cm
قطر المفاعل	94 cm
الوقود (^{235}U 93%)	UC_2
كتلة اليورانيوم	19.2 kg
المهدّئ/العاكس	Be
كثافة استطاعة الوقود	12.1 kW/cm^3
كثافة استطاعة قلب المفاعل	1.5 kW/cm^3
درجة حرارة H_2 عند دخول القلب	150 k
درجة حرارة H_2 عند الخروج من القلب	2200 k
الارتفاع الكلي للمحرّك	3.85 m
الوزن الكلي	1900 kg

الهدروجين حتى 2200K. لكن مفاعلات الدفع، مع الاهتمام الدائم بأدنى حجم وأدنى كتلة، تتطلب اليورانيوم المغنى جداً وتتمتع بأحجام قلب مشابهة لقلوب المفاعلات المولدة للكهرباء الفضائية. وهكذا فإن كثافات الاستطاعة المُتحصّل عليها والتي هي من مرتبة لتر /1 MW إلى لتر /10MW للقلب في هذا النوع من المفاعل، أي أكبر بمرتبة أو بمرتبتين من استطاعات مفاعلات REP، تبدو كتحدٍّ

وأخيراً يجب أن يتمكن المحرّك من الإقلاع والوصول إلى استطاعته الاسمية بسرعة كبيرة، وهذا ما يفرض عنصر وقود يستطيع تحمّل تغيرات كبيرة جداً في درجة الحرارة بفترات زمنية قصيرة جداً.

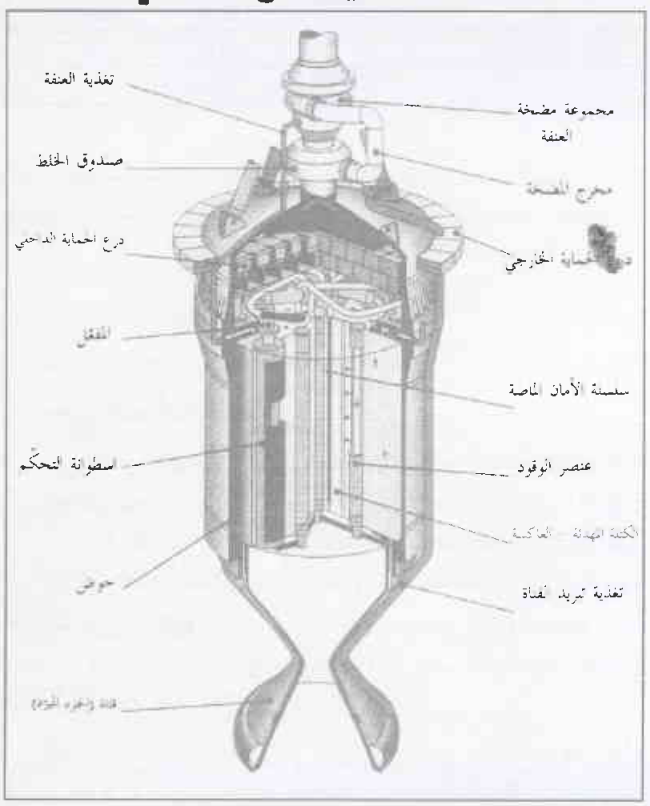
وللوصول إلى هذه المعايير تمّ تطوير أكاسيد وفحوم ونترور اليورانيوم واختبارها (في المفاعل وخارج المفاعل) لتطبيقات الدفع النووي الفضائي. تواصلت برامج واسعة من البحث حول الوقود وتصميم مفاعل الدفع النووي في كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي منذ بداية الخمسينيات [3، 2]. سمحت هذه البرامج بتحديد خيارات تصميم ووقود واعدة. فخلال تجارب النماذج الأولية المختبرة على الأرض تمّ التوصل إلى درجات حرارة 2590 K خلال ساعتين (مشروع NERVA). لقد جرى في الاتحاد السوفييتي اختبار وقود يعمل بدرجة حرارة أعلى من 3000K، خلال ساعة واحدة في المفاعل وخلال أكثر من 100 ساعة في المختبر.

خلّف برنامج Rover/NERVA، الذي أجري في الولايات المتحدة بين عامي 1955 و1973، إذن إرثاً تقانياً كبيراً. وملاحظة مشابهة يمكن أن تُعطى فيما يتعلق بالخبرة المكتسبة في الاتحاد السوفييتي في الفترة نفسها ولكنها بقيت مع ذلك أكثر سرية، وإمكانية تقدير قيمتها أكثر صعوبة. شاركت مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية خلال السنوات 95 - 97 مع المركز الوطني للدراسات الفضائية CNES في وضع الصفات النوعية لمفاعل دفع نووي (مشروع مابس) من أجل تطبيقات متكيّفة مع أريان V.

شُيّد المفاعل مابس [4] (الشكل 5) حول عناصر وقود حلقية. يتكوّن الوقود من طبقة من الجسيمات بشخانة عدة مئات من المليمترات تقع بين جدارين مساميين متمركزين. يخترق الهدروجين، الموزع على المحيط، جداري عنصر الوقود بصورة قطرية ويتسخّن بتماس الجسيمات. وهذا ما يسمح بجعل سطح تبادل وتوزّع الوقود أعظمياً وبالتالي تخفيض درجة حرارته. وعناصر الوقود هذه تكون موضوعة ضمن كتلة مهدّئ - عاكس مكوّن من البريليوم.

مع ذلك، يبدو الأداء المتواضع لمحرّكات مابس من حيث الدفع (سرعة القذف والدفع) بالنسبة إلى المشاريع الأمريكية والروسية ذا إمكانية قوية جداً للتجديد الجذري. وربّما يسمح مثل هذا التجديد بتوسيع مجال إمكانية تنفيذ تقانات الطاقة النووية في الوقت الحاضر، فقد يكون لها أهمية كبيرة في الوقود وتصميم المفاعلات الأرضية أو في التطبيقات التي تتطلب دفقاً عالياً جداً (ترميد وتشعيع المواد) أو تراصّاً شديداً جداً.

MAPS مابس
المحرّك الذرّي للدفع الفضائي



الشكل 5- محرّك مابس، المحرّك الذرّي للدفع الفضائي.

المراجع REFERENCES

[1] Etude de comparaison de different generateurs spatiaux de 20 kWe. F. Carre, E. Proust et P. Keirte > Rapport DEMT/SERMA- 1056, 1989.

[2] Annal 1st to 10th symposium on Space Nuclear Power Systems > Albuquerque 1984 - 2000.

[3] Acritical Review of Space Nuclear Power and Propulsion - Mohamed S. El - GENK AIP press 1994.

[4] La propulsion nucleaire thermique spatiale - x. Raepseat. Rapport Scientifique CEA/DRN 1996.■

المفاعلات ذات الاستطاعة الصغيرة والمتوسطة لإنتاج الطاقة في الماضي والحاضر*

ب. بازّه
مدير البحث والتطوير - كوجيما - فرنسة

ملخص

يتطوّر مع الزمن مفهوم حجم المفاعل سواء أكان صغيراً أو متوسطاً أو كبيراً. فقد احتلت المفاعلات الصغيرة الحجم على الدوام بضعة قطاعات في التطبيقات أو المجالات، حيث المعيار الاقتصادي ليس الأهم (الدفع في الغواصات على سبيل المثال). وكان التنازع بين المفاعلات المتوسطة والكبيرة تاريخياً إلى جانب المفاعلات الكبيرة، ومع ذلك فإن الطاقة النووية هي طاقة فتية والقصّة لم تنته بعد.

الكلمات المفتاحية: مفاعلات الطاقة النووية، الدفق النتروني، الطاقة الكهربائية، الطاقة الحرارية، المحاكاة، دراسات الأمان، مفاعلات الأبحاث.

مقدمة

المُفاعل النووي هو آلة يتمُّ فيها تفاعل متسلسل من انشطار نُوى ثقيلة بالنترونات، وهو تفاعل مُطلق للحرارة. والمنتَج النهائي لهذه الآلة يمكن أن يكون:

- دفقاً من النترونات (تطبيقات علمية وطبية، إنتاج عناصر مشعة، إنتاج مواد انشطارية أو صهورة، تصوير بالأشعة النترونية، اختبار المواد بالتشعيع النتروني ... إلخ).
- حرارة (المفاعلات المنتجة للحرارة لتدفئة المدن أو الحرارة المستخدمة في طرائق إزالة ملوحة ماء البحر على سبيل المثال).
- طاقة ميكانيكية (بعض مراجل الدفع البحري).
- كهرباء (المفاعلات المولدة للكهرباء).

وهناك صِنف آخر من المُفاعلات يهدف إلى المُحاكاة، ويعني ذلك نماذج صغيرة حرجة تُستخدم في فيزياء المفاعلات والتعليم أو مفاعلات مخصّصة لدراسات الأمان. إننا نهتم هنا فقط بالمفاعلات المولّدة للكهرباء أو المولّدة للحرارة ذات الاستطاعة الصغيرة أو المتوسطة مع استبعاد مُفاعلات الأبحاث.

وبحسب الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، نعتبر المفاعل الذي استطاعته أقل من 300 MWe "صغيراً" والمفاعل الذي تتراوح استطاعته بين 300 MWe و 700 MWe "متوسطاً". وهذا تصوّر نسبي تماماً، فقد اعتبرت دراسة OCDE/AEN في عام 1991 [1] كمفاعل ضعيف متوسط الاستطاعة (RFMP) كُلَّ مفاعل تصل استطاعته إلى 600 MWe لإنتاج الكهرباء وإلى 400 MWth لإنتاج الحرارة.

النتيجة التاريخية لما تحقق من المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الاستطاعة (RPMP):

قطاع توليد الكهرباء

لم يحصل تصوّرنا عن هذه المفاعلات حقاً على معنى إلا منذ نهاية السبعينيات. ففي بداية العصر النووي كانت سعات هذه المفاعلات مختلفة جداً. إذ كانت سعة كل من G2 و G3 40 MWe، وسعة شيبينبورت Shippingport، 100 MWe، أمّا مفاعلات كالدر هيل Calder Hal فقد استمرّت بصورة متميّزة في إنتاج 50 MWe. وفي فرنسة، انتظرنا حتى عام 1967 لتخطي فقط حدود 300 MWe مع شوز chooz-1، وبعد 10 سنوات تجاوز فسنهايم Fessenheim- 700 MWe (1). أمّا في الولايات المتحدة، فقد تمّ تخطّي هذه الحدود في عام 1970 مع درسدن Dresden-2 (1966 إذا أخذنا بالحسبان المفاعل هانفورد N)، وزيون Zion-1 الذي وصلت استطاعته إلى 1000 MWe بدءاً من عام 1973.

ولفهم السرعة في زيادة الاستطاعة، لا بد أن نتذكر أنه عندما أوصت شركة الكومونولث إديسون شركة ويستنغهاوس بصنع مفاعلين باستطاعة 1085 MWe للموقع زيون عام 1967، كان REB Dresden1 أكبر مفاعل أمريكي قيد العمل التجاري، وكان يتجاوز تقريباً 200 MWe (استطاعة لم يصلها Yankee Rowe، الذي كان أكبر مفاعل REP قيد التشغيل في عصره). وليس من العجب أن تنفعل سلطة السلامة، وأن تحدد هيئة الرقابة النووية NRC سقفاً سحرياً من 4000 MWth، ما يزال قيد التطبيق في أمريكة.

بالطبع كان محرّك هذه الزيادة اقتصادياً، وتأثير الزيادة الذي قد أدّى دوره تماماً، في عصر حيث الازدياد (المسبق) في الطلب وفي الشبكات المترابطة، لم يسمح باستشفاف أي مفعول سلبي لزيادة الحجوم الواحدية.

---

* نُشِر هذا المقال في مجلة *RGN*, N°6, December 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وبدءاً من الثمانينيات، بدأنا نتساءل عن هذا الميل نحو النمو المستمر في أحجام المفاعلات المولّدة للكهرباء. وبالفعل، تمّت صياغة هذا التساؤل خاصّة في البلدان التي ليس لديها برنامج نووي نشط بعد، أو ليس لها هذا البرنامج على الإطلاق، بينما كانت فرنسة، واليابان، وألمانية، وكورية الجنوبية، تستمر في اندفاعها برباطة جأش. وعندما نشر الأمريكيون الذين يعملون في مجالات الكهرباء "وثيقة المتطلبات المفيدة" URD أشاروا إلى الأفضلية لمفاعل بحجم 500-600 MWe، وهذا ما قاد إلى مشروعي AP 600 و SBWR. وفي عام 1985 أطلقت الوكالة الدولية للطاقة الذرّية دراسات SMPR [2].

في الخمس عشرة سنة التي تلت، كانت هناك بيانات عديدة من حيث المبدأ لمصلحة المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الاستطاعة RPMP، وكثير من الدراسات تمتد بين المفهوم الأكاديمي والرسم الصناعي التفصيلي، قد أقرّتها NCR.... ولكن التنفيذ الوحيد في هذا المجال كان Quinshan 1 ونسخته الباكستانية وكذلك 4 نسخ معدّلة هندية من Candu. (وبحسب تقييمها يمكن أن نضيف إليها أيضاً مفاعلات CANDU 6 التي هي تماماً في حدود 700 MWe).

والخلاصة، يمكن أن تتوزع المفاعلات ذات الاستطاعة المتوسطة التي هي قيد التشغيل أو قيد البناء في ثلاثة أصناف:

- المفاعلات التي كانت كبيرة في فترة بنائها وأصبحت متوسطة مع الزمن.
- المفاعلات التي كانت كبيرة، أو بالأحرى كبيرة عند تصميمها والتي أصبحت متوسّطة في فترة وضعها في الخدمة (ويقصد بذلك بصورة أساسية مفاعلات WER 440 و CANDU 600).
- بعض المفاعلات التي صمّمت بالفعل كمفاعلات متوسطة (المفاعل WER 640 والمفاعل Quinshan 2)

ويمكن تطبيق تصنيف مماثل للمفاعلات الصغيرة المولدة للكهرباء:

- المفاعلات التي بُنيت كبيرة والتي أصبحت صغيرة (وهذه لا تشمل إلا مفاعلات Magnox)
- المفاعلات المُصمَّمة متوسّطة والتي أصبحت فيما بعد صغيرة (وهي تشكل القسم الأعظم من المفاعلات وتتضمّن بصورة خاصة المفاعلات الهندية بالماء الثقيل أو مفاعلات Phénix)؛
- المفاعل Quinshan 1، وهو صغير منذ التصميم.

قطاع المفاعلات غير المولّد للكهرباء حصراً

عندما نخرج بصورة كلية من مجموعة المفاعلات المولّدة للكهرباء، فإننا ندخل بصورة كاملة في عالم غير متجانس، حيث تكون كل الوحدات "صغيرة" بحسب المعايير السابقة.

سنجد أولاً، وبعدد كبير جداً، مفاعلات الدفع البحري. ومعظمها مفاعلات من فصيلة REP وباستطاعة من رتبة 100 MWth أو أقل. وإلى جانب المئات* من مراجل الغوّاصات الأمريكية (منذ 1954)، والروسية (1958)، والإنكليزية (1963)، والفرنسية (1969) والصينية (1974)، هناك الأساطيل العسكرية ذات الدفع النووي تضم حاملات للطائرات أمريكية وفرنسية وأيضاً بضعة مراكب أخرى. وبعد توقف الشاحنات سافانا (التي أطلقت 1962)، وأوتوهاهن (1968) وموتسو (1974)، فإنّ المراكب المدنية الوحيدة ذات الدفع النووي هي كاسحات الجليد الروسية وحاملة الحاويات سوفموربوت. كانت كاسحة الجليد لينين في عام 1959 أول مركب نووي مدني وتبعتها ستة مراكب أخرى (أركتيكا، وسيبير، وروسيا، وسوفييتزكي سيوز، وتايمير، وفيغاش ويمال).

وثمّة فصيلة غير قياسية تضمّ نماذج مثل HTR: الياباني (HTTR) والصيني (HTR 10) التي تمّ تشغيلها منذ مدة وجيزة، أو نماذج أولية مولّدة للحرارة مثل Agesta، في السويد، وSlowpoke في كندا أو AST 500 في روسية، التي لم يُر لها خلف.

استفاد الصنفان الأخيران من ميّزة تكثيف الطاقة النووية مع شروط العزل الحدّية بفضل مدة حياة وقودهما. والمقصود من ذلك أولاً الوحدات الكهربائية - المولّدة للحرارة الموجّهة إلى الشمال الأعلى Grand Nord: وهي 8 مفاعلات نشرها الجيش الأمريكي في آلاسكة، وغرينلندة والقطب الجنوبي، والمفاعلات الروسية الثلاثة TES-3، مفاعل REP باستطاعة 1.5 MWe على مركبة مجرورة، ومفاعل ARBUS، بسائل عضوي باستطاعة 750 KWe ومفاعل Vii-50, REB مدمج ذو استطاعة تبلغ 50 MWe. وجاءت بعدها الوحدات Bilibino الأربع المتماثلة، التي وضعت قيد التشغيل بين 1973 و 1976، والتي زوّدت ما مجموعه 48 MWe و 78 MWth للتدفئة. ويجري فيها الماء في أنابيب تقع ضمن وقود حلقي مُهدّأ بالغرافيت.

وأخيراً، يمكن أن نذكر مفاعلات فصيلة Topaz، التي أُطلقت في الفضاء لتغذية بعض المسابر السوفيتية COSMOS بالكهرباء بطريقة التحويل الحراري الأيوني. لم يدخل البرنامج الفضائي الأمريكي في الستينيات في صنف المفاعلات الصغيرة، إن NRX** واستطاعته 4000 MWth هو المفاعل الأمريكي الوحيد الذي تجاوز حدود NRC... ويزن مفاعل Topaz بصورة نموذجية الطن الواحد، ويُظهر 5 KWe لقاء 150 KWth، ويتميّز بقميص ضخم لمشعّه، المصدر البارد الوحيد المتاح في الفضاء.

تحليل أوّلي لتأثيرات الحجم

لنترك جانباً المفاعلات الصغيرة "الحقيقية" التي تكون بصورة عامة، كما رأينا، في أمكنة لا يشكّل فيها الاقتصاد المعيار المسيطر، ويمكن أن نحاول عقد مقارنة أوّلية تتناول المزايا المتعلقة بالمفاعلات ذات الأحجام المتوسطة والكبيرة (الجدول 1).

تُبدي المفاعلات الكبيرة، من جدول قائمة المزايا الطويل لمنافسيها، حجة قوية: أقل تكلفة كلياً للكيلو واط الساعي، ونوجزها عموماً بالتعبير

* السوفييت هم وحدهم الذين بنوا أكثر من 450 مرجلاً نووياً.

** المفاعل NRX أقوى مفاعل في برنامج NERVA وكان يُغذّى بالهيدروجين السائل ويقذفه غازياً بدرجة حرارة 2500 درجة مئوية في أحد أنابيب (قصبة) الصاروخ.

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

الجدول I- المزايا الخاصة بكل من المفاعلات متوسطة وكبيرة الحجم.

متوسطة الحجم	كبيرة الحجم
سهولة الإدخال في الشبكة	التكلفة الكلية لكيلو واط ساعي
مدة البناء	إضبارة الأمان
مصالح متداخلة	دراسة التأثير (/kWe)
المبلغ الكلي للاستثمار على أساس الوحدة	إنقاص عدد المواقع
ضبط نمو الطلب	
التأثير على الشبكة لفقدان شريحة	
حجم الاحتياطي المدوّر	

"مفعول الحجم effet de taille". ويمكن أن نضيف أنّ الجهد الذي يُبذل بالتوازي مع ما يُصرف للبناء من أجل الحصول على التراخيص التنظيمية وقبول الجمهور لا يتناسب طرداً مع حجم المنشأة النووية. بل بالعكس، إن وحدات أصغر إضافية تسمح بإدخال متدرج، وبالاستطاعة المقامة نفسها، يمكن أن يوازن مفعول التسلسل مفعول الحجم.

ويبرز مفعول الحجم عندما نمرّ من المفاعلات الصغيرة إلى المتوسطة؛ ولكنّه يصبح أقلّ بين المفاعلات المتوسّطة وبين الكبيرة؛ ويمكن أن نتساءل عن حقيقة ذلك عندما نقارن المفاعلات الكبيرة بالمفاعلات الكبيرة جداً. توصلت دراسات الاختيار الأمثل التي تبعت "التصميم الأساسي Basic Design" لمفاعل EPR إلى نتيجة في هذا الاتجاه، غير أنّ ردّة التجربة المبنية على مُقارنة العتبات 900 و1300 في فرنسة لم تكن مُقنعة تماماً لمراقب خارجي سطحي (إزالة اقتران الوحدات P4 يؤدي إلى خطأ في المقارنة).

التحليل تحت اختبار الوقائع

إن تحليل ما سبق يجعلنا نتوقع منافسة متوازنة. فما مدى صحة ذلك في الواقع؟ من أجل توضيح رغبات الزبائن فيما يتعلق بالحجم استخلصنا من القاعدة إلكنوك ELECNUC [4] تاريخ طلب المفاعلات، التي تمّت، أو لم تتم، متابعة تشييدها ووضعها قيد التشغيل (الجدول II).

الجدول II- تاريخ طلب المفاعلات

الفترة	العدد الكلي للوحدات	عدد الوحدات > 300 MWe (net)	عدد الوحدات 300 à 700 MWe	عدد الوحدات > 700 MWe	نسبة المفاعلات صغيرة الاستطاعة %
1951 - 1960	84	82	2	0	100
1961 - 1970	230	38	89	103	55
1971 – 1980	433	7	64	362	16
1981 – 1990	102	13	13	76	25
1991 - 2000	42	1	8	33	21

جدول IV- بعض مفاعلات صغيرة نمطية (الجيل الرابع)

	CAREM	ENHS	IRIS-50	KLT-40	MRX	MSBWR	RS-HR	TPS	4S
Concepteur	CNEA	UCB	W	OKBM	JAERI	GE/Purdue U.	GA	GA	CRIEPI
نمط	تكامل PWR integral	LMR	تكامل PWR integral	PWR	تكامل PWR integral	BWR	HTGR	PWR	LMR
استطاعة	25 MWe	50 Mwe	50 MWe	35 MWe	30 MWe	50 MWe	10 MWe	16.4 MWe	50 MWe
الضغط الأولي	12.3 MPa	N/A	-	13 MPa	12 MPa	-	-	3 MPa	N/A
وزنه الحوض	11 m	19.6 m	14-16 m	3.9 m	9.4 m	8.5 m	8 m	11.6 m	23 m
قطره	3.1 m	3.2 m	3.5 m	2.2 m	3.7 m	3;5 m	3.4 m	2.8 m	2.5 m
وزنه القلب	1.4 m	1.25 m	1.8 m	0.95 m	1.4 m	1.9 m	3.6 m	1 m	4 m
قطره	1.3 m	2 m	1.5 m	1.2 m	1.5 m	3.1 m	3 m	1 m	0.8 m
الاستطاعة الحرارية •	55 kW/l	6 kW/m	13 kW/m	155 kW/l	42 kW/l	8.3 kW/m	4 kW/l	95 kW/l	61 kW/l
الوقود	UO_2 إبر	معدن U-Zr	UO_2 إبر	U-Al Alliage	UO_2 إبر	UO_2 إبر	UO_2 جسيمات	UZrH alg.	U-Zr métal
الاغناء	3.4 %	13 %	4.95 %	-	4.3 %	5 %	19.9 %	19.9 %	~15 %
إعادة الشحن	~ 1 an (50 %)	15 ans (100 %)	5-9 ans	2-3 ans (100 %)	~ 4 ans (50 %)	10 ans	6-8 ans	1.5 ans (50 %)	10 ans (100 %)
التمديد	410 kg/s	0.51 m/s	-	722 kg/s	1 250 kg/s	620 kg/s	-	419 kg/s	633 kg/s
درجة حرارة الدخول إلى القلب	284°C	400°C	-	278°C	283°C	279°C	500°C	182°C	355°C
درجة حرارة الخروج من القلب	326°C	550°C	-	318°C	298°C	14.3 % الجودة ✠	850°C	216°C	510°C

• الاستطاعة النوعية بالحجم، فتقدّر بـ kW في الليتر، أو استطاعة نوعية بالطول، فتقدّر بـ kW في المتر.

✠ جودة بخار BWR، مقدرة % بوزن البخار منسوباً إلى السائل، عند الخروج من القلب

"-" غير مُبلّغ.

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

نرى من هذه الإحصائية، التي لا تتعلق إلا بالمفاعلات المولّدة للكهرباء، أنّ المفاعلات الصغيرة لا تُحقق ريعاً، وأنّ المفاعلات المتوسّطة أقليّة، هذا، وفضلاً عن ذلك، فإن الجدول، يُدرج أعداد الوحدات وليس GWe.

يبدو أنّ العاملين في الكهرباء يفضلون المفاعلات المتوسطة ولكنّهم يطلبون الكبيرة منها، مثلهم مثل عنوان قصة لوس A. Loos التي منها استمدّ الفيلم المشهور "الرجال يفضّلون الشقراوات ولكنهم يتزوجون السمراوات".

ومع 15 عاماً من التقهقر لا أتنكر إلى تحليلي في عام 1986 [3]، الذي اقتصر، عندئذٍ، على المفاعلات بالماء العادي وبقطاع خارج عن قطاع كوميكون COMECON. يُحدّد في الواقع قطاعان متميزان من السوق. مفاعلات كبيرة (>1000 MWe) متطوّرة للسوق الأوربية اليابانية، ومفاعلات متوسّطة ليست متطورة تماماً لسوق الولايات المتحدة الأمريكية والأسواق المُستجدة. فالقطاع الأول يكون فعّالاً باستمرار، وإن لم يكن بنشاط الأمس. أمّا القطاع الثاني فينتظر دوماً "ما" يسمح له بالانطلاق. وبصفة شخصية، ومع احتفاظي بالأمل، أرى أنّ ما عرضته لا بدَّ أن يقتصر إلى حد بعيد على التاريخي...

ومع ذلك أنهي محاضرتي هذه بجدول أخير يحصي عدداً محدّداً من مشاريع مفاعلات صغيرة جداً وردت في إطار المبادرة في "الجيل الرابع" في قسم الطاقة Departement de l'Energie الأمريكية الذي تشارك فيه فرنسة مشاركة فعّالة.

REFERENCES المراجع

[1] les réacteurs de faible et de moyenne puissance OCDE, Paris 1991.

[2] Small & Medium Power Reactors. IEAE-Tecdoc 347, Vienne 1985.

[3] Future LWRs: The Two Markets. B. Barré, IAEA Technical Committee Meeting, Washington, DC, November 1986.

[4] ELECNUC Les centrales nucléaires dans le monde. CEA/DES/SEE, Saclay 2000.■

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

مُصادم الهدرونات الكبير تحدٍّ تقانيٌّ لا سابق له*

ج - و. باروش

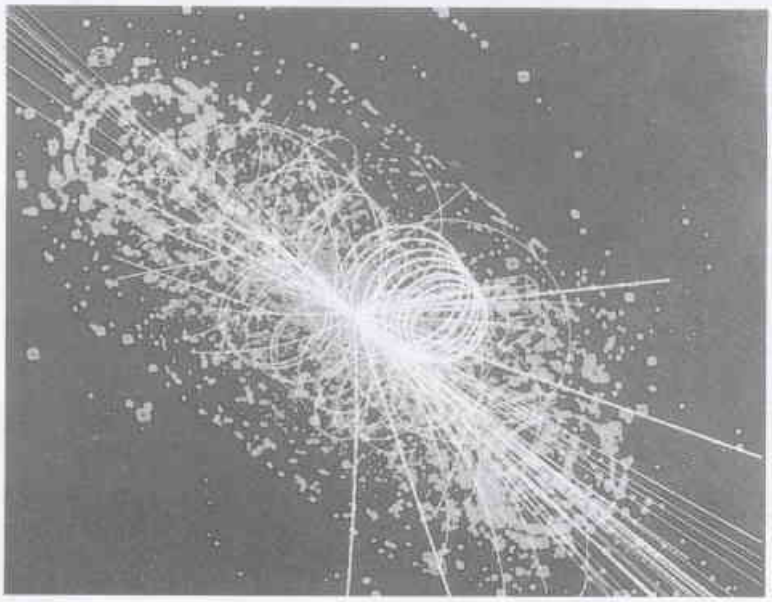
ملخص

في نفق مصادم الهدرونات الكبير الحلقي LHC الذي يبلغ طوله 27 كم، ستتصادم حِزَمُ البروتونات المُقذفة بسبعة مليارات إلكترون- فولط تصادماً جبهياً، لتوليد شروط قريبة من الانفجار العظيم. يأمل الفيزيائيون التأكّد من نظرياتِهم، ولكنهم يتوقّعون أيضاً بعض المفاجآت. فالمشروع تأخّر بعض الوقت وتجاوزت تكلفته ملياري يورو.

الكلمات المفتاحية: المصادم الهدروني الكبير، الانفجار العظيم، التصادم الجبهي للبروتونات.

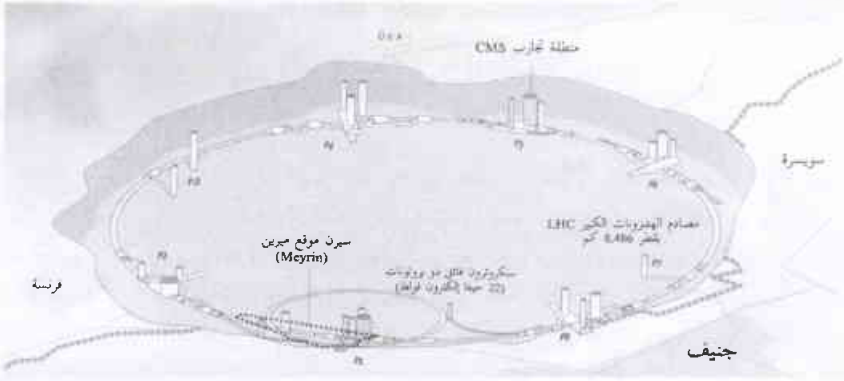
مقدمة

بعد أن تخلّى الأمريكيون عن المُصادم الفائق ذي النواقل الفائقة، (SSC)، الذي ارتآه الكونغرس غالياً جداً، أمل الأوربيون الغلبة ثانية في السباق إلى فهم جوهر المادة. ولتحقيق ذلك وجب البحث في إعادة إحداث شروط درجة الحرارة والكثافة التي كانت تسيطر في اللحظات التي تلت الانفجار العظيم. وهذا يتطلّب إيجاد آلات ذات استطاعة أكبر فأكبر. فمُصادم الهدرونات الكبير (LHC)، الذي سيُقام في النفق الذي شغر بتوقّف مصادم الإلكترون - البوزترون (LEP) عن العمل، سيكون مخصّصاً بتحطيم أرقام قياسية جديدة. فهل سنتوصّل في نهاية المطاف إلى ملاحظة بوزون هِغز Higgs؟ إنّنا ندعو القارىء إلى أن يُقدِّر التحدّي التقاني وهو: تحقيق مكاشيف ضخمة و 1248 مغنطيساً ذوات ناقلية فائقة "المعقّدة إلى أبعد حدٍّ".



إنّ ما يُبحث عنه في مصادم الهدرونات الكبير LHC، بوزون هِغز وهو جسيم افتراضي الذي يُعطي كتلته إلى الجسيمات الأخرى.

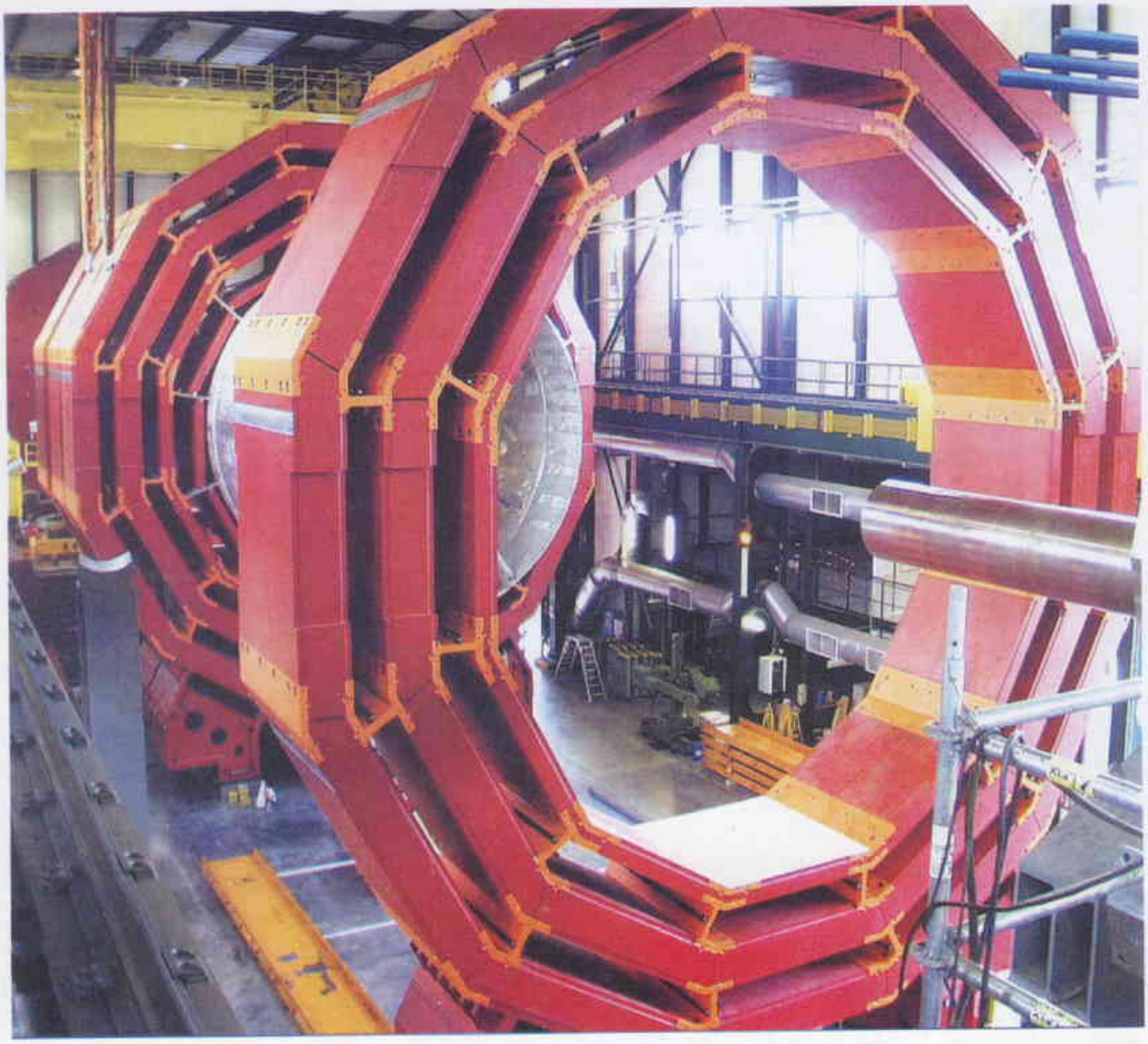
ما يزال الفوز بالرهان بعيداً، ولكن في الوقت الحاضر، وفي سفح جبال الجورا، بالقرب من جنيف، على الحدود السويسرية الفرنسية، يعمل 2600 فيزيائي ومهندس ومتخصّص بالمعلوماتية وتقني في "سيرن" (المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات) لتشغيل ما سيكون مُسرِّعَ الجُسيمات الأكبر في العالم؛ ألا وهو مُصادم الهدرونات الكبير Large Hadron Collider (LHC)، فقد تعهّد "سيرن"، الذي يُعدّ مُحرّك هذا المشروع العملاق، بافتتاحه في عام 2007.



حلقة "سيرن"، التي كانت تُؤوي المسرِّع المصادم إلكترون - بوزترون الكبير LEP، الذي يبلغ محيطه 26.7 كم. حُفرت بالقرب من جنيف، وتخترق الحدود السويسرية الفرنسية وتمر تحت جبال الجورا وتقترب من بحيرة ليمان بانحدار ضعيف يميل بنسبة 1.4%.

ويُعدّ بناء هذا المصادم عملاً صعباً، وشائكاً، فبعد ثماني سنوات من القرار الرسمي، تأخّر المشروع سنتين وتجاوزت تكلفته 18% من الميزانية الأولية البالغة 8.2 مليار من الفرنكات السويسرية (نحو ملياري يورو). وتشهد على ذلك الصعوبات التي صادفها المهندسون والفيزيائيون في سيرن عند ضبط أدواتهم الجديدة لسبر المادة. ولابد أن نذكر أنّ

* نُشِر هذا المقال في مجلة *La Recherche*, November 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



سوف تستقبل المكاشيف الأربعة (هنا المكشاف CMS) المعطيات الناجمة عن 800 مليون تصادم بروتون - بروتون متنظر في كل ثانية. هذه الأجهزة أكبر من أبنية مؤلفة من خمس طبقات.

تسريع مئات المليارات من البروتونات بسرعات قريبة من سرعة الضوء، وجعلها تتصادم 10^{34} مرة في الثانية وتحليل عمليات الصدم هذه حيث تكون الطاقة قريبة من 14 TeV (1TeV = 10^{12} eV) وذلك بكشف كل الجسيمات الثانوية التي تنتج منها، كل ذلك لن يكون عملاً ضئيلاً في المستوى التقاني. وخاصة في هذه الأزمنة حيث يجري تقليص الميزانيات بالنسبة إلى العشرين دولة الأعضاء في المختبر الأوربي، وهذا بالرغم من الدعم المالي من الولايات المتحدة، وروسية، واليابان، والهند وكندا. ولكن هذا المُصادم لا يمثّل أقلّ من مستقبل سيرن، كما قدّر مجلس المختبر الأوربي في جنيف في 21 حزيران عام 2002، الذي استنفر لهذا العمل كل العاملين في مركز البحث، فبوزون هِغز، الذي يحمل كتلة الجُسيمات وهو ناقلها ليس عليه إلّا أن يختفي، وسيكون مصادم الهدرونات الكبير قادراً، ونأمل ذلك، على مُساعدة مصمّمي سوزي SUSY (نظرية التناظر الفائق) لإحلالها محلّ النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات ولحلّ مسألة الكتلة الناقصة في الكون. وعلى النحو ذاته، ربّما يُمكنه أن يتكشف كأداة ضرورية لنظريّ الأوتار تكشف أمام العالم الأبعاد المخبأة من الكون.

أَمِل الفيزيائيون بذلك، ولكنهم لم يصلوا بعد إلى هذا الحد، ففي الوقت الحاضر، يجب على الذين يبنون المُصادم أن يجابهوا الصعوبات التقانية التي لم يستطيعوا تذليلها بصورة كاملة على الرغم من الدراسات المتعدّدة التي تعاقبت منذ بداية عام 1980. وعندما، اتُّخذ قرار البناء في عام 1994 أخذ سيرن يهتم بالناحية الاقتصادية؛ فلا مكان مناسب

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

كان من الضروري من أجل حفر البئر الجديدة رقم 5 دون أن يتسرّب إليها الماء مباشرة تجميد الصخور الكذانية marnes. فقد أغلق قعر البئر بسقف من (الإسمنت أو الباطون) لحماية اختبار LEP عندما كان في الخدمة.

تمّ تفكيك المسرّع القديم LEP في بداية عام 2002. وسيأخذ المصادم LHC مكانه بالتدريج. وبعد نهاية أعمال الهندسة المدنية سيتم إقامة المكاشيف في الكهوف الجديدة (الكهف المرئي في الأعلى سيستقبل المكشاف CMS.

للمصّادم LHC خاصٌّ به وإنّما هناك إقامة للمسرّع الجديد في نفق مصادم الإلكترون - البوزترون LEP، الذي سيفكك. والتحدّي التقاني الأول الذي أحرزه المهندسون منذ شباط عام 2002، هو أنّ النفق الدائري ذا المحيط 26.659 كم، والذي يقع على عمق 100م تحت الحدود السويسرية الفرنسية، فارغٌ بعد أن فُكّكت عناصر المصادم LEP الأخيرة.

تصادم البروتونات

لن تكون إذاً الإلكترونات وجُسيماتها المضادة، البوزترونات، هي التي ستُقذف الواحدة في اتجاه مضاد للأخرى بسرعة قريبة من سرعة الضوء، بل البروتونات، التي كتلتها أكبر بنحو 1840 مرة. ففي مصادم الهدرونات الكبير LHC، تدور البروتونات في اتجاهين متعاكسين على طول حزمتين مفصولتين لا تجتمعان إلّا في أربعة "مواقع قوية": حيث توجد المكاشيف ATLAS وCMS وALICE وLHC-b*. سيتحرّى المكشافان الأوّلان بوزون هِغز، بينما سيدرس المكشاف ALICE بلازما الكواركات والغلوونات المتولّدة من التأثرات الطاقيّة الشديدة بين نوى الرصاص. أمّا المكشاف LHC-b فسيجمع المُعطيات حول عدم التوازن الظاهري بين المادة والمادة المُضادة.

إن تخصيص مكانين للمكشافين ATLAS و CMS أظهر أنه عمل معقّد للغاية، وبصورة خاصة عندما كان على المهندسين المدنيين أن يعملوا في الوقت الذي كان المصادم LEP ما زال يشتغل، وكان لابدّ لإيواء المكشافين، من إعداد كهفين عملاقين، مع أربع آبار للنزول، وفي المولاس الجوراسية نفسها (وهي مزيج من الأحجار الرملية والمارن). فقد تمّ ترحيل 000 450 طن من النفايات، وكان من الواجب أحياناً تجميد التربة لتجنّب ارتشاح الينابيع الجوفية. وقد انتهت أعمال حفر كهف ATLAS - الذي يبلغ عرضه 35 م، وطوله 55م وارتفاعه 40م- في نهاية نيسان عام 2002. وما تمّ ليس بلا مشقة، لأنّه كان من الواجب، مع مثل هذا الارتفاع للسقف، حفر الكهف على مرحلتين. فقد بدأت التعهّدات السويسرية، والألمانية والنمساويّة المكلّفة بهذا العمل بحفر الأرض لعمق 12 م بغية التمكن من تصنيع السقف، المكوّن من 11000 طن من الباطون. وقبل مُتابعة حفر الثمانية والعشرين متراً المتبقية، علّق السقف بنحو 38 حبلاً من الفولاذ مثبتاً في سراديب للتثبيت تقع على ارتفاع 25م من السقف. وما تبقى في الوقت الحاضر هو إنهاء بناء جدران الكهف من الباطون، حيث سيثبّت عليها السقف بصورة نهائية... ومن ثم البدء، في نهاية عام 2003، بإنزال المكشافين الضخمين.

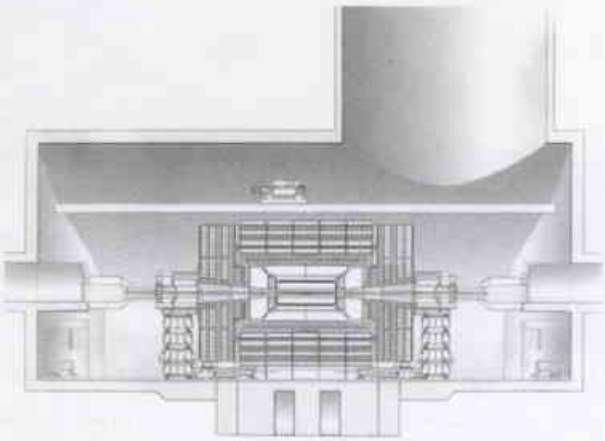
النواقل الفائقة

يجب أن تكون التجارب الأربع جاهزة لافتتاح المصادم LHC في عام 2007، على الرغم من حالات التأخير المُتعدّدة التي تمت أثناء بنائها. أمّا فيما يتعلّق بتحديد هذا الأجل، فكل شيء يعتمد على حالة تقدّم بناء القلب الخافق للمسرّع الجديد، أي الحلقة "المُطْلِقَة" للبروتونات. ويتمتع اختيار هذه الجسيمات الثقيلة، التي ستكون السلاح والهدف في الوقت نفسه، بمزيّة واحدة والكثير من المثالب. وهذه المزيّة هامة جداً، فاستخدام البروتونات سيسمح للفيزيائيين بالوصول إلى طاقة كبيرة جداً تبلغ

* ATLAS: A Toroidal LHS Apparatus, CMS: Compact Muon Solenoid, ALICE : A Large Ion Collider Experiment, LHC-b: Large Hadron Collider beauty.

14 TeV في كل تصادم مع المقارنة بالحد الأقصى 0.2 TeV تقريباً الذي يبلغه LEP، ذلك المصادم الدائري للإلكترونات والبوزترونات. ولكن الشيء السيِّيء في الأمر أنَّ الكتلة الكبيرة للبروتونات طرحت مشكلات تقانية متعدّدة عندما نُظر في تسارعها وتماسكها في حزمة ضيقة دائرية قطرها عدة ملّيمترات. وباستخدام مغانط "عادية"، فإنَّ محيط المُسرّع الدائري الذي يفترض أن يعدّ لهذه المهمة كان يجب أن يقارب 120 كم، وهذا غير ممكن، إذا كُنّا لا نرغب في زيادة النفقات زيادة هائلة. ففي الحلقة الدائرية "الصغيرة"، التي يبلغ محيطها 27 كم في مختبر سيرن، يمر الحل في استخدام حقول مغنطيسية قوية جداً (8.33 تسلا)، مُهيّأة لحني مسار البروتونات بمقدار 0.6 ملّيمتر كلَّ متر. وإذا لم يحدث ذلك قط بهذا المقدار، فلن يكون لدى المهندسين إلّا حل وحيد كي لا تُستهلك طاقة كبيرة: وهو المغانط الثنائية القطب التي طولها 15 متراً وعددها 1248 وتكون ذات ناقلية فائقة، فهي لن تُبدي هكذا أيّة مقاومة أمام مرور تيار شديد قُدِّر بـ 50 أمبير.

"إنها أشياء تقانية معقّدة إلى حدٍّ بعيد"، هذا ما أشار إليه الفيزيائي في سيرن دانييل فروادفوكس D.Froidevaux. وهذه هي حال المغانط الأخرى، الرباعية، والسداسية والثمانية الأقطاب، التي عليها أن تُعيد تبئير حزم البروتونات أو إزالة تيارات فوكو* المتحرّضة في الملفات. كان الزمن ضرورياً، وما زلنا بحاجة إليه، كي تُصمم وتصنع أعداد متماثلة من ثنائيات القطب هذه ذات الناقلية الفائقة، حيث يتكوّن الملف من كبلات



الشكل 1- كهف المكشاف CMS: من البئر رقم 5 سينزّل المكشاف CMS الضخم (انظر الشكل 3) بدءاً من نهاية عام 2003. ستحتل هذه التجربة كل الكهف الذي حفره المهندسون المدنيون في المولاس الجوراسية.

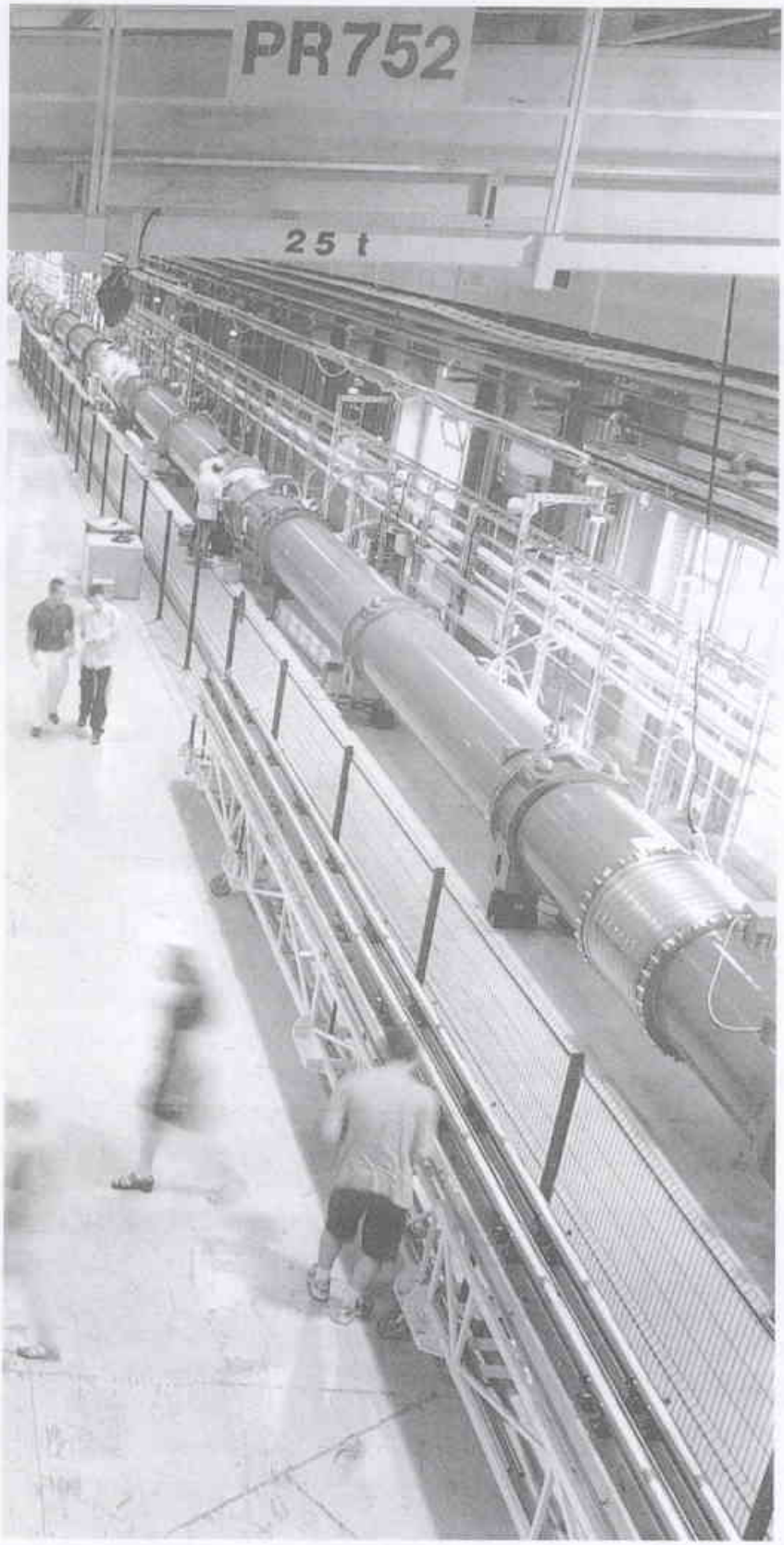
* تيارات فوكو هي تيارات محرّضة تتولّد في ناقل بحالة حركة في حقل مغنطيسي ثابت أو تتولد في جسم صلب معدني ساكن يتعرّض إلى تغيّر في الحقل المغنطيسي أيضاً.

من خيوط مجدولة من النيوبيوم والتيتان منغرزة في قالب من النحاس. ولأول مرة في تاريخ سيرن الذي مر عليه خمسون عاماً تقريباً، جرى إعداد النماذج الأولية بالتعاون مع الصناعيين الذين فازوا بصفقة صناعتها (طبعاً). فقد ذكر لوسيانو مياني L.Maiani المدير العام لسيرن أنّ هذه الاستراتيجية سمحت لنا بالحصول على نوعية متقدّمة جداً مع تخفيض في التكلفة.

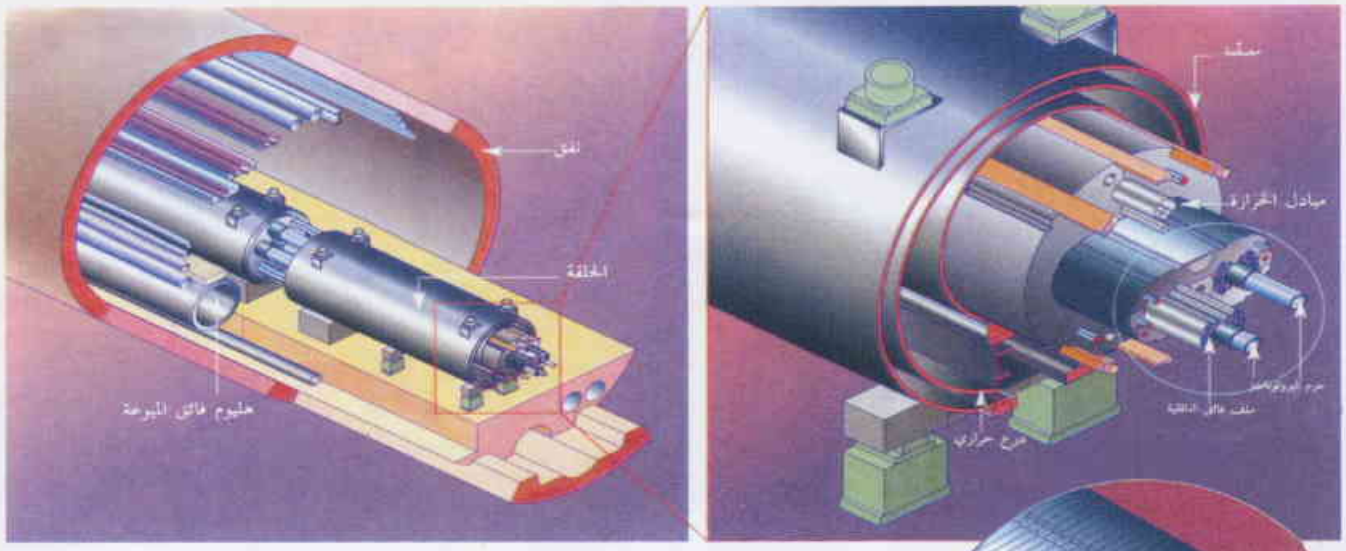
لم يتوقّف العمل التقاني الصعب عند هذا الحدّ، وكان أحدُ أكثرِ المظاهر صعوبةً يتركّز في عملية إنشاء المصادم LHC في تدبّر 7000كم من أسلاك الملفات وتجديلها في كابلات من النوع الشبه المنحرف، ويصل الوزن الكلّي لهذه الأسلاك إلى 1200 طن، وهذا يمثّل، على مدار خمس سنوات، نحو 30% من الإنتاج العالمي من هذه الأسلاك المخصّصة عادة لأجهزة التصوير بالتجاوب المغنطيسي النووي. غير أنّ الجودة (نقاوة، وتجانس، وفتل طيقان الأسلاك) المطلوبة للمسرّع هي أعلى بكثير، فضلاً عن أنّ المغانط التي يبلغ عددها 1248 مغنطيساً يجب أن تكون متماثلة بدقة 0.01% في كل مميّزاتها. هذا، وكأن الصعوبة ليست كبيرة بكفاية، فينبغي أن يكون الكبل قطعة واحدة طولها 650 متراً لكل مغنطيس. وإذا انقطع، كما سبق وحصل، يمكن عند ذلك استخدام القطع التي لايقل طولها عن 165 متراً في كبلات المغانط الرباعية الأقطاب التي جرى تحوير مواصفاتها في هذا الاتجاه، في عام 1995. في التعويض فائدة!

الهليوم فائق الميوعة

أثيرت أمور تتعلّق بكسر الآلة وانقطاع الكبل، بالإضافة إلى مشكلات الإحكام، والنقص في التزوّد بالأسلاك، كل ذلك لتسويغ سنة من تأخر الصناعيين: الفرنسي Alstom-Jeumont والألمان Vaccumsmschmeklze، والإيطالي Europa Metali، والفنلندي Outokumpu (مع السويسري Brugg) والأمريكي IGC". فقط الياباني Furokawa وحده كان دقيقاً في موعده، هذا ما صرّح به فيليب لوبران رئيس قسم المصادم LHC في سيرن. وعند وصول الكبلات إلى موقع جنيف جرى فحصها، ثمّ جمعها وإعادتها، مع صفائح ومكوّنات مختلفة، إلى Alstom-jeumont، وNoell أو Ansaldo حتى يتمكنوا من إنهاء تجميع المغانط. وهذا ليس بالسهل: لأنه، في هذا التطبيق العملي الأول للنواقل الفائقة في حالة تيارات قوية (50 أمبير) وحقول مغنطيسية (يمكن



بعد مرحلة التصنيع الصناعي، يتصدّت المهندسون إلى جودة المغانط على خطوط الاختبار مثل ماهو ظاهر في الشكل. ففي مسرّع المُستقبَل ثمة ثلاثة مغانط ثنائية الأقطاب ويليها رباعي الأقطاب .



الشكل 2– صورة مقطعية لمغنطيس. تدور البروتونات بسرعة قريبة من سرعة الضوء في حزمتين متوازيتين ولا تتلاقى إلاّ في لب المكاشيف. ستسارع الجسيمات بمغانط ثنائية القطب طولها 15 م ومكوّنة من كتلة من المعدن غارقة في مصقّعة cryostat مملوءة بهليوم فائق الميوعة بدرجة حرارة 1.9 K. ففي مركز المغنطيس، تحيط الوشائع الناقلة الفائقة بالأنابيب الدقيقة حيث ستدور حزمتا البروتونات. وتتكوّن هذه الوشائع من 8000 سلك مصنّعة من سبيكة من النيوبيوم والتيتان، مجدولة ومغطاة بالنحاس. إنّ مجموع أسلاك الحبل الموضوعة طرفاً لطرف يمثّل نحو 7000 كم من الكبلات.

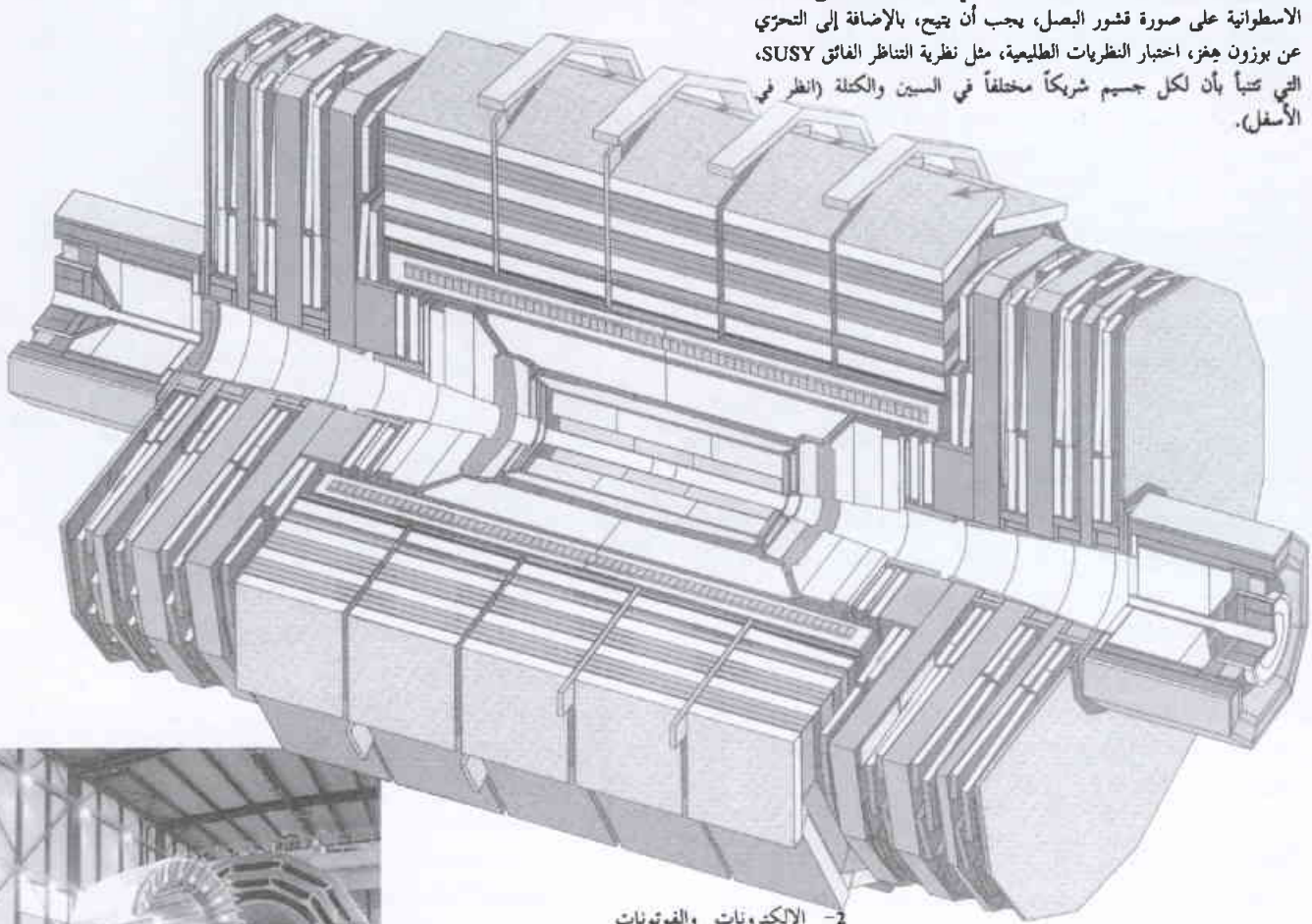
أن تصل إلى 8.33 تسلا)، فإنّ الملفات والكتل التي تتماس يجب أن تُغمر في حمام من الهليوم فائق الميوعة درجة حرارته -271.3°C)1.9K. إن منظومة التبريد التي أحكم صنعها مختبر مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية في غرونوبل يغذيها مصنع أنشأه في مركز جنيف الصناعي الألماني لنده Linde والفرنسي Air Liquide هاتان الشركتان تزوّدان بالمائع أما المواد فمشتراة من التشيكيين واليابانيين. إنّ هذا المصنع، مع أنابيبه التي يبلغ طولها 27 كم وأطنانه من الهليوم البالغة 94طناً، سيكون أكبر مركز تبريد في العالم. وعلى مهندسي المختبر أن يكونوا حذرين إلى أبعد الحدود من أدنى تغيّر في درجة الحرارة لتحتفظ المغانط بخواصّها من الناقلية الفائقة. قبلاً كان ينبغي التنصّت إلى المغانط الواحد بعد الآخر لكي نحول دون أن تتشكّل النقاط الحارة في الوشائع، ممّا يؤدي إلى تخريب الناقلية الفائقة وضعف شدة الحقل المغنطيسي. وهذه العيوب شائعة في الكبلات التي تكون فيها عملية التجديل غير كاملة تماماً. وقبل أن يُعلن عنها أنّها جيدة للاستخدام، على مهندسي سيرن إجراء ما يدعى عملية اطفاء quencher للمغانط" ويعني ذلك التحريض على ظهور هذه النقاط الحارة لكي أن تأخذ أسلاك النواقل الفائقة أمكنتها النهائية أو المثالية. "إنّنا نتوقّع الحصول تماماً على 100% من النجاح، ولكن سنرى ذلك في النهاية" هذا ما ذكره مسؤول الاختبارات روبرتو سابان.

إنّ هذه الاختبارات على المغانط المُنتجة بالجملة لحلقة المسرّع ماهي مع ذلك إلاّ عمل رتيب بالنسبة إلى بدْء تنفيذ بضع نسخ خاصة جداً، مثل: مغانط التجارب الكبيرة لمكشافي ATLAS و CMS، فقد كان تصميمهما دولياً. وقد أرست أعمالٌ مشتركة فرنسية انكليزية لمفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية CEA و IN2P3 ومختبر روذرفورد الأسبق، بينما كُلّفت مراكز أخرى – INFN إيطالي، وITH في زوريخ (سويسرة)، وFermilab أمريكي – بجزء من دراسات التفاصيل. نتج هذا التوزّع للأعمال من نظام التمويل لهاتين التجربتين الكبيرتين، لأن سيرن، على عكس المسرّع، ليس مموّلها الوحيد. يأتي القسم الأعظم من المال من البلدان المساهمة بصورة طوعية. وهكذا فإنّ المكشاف ATLAS هو نتيجة عمل نحو 1700 عالم ينتمون إلى 150 مختبراً في 34 بلداً. أمّا المكشاف CMS، من جهته، فليس له فيه إلاّ 32 مساهماً. وهناك مجابهة تضع هاتين التجربتين المتماثلتين في التنافس؛ ويقصد بذلك التفتيش عن بوزون هِغز و "جسيمات s" المحتمل وجودها، التي اكتشفت في إطار نظرية التناظر الفائق (SUSY).

مكاشيف ضخمة

تشكّل ضخامة المنشأتين صورة عن قبول التحدّي، فالمكشاف CMS مع وزنه البالغ 12 500 طن، هو كتلة تماثل كتلة برج إيفل، وبحجم بناء من خمسة طوابق. ومثل "شقيقه" المكشاف ATLAS، لاينبغي لهذا العملاق أن يضيّع أياً من بضع مئات الآلاف من الجسيمات الناجمة من كل تصادم بروتون – بروتون. ولكي يصبح محكم السدّ إلى أبعد الحدود الممكنة تتصل الأجهزة والكتل المعدنية الضخمة بعضاً ببعض بتقريب عدّة ملّيمترات. وهذه المسافة التي تصغر حتى تنعدم، أو تقريباً، عندما تتشوه الكتل بتأثير قوة الحقول المغنطيسية البالغة 4 تسلا (1 تسلا من أجل المكشاف ATLAS) المتولّدة عند تشغيل المكشاف. يتشكّل ATLAS مثل CMS من أدوات مُتنوعة مقامة على صورة قشور البصل (مغلّفة

الشكل 3- المكشاف CMS. مِثْلُ اختبار ATLAS، إن المكشاف CMS (Compact Muon Solenoid) يقوم بتحرّي كل الجسيمات الناجمة عن تصادم بروتون - بروتون المنتجة في المصادم LHC. مع أن بنيته الاسطوانية على صورة قشور البصل، يجب أن يتيح، بالإضافة إلى التحرّي عن بوزون هِغز، اختبار النظريات الطليعية، مثل نظرية التناظر الفائق SUSY، التي تتنبأ بأن لكل جسيم شريكاً مختلفاً في السبين والكتلة (انظر في الأسفل).

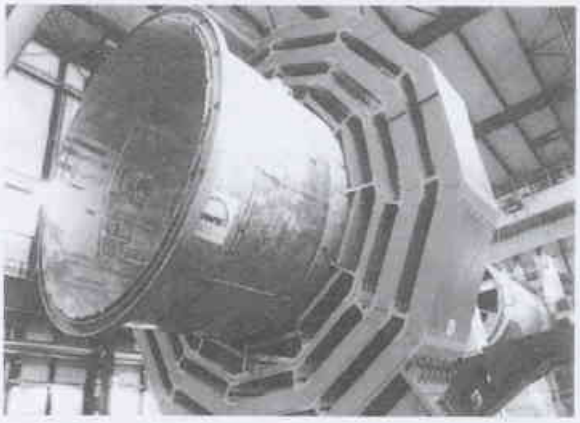


2- الإلكترونات والفوتونات الناجمة عن التصادم سيجري إيقافها بمقياس كمية الحرارة الكهرطيسي المؤلف من آلاف البلورات الأحادية من التنغستين المصنّع في روسية.

بعضها بعضاً) بهدف الكشف عن الجسيمات المتنوعة. وفي المركز، يحدّد راسم المسار مسارَ الجسيمات المشحونة، وسرعتها، وإشارة شحنتها الكهربائية وزمن طيرانها منذ نقطة التآثر. وتأتي بعد ذلك مقاييس كمية الحرارة الهدرونية والكهرطيسية. إنّه عن طريق الوميض في البلورات الشفافة للتنغستين وأكسيد الرصاص بالنسبة إلى المكشاف CMS، وعن طريق التأيّن في طبقات الرصاص الرقيقة الغاطسة في الأرغون السائل بالنسبة إلى المكشاف ATLAS، سيجري التحرّي عن الإلكترونات أو الفوتونات الناجمة عن تفكّك بوزون هِغز إذا وجد. وستنتج فقط النترونات والميونات بالإفلات من المنظومة، ولكن ليس لمدة طويلة فيما يتعلّق بهذه الأخيرة. إنَّ طبقة أخيرة ستتعرّفها وستقيس اندفاعها وشحنتها، بينما النترينوات سيجري تقديرها غيابياً بحساب الفرق بين طاقة التصادم ومجموع طاقات الجسيمات المكتشفة. وهنا أيضاً، كما تفرض الناقلية الفائقة، على الكلّ أن يكون غاطساً في حمّام من الجليد درجة حرارته 4.5K. وما الفرق الرئيس بين التجربتين؟ الجواب هو المغانط أيضاً.

فمغنطيس ATLAS مكوّن من ثمانية ملفات مكرّرة ثلاث مرات على شكل سوار حيث يصل طول أكبرها إلى 25م، حدث عالمي لأول مرة من أجل القسم الخارجي، ووشيعة أصغر (2 تسلا وبقطر مترين). أمّا مغنطيس المكشاف CMS فهو تقليدي ولكنّه أشد صلابة من الذي صُنّع من قبل وهو عبارة عن وشيعة واحدة كبيرة بقطر 7م يولّد حقلاً مغنطيسياً شدته 4 تسلا. وحتى يُبدّد الحرارة، فإنَّ كبله يبلغ 2.5 كم ويكون مغروزاً في قالب من الألمنيوم النقي بنسبة 99.998%، وبدوره يكون مغلّفاً بالراتنج.

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



صُمّم المكشاف ATLAS، مثل المكاشيف الأخرى، بمشاركة دولية. وقد ساهم الفرنسيون (IN2P3 و CEA) في كل الأدوات التي تكوّنه.

الحفاظ على الذاكرة

ليست العقبات فقط تقانية، بل قد تكون أيضاً بشرية، لأنّ مشروعاً بمثل هذا الاتساع يُشرك فيه أكثر من نصف علماء فيزياء الجسيمات في العالم فيجب أن يتصلوا فيما بينهم، وأن يتفاهموا، وينفّذوا الوثائق التفسيرية وفي الوقت نفسه الأجهزة المختلفة. فقد ذكر فيليب لوبران Ph. Lebrun* "أنّ المصادم LHC يضم مكوّنات تقنية قد نفّذت في كل مناطق العالم، بمعايير ومهارات مختلفة". تشكّل الذاكرة التقنية مسألة مهمة كان قد أخذت بالحسبان منذ بدء العمل بالمشروع؛ إذ إنّ معظم الفيزيائيين المصمّمين سيحالون على التقاعد قبل توقّف تجربتهم. وبالإضافة إلى ذلك، تختلف طرائق العمل من بلد إلى آخر. والذي يعرفه الباحثون منذ مدة طويلة كان على المهندسين أن يتعلموه في ورشاتهم. يذكر جان- بيير ريفليه J-P. Rifflet المهندس في هيئة الطاقة الذرّية الفرنسية "عُدت من روسية وما عدا اللغة فإنّ الدراسات التي نُفّذت لم تجر بالشكل نفسه وإنّما جرت بحسب الوثيقة". ومن هنا تأتي أهمية وضع ذاكرة للمشروع التي سميت بالمختصر EDMS (Engineering Data Management System) . وهي تشكّل همزة الوصل بين الأجيال، ففي عام 2015، على سبيل المثال، فإنّ الذي سيخلف المهندس الروسي الذي صمّم، في مختبر فرمي لاب الأمريكي، المغنطيس ذا الناقلية الفائقة المقام على المصادم LHC في جنيف سيتمكّن، بفضل هذا النظام، من أن يأخذ علماً بوسطاء التصنيع المختلفة والتغيرات المحتملة ويصيغ التوصيات.

إن "سيرن" بمغانطه ومنظومته للتبريد، وعدد الباحثين الذين يعملون في تجاربه يكون قد جمع الأرقام القياسية. وأيضاً المصمّمون لديه قد أصابهم جنون العظمة المعلوماتية. فلمعالجة 10^{15} ثُمانيّة octets من المُعطيات المُستقبَلة كلّ ثانية عند تشغيل التجارب، كان لابدّ من إيجاد منظومات انتقاء، وتخزين وبصورة خاصة منظومات حساب. لاتكفي حواسيب "سيرن"، لذا يرغب الفيزيائيون في استخدام كل حواسيب كوكب الأرض. وبفضل مفهوم الشبكة الذي اختبر في الوقت الحاضر، فإن كل حدث يمكن تحليله بأحد الحواسيب المتاحة في مختبرات الكوكب (إنّ مخترعي الإنترنت والكثير من المتخصصين الآخرين شرعوا في استخدام شبكتهم). والخلاصة، إذا لم تكن هناك إمكانية متاحة لتنفيذ مشاريعهم لوحدهم، فمن الأفضل استخدام وسائل الآخرين، إنّ هذا القانون البسيط يفرض نفسه على الكل بما فيهم فراعنة الجسيمات الجدد.

المراجع REFERENCES

[1] Michel Gonin "Quelques miillioniemes de seconde apres le Big Bang, La Recherche, octobre 2002.

[2] "L'hibernation annoncee du CERN", La Recherche,juin 2002.

[3] Victor Alessandrini, "L'ambition d'un ordinateur planetaire", La Recherche, juin 2002.

[4] Gerard Bonneaud, David Hitlin, "Babar: sur la piste de l'antimatiere", La Recherche, novembre 1999.

[5] Sur le detecteur CMS.■

❐ ✦ ❐

* P. Lebrun ,Rev. des Ingenieurs, 31,1999.

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

أخبار علميّة

1- حشوة الفطيرة المُصدِرة للضوء*

لقد أخذ التألّق الإلكتروني مُنعطفاً جديداً بضم كُلّ من الثُنائيات العُضوية المُصدرة للضوء والنقاط الكموميّة اللاعضويّة. إن كفاءة إصدار الضوء أعلى بكثير في النبائط الحديثة السهلة الصنع.

نشر سيث كوي S. Coe وزملاؤه تقريراً عن صنع ثُنائيات مُصدرة للضوء (LEDs) عضوية ذات كفاية عالية، حيث المراكز المُصدرة للضوء فيها هي البلّورات النانوية من كدميوم-سلينيوم (CdSe)، أو النقط الكمومية. تحمل الثُنائيات العضوية المُصدرة للضوء معها ميّزات تقنية التصنيع المتين robust والأداء العالي، التي تُبدي - عند اقترانها بالخواص التألّقية الممتازة للبلّورات النانوية - إمكانيات مثيرة بالنسبة لنبائط حقيقية وعملية.

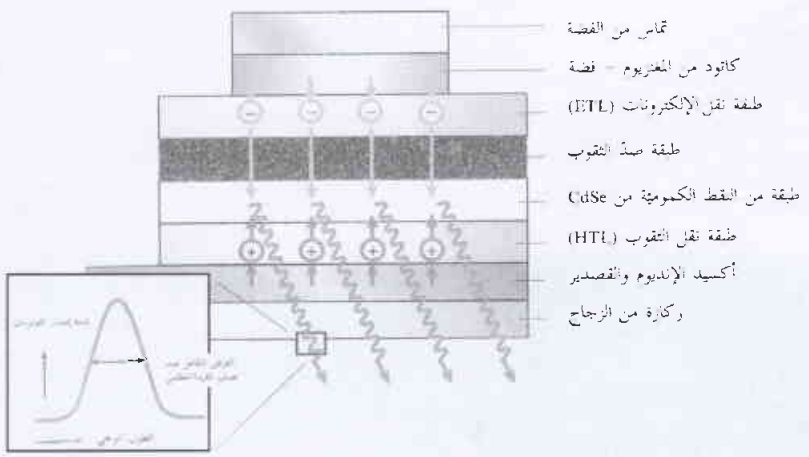
تتوفّر في الوقت الراهن، وعلى نطاق تجاري، تلفونات محمولة (نقّالة) mobile phone ذوات عارضات (شاشات عرض) ملوّنة صغيرة تَستَخْدم ثُنائيات عضوية مُصدرة للضوء (LEDs). تتولّد الصور بفعل الفلورة، وذلك عندما تقوم الإلكترونات بانتقالات بين الحالات المدارية للجُزيئات العضوية المترافقة بالرابطة π π-conjugated organic molecules (تنشأ الرابطة π من تشابك المدارات 2p للإلكترونات في ذرّات الكربون). وبالإضافة لما للجزيئات المترافقة بالرابطة π في الثُنائيات العضوية المُصدرة للضوء (LEDs) من كفاية كمومية عالية لتحول إلكتروناً إلى فوتون، فإنها قابلة للمؤالفة اللونية، لذا فبالإمكان استخدامها لإنشاء عارضات، باللون الكامل، بمُصدرات للأحمر والأخضر والأزرق (RGB).

لكن هناك عائقاً: إن أطياف الإصدار للجُزيئات ذات الروابط π المترافقة واسعة الامتداد جداً، فهي تمتد بصورة نموذجية من 50 إلى 100 نانومتر (العرض الكلّي عند نصف القيمة العظمى أو FWHM؛ الشكل 1، الجزء الصغير المُدَرّج). إن ما يسبب هذا المجال من الفلورة الجُزيئية هو حركة الذرّات الاهتزازية والدورانية داخل الجُزيئات المترافقة بالروابط π. وبناءً عليه، فإن استعمال ثُنائيات عضوية مُصدرة للضوء (LEDs) يجعل من الصعب مثلاً الحصول على ضوء أحمر صرف صادر بكفاية كمومية عالية. وبالرغم من ذلك، فإن الإصدار RGB الحاد قد تحقّق في ثُنائيات مُصدرة للضوء (LEDs) قائمة على بعض المواد الخاصة، مثل مُتَمَخْليات اليوروبيوم europium cnelates، أو البُنى المتجمّعة لصباغات السّيانين أو مركّبات البيروفسكيت اللاعضوية - العضوية ذوات الطبقات. ولكن هذه الثنائيات لم تبلغ الكفاية الإصدارية، أو مقدرة النبيطة على التحمل، اللازمة للتطبيقات العملية في الشاشات (عارضات) [2، 3].

تصدر بعض البلّورات النانوية اللاعضوية ضوءاً مرئياً مطيف إصدار حاد يكون فيها FWHM أقل من 30. nm. البلّورات النانوية هي في الحقيقة نقاط كمومية وتحتجز شحنة داخل حجومها الصغيرة مما يجعل الحصول على كفاية عالية، تتجاوز 50%، أمراً ممكناً. يمكننا أن نتوقع، بعدئذٍ، أن النقاط الكمومية الداخلة في الثُنائيات LEDs العضوية تكوّن مراكز إصدار ممتازة [4]. وفي الحقيقة، شوهد التألّق الكهربائي بمزج بلّورات نانوية عضوية بوليميرات ذوات روابط π مترافقة، لكن كفاية الإصدار كانت أخفض بكثير من كفاية الثُنائيات المُصدرة للضوء البوليميرية التقليدية [5، 6].

صنع كوي وآخرون [1] ثنائياً عضوياً مصدراً للضوء مكوناً من طبقة واحدة من نقاط كمومية من CdSe مُقحمَة بين أفلام رقيقة عضوية (الشكل 1). ومن الملاحظ، أن كفاية نبائطهم أعلى من تلك التي تمّ تحقيقها من قبل بواسطة الثُنائيات المُصدرة للضوء ذوات النقطة الكمومية بـ 25 مرة. إذا تأملنا في أساليب تصميم النبائط، نجد أنه يوجد مظهران جديران بالانتباه هنا: إن بنية هذا الثُنائي المُصدر للضوء ذي النقطة الكمومية قريبةٌ أصلاً من بنية النبيطة المثالية وإن عملية تصنيع طبقة من النقاط الكمومية هي عملية بسيطة.

وفيما يتعلق ببنية LEDs، فإن نواحي التصميم الأكثر تحدّياً هي كيف نجلب الإلكترونات والثقوب معاً في مناطق صغيرة بحيث تعود للاتحاد بصورة فعّالة كي تصدر فوتونات بدون أن تهرب أو تتبدّد. البنية المفضّلة مكونة من ثلاث طبقات: طبقة رقيقة مصدرة مُقحَمة بين طبقتين: طبقة انتقال الثقوب hole-transport layer (HTL) وطبقة انتقال الإلكترونات



الشكل 1- الثُنائي المُصدر للضوء (LED) ذو النقطة الكمومية - في هذا الثنائي LED الذي صنعه كوي وآخرون [1]، تُقحَم طبقة من بلّورات نانوية من كدميوم - سلينيوم، أو نقط كموميّة، بين طبقتين من مواد عضوية إحداهما لنقل الإلكترونات والأخرى لنقل الثقوب. إن تطبيق حقل كهربائي يجعل الإلكترونات والثقوب تتحرك نحو طبقة البلّورة النانوية، حيث تؤسر هناك في نقط كموميّة وتعود للاتحاد، مصدرةً فوتونات. إن طيف إصدار الفوتونات ضيق، ويتميز بكامل عرضه عند نصف القيمة العظمى (FWHM).

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, 19/ 26 December 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

electron-transport layer (ETL). إذا كانت الطبقة المُصدرة ثخينة، فينبغي حقن الإلكترونات والثقوب فيها ونقلها منها، وعندئذ ينبغي أن تكون الطبقة المصدرة مؤهلة لاستيعاب العمليتين ETLو HTL معاً، وهي عملية ليست مثالية. أما إذا كانت الطبقة المصدرة تتألف من طبقة واحدة من الجزيئات بدلاً من ذلك، فيمكن عندئذ للإلكترونات والثقوب أن تُنقل مباشرة من سطوح ETL و HTL، وعندها نتوقع كفاية (مردوداً) عالية لإعادة الاتحاد. هناك على الأقل مثالان عن الثُنائيات العضوية المُصدرة للضوء طبقة الإصدار فيها بالحجم الجزيئي قد أُعلن عنهما: الأول هو الطبقة الجزيئية لصباغات السيانين [7]، والثاني هو طبقة صباغ الروبرين [8]، وكل منهما مقحمة بين طبقتي نقل ثقبي HTL وإلكتروني ETL بسماكة 50 نانومتراً.

إن تصميم كوي وزملائه للثُنائيات المُصدرة للضوء يحذو هذا الحذو (الشكل 1). فالطبقة المصدرة في الثنائي المصدر للضوء ذي النقطة الكموميّة الذي صنعوه لا يتجاوز سمكها بضعة نانومتر، وهي مؤلفة من بلّورات نانوية أحادية موزّعة بصورة منتظمة، قطر كل بلّورة منها 3 nm. لقد تمّ تحضير صفيف النقاط الكمومية بسهولة عن طريق التجميع الذاتي بعملية الطلي أو الصب بالتدويم spin-casting: وفيها يُصب محلول من بلّورات نانوية في مادة عضوية على رُكازة، والتي توضع بعدئذٍ للتدويم والدوران السريع كي ينتشر المحلول بالتساوي. وبعدئذ هناك عزل طوري تلقائي، وذلك عندما تندفع البلّورات النانوية إلى أعلى الطبقة العضوية.

يرى كوي وآخرون [1] أن الإلكترونات والثقوب تُؤسَر مباشرة عند سطوح البلّورات النانوية من CdSe – في سويات إلكترونية منفصلة للنقط الكمومية – لتولد تألقاً ناتجاً من العودة إلى الاتحاد. هناك تفسير آخر، هو أن الطاقة تُنقل مباشرة من الحالات المُثارة للجزيئات في منطقة السطح للطبقة ETL أو الطبقة HTL. لكن المُعطيات التي جمعها كوي وآخرون تدعم نموذج الأسْر المباشِر للإلكترون والثقب ثم الإصدار داخل البلّورات النانوية، ومن وجهة نظر الكفاية العالية واستقرارية الإصدار فإن هذا واعد جداً. وفضلاً عن ذلك، فإن الانتشار، أو عرض عصابة bandwidth طيف الإصدار لهذه النبائط يتمتع بجانبية profile غوصية تكاد تكون تامة وتتعين بانتظامية حجم النقطة الكمومية، الذي يمكن التحكم به بدقة أثناء عملية التصنيع. وبتغيير الحجم الحقيقي للنقاط الكمومية يمكن إحكام الطيف المتألق على طول موجي خاص.

يشير المؤلفون كذلك إلى ميّزة أخرى للثُنائيات المُصدرة للضوء ذوات النقطة الكمومية. إن قيود الميكانيك الإحصائي المفروضة على المواد المتفلورة، بما فيها البوليميرات المستخدمة في الثُنائيات المُصدرة للضوء التقليدية، تعني أن أقل من نصف عمليات العودة إلى اتحاد الإلكترونات بالثقوب تؤدي إلى إصدار ضوء. وهذا هو السبب الرئيسي للكفاية الكموميّة المنخفضة في مثل هذه النبائط [9]. لكن كل عملية العودة إلى اتحاد الإلكترون بالثقب في البلّورات النانوية اللاعضوية تستطيع أن تولد فوتوناً. وعليه، فبالإضافة إلى الإمكانات المكتشفة حديثاً حول المصدرات ذوات البريق الفسفوري [10]، فإن بناء ثُنائيات مُصدرة للضوء ذوات نقط كمومية بواسطة بلّورات نانوية لاعضوية بسيطة يشق طريقاً جديدة نحو الوصول إلى كفاية كموميّة تصل إلى 100% عند أي طول موجي في المجال المرئي.

المراجع REFERENCES

[1] Coe, S.,Woon, W. K., Bawendi, M & Bulovic, V. Nature 420, 800-803 (2002).

[2] Era, M., Hayashi, S., Tsutsui, T. & Saito, S. J. Chem. Soc. Chem. Commun. 557-558 (1985).

[3] Era, M. Morimoto, S., Tsutsui, T. & Saito, S. Appl. Phys. Lett. 65,676-678 (1994).

[4] Hines, M. A. & Guyot-Sionnest, P. J. Phys. Chem. 100, 468-471 (1996).

[5] Dabbousi, B. O., Bawendi, M. G., Onitsuka.O. & Rubner, M. F. Appl. Phys. Lett. 66, 1316-1318 (1995).

[6] Mattousi, H. et al. J. Appl. Phys. 83, 7965-7974 (1998).

[7] Era, M., Adachi, C., Tsutsui, T. & Saito, S. Chem. Phys. Lett. 178, 488-490 (1991).

[8] Matsumura, M. & Furukawa, T. Jpn. J. Appl. Phys. 40, 3211-3214 (2001).

[9] Tsutsui, T. Mater. Res. Soc. Bull. 22, 39-45 (1997).

[10] Adachi, C. et al. J. Appl. Phys. 90, 5048-5051 (2001).■

2- الليتيوم تحت الضغط يصبح ناقلاً فائقاً*

قد يكون الليتيوم تحت الشروط العادية "معدناً بسيطاً" إلاّ أنه تحت الضغوط المرتفعة جداً يصبح ناقلاً فائقاً عند درجة الحرارة الحرجة الأعلى من بين درجات حرارة كل العناصر.

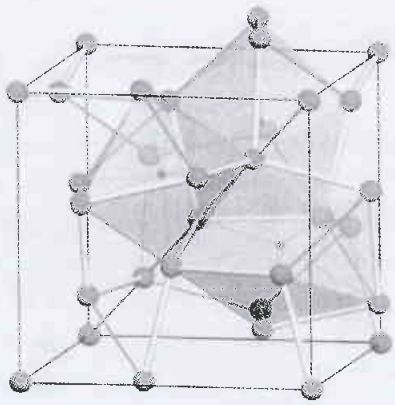
إنّ تشوّش أو تأثر إلكترونات النقل في عنصر الليتيوم – وهو المعدن الأول في الجدول الدوري – تحت الشروط المحيطية العادية من قبل ألبابها (جمع لُب) الذرّية التي تكون مرتّبة على شكل شبيكة مكعبة مركزية الجسم متناظرة، يكون قليلاً فحسب. كان يُظن من عدة سنين أن الليتيوم يبقى عند الضغوط العالية معدني الصفة محتفظاً بشكلٍ ما بينية مكعبة متناظرة بدرجة عالية. وعلى أية حال تنبأ جيفري نيتون J. Neaton ونيل آشكروفت N.Ashcroft من جامعة كورنيل عام 1999 بأن الليتيوم سيخضع لتحولات طور بنيوية عندما يزاد الضغط عليه، مما يقود إلى "ذرّة

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, December 2002. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

متزاوجة" أو طور جزيئي ضعيف التناظر. وفوق ذلك يُتوقع للخواص الإلكترونية لهذا الطور أن تكون قريبة من خواص العازل.

وبعد سنة بيّنت تجارب انعراج أشعة X - التي قام بها الباحثون الحاليون ومعاونوهم أن الليتيوم تحت ضغوط تبلغ 40 GPa (400 000 ضغط جوي) يتحول من طور المكعب المركزي الوجوه، عبر طور متوسط معيني الوجوه، إلى متعدد الأشكال مكعبي، تحوي الخلية الواحدة منه 16 ذرّة يطلق عليه اسم cI16 (انظر الشكل). يمكن أن يُنظر إلى هذه البنية كخلية 2×2×2 فائقة لبنية مكعبة مركزية الجسم إلاّ أن الذرّات منزاحة قطرياً.



يصبح الليتيوم ناقلاً فائقاً عندما يعرّض إلى ضغوط أعلى من 23 GPa. تتنبأ النظرية بأنه يبقى ناقلاً فائقاً عندما يتخذ البنية cI16 (في الأعلى) وحتى عند الضغوط الأعلى.

تبيّن حسابات الطاقة الكلّية أن هذه البنية مستقرة في ما يتعلق بجميع البنى المعروفة للمعادن تحت ضغط يبلغ على الأقل 165 GPa. وفضلاً عن ذلك، فإن التناظر المنخفض الذي سببه الانزياح القطري للذرّات قد غيّر طاقة فيرمي Fermi بطريقة تعني بأن الليتيوم لم يعد معدناً بسيطاً. ورغم أن البنية cI16 هذه مختلفة عن بنية "الذرّة المتزاوجة" التي اقترحها نيتون وآشكروفت فإنها قدمت دليلاً إضافياً على أن الليتيوم اتّخذ بنى ضعيفة التناظر عند الضغط العالي.

تجارب تحت الضغط

إن وجود أطوار منخفضة التناظر عند الضغط العالي يطرح على الفور سؤالاً عن الناقلية الفائقة في الليتيوم. العنصر الناقل الفائق المعروف من المعادن القلوية هو السيزيوم الذي يصبح ناقلاً فائقاً عند الضغط 12.5 GPa بدرجة حرارة حرجة تبلغ حوالي 1.5 كلفن. يتحول عند هذا الضغط إلى طور معيني مستقيم منخفض التناظر يحوي في خلية الواحدة ستّ عشرة ذرّة. تُساق تحولات المعادن القلوية الثقيلة (السيزيوم، الروبيديوم، البوتاسيوم) إلى بنى منخفضة التناظر من قبل تحولات إلكترونية تصبح فيها إلكتروناتُ التكافؤ - s غير المتوضعة إلكتروناتِ التكافؤ - d الأكثر توضعاً. وتُساق التحولات في الليتيوم والصوديوم المشابهة من قبل التحولات التي تصبح فيها إلكتروناتُ - s إلكتروناتِ - p.

دُرست هذه الإمكانية للناقلية الفائقة المحرّضة بالضغط للّيتيوم في البدء من الناحية النظرية. ففي عام 2001 تنبأ نيلز كريستنسن N. Christensen ودمتري نوفيكوف D. Novikov أن الليتيوم يصبح ناقلاً فائقاً عند الضغوط العالية وبذلك ستصل درجة الحرارة الحرجة من 50 إلى 70 كلفن في منطقة المكعب مركزي الوجوه للتحول cI16، ويمكن أن يكون كذلك عند درجات الحرارة من 60 إلى 70 في الطور cI16.

في الوقت الحاضر، لاحظ فريقان تجريبيان الناقلية الفائقة للّيتيوم عند الضغوط العالية، وإنْ يكن ذلك عند درجات حرارة حرجة أخفض مما تنبأت به النظرية، استخدم الفريقان في ضغط الليتيوم ما يسمى خلايا السندانات الماسية.

قاس كاتسويا شيميتسو K. Shimitzu من جامعة أوزاكا في اليابان ومعاونوه المقاومة الكهربائية للّيتيوم كتابع لدرجة الحرارة ولاحظوا هبوطاً مفاجئاً في المقاومة عندما بُرّدت العيّنة إلى ما تحت الدرجة 7 كلفن تحت ضغط 30 GPa. نسب الباحثون هذا الانخفاض في المقاومة إلى التحول لحالة الناقل الفائق. وفضلاً عن ذلك تزداد درجة التحول مع الضغط حتى تصل إلى نهاية أعظمية تبلغ 20 كلفن عند الضغط 48 GPa. أثبت الفريق الياباني أيضاً أن التأثير يُخمد بحقل مغنطيسي ويختفي تماماً من أجل حقول أعلى من 3T. لقد اعتُبر هذا الأمر بشكل عام أقوى دليل تجريبي على الناقلية الفائقة.

وبعد ذلك بقليل أُثبتت هذه النتائج من قبل فريق في معهد كارنيغي في واشنطن في الولايات المتحدة حيث درس كلاً من المقاومة الكهربائية والطواعية المغنطيسية اللتين اعتُبرتا الدليل النهائي للناقلية الفائقة. كانت درجتا الحرارة في كل من الطريقتين متفقتين بشكل جيد.

وجد الباحثون في كارنيغي أن درجة الحرارة الحرجة ازدادت من 9 كلفن عند ضغط 23 GPa إلى حوالي 15 كلفن عند ضغط 36 GPa، ونسبوا ذلك إلى البنية المكعبة المركزية الوجوه. تبقى درجة الحرارة الحرجة ثابتة حتى حوالي 16 كلفن من أجل ضغوط تقع بين 40 GPa و 70 GPa والتي اقترحوا أنها تعود إلى الطور cI16.

إنّ نتائج تجارب أوزاكا وكارنيغي متفقة بشكل جيد. ومن الممكن أن تعود الاختلافات البسيطة بينهما إلى الطريقة التي حُصِر فيه الليتيوم في خلية السندان الماسية. من الصعب جداً دراسة الليتيوم عند الضغط العالي لأنه يتفاعل مع كل من السندانات الماسية والمادة الحشيّة المحيطة بالعينة. يؤدي عزل الإلكترونات المستعملة في قياس المقاومة عن الحشيّة، التي هي عادة مصنوعة من المعدن، إلى جعل التجارب أكثر تعقيداً إلى حدٍّ ما. وبينما حصر فريق أوزاكا عيّنة الليتيوم في حفرة صغيرة حُفرت بالليزر في أحد سندانات الماس، فإن فريق كارنيغي استخدم حشيّة معدنية لامغنطيسية من أجل قياسات الطواعية.

تدل النتائج أيضاً إلى أن الهبوط المفاجيء في المقاومة الكهربائية للّيتيوم الذي لوحظ في تجربة أُجريت في جامعة كاليفورنية في لوس أنجلوس عام 1986 كان عائداً إلى تحول طور ناقل فائق. لاحظ تسير - هو لين T-H Lin وكيه - جيم دون K-J Dunn الهبوط عند درجة الحرارة 7 كلفن والضغوط بين 22 GPa و 32 GPa.

النظرية تحت الضغط

أوصل الليتيوم عدد عناصر النقل الفائق تحت الضغط إلى 23 عنصراً، وهو عدد قريب من عدد عناصر النواقل الفائقة عند الضغط المحيطي والذي يساوي 29 عنصراً. يوجد بين النواقل الفائقة تحت الضغط العالي العناصر المرشحة البعيدة الاحتمال مثل الأكسجين والكبريت، وحتى الحديد الذي

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

يصبح ناقلاً فائقاً في مجال ضيق من الضغط. على أية حال، إنّ درجة الحرارة الحرجة الأعظمية التي لوحظت في الليتيوم (بين 16 و 20 كلفن) هي من بين درجات الحرارة الأعظمية التي لوحظت لأي عنصر، ويوجّه الاهتمام حالياً إلى المعادن القلوية الأخرى.

يملك الروبيديوم والبوتاسيوم بُنية منخفضة التناظر كالسيزيوم ولكن بضغوط أعلى، بينما يتّبع الصوديوم تعاقباً من الأطوار شبيهاً بالليتيوم، ولكن بضغوط أعلى أيضاً. إن اكتشاف الناقلية الفائقة في الليتيوم وتفسيرها سيكون له أيضاً متضمّنات مهمة من أجل الناقلية الفائقة في الهدروجين المعدني المضغوط إلى درجة عالية. الهدروجين هو العنصر الوحيد في المجموعة الأولى من الجدول الدوري الذي لا يعتبر معدناً عند الضغط المحيطي.

تُعتبر اكتشافات الأطوار المنخفضة التناظر والناقلية الفائقة في الليتيوم أمثلة جيدة للتآثرات الشديدة بين النظرية والتجربة في فيزياء الضغط العالي الحديثة. إن التنبؤات النظرية تحرّض الدراسات التجريبية التي تفضي إلى الحاجة لأعمال نظرية أكثر، والتي بدورها تقود إلى قياسات تجريبية أبعد مدىً. على أية حال، لا يكون التوافق بين النظرية والتجربة تاماً. لم تُلاحَظ "الذرّة المتزاوجة" تجريبياً بعد، وقياسات درجات الحرارة الحرجة التي قام بها فريقا أوزاكا وكارنيغي أقل من التنبؤات النظرية بعامل يبلغ الثلاثة أو الأربعة. ويقع التحدي في الوقت الحاضر على النظريين من أجل تشذيب حساباتهم وتفسير نتائجهم التجريبية الأخيرة.■

3- مسرّع يهدف إلى إيجاد منبع جميع العناصر*

يأمل الفيزيائيون النوويون أن يكشف محطّم الذرّات الغالي الثمن عن أسرار كيميائية النجوم، ولكن أولاً لابدّ أن يكون لديهم الاعتماد المالي.

نحن جميعاً نتكوّن من مادة نجمية. والانفجار العظيم أحدث الهدروجين والهليوم وكمية صغيرة من الليثيوم وذرّات خفيفة أخرى. لكن كلّ شيء آخر، الكربون والأكسجين وعناصر أخرى تكوّن الحيوانات والنباتات والكرة الأرضية نفسها، أحدثته النجوم. والمشكلة هي أنّ الفيزيائيين غير متأكّدين تماماً من معرفة كيف صنّعت النجوم هذه العناصر.

ويأمل هؤلاء العلماء أن يكشفوا الجواب بآلة تكلّف 840 مليون دولار تدعى مسرّع النظائر النادرة Rare Isotope Accelerator (RIA). سيحطّم هذا المسرّع ذرّات مستقرة إلى شظايا منتجاً نوىً نادرة غير مستقرة تلعب دوراً قصيراً لكنّه مهمّ في إحداث عناصر ثقيلة. ويعتقد العلماء أنهم بدراسة هذه النوى غير المستقرة أي "تحليل أعمارها النصفية وقابليتها على أسر النترونات وخواص أخرى"، سيكونون في النهاية قادرين على معرفة أين تولّدت كل هذه العناصر الثقيلة. ويشير كلاوس-كونراد غيلبك C-K Gelbke، عالم الفيزياء النووية في جامعة ولاية ميتشيغان في إيست لانسينغ، إلى أنّ آلة RIA ستوضح كل هذه المسألة.

فإذا كان المسرّع RIA هو "المسمار" عندئذ تبدو وزارة الطاقة (DOE) أنّها "المطرقة الممانعة". فعلى الرغم من أنّ مجلس العلوم النووية الاستشاري التابع للوكالة قد أوصى ببناء المسرّع RIA، إمّا في ولاية ميتشيغان أو في مختبر أرغون الوطني في إيلينوي، فإنّ لجانها الأخرى التي تغطي طاقة الاندماج وفيزياء الطاقة العالية تدفع بقوة حتى إلى مشاريع أكثر كلفة. ومن المحتمل أن يؤدّي ذلك التنافس القوي إلى خاسرين ورابحين. فقد صرّح جيمس ديكر J.Decker نائب مدير مكتب العلوم في وزارة الطاقة بقوله: "في الأزمنة التي تكون فيها الميزانيات محدودة لا بدّ من اتخاذ قرارات حازمة". ففي محاولة للتأثير على وزارة الطاقة أشار مؤيدو RIA إلى الاهتمام الأوربي المتنامي ببناء منشأة منافسة في دارمشتات في ألمانية. "فقد شرعوا بإقامة مسار مغامر ومؤكّد"، هذا ما حذّر به غيلبك "مع أنّ مسرّع النظائر النادرة RIA كان قيد البحث منذ أكثر من سنتين".

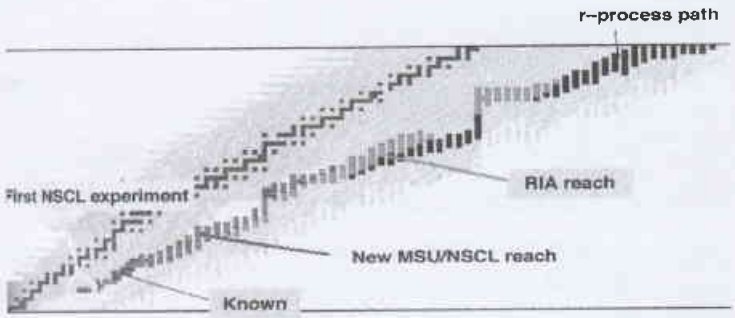
ويأمل العلماء بأنّ المسرّع RIA سيركّز على الجزء النهائي الحاسم من لغز كيفية تصنيع النجوم لعناصر أثقل من الهليوم. ويعلم الفيزيائيون سابقاً، بتفصيل وافر، كيف تُنتَج العناصر الخفيفة مثل الكربون والأكسجين في الأفران النووية للنجوم التي تأخذ الهدروجين وتدمجه لتشكيل الهليوم وعناصر أخرى. غير أنّ الاندماج لا يمكنه خلق عناصر أثقل من الحديد، وهي الذرّة الأكثر استقراراً من كل الذرّات، وهذا يعني أن عناصر مثل الذهب والرصاص واليورانيوم كان عليها أن تُطرّق بطريقةٍ ما أخرى.

ويتولّد معظم هذه العناصر الثقيلة في النجوم أثناء احتضارها. فبعد أن يستنزف النجم مدخراته من وقود الهدروجين يسطع فجأة لفترة قصيرة قبل احتراق الهليوم لمدة مئات الألوف من السنين. والمنتجات الثانوية لهذا الفرن النووي هي كميات وافرة من النترونات التي ترجم العناصر الخفيفة المُنتجَة بالاندماج في الشمس الهرمة. وبتأثير انقضاض النترونات تأسر هذه الذرّات نترونات بصورة متزايدة وتصبح أثقل فأثقل. وعندما تصبح بعيدة جداً عن مجال الاستقرار الذرّي فإنّها تضمحل بانشطار جسيم أو بتحويل نترون إلى بروتون. غير أنّ ورود النترونات يستمرّ وتستمر معه زيادة ثقل النوى، أكثر ممّا تنتجه النجوم العادية بالاندماج، وهذا ما دعاه علماء الفلك بالعملية s- s-process. ويوضّح هندريك شوتز H.Shatz عالم الفيزياء الفلكية النووية في جامعة ولاية ميتشيغان أنّ عملية-s تعلّل تقريباً تشكل نصف العناصر الثقيلة بعد الحديد.

وبمعرفة خواص العناصر المتضمنة في عملية-s وتحليل العناصر المحجوزة في النيازك والرياح النجمية وأماكن أخرى، وجد العلماء أنّها تحدث في مرحلة احتراق الهليوم في النجوم المحتضرة، ويقول مايكل فايشر M.Wiescher عالم الفيزياء الفلكية النووية في جامعة نوتردام في انديانا: "يمكنك استعمال هذه المعلومة لتحديد موقع عملية-s بدقة" ومع

* نشر هذا الخبر في مجلة *Sience*, Vol 298, 22 November 2002. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1- منطقة غير معروفة. عدد صغير من الذرّات (الرمادي القاتم) يكون فقط مستقراً، فتلك الذرّات المحتوية على الكثير من النترونات (تحت الذرّات المستقرّة) ستضمحلّ. سيقوم مسرّع RIA بالتحرّي عن هذه الذرّات الغنية بالنترونات، وبصورة خاصة تلك الذرّات المتضمّنة في العملية-r (اللون الأزرق والأخضر والأحمر والأسود).

ذلك وحتى هذه المعرفة لا يمكن أن تعلّل تشكل نصف العناصر ما بعد الحديد.

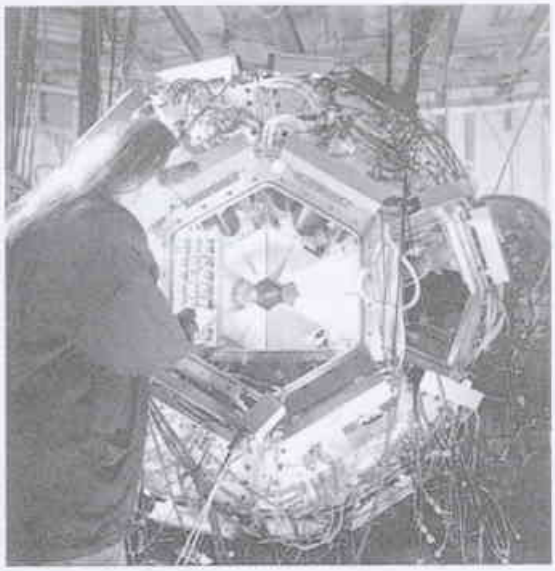
يعتقد الفيزيائيون أن الأمر يتطلب شكلاً مختلفاً من التحويل وأكثر سرعة ويُعرف بالعملية r-process لتشكيل الباقي. تتطلّب العملية-r عدداً من النترونات يقدّر بمليون بليون مرة مما يمكن أن يتمخض عن نجم يحتضر راجماً الذرّات الخفيفة بعدد ضخم من النترونات في ثوانٍ. وعلى عكس العملية-s البطيئة التي تُكدّس فيها الذرّات نترونات بوتيرة هادئة على مدى مئات الألوف من السنين، فإن العملية-r "تغمر" الذرّات بقذف من النترونات لدرجة لا تتسنّى لها الفرصة للاضمحلال قبل أن تستوعب نتروناً بعد آخر. ولذلك تنتفخ الذرّات في الحجم بسرعة وتمر من حالة غير مستقرة إلى حالة أخرى غير مستقرة وهي تتنامى. وبعد أن يتوقّف القذف تضمحلّ المنتجات إلى عناصر مستقرة أو شبه مستقرة (مثل اليورانيوم) التي تتبعثر على منظومتنا الشمسية.

تلك هي النظرية، ولكنّ العلماء لا يزالون غير متأكّدين من ماهية الشيء أو الحدث الذي يقدح العملية-r. والعناصر المتضمّنة في العملية-r هي على النحو المشار: حوامل نترونات غير مستقرة إلى حدٍّ بعيد وقصيرة العمر ولم يستطع العلماء دراستها في المختبر. يقول فايشر: "تجري مناقشات كثيرة حول المكان الذي تحدث فيه العملية-r في الواقع. ويتابع: "إنّه يتعيّن حيازة دفق نتروني كبير ووسط غني بالنترونات وشروط ترموديناميّة معيّنة من درجة حرارة وضغط وأنتروبية. وحتى الآن يوجد مرشّحان اثنان: وأحد المرشّحين الاثنين هو التصادم العنيف لنجمين نترونيين. غير أنّ الفيزيائيين يعتقدون أنّه من المرجّح أن تحدث العملية-r في الجائحة العنيفة لانفجار مستعر فائق: أي الناتج إمّا من موجة صدم فائقة الكثافة تنتشر بعيداً عن المستعر الفائق أو من "الريح" الهائلة من النترينوات التي تدفع المادة بعيداً عن الانفجار.

يأمل علماء الفيزياء النووية من مسرّع النظائر النادرة RIA أن يملأ هذه الثغرة من المعرفة. سيقيس المسرّع الخواص الأساسية لعناصر غير مستقرة إلى حدّ بعيد تتضمّن الكثير من تلك العناصر المتضمّنة في العملية-r. ويشير تشاتز Schatz إلى أنّ عناصر العملية-r بعيدة كل البعد عن الاستقرارية، ولكن لدى المسرّع RIA الشدة والانتقائية للوصول إليها. ويتابع القول "أعتقد أنّه مع المسرّع RIA سنتوصل إلى فهم مؤكّد ومهمّ للفيزياء النووية التي تعتمد عليها العملية-r.

صُمّم مسرّع RIA لتكوين هذه العناصر في طريقتين. تستخدم الطريقة الأولى حزمة من الذرّات الخفيفة التي تضرب مجموعة كبيرة من عناصر ثقيلة مثل اليورانيوم أو الثوريوم محطّمة النوى في الهدف ومحدثة شظايا غير مستقرة. تسخّن كتلة الهدف بعد ذلك لنثر الشظايا، وبعدئذ تفرز وتُقاس. ومع الأسف فإنّ هذه الطريقة، التي استخدمت في مختبرات الأيون الثقيل الحالية، مثل مختبر إيسولد ISOLDE في "سيرن" (مختبر فيزياء الجسيمات الأوربي بالقرب من جنيف) ومختبر تريامف TRIUMF في فانكوفر في كندا، لا يمكن أن تُحلّل الأنواع ذات العمر القصير جداً التي تضمحل قبل أن تتمّ عملية الاستخلاص.

غير أنّ مسرّع RIA يمكن أن يستخدم طريقة أخرى، طريقة شارك في تطويرها مختبر السيكلوترون الوطني ذو النقل الفائق (NSCL) في جامعة ولاية ميتشيغان، حيث تُطلق حزمة من عناصر ثقيلة على هدف رقيق من عناصر خفيفة. تتحرّك شظية النوى الثقيلة عبر الهدف ويتم فرزها مباشرة إلى أنواع مختلفة بحسب كتلتها وشحنتها. ولأنّ هذه الطريقة لا تضيّع الوقت بالاستخلاص من الهدف الثخين، يستطيع العلماء قياس الأنواع ذوات الأعمار القصيرة جداً بسرعة. وحالما يفهم علماء الفيزياء النووية خواص العناصر المتضمّنة في العملية-r سيكونون قادرين على إيجاد الشروط النجمية الضرورية لحدوثها. "وهذه الطريقة تتمتع بفرصة في الواقع لحلّ مشكلة العملية-r" هذا ما أشار إليه دونالد غيسامان D.Geesaman مدير قسم الفيزياء التابع لمختبر أرغون الوطني.



الشكل 2- ماسك الذرّات. سيبدو أحد مكاشيف مسرّع RIA شبيهاً لأبعد الحدود لهذا المكشاف في مختبر الأيون الثقيل في ولاية ميتشيغان.

وكفائدة إضافية، سيكون مسرّع RIA قادراً على أن يزوّد بالنظائر النادرة من أجل دراسات أخرى بما في ذلك أبحاث البنى النووية الأساسية والتجارب المتعلقة بالتكاثر النووي أو حتى التطبيقات الطبية. ويبيّن غيسامان أنّ المسرّع RIA سيفتح عالماً جديداً كاملاً، فأيّ نظير تحتاجه يمكن الحصول عليه.

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

ولكن طبعاً إذا تمّ بناؤه! يشير ديكر مدير مكتب العلوم في وزارة الطاقة إلى أنّه لا يوجد قرار وشيك يُحدّد له وضعية تجعل مؤيّدي الولايات المتحدة غير مرتاحين. ففي الأسبوع الماضي وضع مجلس العلوم الألماني أولويات لمشاريع العلوم الرئيسة وكان مختبر الأيون الثقيل الذي يكلّف 675 مليون دولار من بين التجارب التي اعتُقد أنها تستحق الانتباه. وهذا المختبر غير المسمّى الذي ربّما يُبنى في مركز أبحاث الأيون الثقيل في دارمشتات في ألمانية يتوافق كثيراً مع المسرّع RIA على الرغم مما ذكره "غلبك": أنّه من المحتمل أن لا يضع هذا المختبر مشكلة العملية-r في حالة سكون؛ وتعني مهمته الأوسع أنّه لن يكون قادراً على دراسة عدد كبير من العناصر كما سيقوم به مسرّع RIA.

وأضاف غلبك "إنّنا واثقون ومستعدون للمضي وكل ما نحتاجه هو القرار".■

4- البوزونات تساعد في قهر ضغط فِرمي*

يمكن لقابلية انهيار غاز فِرمي أن تقدم لنا معلومات أكثر حول الميوعة الفائقة

توصف كل ذرّة، في غاز مؤلّف من ذرّات متماثلة، برزمة أمواج دو بروي De Broglie متوضّعة، وإذا ما جرى أسر الغاز وتبريده، فإن الذرّات تقترب بعضها من بعض وتصبح أطوال أمواج دو بروي الخاصة بها أكثر طولاً. وعندما يُبرد الغاز إلى حدٍّ أبعد تصبح رزمات الأمواج أكبر وتبدأ في آخر الأمر بالتراكب والتداخل بعضها مع بعض. وما يحدث بعد ذلك في هذه الغازات المتردية كمومياً يعتمد على ما إذا كانت الذرّات بوزونات أو فرميونات. برهنت الغازات الكمومية لكلا النوعين في الوقت الحاضر على أنها مصدر غني لفيزياء جديدة، وبقي هذا الاتجاه مستمراً بإجراء تجارب على غازاتٍ تحوي النوعين من الذرّات، مثل ملاحظة انهيار غاز فِرمي المتردي، من قِبَل الباحثين في المختبر الأوربي من أجل المطيافية اللاخطية في فلورنسة، إيطالية.

إذا كانت الذرّات في الغاز الفائق البرودة بوزونات - أي إذا كان عدد السبين الكمومي لها عدداً صحيحاً - فإنها ستنهار جميعها إلى الحالة الكمومية الأساسية نفسها. تُوصف هذه الحالة الجديدة من المادة، التي يطلق عليها اسم كُثافة بوز - آينشتاين Bose-Einstein، برزمة موجة دو بروي مفردة تملأ كلّ حجم الكُثافة. وكلما كانت التأثرات بين الذرّات تدافعية تكون الكُثافة مستقرة. على أية حال، فإن الكُثافة ستنهار بشكل طبيعي إذا جذبت الذرّات بعضها بعضاً.

البوزونات والفرميونات

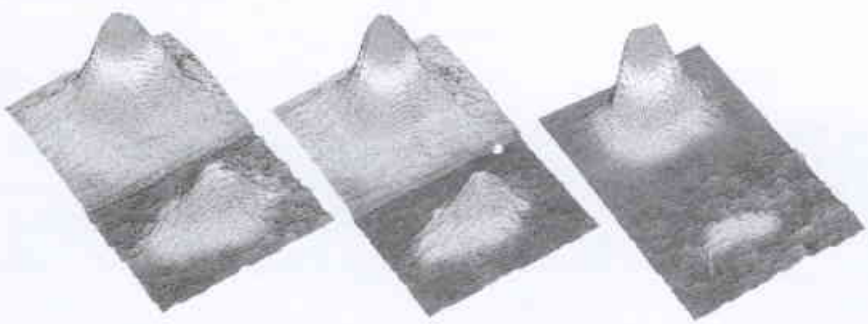
برهنت كُثافات بوز في السنوات الحالية على أنها منظومات رائعة من أجل دراسة الموائع الكمومية وخواصها الأساسية، وبصورة خاصة طورها الكمومي الجهري، وقد لاحظ التجريبيون اهتزازات جوزفسون Josephson والميوعة الفائقة وأهداب التداخل بين أمواج المادة من الكُثافات.

على أية حال، إذا كانت الذرّات في الغاز فرميونات؛ أي إذا كانت الأعداد الكمومية لسبيناتها تساوي 1/2 و3/2 و5/2 وهكذا، فإن الغاز يسلك سلوكاً مختلفاً تماماً. وبخلاف البوزونات التي تنزع إلى التجمع معاً، فإن الفرميونات تفضل أن تُبقي على المسافات فيما بينها لأن مبدأ باولي Pauli في الاستبعاد يمنع فرميونين متماثلين من أن يشغلا الحالة الكمومية نفسها. يقود هذا إلى تدافع فعّال جداً بين ذرّات فرمي متماثلة.

يعني "ضغط فرمي" أن غاز فرمي المأسور سيكون له حجم وطاقة حركية كبيران نسبياً، حتى في درجات الحرارة القريبة من الصفر المطلق. تثبت هذه العملية أيضاً الأقزام البيضاء والنجوم النترونية أمام الانهيار التثاقلي. على أية حال، بيّن ماسيمو إنغوسكيو M. Inguscio ومعاونوه حالياً في فلورنسة أن كُثافة بوز المنطمرة في غاز فرمي المتردّي تستطيع أن تُحدِث انهيار الغاز.

مزج فريق فلورنسة غاز فِرمي المتردي لذرّات البوتاسيوم-40 مع كُثافة بوز الحاوية ذرّات الروبيديوم-97. وبعد تبريد ليزري بدئي، جرى تبريد بخار الروبيديوم أكثر بفعل التبخير: سُمح للذرّات الأكثر سخونة بأن تترك الوسط، بينما أعيد تسخين الذرّات الباقية إلى درجة حرارة أخفض بفعل تصادمها بعضها مع بعض.

على أية حال، لا تنفع هذه الطريقة المعيارية من أجل تبريد البوزونات مع الفرميونات لأن مبدأ باولي يوقف تصادمها بعضها مع بعض، مما يعني



عندما يتم تبريد غاز يحتوي على كلٍّ من ذرّات الروبيديوم والبوتاسيوم إلى الدرجة 240 نانو كلفن، تنهار ذرّات الروبيديوم إلى كُثافة بوز (الذروة الخضراء، يسار المؤخرة) التي تتعايش مع غاز فرمي المتردي لذرّات البوتاسيوم (الذروة الخضراء، المقدمة). وبازدياد عدد الذرّات في الكُثافة (في الوسط) فإن سحابة البوتاسيوم لا تتغير كثيراً بصرف النظر عن فقدان عدد قليل من الذرّات من خلال التصادمات غير المرنة. على أية حال، أُخذت هذه الصور من توقيف التجربة عند أزمنة مختلفة، وتحرير السحب وتصوير الضوء المتبعثر بفعل السحابة باستخدام كاميرا CCD.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, November 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

أنها لا تستطيع إعادة التسخين بعد أن تترك الذرّات الأكثر سخونة المصيدة. وبدلاً عن ذلك جرى تبريد ذرّات البوتاسيوم بوضعها في المصيدة نفسها مثل سحابة الروبيديوم والاعتماد على تصادمات ذرّات الروبيديوم - البوتاسيوم لإبقائها في توزان حراري. تعمل ذرّات الروبيديوم بصورة أساسية كبرّاد وكلا السحابتين تبردان وتتقلّصان معاً.

وحالما تنخفض درجة الحرارة إلى عدة مئات نانو كِلفن، تبدأ الرزم الموجية الذرّية بالتراكب بعضها مع بعض. تتوقف سحابة البوتاسيوم عن التقلص عند حوالي 360 نانو كِلفن بسبب ضغط فرمي. وعلى أية حال، تستمر سحابة الروبيديوم بالصِّغَر وتُشكل كُثافة بوز عندما تصل درجة الحرارة إلى 240 نانو كلفن.

ولما كان تشكل الكُثافة حادثة مثيرة تماماً في حدّ ذاتها، فإنها تترافق مع شيء أكثر روعة حيث ينخفض عدد ذرّات البوتاسيوم بنسبة 75% في أقل من 50 ملّي ثانية (انظر الشكل). يعود سبب هذا الانهيار المذهل إلى التجاذب القوي بين ذرّات الروبيديوم والبوتاسيوم. عندما يصل عدد ذرّات الروبيديوم في الكُثافة إلى قيمة حرجة (حوالي 10^5)، فإن هذا التجاذب يتجاوز ضغط فرمي ويسبب انهيار سحابة البوتاسيوم. تصبح كثافة ذرّات البوتاسيوم الآن عالية جداً بحيث تستطيع الجزيئات أن تتشكل بتصادمات ثلاثة أجسام، مما يتسبب في "فقد" الذرّات بسرعة من السحابة. وجد إنغوسكيو ومعاونوه أن غاز فِرمي ينهار فقط إذا كان يحتوي على أكثر من حوالي 10^4 ذرّة بوتاسيوم.

تحويل الفرميونات إلى بوزونات

تبيّن نتيجة فلورنسة كيف يمكن معالجة التآثر بين الفرميونات من خلال تزاوجها مع البوزونات. تستطيع الإلكترونات المتعاكسة السبين في الناقل الفائق أن تشكل أزواج كوبر بسبب تآثرها المشترك مع فونونات الشبيكة. وبنفس الطريقة، إلى حدٍّ كبير، تمّ التنبؤ حالياً أنه إذا ما أمكن وضع نصف ذرّات البوتاسيوم في تجربة إنغوسكيو في حالة سبين مختلفة، فإنها يمكن أن تشكل أزواج كوبر نتيجة لتآثراتها مع ذرّات الروبيديوم. ويصبح غاز فرمي حينئذ مائعاً فائقاً.

والمسألة الأكبر التي فيها نظر هي كيف تسلك حالات السبين الأخرى لغاز البوتاسيوم عندما تصطدم مع البوتاسيوم والروبيديوم. وبفرض أن التصادمات مواتية، فإن الانتقال إلى الميوعة الفائقة يجب أن يتم في درجات حرارة وكُثافات مشابهة لتلك التي أُنجزت في تجربة فلورنسة سابقاً. يمكن كشف الانتقال بشكل أكثر سهولة كتغير في الطريقة التي تتمدد فيها السحابة عندما يتم تحررها من المصيدة.

وبالسماح لغاز فِرمي بأن يُبدي خواص بوزونية مثل اهتزازات جوزفسون وتيارات دائمة فإن الحالة الجديدة هذه ستفتح فصلاً جديداً ومثيراً في قصة الذرّات الباردة.■

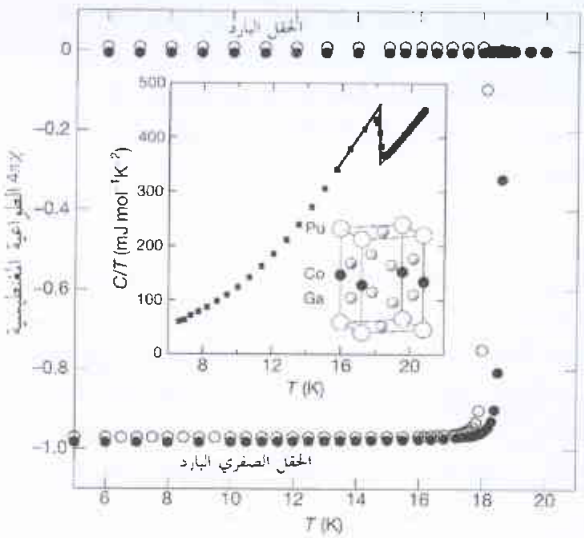
5- الناقلية الفائقة القائمة على البلوتونيوم بدرجة حرارة انتقال أعلى من 18 كلفن*

البلوتونيوم معدن ذو أهمية علمية أساسيه وله علاقة بالتقانة. مع ذلك، يُساء فهم البنية الإلكترونية للبلوتونيوم التي تؤثر مباشرة في خواصه التعدينية [1]. فعلى سبيل المثال، تتوازن إلكترونات المدار 5f للبلوتونيوم على الحدّ الفاصل بين الإلكترونات المتوضّعة والمتجولة، وتؤدي معالجتها النظرية إلى زيادة حدود حسابات البنية الإلكترونية الحالية [2]. ونحن هنا نوسّع مجال التعقيد الذي يبديه البلوتونيوم باكتشاف الناقلية الفائقة في مركب $PuCoGa_5$. ونحاول أن نثبت أن الناقلية الفائقة التي لوحظت تنجم مباشرة عن الخواص الإلكترونية الشاذة للبلوتونيوم وهذا بالتالي يفيد كأداة ربط بين فئتين من النواقل الفائقة المتوسطة بالتأرجح السبيني وهما: النواقل الفائقة المعروفة ذات الفرميونات الثقيلة وأكاسيد النحاس عالية درجة الحرارة T_c. ونشير إلى أن آلية الناقلية الفائقة ليست تقليدية، كما هو واضح في السياق، وهذه الحقيقة، التي مفادها أن درجة حرارة الانتقال $Tc \approx 18.5$ K، أعلى بمرتبة من الحد الأقصى الذي لوحظ في منظومات الفرميونات الثقيلة التي تعتمد على السيريوم وعلى اليورانيوم، يمكن أن تكون طبيعية. فالتيار الحرج الكبير الذي ينشره المركب $PuCoGa_5$ الناجم عن الضرر الذاتي المحرّض إشعاعياً الذي يُحدث مراكز تثبيت، سيكون على قدر من الأهمية التقانية للناقلية الفائقة المطبقة إذا لم يكن البلوتونيوم المادي الخطر مُكوناً أساسياً.

جرت تنمية بلّورات مفردة كبيرة ومسطحة من مركب $PuCoGa_5$ وذلك بخلط البلوتونيوم والكوبالت مع كمية زائدة من الغاليوم في بوتقة من الألومينا. وغُلّفت البوتقة في قارورة من الكوارتز مفرّغة وسُخّنت إلى درجة حرارة 1100 °C ومن ثم بُرّدت لمدة أربعين ساعة إلى درجة حرارة 600 °C. وعند هذه الدرجة تمّ التخلص من الدفق الزائد باستخدام النابذة. تشير قياسات انعراج أشعة X في البلّورة المفردة إلى أن المادة الناتجة هي رباعية بثوابت شبيكية في درجة الحرارة العادية $a = 4.232$ Å و $c = 6.786$ Å. تتألف هذه البنية من طبقات متناوبة من $PuGa_3$ و $CoGa_2$ وتتطابق مع بنية $HoCoGa_5$ المذكورة فيما يتعلق بغاليدات أساسها اليورانيوم بثوابت شبيكية مماثلة تماماً [3]. هذا أيضاً هو نمط البنية الذي تتبلور فيه فئة من النواقل الفائقة غير التقليدية $CeMIn_5$ أساسها السيريوم (حيث إن M هي Co، Ir، Rh) [4]. لقد أجريت قياسات الطواعية المغنطيسية، والحرارة النوعية، والمقاومة النوعية الكهربائية على مركب $PuCoGa_5$ كتوابع لدرجة الحرارة والحقل المغنطيسي. وأعيد استخلاص بعض النتائج التي تمّ الحصول عليها في مختبر لوس آلاموس في كارلسروي Karlsruhe (باستخدام ^{239}Pu ذي الإقلاع مختلف) بسحب صفيحات صغيرة أحادية البلّورة من مواد مصهورة قوسياً. إن الإمكانية الممتازة لإعادة استخلاص النتائج في المختبرين تثبت الطبيعة النشطة للخواص الأساسية التي جرت ملاحظتها.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 420, 21 November 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

يوضّح الشكل 1 قياسات الحرارة النوعية، والطواعية المغنطيسية منخفضة درجة الحرارة على $PuCoGa_5$. إذ تشير المغنطة المبرّدة ذات الحقل الصفري والمقيسة في حقل شدّته 10 Oe إلى انتقال مغنطيسي معاكس حاد عند درجة حرارة 18.5 K. وعند درجة حرارة منخفضة تقابل هذه الإشارة مغنطيسية معاكسة تامة بنسبة 100% تقريباً. وتؤكد قياسات السعة الحرارية انتقالاً طورياً حجمياً. إن معامل سومرفيلد $\gamma = 77\ mJ\ mol^{-1}K^{-2}$ بالنسبة للمركب $PuCoGa_5$ يمكن مقارنته بالقيمة الملاحظة ($\gamma = 50\ mJ\ mol^{-1}K^{-2}$) δ -Pu [5، 6] وهو يدل على تعزيز كتلة شبه جسيم معتدل. وبأخذ ماتقدم بعين الاعتبار، فإن هذه المعطيات تقدم دليلاً واضحاً عن الناقلية الفائقة الحجمية في المركب $PuCoGa_5$، ومثل هذه الملاحظة كانت الأولى في مركب للبلوتونيوم. إن الفرق التقريبي 0.25 K في T_c بين قياسات السعة الحرارية والمغنطيسية يقدم دلالة بسيطة مفادها أن المركب المعني يحتوي على البلوتونيوم: إذ تتناقص T_c لمركب $PuCoGa_5$ بمعدل 0.2 K تقريباً في الشهر، كنتيجة مفترضة مسبقاً للضرر الذاتي المحرّض إشعاعياً. بالتالي، تعطي القياسات

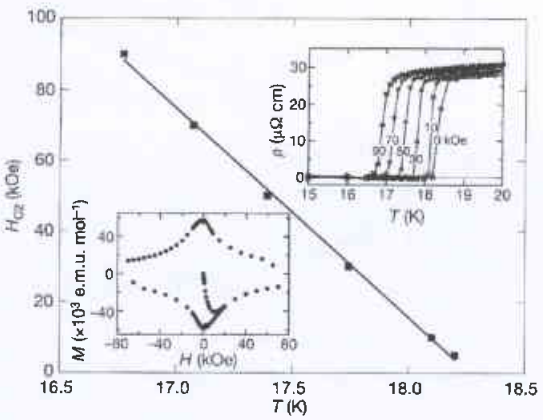


الشكل 1– البنية البلّورية لمركب $PuCoGa_5$ والدليل على ناقليته الفائقة. فالمركب $PuCoGa_5$ يتبلور في الزمرة الفضائية P4/mmm كما يلي: Pu, 1a, (0,0,0) Co, 1b, (0,0,0,5), Ga1, 1c,(0.5, 0.5, 0), Ga2, 4i, (0,0.5,0.312). قيست الطواعية المغنطيسية ذات الحقل البارد والحقل الصفري البارد للمركب $PuCoGa_5$ في 10 Oe بالنسبة لبلّورة مفردة جديدة (الرموز الملآنة) وبلّورة أحادية قديمة (الرموز المفرغة). وأجريت قياسات مغنطة في مقياس مغنطيسي SQUID (نبيطة تداخل كمومية فائقة الناقلية) ذي تصميم كمومي مع العينة المختومة في حامل من الألومينا مصمم لتقليص إشارة الخلفية إلى أدنى حدٍّ ممكن وبالتالي منع انتشار التلوث الإشعاعي. تبين الصورة الصغيرة المدرجة في هذا الشكل السعة الحرارية التي صيغت كسعة حرارية ، C، مقسومة على درجة الحرارة مقابل درجة حرارة المركب $PuCoGa_5$. أجريت قياسات السعة الحرارية في جهاز قياس الخواص الفيزيائية ذي تصميم كمومي على بلّورة أحادية 27-mg. إن التسخين الذاتي حدّد أدنى درجة حرارة قياس بـ 6.6 K، مع أن المقياس الحروري وصل إلى درجة حرارة أساسية قدرها 1.5 K. إن القفزة في C/T عند T_c تقابل $\Delta C/T_c = 110 \pm 4\ mJ\ mol^{-1}K^{-2}$. على فرض أن قيمة BCS من أجل $\Delta C/\gamma T_c$ تعطي $\gamma = 77\ mJ\ mol^{-1}K^{-2}$. إن المواءمة في معطيات السعة الحرارية فوق T_c تعطي تقديراً لدرجة حرارة دباي Debye قدرها 240 K.

غير المتواقتة قيماً متباينة قليلاً لـ T_c. وهذا الأثر واضح أيضاً في قياسات المغنطة. وقد أُجريت قياسات على العيّنة ذاتها، لكنها متباعدة زمنياً بحوالي شهرين، وهذا يشير إلى انخفاض في T_c قدره 0.4 K.

إن مثل هذه القيمة العالية لـ T_c تبقى غير عادية بالنسبة لمركّب بين معدني (ففي عددٍ ضئيلٍ فقط من المركّبات البيمعدنية وعلى رأسها MgB_2 بدرجة حرارة T_c قدرها 39 K [7]، تتجاوز قيم T_c مقدار 18 K). فالحقل الحرج العلوي في مركب $PuCoGa_5$ كبير بصورة مماثلة. يبيّن الشكل 2 معطيات المقاومة النوعية التي تعتمد على الحقل ومخطط طور الحقل الحرج العلوي الناجم $H_{c2}(T)$ الذي تمّ استخلاصه من هذه المعطيات، ونجد، على وجه الخصوص، ميلاً بدئياً dH_{c2}/dT قدره $-59\ kOeK^{-1}$. وفي تقريب WHH [8]، يكون الحقل المداري العلوي الحرج $H_{c2}(0) = -0.69T_c\ dH_{c2}/dT = 740$ kOe. وهذا التقدير كبير تماماً ويتجاوز حد باولي ($H_p = 18.6\ (kOe\ K^{-1})\ T_c = 340$ kOe) [9]. نستنتج من هذه القيمة لـ H_{c2} المداري طول ترابط جنزبورغ – لانداو Ginzburg-Landau coherence الممثل بالعلاقة $\xi_{GL} = [\Phi_0/2\pi\ H_{c2}(0)]^{0.5} = 2.1$nm. علاوة على ذلك، وبفرض أن طول ترابط Bardeen-Cooper-Schreiffer (BCS) $\xi_{BCS} \approx \xi_{GL}$ وأن البلوتونيوم ثلاثي التكافؤ (انظر أدناه)، نحسب $\gamma \approx 58\ mJ\ mol^{-1}K^{-2}$ في تقريب الإلكترون الحر، وفق المعطيات في الشكل 1.

إن الشكل الصغير السفلي المدرج ضمن الشكل 2 يقدم دورة مغنطة كاملة M(H) لمركّب $PuCoGa_5$ عند درجة حرارة 5 K. ونحسب الحقل الحرج العلوي $H_{c1} \approx 350$ Oe من الحقل الذي تنحرف فيه M عن تبعيته الخطية البدئية H. إن الخطية التقريبية لـ M(H) بالنسبة إلى حقول أعلى بكثير تشير إلى تثبيت تدفق قوي وتنسجم مع غياب أثر مايسنر Meissner القوي في معطيات الحقل البارد في الشكل 1. ويعطي المتوسط الهندسي لـ H_{c1} و H_{c2} الحقل الحرج الترموديناميي $H_c \approx 16$ kOe. وهذه القيم لـ H_{c2} و H_{c1} و H_c تشير إلى أن المركّب $PuCoGa_5$ هو ناقل

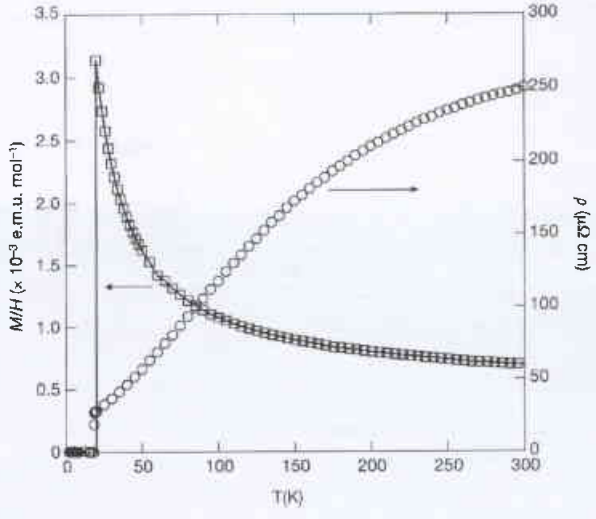


الشكل 2– الحقل الحرج العلوي لمركب $PuCoGa_5$ كتابع لدرجة الحرارة. تبين الصورة الصغيرة العلوية المدرجة في الشكل معطيات المقاومة النوعية المعتمدة على الحقل التي استنبط منها المخطط الطوري لدرجة الحرارة الحقلية. بينما تبين الصورة السفلية المدرجة في الشكل دورة مغنطة تمثيلية للمركب $PuCoGa_5$، والتي قيست عند درجة حرارة 5 K.

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

فائق من النمط II بشكل واضح بوسيط جنزبورغ - لاندو $\kappa \approx 32$، وبعمق اختراق لوندون London قدره 124 nm. من طاقة التكاثف $-1/2N(0)\Delta^2(0) = H_c^2/8\pi\mu_0$ ونتيجة BCS التي مفادها أن $\Delta(0) = 1.76\ kT_c$، نحسب $\gamma = 73\ mJmol^{-1}K^{-2}$، وهذا يتوافق أيضاً مع معطيات الشكل 1، حيث N(0) هي كثافة الحالات الإلكترونية، و Δ هي الفرجة فائقة الناقلية، و μ_0 هي قابلية النفاذ و k هو ثابت بولتزمان. وتمّ الحصول أيضا على معطيات المغنطة فيما يتعلق بيلّورة مفردة أكبر وذات شكل أفضل، مع ذلك تكون المعطيات محدودة بـ $T > 0.9\ T_c$ وهذا يعود إلى تشبع منظومة كشف السكويد SQUID. ويمكن إجراء تقييم بسيط للتيار الحرج من بيانات درجات الحرارة العليا هذه باستخدام نموذج Bean للحالة الحرجة [10]. نجد قيماً منخفضة الحقل $J_c > 10^4\ A\ cm^{-2}$ من أجل $T > 0.9T_c$. ومثل هذه القيم تعدُّ منافسة لأفضل النواقل الفائقة المطبقة والمتاحة. بالإضافة إلى ذلك، وخلافاً لتردي T_c، فإن J_c يتزايد مع الزمن بعامل 2 تقريباً خلال الفترة الزمنية ذاتها التي تتناقص فيها T_c بمقدار 0.4 K، وهذا يعود حتماً إلى العدد المتزايد لمراكز التثبيت المحرّضة إشعاعياً.

إن الخواص فائقة الناقلية للمركّب $PuCoGa_5$ مناسبة بشكل مذهل لآلية التخريب الذاتي في البلوتونيوم. ويؤدي الاضمحلال الإشعاعي للبلوتونيوم 239 إلى تشكيل جسيم ألفا عالي الطاقة ونواة يورانيوم. يحصل التخريب الأساسي بفعل نواة اليورانيوم التي تمّت إزاحتها بمقدار 12 nm ويُحدِث حوالي 2.300 زوج فرينكل من الفراغات والمواقع البينية المزاحة والموزعة على مجال 7.5 nm [11]. وهذا التخريب يتوزع عشوائياً عبر حجم المادة لأنه ينشأ من اضمحلال تلقائي للبلوتونيوم. وتُحدِث العيوب، ذات الأبعاد الفضائية من مرتبة طول الترابط فائق الناقلية تثبيتاً للتدفق الفعّال وتيارات حرجة عالية [12].



الشكل 3- خواص الحالة النظامية لمركب $PuCoGa_5$. تزداد المقاومة النوعية الكهربائية ρ (دوائر) بصورة تقريبية عندما تزداد $T^{1.35}$ تماماً من فوق T_c إلى 50 K. إن الطواعية المغنطيسية $\chi \equiv M/H$ (المربعات) كتابع لدرجة الحرارة تتبع $\chi = \chi_0 + C/(T-\theta)$ بعزم فعّال $\mu = (8C)^{1/2} = 0.68\ \mu_B$ ودرجة حرارة تفاعل متبادل $\theta \approx$ -2 K.

إن الفهم المفصّل للسبب الذي يكمن وراء هذه الناقلية الفائقة عالية درجة الحرارة في مركّب $PuCoGa_5$ لابد أن ينتظر الدراسات الشاملة المتعلقة بحالتها النظامية وحالة ناقليتها الفائقة معاً، ومع ذلك تشير إلى ذلك المعطيات المتاحة. يبيّن الشكل 3 معطيات الطواعية المغنطيسية والمقاومة النوعية الكهربائية على مجال عريض من درجة الحرارة لمركّب $PuCoGa_5$. إن تابعية المقاومة النوعية الكهربائية لدرجة الحرارة تذكر بالمقاومة النوعية لـ $UMGa_5$ [3، 13] وتوحي بوجود تبعثر فوضوي سبيني عند درجة حرارة عالية. وتشير تابعية الطواعية المغنطيسية لدرجة الحرارة في مركّب $PuCoGa_5$ إلى سلوك ذي عزم متوضّع قريب من السلوك المتوقع في Pu^{3+}. وتوجد الطواعية ذات العزم المتوضّع في مركب $CeCoIn_5$ [4]، لكن المركّب $UCoGa_5$ المتجانس البنية [3] ينشر مغنطيسية مسايرة مستقلة عن درجة الحرارة انسجاماً مع سلوك إلكترون المدار f المتجول. ويتبيّن من هذه المعطيات أن درجة توضّع إلكترون المدار 5f في المركب $PuCoGa_5$ تقع بين مماثليه من المركّب الذي أساسه السيريوم والمركّب الذي أساسه اليورانيوم. وهذه النتيجة تنسجم مع تقديراتنا الكثيرة للتعزيز منخفض درجة الحرارة فيما يتعلق بالسعة الحرارية الإلكترونية وتقود إلى توقّع معقول بأن الناقلية الفائقة في مركّب $PuCoGa_5$ يمكن أن تكون غير تقليدية. ومع أن هذا يمكن أن يكون موضع تساؤل فإن البديل، أي الناقلية الفائقة المتوسطة بالفونون بدرجة حرارة 18-K وبوجود الطواعية ذات العزم الموضعي يمكن أن يكون موضع تحدٍّ على نحو مماثل. علاوة على ذلك، فإن المركّب $UCoGa_5$ المتجانس البنية الذي لـ ليد إشارة لعزم موضعي، ليس ناقلاً فائقاً.

في سيناريو عن الناقلية الفائقة غير التقليدية، فإن T_c الأعلى بمرتبة تقريباً في المركّب $PuCoGa_5$ مقارنة بما هي عليه في المركّب $CeCoIn_5$ يمكن نسبها إلى التهجين المتزايد بما ينسجم مع التوقعات المتعلّقة بنماذج الناقلية الفائقة المتوسطة مغنطيسياً. بالإضافة إلى ذلك، إن إلكترونات المدار 5f للأكتينيدات تتوسط بين إلكترونات المدار 4f الأكثر توضّعاً في التُّرب النادرة وإلكترونات المدار d المتجولة في المعادن الانتقالية. ويمكن أن يشير انضمام البنية البلّورية المطبقة مع حالة اللاتوضع الأكبر إلى أن $T_c \approx$ 200 mK الملحوظة في مركّب $CeIn_3$ [14]، وهو المركّب المماثل لمركّب $CeCoIn_5$ ذي الـ T_c المنخفضة والثلاثي الأبعاد [4]، ترتبط مع $T_c \approx 20$ K في المركب $PuCoGa_5$. وبنتيجة ذلك، فإن المركّبات مابعد اليورانيوم يمكن أن تمثل مجالاً واعداً في الناقلية الفائقة، وتتوسط بين النواقل الفائقة ثقيلة الفرميونات المعروفة وأكاسيد النحاس عالية Tc.

المراجع REFERENCES

[1] Hecker, S. S. The complex world of Plutonium Science. MRS Bull. 26, 672-678 (2001).

[2] Savrasov, S. Y., Kotliar, G. & Abrahams, E. Correlated electrons in δ-plutonium within a dynamical mean-field picture. Nature 410, 793-795 (2001).

[3] Grin, Yu. N., Rogl, P. & Hiebl, K. Structural chemistry and magnetic behavior of ternary uranium gallides U (Fe,

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

Co, Ni, Ru, Rh,Pd, Os, Ir, Pt)-Ga_5. J. Less Common Met. 121, 497-505 (1986).

[4] Petrovic, C. et al. Heavy-fermion superconductivity in $CeCoIn_5$ at 2.3 K. J. Phys. Condens. Matt 13, L337-L342 (2001).

[5] Wick, O. J. (ed.) Plutonium Handbook a Guide to the Technology 33-57 (American Nuclear Society, LaGrange Park, IL, 1980).

[6] Stewart, G. R. & Elliott, R. O. Actinides in Perspective Abstracts Lawrence Berkeley Laboratory Rerport no.12441 206-207 (Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 1981).

[7] Nagamatsu, J., Nakagawa, N., Muranaka, T., Zenitani, Y. & Akimitsu, J. Superconductivity at 39 K in magnesium diboride. Nature 410, 63-64 (2001).

[8] Werthamer, N. R., Helfand, E. & Hohenberg, P. C. Temperature and purity dependence of the superconducting critical field, H_{c2}. III. Electron spin and spin-orbit effects. Phys. Rev. 147, 295-302 (1966).

[9] Clogston, A. M. Upper limit for the critical field in hard superconductors. Phys. Rev. Lett. 9, 266 (1962).

[10] Bean, C. P. Magnetization of hard superconductors. Phys. Rev. Lett. 8, 250-253 (1962).

[11] Wolfer, W. G. Radiation effects in plutonium. Los Alamos Sci. 26, 274-285 (2000).

[12] Campbell, A. M. & Evetts, J. E. Flux vortices and transport currents in type II superconductors. Adv. Phys. 21, 199-427 (1972).

[13] Tokiwa, Y. et al. Magnetic and Fermi surface properties of $UPtGa_5$. J. Phys. Soc. Jpn 71, 845-851 (2002).

[14] Mathur, N. D. et al. Magnetically mediated superconductivity in heavy fermion compounds. Nature 394, 39-43 (1998).■

6- الأمواج الكونية تُظهر الاستقطاب*

تمّ للمرّة الأولى اكتشاف الاستقطاب في إشعاع خلفيّة الموجة المكرويّة الكونيّة (أي "صدى" الموجة المكرويّة في الانفجار العظيم). فقد استخدم جون كارلستروم J. Carlstrom من جامعة شيكاغو وزملاؤه مقياس التداخل بسلّم درجات زاوية Degree Angular Scale Interferometer (DASI)، للقيام بالقياسات، التي تتوافق مع التنبؤات وتثبت أن المادة العادية تُشكّل أقلّ من 5% من كتلة الكون الإجمالية وطاقته.

إن الفوتونات الموجودة في إشعاع الخلفيّة الكونيّة نشأت في الانفجار العظيم ومن ثمّ استمر تبعثرها بالإلكترونات الحرة وذلك في بداية تشكّل الكون. ومع ذلك، تبرّد الكون بعد 300 000 سنة فتشكّلت الذرّات ولم يعد بإمكان الإلكترونات الحرة أن تبعثر الفوتونات. وهذا يعني أن خصائص الفوتونات في إشعاع الخلفيّة الكونيّة – التي امتدت عندئذ حتى أطوال الموجة المكرويّة بفعل تمدد الكون– تعكس خواص الكون في "لحظة التبعثر الأخير".

في السنوات الأخيرة، قاس المتخصّصون في علم الكون التغيرات المكانيـة في درجة حرارة الخلفيّة الكونيّة وكشفوا تأرجحات الكثافة في بداية تشكّل الكون التي نمت لتشكل المجرّات التي نراها اليوم. ومع ذلك، لم تقس هذه التجارب استقطاب الخلفيّة.

إن مُعظم الضوء غير مستقطب – بمعنى آخر ليس الحقل المغنطيسي في الموجة موجّهاً باتجاه خاص. وعلى أي حال، فإن التبعثر الفوتوني – الإلكتروني في بداية الكون ربما يكـون قد أفصح عن استقطاب طفيف في خلفيّة الموجة المكرويّة، بحيث ينبغي أن تكون هنالك فروق صغيرة جداً في استقطاب الخلفيّة عند نقاط مختلفة في السماء، على غرار التغيرات في درجة الحرارة التي لوحظت من قبل. في الواقع، سيقدّم الاستقطاب مسباراً مباشراً لسطح التبعثر الأخير، بينما التأرجحات في درجة الحرارة يمكن أن تتطوّر بين ذلك الحين والآن.

يقول كارلستروم عندما قدّم نتائجه في مؤتمر COSMO-02 في شيكاغو خلال شهر أيلول عام 2002: "إن الجانب المتميز والفريد من نوعه في الاستقطاب هو أنه يقيس مباشرة الديناميكية في بداية الكون. فالاستقطاب سيضاعف ثلاث مرّات كمّية المعلومات التي نحصل عليها من خلفيّة الموجة المكرويّة الكونيّة". ويضيف جون كوفاك J. Kovac، وهو عضو آخر في فريق DASI، قائلاً: "إن العملية تشبه الانتقال من الصورة على التلفزيون الأبيض والأسود إلى الصورة على التلفزيون الملوّن".

تُعدّ إشارة الاستقطاب أضعف بعشر مرّات من فروق درجة الحرارة التي كشفتها التجربة سابقاً، وينبغي على فريق DASI أن يراقب بقعتين في السماء على مدى 270 يوماً لكشف التغيرات في الاستقطاب. وهنالك عدة تجارب أخرى أساسية ستكون قادرة على كشف الاستقطاب في الخلفيّة الكونيّة، لكن أفضل النتائج ستأتي من الساتل MAP الذي أُطلق في العام الماضي، والساتل بلانك Planck الذي تقرّر إطلاقه في نهاية العقد الحالي.

وفي النهاية، ربما تكون تجارب الاستقطاب قادرة على سبر الجزء الأول من الثانية بعد الانفجار العظيم، عندما اعتُقد أن الكون كان خاضعاً لفترة قصيرة جداً من التمدّد السريع جداً يُطلق عليها اسم "التضخم". فإذا كان النموذج التضخمي صحيحاً، فإن الأمواج الثقالية المنبعثة خلال هذا التمدّد السريع ستترك بصمة على استقطاب الخلفيّة الكونيّة.■

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, October 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

7- آلية "كرة الطاولة" لنقل البورون في جذور النبات*

أتاح التعرف على آلية النقل للبورون في جذور النبات ربطاً مذهلاً مع أنظمة نقل في مواضع أخرى مغايرة جداً، كما هو الحال في الكلية.

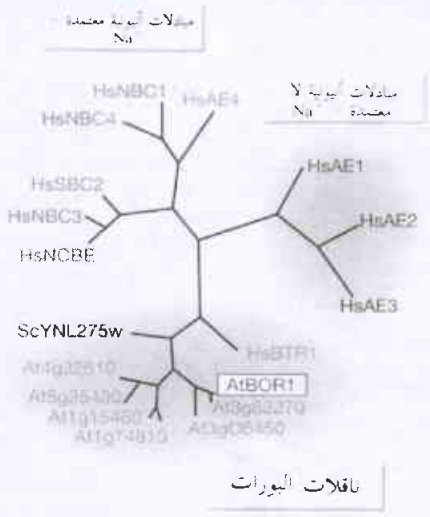
يُعدّ البورون أحد المغذيات الأساسية لمعظم الكائنات الحية والذي يمكن كسبه من محلول مائي كحمض البوريك؛ وهو عنصر يخترق أغشية الخلية بسهولة، لكنّه يؤدي إلى صعوبة التحكّم بها [1]. والنباتات والحيوانات عرضة للإصابة بعوز البورون إلّا إذا تمكّنت من إبطال الانتشار بعملية نقل فعّال Active transport. كذلك، تؤدي زيادة البورون إلى السمّية، الأمر الذي يفسر استخدام مركّبات هذا العنصر في المطهّرات والمبيدات الحشرية.

وقد أخبر تاكانو وزملاؤه [2] عن أول تعرّف على ناقل للبورون من Arabidopsis thaliana، وهو من النباتات المفضّلة كثيراً لدى الباحثين التجريبيين في بيولوجيا النبات؛ ويُعدّ هذا الناقل مسؤولاً عن تصدير البورون من خلايا جذرية متخصّصة إلى نسيج الخشب (أو الخشبين) xylem الذي يشكّل في النبات القناة التي تحمل المغذيات من الجذور إلى المناطق الأعلى.

ورغم أن الأغشية الدهنية المحيطة بالخلايا مصمّمة كي تحدّ من دخول وخروج المواد الذائبة، إلّا أن كثيراً من المركّبات قادر على عبورها. وتتحدّد سرعة العبور هذه بعدة عوامل، ألا وهي: خواص وعدد "ناقلات اختراق الركازة substratepermeating transporters"، وخواص الركازة ذاتها، وفرق الكمون الكهركيميائي عبر الغشاء. ومن الطبيعي أن تتمكن الجزيئات الصغيرة الكارهة للماء من المرور عبر الأغشية بصورة أسهل من مرور الجزيئات المشحونة أو الأعظم حجماً. ولأمد ليس بطويل، كان الرأي السائد المعتمد بشكل رئيس على معاملات التوزع الزيتي - المائي، هو أن الماء والغليسرول والأمونيا واليوريا والأحماض الضعيفة (مثل الكربونيك والبوريك والأسيتيك) لا تتطلّب مساعدة ناقل ما. لكن المفاجأة أتت عندما تحوّلت ناقلات للماء واليوريا، مثل مركّبات الأكوابورينات aquaporins، وناقلات ثانوية نشطة لليوريا، وحتى ناقلات للحامض الدهني، لتصبح عاملاً أساسياً كلما تطلّب الوضع تدفقاً سريعاً. لكنه بقي لفترة زمنية من غير الواضح فيما إذا كان البورون يستخدِم ناقلاً لعبوره. وفي الآونة الأخيرة، أتى الجواب ليفيد بأن البورون يستخدِم بالفعل مثل هذا الناقل.

كانت نقطة البداية بالنسبة للباحث تاكانو وزملائه [2] عبارة عن نبات طافر يتبع الجنس Arabidopsis له سلوك مماثل لنوع من الحلوى اليابانية ذات المذاقين "hitotsubude-nido-oishii". وحدّد عمل بحثي سابق [3] هوية النبات المذكور كطافر تتعرقل فيه عملية تضاعف الفيروس. لكن الأبحاث التي أعقبت العمل المذكور آنفاً أُعيقت لأن النباتات الطافرة لم تعطِ أزهاراً وبذوراً، وتلك خاصّية مميّزة لعوز البورون. وأدّت إضافة بلّورات من مادة البورات إلى عودة الإزهار إلى سابق عهده، كما بيّنت أن الخط (الوراثي) الأصلي يحمل طفرتين مستقلتين؛ مذاقاً للحلوى يتمثل في جينة متورطة في الدفاع ضد تضاعف الفيروس، ومذاقاً آخر يتمثل في طفرة في الجينة BOR1 أدّت إلى ظهور أعراض عوز البورون.

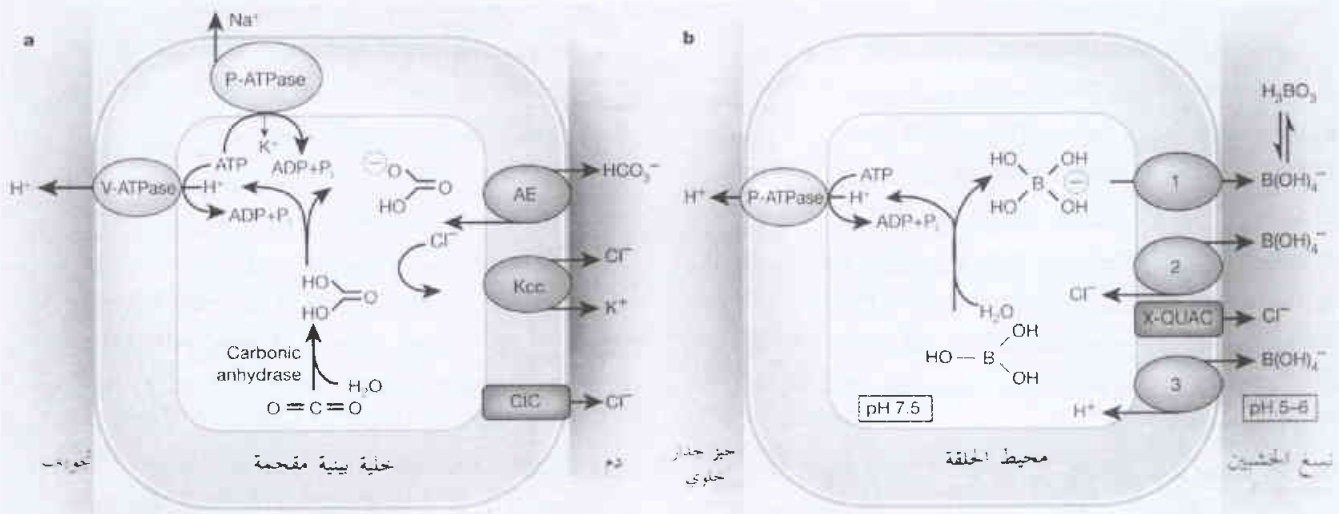
وقد أظهرت دراسات الاقتفاء لتاكانو وزملائه أن جذور النباتات الطافرة تحوي سويات كافية من البورون، لكن هذه النباتات تعاني من تحويل مخفض للبورون إلى الأفرع بسبب تحميل مُضعِف للخشبين [4]. وجرى رسم خريطة الطفرة، كما تمّ استنسال جينة BOR1 التي تبيّن أنه يُعبّر عنها في "محيط الحلقة pericycle"، وهي حلقة من الخلايا حول الخشبين مسؤولة عن تصدير المغذيات إلى داخل نسغ الخشبين [4]. وواصل تاكانو وزملاؤه أبحاثهم ليقدّموا دليلاً مباشراً على أن جينة BOR1 تنقل البورون وأنها عبارة عن بروتين غشائي ذي صلة بعائلة المبادلات الأنيونية الثديية التي تُعرف باسم SLC4 (الشكل 1). وإن التشابه لهذه البروتينات وركازاتها يُضفي على المكتشفات المذكورة آنفاً أهمية كبيرة أعظم شمولاً.



الشكل 1- التحليل التطوري الوراثي للعائلة الفائقة ذات المبادل الأنيوني SLC4. قام بإجراء التحليل دانيل ويف D.Wipf (من جامعة Tübingen) مستخدماً البرنامج "PAUP4.0b10"، وبيّن أن ناقل البورات، الذي عيّن نوعه تاكانو وزملاؤه، يقع في طبقي مع بروتين الخميرة، والبروتين البشري BTR1، وستة بروتينات أخرى لنبات Arabidopsis. أما الطبقان الرئيسان الآخران فهما: المبادل الأنيوني الثديي المعتمد - Na^+، والمبادل الأنيوني الثديي اللامعتمد - Na^+. وجرى في المجموعة الأخيرة تبيان تميم ناقلات البيكربونات - Na^+ باللون البني وتبيان المبادلات الأنيونية المعتمدة - Na^+ باللون الأخضر. كذلك جرى تبيان البروتينات المجهولة الوظيفة باللون الرمادي. (Hs= بشري؛ Sc= خميرة؛ At=Arabidopsis).

والمبادل الأنيوني الأولي الطراز هو BAND3، وهو ناقل في خلايا الدم الحمراء مسؤول عن مبادلة البيكربونات والكلوريد باستخدام آلية كرة الطاولة. وفي هذا السياق، ينطبق مصطلح "كرة الطاولة" على عملية ذات مرحلتين يرتبط فيها واحد من الأنيونات على جانب واحد من مسمّ الناقل transporter pore، لكن المبادلة لا تحدث إلّا بعد أن ترتبط الركازة

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 420, 21 Nov. 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.



الشكل 2– نماذج للمقارنة بين نقل البيكربونات في الكلية ونقل البورات في الخشبين. **(a)** في الكلية، تتشكّل أنيونات البيكربونات من CO_2؛ وتقوم الخلايا البينية المقحمة intercalated cells للنُّبيبات الكلوية الجامعة بتصدير هذه البيكربونات عبر مبادل أنيوني (AE) إلى داخل مجرى الدم، كما يجري تصدير بروتين إلى داخل التجويف بواسطة إنزيم ATPase ذي النمط V [5]. ويُعاد تصدير الكلوريد عبر كلٍّ من: تمائم ناقلات K^+/Cl^-(Kcc)، وأقنية CLC كلوريد [6، 7]، كما تجري المحافظة على استتباب بوتاسي potassium homeostasis وكمون غشائي بواسطة إنزيم P-ATPase. **(b)** تصدير البورات إلى داخل الخشبين من محيط الحلقة الجذرية. في محيط الحلقة، من المحتمل أن يتطلب تحميل البورون إلى نسغ الخشبين تركيزاً عالياً لأيون الهدروجين (pH) في العصارة الخلوية. ويقوم إنزيم H^+-ATPase بتحميض حيز الجدار الخلوي وتوليد كمون غشائي سلبي. ويمكن لناقل جينة BOR1 أن يُصدِّر البورات إلى داخل الخشبين بثلاث طرق مختلفة: (1) من خلال انتشار أنيونات البورات التي تتبع تدرج التركيز للبورات (مرسى وحيد uniport)، (2) بواسطة المبادلة الأنيونية بورات/ كلوريد المقترنة بتدرج للكلوريد مُحدث بواسطة أقنية X-QUAC أنيونية، (3) من خلال اقتران نقل معاكس (مرسى مضاد antiport) للبورات مع بروتون.

الثانية على الجانب الآخر منه. كذلك، تُستخدم هذه الآلية في تنظيم الـ pH داخل الكلية [5-7] (الشكل 2a). ويستخدم أعضاء آخرون من هذه العائلة آلية مختلفة يقترن فيها نقل الصوديوم مع نقل البيكربونات إما في الاتجاه ذاته أو في الاتجاه المعاكس [5].

ويشير التشابه المذهل لمنظومتي نقل البورون والبيكربونات إلى تشابه في شكلي ارتباط هاتين الركازتين. ففي الخلايا النباتية، يسمح pH هيولي عالٍ بتشكيل أنيون البورات؛ في حين يتيسر أيضاً إنزيمياً، في خلايا الكلية، تشكّل البيكربونات من CO_2 (الشكل 2). وتوجد علاقة تطورية وراثية phylogenetic relation بين البروتينين، تكون الفرضية الأبسط هي أن جينة BOR1 تعمل أيضاً على نقل الأنيونات، وربما تجري مزاوجة نقل البورات مع "مرسى مقابل antiport" لأنيون معاكس الشحنة بالطريقة ذاتها للبيكربونات. بعد ذلك، تستطيع جينة BOR1 أن تعمل كمبادل أنيوني بورات/ كلوريد باستخدام التدرج الكيميائي المحدث بواسطة أقنية محددة للكلوريد (أقنية X-QUAC) [8]. وكخيار بديل، يمكنها أن تستخدم مزاوجة بروتون بدلاً من مزاوجة كلوريد وذلك من أجل تصدير البورات بواسطة مسار ثانوي نشط. وهنالك احتمال آخر يكمن في أن الكمون الغشائي السالب داخل محيط الحلقة سيتيح تصدير أنيونات البورات بواسطة مرسى وحيد مُوسَّط بجينة BOR1-mediated uniport (انتشار عبر ناقل دون مزاوجة مع أيون ثانٍ؛ الشكل 2b). وتحاليل كهرفيزيولوجية لجينة BOR1 هي التي ستساعد على الفصل في هذا الشأن.

والجينوم المتسلسل تماماً لنبات الـ Arabidopsis يمتلك سبعة أعضاء ضمن العائلة الفائقة للمبادل الأنيوني، والتي يقع جميعها ضمن مجموعة مفردة (طِبْق clade) برفقة بروتين الخميرة YNL275w ذي الوظيفة المجهولة. أمّا الطِّبْقان الآخران ضمن العائلة الفائقة فهما المبادلان الأنيونيان: لا معتمد – Na^+، ومعتمد – Na^+ (الشكل 1). من وجهة نظر التطور الوراثي، يبدو أن ناقل الخميرة هو متوسط بيني بين المبادلين الأنيونيين وجينة BOR1، وبالتالي تكون لديه ضمناً القدرة على نقل البيكربونات والبورات [2]. لكن الأهمية تكمن في أن البروتين البشري BTR1، الذي سُمِّيَ كناقل مثيل – البيكربونات bicarbonate-like transporter [9]، يقع أيضاً ضمن الطبْق ذاته الذي تقع فيه جينة BOR1 – الأمر الذي يتيح استمرار استخدام المصطلحات المختزلة ذاتها إذا ما تأكد مستقبلاً أنه ناقل للبورات.

ولا يُقدِّم التحليل التطوري الوراثي دلالة قوية على وظائف البروتينات الستة الأخرى في نبات Arabidopsis والمبيَّنة في الشكل 1؛ ولو أن بعضها قد يعمل كناقلات للبورات تستخدم آليات مزاوجة أخرى، وتوفر، على سبيل المثال، مساراً لتوريد البورون إلى داخل الخلايا، وهي العملية التي لا يزال السؤال بشأنها مطروحاً. ومنذ سنوات عديدة، أشارت دراسات فيزيائية – حيوية إلى أنه من الممكن للبيكربونات والبورات أن تستخدم الناقل ذاته [10]. وهكذا، تستطيع بعض ناقلات المبادلة الأنيونية الشبيهة ببروتين YNL275w أن تنقل البيكربونات إضافة إلى نقلها للبورات؛ كأن يحدث ذلك، على سبيل المثال، لتسهيل إمداد CO_2 من أجل الاصطناع الضوئي. لذلك، تُلقي دراسة عائلة الناقلات هذه ضوءاً، ليس فقط على وظائف البورون في عمليات الاستقلاب بل أيضاً على حركة CO_2 في النباتات. ومع وجود علاقة وثيقة لناقلات البيكربونات والبورات بين مبادلات أنيونية، يغدو ممكناً لمركّبات ذات قرابة بناقل

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

البيكربونات النشط، ناجمة عن البكتريا السيانية cyanobacteria، أن تنقل البورات [11]. وأخيراً، يمكن لبعض الأكوابورينات aquaporins أن يكون نفوذاً للبورات وأن يساهم في نقل عنصر البورون [12].

كذلك، يمكن أن تكون لنتائج تاكانو وزملائه [2] مضامين عملية. فالاختلافات الوراثية في قابلية إصابة النباتات بعوز أو سمّية البورون [13] سبق أن عُزيت جزئياً إلى تغير في التركيب الدهني لأغشيتها [14]. لكن المدخل إلى جينات ناقلة سيساعد على وضع خرائط جينية وبرامج تربية لإنتاج محاصيل ذات كفاءة في استخدام البورون؛ كما أن استخدام أساليب لمبادلة (أو تحوير) الجينات سيساعد على تعزيز قدرة النباتات على النمو في ترب ذات سويات عالية من البورون.

المراجع REFERENCES

[1] Brown, P. H.et al. Plant Biol. 4, 205-223 (2002).

[2] Takano, J. et al. Nature 420, 337-340 (2002).

[3] Yamanaka, T. et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA 97, 10107-10112 (2000).

[4] Gaymard, F. et al. cell 94, 647-655 (2002).

[5] Alper, S. L., Darman, R. B., Chernova, M. N. & Dahl, N. K. J. Nephrol. 15, S41-S53 (2002).

[6] Boettger, T. et al. Nature 416, 874-878 (2002).

[7] Estevez, R. et al. Nature 414, 558-561 (2001).

[8] Köhler, B. et al. Plant J. 30, 133-142 (2002).

[9] Parker, M. D., Ourmozdi, E. P. & Tanner, M. J. Biochem. Biophys. Res. Commun. 282, 1103-1109 (2001).

[10] Lucas, W. J. J. Exp. Bot. 26, 331-346 (1975).

[11] Omata, T. et al, Proc. Natl Acad. Sci USA 96, 13571-13576 (1999).

[12] Dordas, C. & Brown, P. H. Biol. Trace Elem. Res. 81, 127-139 (2001).

[13] Jeffries, S. P. et al. Theor. Appl. Genet. 101, 767-777 (2000).

[14] Dordas, C. & Brown, P. H. J. Membr. Biol. 175, 95-105 (2000).■

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

البلوتونيوم*

ما هو البلوتونيوم؟

البلوتونيوم في شكله النقي معدن مشع، فضي اللون، ثقيل جداً، كثافته حوالي ضعف كثافة الرصاص.

الرمز	Pu
العدد الذرّي	94
(عدد البروتونات في النواة)	
الوزن الذرّي	-
(لا يوجد في الطبيعة)	

أُنتج كل البلوتونيوم على الأرض بشكل أساسي خلال العقود الستة الماضية نتيجة للأنشطة البشرية المتضمنة مواد قابلة للانشطار. يوجد للبلوتونيوم عدة نظائر جميعها مشعّة (النظائر أشكال مختلفة من العنصر لها العدد نفسه من البروتونات في النواة ولكنها تختلف بعدد النترونات).

إن النظائر الرئيسة لدى مواقع الإدارة البيئية التابعة لوزارة الطاقة (DOE) هي بلوتونيوم – 238، بلوتونيوم – 239، بلوتونيوم – 240، بلوتونيوم – 241. وما عدا البلوتونيوم – 241 فإن هذه النظائر تضمحلّ بإصدارها جسيم ألفا. يضمحلّ البلوتونيوم – 241 بإصداره جسيم بيتا منخفض الطاقة معطياً الأمريسيوم – 241، الذي هو نكليد مشع مصدر لجسيم ألفا بعمر نصف يبلغ 430 سنة، وهذا يعني أنه أكثر سمّية إشعاعية بكثير من سلفه. تحصل الفعّالية الأعظمية لمنتج الاضمحلال هذا بعد 73 عاماً وتساوي حوالي 3% من الفعّالية البدئية للبلوتونيوم – 241. هنالك نسبة مئوية صغيرة جداً من اضمحلالات اليورانيوم – 238 والبلوتونيوم – 240 والبلوتونيوم – 242 والبلوتونيوم – 244 تكون بالانشطار التلقائي. يوجد النظيران البلوتونيوم – 242 والبلوتونيوم – 244 بصورة عامة بتراكيز فعالية صغيرة نسبياً.

خواص النشاط الإشعاعي لنظائر البلوتونيوم الرئيسة

النظير	عمر النصف (yr)	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الإشعاع (MeV) ألفا (α)	بيتا (β)	غاما (γ)
Pu-238	88	17	α	5.5	0.011	0.0018
Pu-239	24.000	0.063	α	5.1	0.0067	<
Pu-240	6.500	0.23	α	5.2	0.011	0.0017
Pu-241	14	100	β	<	0.0052	<
Pu-242	380.000	0.0040	α	4.9	0.0087	0.0014
Pu-243	83.000.000	0.000018	α	4.6	0.0071	0.0012

Ci= كوري، g= غرام، و MeV= مليون إلكترون فولط. "<" تعني أن طاقة الإشعاع أقل من 0.001 MeV. أُعطيت القيم برقمين معنويين.

ما هو مصدر البلوتونيوم؟

أول من صنّع البلوتونيوم بكميات كبيرة هم العلماء الأمريكيون في الأربعينيات من القرن الماضي كجزء من مشروع مانهاتن لصنع القنبلة الذرّية، واستمر هذا الإنتاج أثناء الحرب الباردة. يتشكل البلوتونيوم عندما تأسر نواة ذرّة اليورانيوم نتروناً أو أكثر مغيّرةً بذلك البنية الذرّية ومولّدةً عنصراً جديداً. تحصل هذه العملية في مفاعلات نووية تتضمن بصورة رئيسة تحويل اليورانيوم – 238 إلى بلوتونيوم. (تشكّلت كميات صغيرة جداً من البلوتونيوم بصورة طبيعية من تفاعلات نووية مغذاة تحت الأرض قُدّر أنها حصلت منذ 1.9 بليون سنة مضت في الغابون في إفريقيا. حصلت هذه الظاهرة لأن تراكيز اليورانيوم – 235 كانت أعلى بكثير في ذلك الوقت (إن تركيز اليورانيوم – 235 الحالي، وهو حوالي 0.72%، لا يغذي مثل هذه التفاعلات الطبيعية).

كيف يُستعمل البلوتونيوم؟

إن الخواص النووية للبلوتونيوم – 239، بالإضافة إلى قدرتنا على إنتاج كميات كبيرة من البلوتونيوم – 239 النقي تقريباً، قادت إلى استخدامه في السلاح النووي والقدرة النووية. يُنتج انشطار اليورانيوم – 235 في مفاعل منشأة قدرة نووية نترونين إلى ثلاثة نترونات، ويمكن لهذه النترونات أن تُمتصّ باليورانيوم – 238 لإنتاج بلوتونيوم – 239 ونظائر أخرى. ويمكن للبلوتونيوم – 239 أن يمتص أيضاً نترونات وينشطر مع اليورانيوم – 235. تعطي انشطارات البلوتونيوم حوالي ثلث الطاقة الكلية المنتَجة في منشأة قدرة نووية تجارية عادية. يحدث استعمال البلوتونيوم في منشآت القدرة بدون أن يزاح من وقود المفاعل النووي، ونعني أنه ينشطر في قضبان الوقود نفسها حيث يتم إنتاجه. يستعمل نظير آخر وهو البلوتونيوم – 238 كمصدر للحرارة في المولّدات الحرارية الإشعاعية لإنتاج الكهرباء من أجل المركبات الفضائية غير المأهولة والمسابر بين الكواكب.

استردت الولايات المتحدة أو اكتسبت حوالي 110 000 كيلو غرام (كغ) من البلوتونيوم بين عامي 1944 و 1994 وبقي حوالي 100 000 كغ مخزوناً. يوجد أكثر من 80% من هذه الكمية على شكل بلوتونيوم صالح للسلاح وفي المقام الأول بلوتونيوم – 239. تمّ توليد البلوتونيوم في مفاعلات إنتاج في موقعي هانفورد DOE ونهر سافاناه، وأُنتجت مكونات السلاح في منشأة روكي فلاتس. وخُزّن الفائض من البلوتونيوم حالياً في معمل بانتكس وفي مواقع أخرى.

* نشر هذا الخبر في مجلة *ANL*, July 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

ماذا عن كونه في البيئة؟

ولّدت اختبارات الأسلحة النووية في الجو، التي توقفت على نطاق عالمي عام 1980، معظم البلوتونيوم البيئي. أُطلق حوالي 10 000 كغ منها إلى الجو أثناء هذه الاختبارات. يتراوح وسطي سويات البلوتونيوم في التربة السطحية نتيجة السقط بين 0.01 و 0.1 بيكوكوري في الغرام (pCi/g). سبّبت الحوادث والإطلاقات الأخرى من منشآت إنتاج الأسلحة تلوثاً محلياً أكبر. أكثر الأشكال الشائعة في البيئة هو أكسيد البلوتونيوم. البلوتونيوم بشكل عام غير ذواب إلى حدٍّ بعيد، وأكسيده أقل ذوباناً في الماء مما هو في الرمل العادي (الكوارتز). يلتصق بقوة بجسيمات التربة ويميل للبقاء في السنتمترات العليا القليلة من التربة كأكسيد. بينما يميل البلوتونيوم، في المنظومات المائية، للاستقرار خارجاً ويلتصق بقوة مع الرواسب، باقياً في الطبقات العليا أيضاً. ومن الناحية النموذجية، يبقى جزء واحد من البلوتونيوم في المحلول من أجل 2000 جزء في الراسب أو التربة. يمكن لجزء صغير من البلوتونيوم في التربة أن يصبح منحلاً من خلال عمليات كيميائية أو بيولوجية، وذلك حسب شكله الكيميائي. وبينما يمكن للبلوتونيوم أن يتركز بيولوجياً في المتعضيات المائية، فإن البيانات لم تُشر إلى وجوده بيولوجياً بكثرة في سلسلة الطعام المائية أو الأرضية. توجد التراكيز الأعلى للبلوتونيوم، في هانفورد، في المناطق التي تحتوي النفايات الناتجة من معالجة الوقود المشع، مثل الصهاريج في الجزء المركزي من الموقع.

ماذا يحصل للبلوتونيوم في الجسم؟

عندما يُستنشق البلوتونيوم، يستطيع جزء مهم منه أن ينتقل من الرئتين عبر الدم إلى الأعضاء الأخرى، ويتوقف ذلك على انحلالية المركب. يُمتص قليل من البلوتونيوم (حوالي 0.05%) من قِبل الجهاز المعدي المعوي بعد الأكل، ويُمتص قليل منه خلال الجلد بعد التماس. وبعد تركه المعي أو الرئة يترك 10% منه داخل الجسم، ويتوضع ما تبقى في الدورة الدموية بشكل قد يكون متساوياً في الكبد والهيكل العظمي حيث يبقى لفترات طويلة من الزمن محتفظاً بيولوجياً بنصف عمر يبلغ حوالي 20 و 50 سنة على الترتيب بأنماط مبسطة لا تعكس إعادة توزيع متوسطي. تعتمد الكمية المتوضعة في الكبد والهيكل العظمي على عمر الفرد. مع تزايد الجزء المأخوذ في الكبد مع العمر. يتوضع البلوتونيوم في الجهاز العظمي على السطوح القشرية والحويجيزية trabecular للعظام، ومن ثمّ يعيد توزعه بمرور الزمن ببطء على حجم العظم المعدني.

معدن البلوتونيوم: تصدر نظائر البلوتونيوم بشكل رئيس جسيمات α، ولهذا فهي تشكل خطراً ضئيلاً خارج الجسم. ومن هنا فإن المحفظة البلاستيكية والقفازات والطبقة الخارجية من الجلد كل منها كافٍ لمنع جسيمات ألفا الصادرة من دخول الجسم.

ما هي التأثيرات الأولية على الصحة؟

يولّد البلوتونيوم خطراً على الصحة فقط إذا أُدخل إلى الجسم لأن جميع نظائره، ما عدا البلوتونيوم - 241 تضمحل بإصدارها جسيم ألفا، وللجسيم β الذي يصدره البلوتونيوم - 241 طاقة منخفضة. يشترك إشعاع غاما أصغري مع أي من هذه الاضمحلالات الإشعاعية. البلوتونيوم المستنشق من الهواء هو أوّل ما يؤخذ بعين الاعتبار من بين جميع النظائر، والسرطان الناتج من الإشعاع المتأين هو الأثر الصحي المعتبر. إن خطر التناول عن طريق الطعام المرافق لجميع أشكال البلوتونيوم أقل بكثير من الخطر التنفسي لأن الامتصاص في الحيوانات التجريبية أن التعرّض إلى سويات عالية من البلوتونيوم يمكن أن تسبب السرطان وتقصير العمر وأمراض في المجرى التنفسي. إن الأنسجة الهدف في تلك الحيوانات هي الرئتان والعقد اللمفاوية والكبد والعظام. على أية حال، لم تؤيد هذه الملاحظات على الحيوانات التجريبية بالتحريات الوبائية في الأشخاص المعرضين لسويات أخفض من البلوتونيوم.

ما هو الخطر؟

حُسبت معاملات خطر الموت بالسرطان مدى العمر لجميع النكليدات المشعة تقريباً بما فيها البلوتونيوم (انظر المؤطر). وبينما تكون معاملات تناول الأكل أكثر السبل الشائعة عموماً للتعرّض، فإن معاملات الخطر من هذا السبيل أخفض بكثير من تلك المعاملات الخاصة بالاستنشاق. وبالنسبة إلى النكليدات المشعة الأخرى، فإن معاملات الخطر من أجل صنابير الماء تبلغ حوالي 80% من تلك المتعلقة بالأكل القوتي. (وكملاحظة، إن الأسطورة الشائعة بـ "أن البلوتونيوم هو أكثر المواد المعروفة تهلكة للإنسان" لا تستند إلى أي حقيقة علمية في الأدبيات). إنها تشكل خطراً ولكنه ليس مضراً بصورة مباشرة على الصحة ككثير من الكيميائيات. فمثلاً عند التنفس بالاستنشاق - التعرّض الأعلى مخاطرةً - لـ 5000 جسيم بلوتونيوم قابل للاستنشاق، حجم كل منها يقدر بحوالي 3 مكرون، فإن الخطر الفردي لإحداث سرطان مميت يزيد بحوالي 1% فوق معدل "الخلفية" الوسطية للولايات المتحدة من أجل جميع الأسباب مجتمعة.■

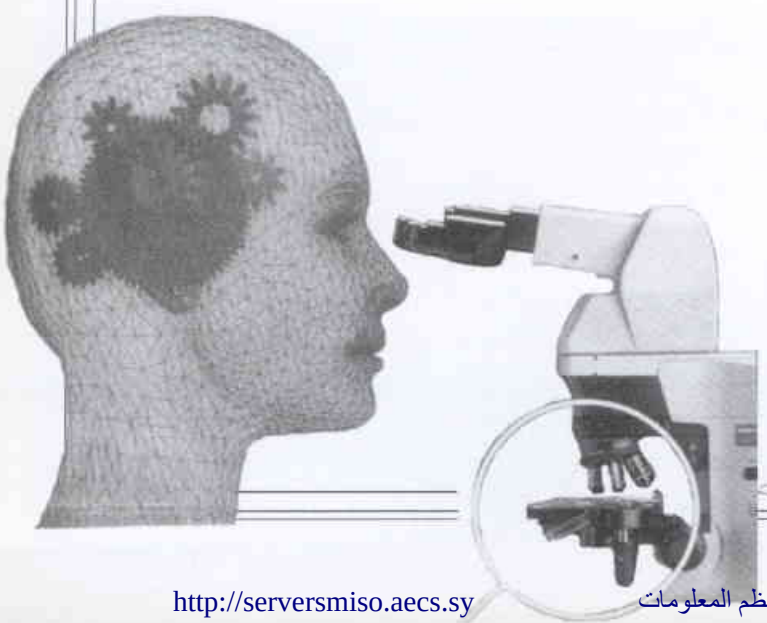
معاملات الخطر الإشعاعي

تبيّن هذه القائمة معاملات خطر مُنتقى من أجل الاستنشاق والأكل، استعملت أنواع امتصاص مختلفة موصى بها من أجل الاستنشاق، واستعملت قيم قوتية من أجل الأكل. تكون الأخطار من أجل وفيات السرطان مدى الحياة في الوحدة المأخوذة (pCi) معدّلة على جميع الأعمار وكلا الجنسين (10^{-9} هي جزء في البليون و 10^{-12} هي جزء في الترليون) والقيم الأخرى بما فيها المرضية متوفرة أيضاً

النظير	مخاطر الوفيات بالسرطان على مدى الحياة	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الطعام (pCi^{-1})
بلوتونيوم-238	3.0×10^{-8}	1.3×10^{-10}
بلوتونيوم-239	2.9×10^{-8}	1.3×10^{-10}
بلوتونيوم-240	2.9×10^{-8}	1.3×10^{-10}
بلوتونيوم-241	2.8×10^{-10}	1.9×10^{-12}
بلوتونيوم-242	2.8×10^{-8}	1.3×10^{-10}

المعاملات ليست متوفرة من أجل البلوتونيوم - 244 ولكن يمكن من عوامل تحويل الجرعة مقابلتها لنظائر مصدرات - ألفا.

ورقات البحوث



النموذج الثلاثي الأطوار في متعددّ الإسترات المتلدّنة بالحرارة والمسحوبة: مقارنة بين تجارب قياسات التحليل الحراري التفاضلي وتيار إزالة الاستقطاب المثار حرارياً*

د. منذر قطان
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية
أ. دارجنت، ج. غرينت
جامعة روان - فرنسة

ملخص

استُخدمت قياسات التحليل الحراري التفاضلي وتيارات إزالة الاستقطاب المثارة حرارياً لتحديد كمية الأطوار المختلفة الظاهرة في عينات متعدّد الإستر اللابلّورية والنصف بلّورية المسحوبة وفق محور وحيد فوق درجة حرارة التحول الزجاجي الموافق لها. تُظهر النتائج نشوءَ طور بلّوري ناتج من عملية السحب وظهوَر جزء من الطور اللابلّوري غير مساهم في التحول الزجاجي. ظهور هذا الطور المسمى "الطور اللابلّوري القاسي" يتعزّز بوجود البذور البلّورية أكثر مما ينتج من عملّية السحب.

الكلمات المفتاحية: بولي (إيثيلين ترفتالات)، سحب، تيارات إزالة الاستقطاب المثارة حرارياً.

مقدمة

تفسر عادةً بنية البوليمير نصف البلّوري بواسطة نموذج ثنائي الطور. توصف المواد بدون منطقة انتقالية بين المناطق البلّورية واللابلّورية. عند تبريد المادة من نقطة الانصهار يمكن لجزء من المادة أن يتبلور عند درجة حرارة تتعلق بالشروط التجريبية. يحدث انحراف عن الحالة شبه السائلة للجزء اللابلّوري المتبقي في المجال الحراري للتحول الزجاجي. تسمح قياسات التحليل الحراري التفاضلي خلال عملية التسخين بملاحظة تغيُّر السعة الحرارية النوعية عند التحول الزجاجي المعرفة بـ $\Delta C_p = [C_{pl} - C_{pg}]_{T=T_g}$ أي فرق السعة الحرارية بين الحالة السائلة والحالة الزجاجية. من أجل بعض البوليميرات النصف بلّورية المكونة من سلاسل ضعيفة المرونة، وجد أن زيادة ΔC_p هي أقل من المتوقعة على أساس درجة التبلور [1,2]. يبدو أن هذه الانحرافات هي بسبب جزيئات تكون حركيتها معوقة بطريقة ما حتى ولو كانت موجودة في الطور اللابلّوري [3,4]. ولتوصيف سهل لمثل هذه البوليميرات، تم اقتراح نموذج ثلاثي الأطوار يتضمن جزءاً لابلّورياً قاسياً، مأخوذاً في الحسبان [5]. الطور الثالث في هذا النموذج هو منطقة انتقالية متوضعة بين المنطقة المتبلورة والمناطق اللابلّورية المتحركة والمناطق اللابلّورية غير المضطربة [6].

بولي (إيثيلين ترفتالات) PET هو أحد البوليميرات الذي من أجله يصف النموذج الثلاثي الأطوار سلوكَه الحراري بشكل ناجح. إن معدل تبلور الـ PET ضعيف ويمكن الحصول على المادة اللابلّورية التامة منه من خلال تبريد سريع جداً من الحالة المنصهرة، بينما يُؤدي التلدين فوق درجة حرارة التحول الزجاجي إلى تبلور حراري بارد. أظهر بعض الباحثين [8,7] أنه خلال عملية التلدين الحراري يتبلور الجزء اللابلّوري القاسي عند درجات حرارة أدنى من درجات الحرارة المعتادة الملاحظة لتبلور الجزء اللابلّوري المتحرك وأن عملية التلدين تنقص جزءاً من الطور اللابلّوري القاسي في العينات. من خلال عملية السحب وحيد المحور أو ثنائي المحور يمكن أن يظهر أيضاً طور بلّوري في المادة اللابلّورية. إضافة إلى ذلك من المثبت أنه عند عملية السحب وحيد المحور لأفلام من الـ PET فوق درجة حرارة التحول الزجاجي يظهر طور بلّوري ناشئ من عملية الشد (SIC) ويظهر نسيج ليفي (fibber texture) فوق القيم الحرجة لنسبة السحب [9]. تبين من تحليل أشعة X أن الطور البلوري الناشئ من عملية الشد يظهر بشكل أساسي بنسيج بلّوري ضعيف. ثانياً من أجل قيم نسب سحب شديدة تؤدي عملية السحب إلى توجيه البلّورات باتجاه السحب (أكثر مما تؤدي إلى زيادة درجة التبلور). كما تمّت ملاحظة نسيج إضافي حيث سطوح حلقات الفينيل تكون شبه متوازية بالنسبة لسطح الفِلم من أجل عينة شديدة السحب [10]. على أي حال، من أجل المواد المسحوبة من الصعب فصل التأثير الخاص لعملية التبلور وعملية السحب عن حركية الطور اللابلّوري. نحاول في هذا العمل حسم هذه المسألة من خلال مقارنة سلوك الـ PET المسحوب بـ بوليمير مشترك.

يمكن أن ينخفض تبلور الـ PET باستعاضة قليل من الغليكول إثيلين بغليكول ثانوي. يمكن الحصول على Poly (ethylene glycol-co-cyclohexane-1,4-dimethanol terephthalate) PETG بإضافة كمية كافية من cyclohexane-1,4-dimethanol (CHDM) تستخدم هذه المادة صناعياً كمتعدد إستر مشترك لابلّوري غير قابل للتبلور (من حيث المبدأ). مع ذلك أظهرنا في عمل سابق [11] أن الـPETG يمكن أن يتبلور أيضاً وأن درجة تبلوره من أجل نسب سحب عالية تبقى فقط 3% بالكتلة بينما يمكن أن تكون كبيرة من مرتبة 40% من أجل الـ PET المسحوب. يقوم هذا العمل على افتراض أن وصف البنية ممكن من خلال التراكم المفترض لخواص هذه الأطوار الثلاثة. نعطي النسب المئوية الخاصة بالأطوار اللابلّورية المتحركة والقاسية في متعددة الإسترات هذه بواسطة التحليل

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Polymer*, 43 (2002) 1399-1405.

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

الحراري، مما يسمح لنا بإعطاء معلومات جديدة حول الطور الثالث. نستخدم قياسات تحليل إزالة الاستقطاب المثارة حرارياً TSDC إضافة إلى DSC التقليدية لتحديد مميزات موادنا المدروسة. منذ أعمال Van Turnhout الرائدة [12]، وُظّف تحليل TSDC بشكل متواتر لبحث الحركات الجزيئية في المواد البوليميرية [12-15]. تأتي أهمية تقنية TSDC الكبيرة من تواترها المكافئ الضعيف حوالي 10^{-3} Hz [13] ومن خلال مقدرتها على تحليل التحولات الكهرنافذية المعقدة إلى توزيعات ضيقة لعمليات الاسترخاء [15]. على أي حال، الحساسية العالية لـ TSDC تجعلها مفيدة إلى حد بعيد من أجل دراسة عمليات الاسترخاء الرئيسة والثانوية في البوليميرات اللابلّورية أو النصف بلّورية.

العمل التجريبي

المواد وتحضير العينات

أفلام الـ PET ($\overline{Mn}$ = 31000 g/mol) هي متناحية ولابلّورية بحكم قياسات ثنائي الانكسار والكثافة وأشعة X. الـ PETG 6763 من شركة Tennessee Eastman هو بوليمير مشترك لابلّوري مع ($\overline{Mn}$ = 26000 g/mol). يتكون الـ PETG من سيكلوهكسان ديميتانول إثيلين غليكول وأسيد الترفتاليك بنسبة مولية 1 .2 .3 تقريباً. أُبقيت عينات الـ PET والـ PETG في غرفة التسخين لآلة الشد لمدة خمس دقائق عند درجة حرارة 95°C قبل عملية السحب مما أدّى إلى توزع حراري متجانس في الأفلام. تمّ التحكم بدرجة الحرارة من خلال مقياس ضوئي لدرجات الحرارة العالية (Optical Pyrometer). سُحبت العينات (40 × 60 مم) وفق محور وحيد ومعدل سحب $0.14\ s^{-1}$ ضمن آلة الشد. اختيرت درجة حرارة السحب (95°C) لتكون بين درجة حرارة التحول الزجاجي ودرجة حرارة التبلور البارد لـ PET وهذا يقود إلى سحب متجانس وإلى تجنب التبلور الحراري. بُرّدت المادة بعد عملية السحب تبريداً سريعاً بواسطة هواء بارد حتى درجة حرارة الغرفة من أجل تجميد بنيتها الجديدة. أخيراً قطعت عينات مختلفة من المواد المسحوبة وتم قياس نسبة السحب λ المساوية لقسمة الطول النهائي على الطول الأصلي للعينة. ووجد أن λ تتحول من 1 حتى 7.2. خُزّنت العينات قبل إجراء التجارب تحت الخلاء بوجود P_2O_5 عند درجة حرارة 20°C لتجنب امتصاص بخار الماء. ثخانة العينات من أجل التحليل هي حوالي 0.5 مم ومساحتها 150 و28 mm^2 من أجل TSDC وDSC على التوالي.

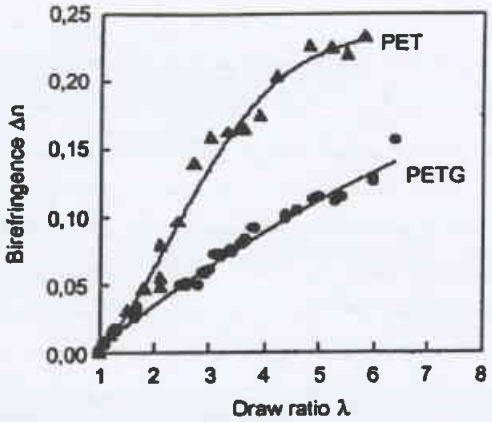
الطرائق التجريبية

أُجريت قياسات TSDC بواسطة جهاز طُوّر في مخبرنا [16]. طُبّق على العينة حقل كهربائي ($E = 10^6$ V/m) لفترة زمنية t_p = 2 min عند درجة حرارة استقطاب T_p أعلى قليلاً من درجة حرارة التحول الزجاجي T_g. تتوجه ثنائيات الأقطاب الدائمة، رغم إعاقة دورانها بقوى اللزوجة، باتجاه الحقل الكهربائي بشكل تدريجي وبهذه الطريقة يتولد الاستقطاب. بعد ذلك تُخفّض درجة الحرارة حتى -150°C بسرعة تبريد ثابتة حيث تتجمد معظم ثنائيات الأقطاب الدائمة. يُلغى الحقل عند درجة الحرارة هذه وتوضع العينة في دارة مغلقة. يؤدي ارتفاع درجة الحرارة (بسرعة ثابتة $r = 10\ K\ min^{-1}$) إلى استرخاء تدريجي لمختلف وحدات ثنائيات الأقطاب. يُولّد اضمحلال الاستقطاب تيار إزالة الاستقطاب I. باستخدام هذه الطريقة يتم الحصول على الطيف المركب (I = f(T)) الذي يتكون من عدة قمم [12]. تم قياس اللاتناحي الضوئي للعينات بواسطة قياس ثنائي الانكسار عند درجة حرارة الغرفة وباستخدام مقياس الضوء الطيفي [17]. أُجريت القياسات الحرارية باستخدام مقياس كمية الحرارة Perkin Elmer DSC7، حيث تمت معايرة درجة الحرارة والطاقة باستخدام الإنديوم والزنك كعينات مرجعية. تمت معايرة كل المنحيات DSC المعروضة لاحقاً لـ 1mg من المادة.

النتائج

دراسة ثنائي الانكسار

يُعزى ثنائي الانكسار إلى الفرق بين قرائن الانكسار الرئيسة للمادة وتغيراتها ويمكن تفسيرها اعتماداً على معدّل توجيه الجزيئات الضخمة. إن القيم العظمى، وفقاً لدراسات بعض الباحثين، لـ Δn المقترحة نظرياً لـ PET هي بين 0.212 [18] و0.290 [19] للطور البلّوري (Δn_c) وبين 0.200 [20] و0.275 [21] للطور اللابلّوري (Δn_a). عُرضت معطيات ثنائي الانكسار في الشكل 1، ووضعت الخطوط لتسهيل ملاحظة التغيرات بدلالة نسبة السحب (λ). من أجل عينات الـ PET، القيمة الأعظمية الملاحظة لـ Δn (0.23) قريبة جداً من القيم النظرية مما يعني أن التوجه الناشئ من السحب وصل جزئياً إلى قيمته الأعظمية من أجل $\lambda > 5$. اللاتناحي الضوئي الضعيف لـ PETG ($\Delta n < 0.15$) هو غالباً بسبب وجود زمرة CHDM التي هي زمرة جزيئية غير مستوية، على عكس زمرة الفينيلين. وقد وجد بعمل آخر أن القيمة الأعظمية لـ Δn قريبة من 0.1 من أجل عينات الـ PCT المسحوبة وفق محور وحيد [22] (الذي من أجله يحل السيكلوهكسان ديميتانول محل الإثيلين غليكول بشكل كامل). التنظيمات الخاصة لـ CHDM تحدُّ من قابلية وجود الجزيئات الضخمة في مستوٍ يوازي اتجاه السحب (أو قريب منه على الأقل). ومع ذلك يظهر التزايد التدريجي لقرينة ثنائي الانكسار والتوجه المتصاعد للجزيئات الضخمة باتجاه محور السحب.



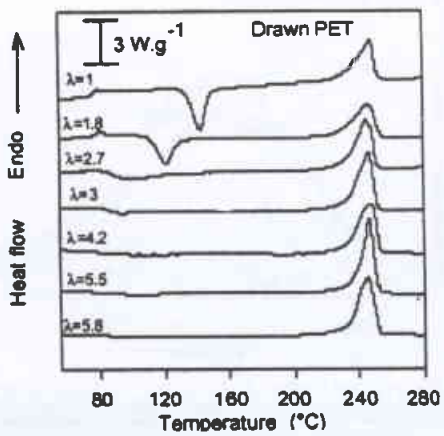
الشكل 1- ثنائي الانكسار لعينات PETG,PET المسحوبة وفق محور وحيد بدلالة نسبة السحب λ.

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

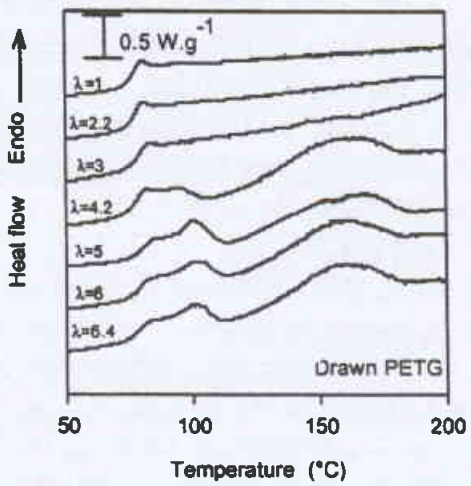
دراسة التحليل الحراري التفاضلي

يظهر الشكل 2 ($\lambda=1$) المنحني المتوقع لـ PET اللابلّوري وغير المسحوب. ويمكن ملاحظة 1- التحول الزجاجي عند $70°C<T_g<85°C$ بوضوح من خلال عتبة آخذة للحرارة. 2- التبلور الحراري البارد الملاحظ من خلال قمة ناشرة للحرارة عند $130°C<T_c<170°C$. 3- قمة الانصهار للطور البلّوري بين 220°C و260°C التي تظهر كقمة آخذة للحرارة. تقود زيادة نسبة السحب إلى تناقص في درجة حرارة التبلور البارد باتجاه درجة حرارة التحول الزجاجي مترافقة بتناقص في انتالبية التبلور. تختفي ظاهرة التبلور البارد بشكل كامل من أجل نسبة سحب $\lambda>4$ وذلك لأن درجة التبلور للعينات في هذه الحالة تكون قد وصلت إلى حدّها الأقصى قبل عملية التسخين بـ DSC.

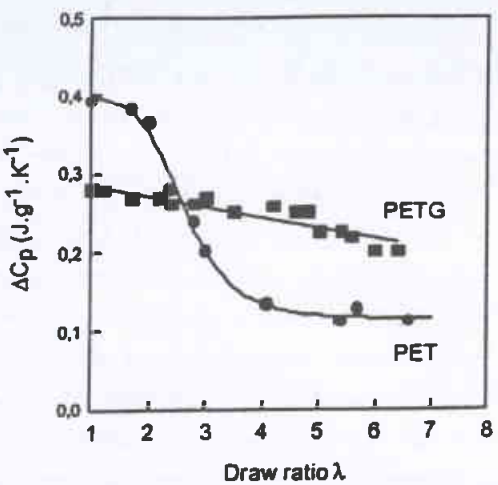
يظهر تحليل عينة الـ PETG غير المسحوبة ($\lambda=1$) (الشكل 3). التحول الزجاجي عند $70°C<Tg<85°C$. التحول الزجاجي هو الظاهرة الحرارية الوحيدة الملاحظة، كما هو الحال بالنسبة لجميع المواد الأخرى المتلدّنة بالحرارة اللابلّورية بشكل تام. بعد ذلك يظهر مسح DSC متشابهاً حتى $\lambda=3.5$ (عينات ضعيفة السحب). من أجل عينات PETG عالية السحب $\lambda>3.5$ نلاحظ ظواهر حرارية إضافية بين 95°C و180°C. تتكون هذه الظواهر من ظاهرة خرارية ضعيفة ناشرة للحرارة وأخرى آخذة للحرارة. من قياسات أشعة X والمجهر الضوئي بيّنا سابقاً أن هذه الظواهر الحرارية يجب أن تُنسب إلى تبلور وانصهار المادة [11]. تغيرات السعة الحرارية عند التحول الزجاجي ΔC_p (المشتقة من معطيات DSC) من أجل الـ PETG هي ضعيفة وتُظهر تناقصاً شبه خطي بزيادة λ (الشكل 4). تظهر ΔC_p تناقصاً كبيراً بين $\lambda=2$ و$\lambda=4$ من أجل الـ PET ومن ثم تصبح عملياً ثابتة. إذا كانت تغيرات ΔC_p تعطي معلومات كمية عن تطور الطور اللابلوري المتحرك فإن تغيرات المجال الحراري للتحول الزجاجي تظهر تطورَ تجانسيةِ الطور اللّابلوري. يعرض الشكل 5 عرض ΔT_g للتحول الزجاجي الملاحظ على منحنيات DSC. هذه القيمة غير متعلقة تقريباً بنسبة السحب من أجل عينات الـ PETG بل من أجل الـ PET فإن ΔT_g متضمنة بين 10-20°C من أجل نسب سحب ضعيفة وتزداد حتى 35°C من أجل $\lambda>6.8$. تدلُّ هذه النتائج على أن التجانسية للطور اللابلوري لـ PETG لا تتعلق بالسحب بينما تتعلق بـ PET حيث يصبح أكثر لاتجانسية بزيادة λ.



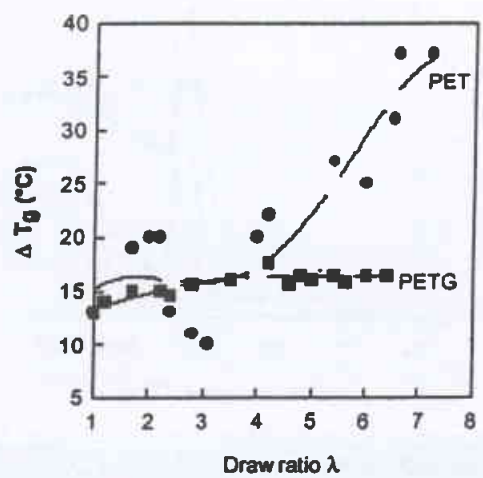
الشكل 2- منحنيات DSC المعايرة من أجل عينات من PET المسحوبة بنسب مختلفة (نسب السحب موضّحة في الشكل) المنحنيات متباعدة عن بعضها للوضوح.



الشكل 3- منحنيات DSC المعايرة من أجل عينات من PETG المسحوبة بنسب مختلفة (نسب السحب موضّحة في الشكل) المنحنيات متباعدة عن بعضها للوضوح.



الشكل 4- ΔC_p فرق السعة الحرارية بين الحالة السائلة والزجاجية عند درجة حرارة التحول الزجاجي عند نقطة الانعطاف (T_g mid point) بدلالة نسبة السحب λ.



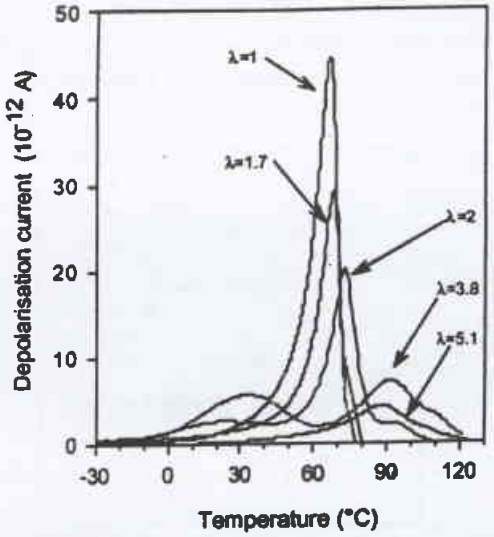
الشكل 5- عرض التحول الزجاجي ΔT_g بدلالة نسبة السحب λ.

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

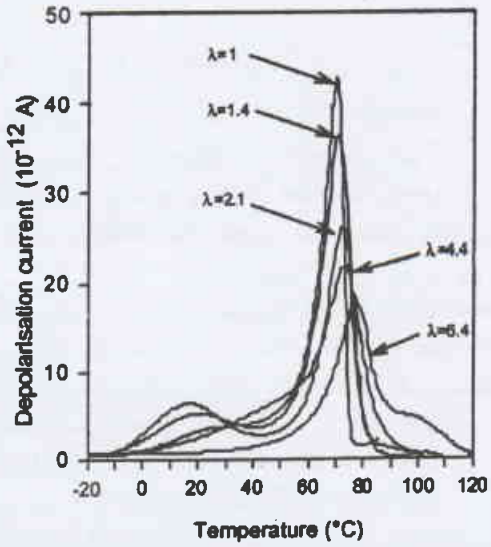
دراسات تيارات إزالة الاستقطاب الناشئة حرارياً

إحدى أهم مميزات تجارب TSDC هي إمكانية معالجة الاسترخاءات الثانوية التي تحدث عند درجات الحرارة المنخفضة. يُظهر الشكلان 6 و7 المناطق من 20- حتى 120°C+ بينما يُظهر الشكلان 8 و9 المناطق في درجات الحرارة المنخفضة لعينات الـ PET والـ PETG على التوالي. من أجل PET غير المسحوب (الشكل 6) يمكننا ملاحظة ذُروة حول 70°C. تدعى هذه الذروة بالذروة α وهي الظاهرة الكهرنافذية للتحول الزجاجي. إضافةً إلى ذلك بيّنا أن درجة الحرارة عند قمة الذروة T_α تساوي إلى بداية التحول الزجاجي الملاحظ بواسطة DSC والمسمى T_g onset. بالرغم من تطابق شكل المنحنيات إلا أن ذروة α تنزاح نحو درجات الحرارة العالية وحجمها يتناقص عند تزايد λ حتى 3,8. من أجل $\lambda > 3,8$ يصبح شكل ذروة α مختلفاً وتُلاحظ قمة أولى عند 30°C وقمة ثانية عند 90°C. حجم الذروة العالية(التي تكافئ التحول الزجاجي) أقل بكثير من حجم الذرى الملاحظة سابقاً. تمّت ملاحظة الذُروة الدنيا أيضاً من أجل الـ PETG وهي بشكل عام تنسب إلى الحركات الموضعية للحلقات الأروماتيكية(العطرية) في البوليميرات اللامتناحية [24,23].

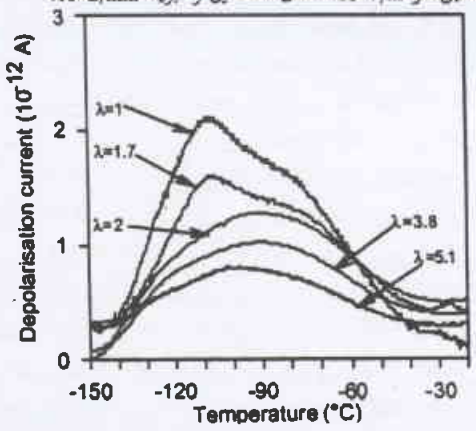
من أجل الـ PETG وكما هو ملاحظ بالنسبة لـ PET ضعيف السحب (الشكل 7) تزداد Tα وتتناقص مساحة الذروة مع تزايد λ. يمكننا ملاحظة أن ذروة TSDC لـ PETG عالي السحب ($\lambda = 6.4$) يمكن أن تقارن من حيث الحجم ودرجة الحرارة بذروة الـ PET المسحوبة بنسبة سحب $\lambda = 2$. في مجال درجات الحرارة المنخفضة تمّت ملاحظة ذروة عريضة وبحجم صغير جداً تدعى هذه الذروة الذروة β. وتنسب إلى الاسترخاءات الثانوية لثنائيات الأقطاب. كما في حالة الذروة α الرئيسة يحدث تطور للذروة β بازدياد نسبة السحب. لم يُلاحظ تغير هام ذو معنى لدرجة الحرارة عند الذروة وذلك بسب العرض الكبير لهذه الذرى، ولكن يتناقص حجمها كثيراً مع تزايد λ. من أجل الـ PETG



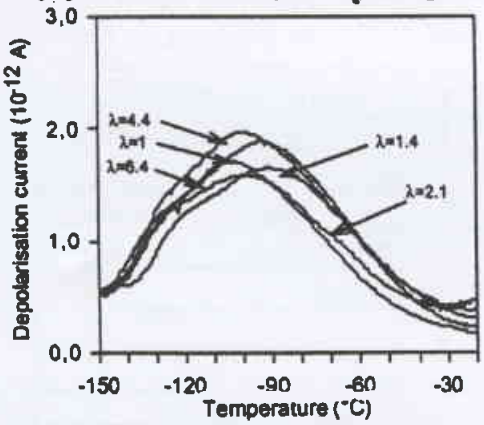
الشكل 6- منحنيات TSDC لعينات من PET المسحوبة بنسب سحب مختلفة (نسب السحب موضحة في الشكل). الشروط التجريبية المطبقة هي: درجة حرارة الاستقطاب هي أعلى بقليل من T_g ودرجة حرارة إزالة الاستقطاب هي 150°C-، الحقل الكهربائي المطبق هو 10^6V/m، معدل التسخين والتبريد 10°C/min.



الشكل 7- منحنيات TSDC لعينات من PETG المسحوبة بنسب سحب مختلفة (نسب السحب موضحة في الشكل). الشروط التجريبية المطبقة هي: درجة حرارة الاستقطاب هي أعلى بقليل من T_g ودرجة حرارة إزالة الاستقطاب هي 150°C-، الحقل الكهربائي المطبق هو 10^6V/m، معدل التسخين والتبريد 10°C/min.



الشكل 8- منحنيات TSDC عند درجات الحرارة المنخفضة لعينات من PET المسحوبة بنسب سحب مختلفة (نسب السحب موضحة في الشكل). الشروط التجريبية المطبقة هي: درجة حرارة الاستقطاب هي أعلى بقليل من T_g ودرجة حرارة إزالة الاستقطاب هي 150°C-، الحقل الكهربائي المطبق هو 10^6V/m، معدل التسخين والتبريد 10°C/min.



الشكل 9- منحنيات TSDC عند درجات الحرارة المنخفضة لعينات من PETG المسحوبة بنسب سحب مختلفة (نسب السحب موضحة في الشكل). الشروط التجريبية المطبقة هي: درجة حرارة الاستقطاب هي أعلى بقليل من T_g ودرجة حرارة إزالة الاستقطاب هي 150°C-، الحقل الكهربائي المطبق هو 10^6V/m، معدل التسخين والتبريد 10°C/min.

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

ذرى β لها الشكل نفسه ولكن لا يبدو أنها تتغير بعملية السحب مظهرةً بذلك عدم تغيّر هام في تيار إزالة الاستقطاب.

مناقشة

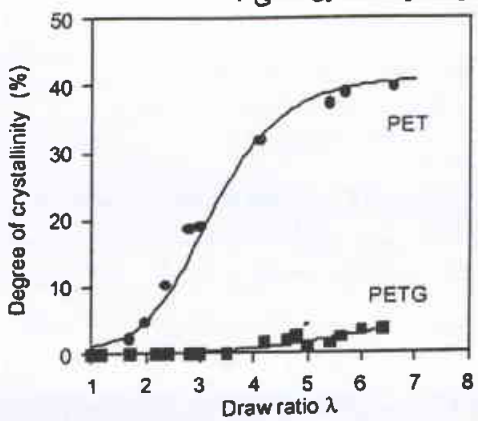
لتحديد كمية الأطوار المختلفة الموجودة في متعدد الإسترات المسحوبة يجب علينا أولاً حساب التبلور الناشئ من عملية السحب. درجة التبلور هذه يمكن استخلاصها من معطيات DSC بواسطة المعادلة التالية:

$$X_c = \frac{\Delta H_f - \Delta H_c}{\Delta H_f^0} \qquad (1)$$

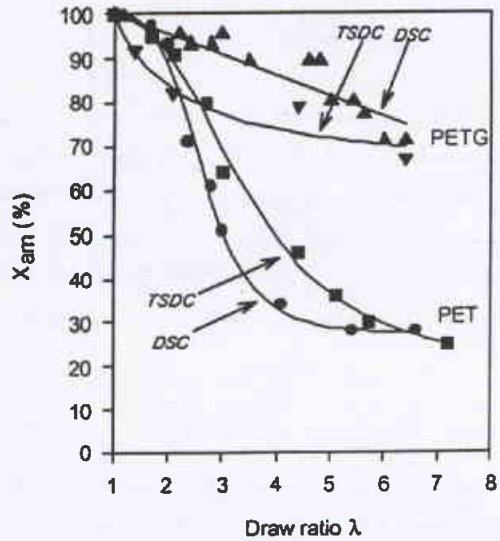
حيث ΔH_f هي انتالبية الانصهار المقيسة لأي عينة وΔH_f^0 هي انتالبية الانصهار المحسوبة من أجل مادة متبلورة بصورة تامة ($\Delta H_f^0 = 140$ J/g) من أجل PET [25] و $\Delta H_f^0 = 88$ J/g من أجل PETG [11]) وΔH_c هي انتالبية التبلور البارد الملاحظة أثناء إجراء قياس DSC. إضافة لذلك قيمة انتالبية الانصهار التجريبية توافق انصهار الجزء المتبلور الكلي، أي، التبلور الموجود قبل المسح والتبلور المتطور خلال عملية المسح والذي يمكن قياسه من خلال قمة التبلور البارد. درجة التبلور الأولية لعينات الـ PET المسحوبة حتى نسبة سحب تساوي $\lambda = 2$ هي مهملة (الشكل 10) ومن ثم تزداد مع λ حتى $\lambda = 5$. ومن أجل نسبة سحب عالية X_c تبقى عملياً ثابتة وقريبة من 40%. من أجل عينات الـ PETG يظهر الطور البلّوري عندما تصبح نسبة السحب كبيرة فوق $\lambda = 4$ ويمكن أن تصل إلى 3.5% بالكتلة من أجل قيمة λ الأعظمية. بالطبع هذا الفرق في درجة التبلور بين الـ PET و الـ PETG هو بشكل واضح بسبب وجود CHDM التي تحدُّ بشكل كبير من قابلية التبلور. تقليدياً من الممكن حساب درجة الطور اللابلّوري X_{am} من معطيات خطوة ΔC_p عند التحول الزجاجي.

$$X_{am} = \frac{\Delta C_p}{\Delta C_{p0}} \qquad (2)$$

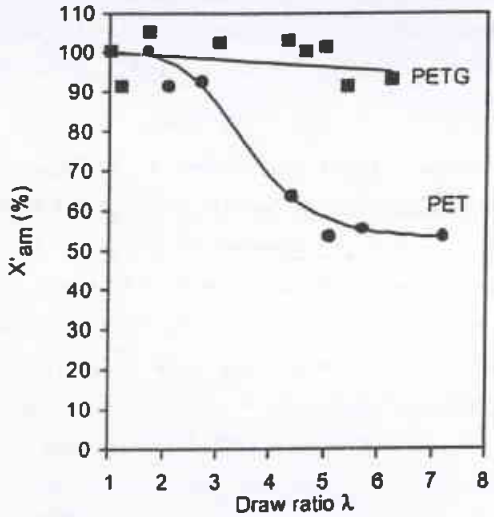
حيث ΔC_p هي قفزة السعة الحرارية عند T_g لعينة مسحوبة وΔC_p^0 هي قفزة السعة الحرارية لعينة غير مسحوبة ولابلّورية بصورة تامة. من جهة أخرى، يمكن أن تسمح TSDC بالحصول على درجة الطور اللابلّوري. إذا اعتبرنا ثنائيات الأقطاب لها زمن استرخاء وحيد τ وقيمة الاستقطاب المتولد خلال عملية التسخين تعطى بـ:



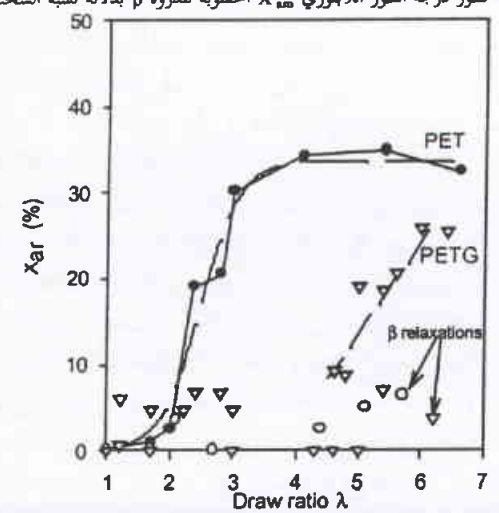
الشكل 10– درجة التبلور Xc المحسوبة من المعادلة (1) لعينات PETG,PET بدلالة نسبة السحب.



الشكل 11– تطور درجة الطور اللابلوري X_{am} مع نسبة السحب 1 (معادلة 2) وX'_{am} (معادلة 4 من أجل الذروة α) لعينات PETG,PET المسحوبة.



الشكل 12– تطور درجة الطور اللابلوري X'_{am} المحسوبة للذروة β بدلالة نسبة السحب λ.



الشكل 13– النسبة المئوية لجزء الطور اللابلوري القاسي بدلالة نسبة السحب لعينات PETG,PET المحسوبة من أجل التحول الزجاجي (PET ●, PETG ▼) ومن أجل الذروة β (PET ○, PETG ▽).

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

$$P_s(t) = \frac{N\mu^2}{3kT} E\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right] \qquad (3)$$

حيث k ثابت بولتزمان، μ عزم ثنائي الأقطاب وN عدد ثنائيات الأقطاب بواحدة الحجم [12]. القيمة الأساسية للاستقطاب في تجربة تفريغ الشحنات تساوي إلى قيمة $P_s(t)$ عند نهاية فترة الشحن بسبب مثالية الدارة المغلقة عند 150°C-. عند نهاية التسخين تختفي جميع الاستقطابات المحتجزة. في هذا العمل نقترح أن زمن الاستقطاب t_p عند درجة حرارة T_p هو كافٍ تماماً ليتمكن الاستقطاب من الوصول لقيمته المشبعة P_0:

$$P_0 = \frac{N\mu^2}{3kT_p} E \qquad (4)$$

في هذا التقريب البسيط يمكن الحصول على P_0 من تكامل منحنيات تيار إزالة الاستقطاب. الاختلاف بين قيم P_0 لمختلف العينات المسحوبة يمكن نسبه إلى التغيرات في كثافة ثنائيات الأقطاب N(E,T_P) وμ ثوابت). بافتراض أن كثافة ثنائيات الأقطاب المتحركة متناسبة مع كمية الطور اللابلّوري الموجود في العينات نجد أنه يمكن أن نحسب درجة الطور اللابلوري المتحرك X'_{am} بواسطة العلاقة التالية:

$$X'_{am} = P_0/P_{0max} \qquad (5)$$

حيث P_{0max} هو الاستقطاب لفيلم لابلّوري بصورة تامة وغير مسحوب. عرضنا في الشكل 11 تغيراً في X_{am} وX'_{am} عند التحول الزجاجي بدلالة λ من أجل كلا البوليميرين وعلى الرغم من أن قيم X_{am} و X'_{am} ليست متطابقة إلا أن تطورهم متشابه: من أجل الـ PET تتناقص درجة الطور اللابلّوري المتحرك بشكل كبير بين $\lambda = 2$ و$\lambda = 5$ بينما من أجل الـ PETG نجد أن تناقص X_{am} وX'_{am} هو ضعيف وشبه خطي. بالنسبة لعمليات الاسترخاء β (غير ملاحظة بواسطة DSC) يمكن حساب فقط X'_{am}. ومن أجل أفلام الـ PET المسحوبة تتناقص X'_{am} مع λ بين $\lambda = 2.5$ و$\lambda = 5$ بينما X'_{am} تبقى عملياً ثابتة من أجل أفلام الـ PETG المسحوبة (الشكل 12).

مقارنة التغيرات الخاصة لدرجة التبلور ودرجة الطور اللابلّوري (الأشكال 10–12) تظهر أن تناقص X_{am} وX'_{am} مترافقٌ مع زيادة X_c. هذا يوضّح أن ظهور الطور البلّوري الناشئ من الشد يُنقص كمية الطور اللابلّوري المتبقية. من أجل عملية استرخاء β لعينات الـ PET و PETG يمكن تفسير تناقص X'_{am} من خلال زيادة X_c (على سبيل المثال من أجل الـ PET مع $\lambda = 5.7$: $X'_{am} = 55\%$ و$X_c = 39\%$ ومن أجل الـ PETG مع $\lambda = 6.2$: $X'_{am} = 93\%$ و $X_c = 3\%$). لذلك فالحركات التي تحدث عند T_β يمكن أن توصف بنموذج ذي طورين متمثل بـ $X_{am} + X_c = 100$. لا تتغير درجة حرارة عملية الاسترخاء بواسطة السحب ولكن ثنائيات الأقطاب في الطور اللابلّوري فقط لم تساهم في الحركات الموضعية. من أجل التحول الزجاجي (أي استرخاء α) تناقص X_{am} وX'_{am} هو أكبر من تزايد X_c (على سبيل المثال من أجل الـ PET مع $\lambda = 6.6$: $X_{am} = 28\%$ و$X_c = 40\%$ ومن أجل الـ PETG مع $\lambda = 6.4$: $X'_{am} = 72\%$ و $X_c = 3.5\%$). يترتب على هذا أن جزءاً من الطور اللابلّوري لم يساهم في التحول الزجاجي. يعتبر هذا الجزء من الطور اللابلّوري "الطور اللابلّوري القاسي" ويجب أن نأخذ في الحسبان عنصراً ثالثاً في النموذج ثلاثي الأطوار كما يلي: $X_{am} + X_c + X_{ar} = 100$ حيث X_{ar} تصف مساهمة الجزء اللابلّوري القاسي. يظهر الشكل 13 تغيرات X_{ar} بدلالة λ من أجل التحول الزجاجي ($X_{ar} = 100\text{-}X_{am}\text{-}X_c$ حيث X_{am} حددت من معطيات DSC) ومن أجل عملية الاسترخاء الثانوية β ($X_{ar} = 100\text{-}X'_{am}\text{-}X_c$ حيث X'_{am} حددت من معطيات TSDC).

من أجل نسب سحب ضعيفة ($\lambda < 2$) تؤدي عملية السحب في عينات الـ PET فقط إلى توجيه الجزيئات الضخمة باتجاه محور السحب. هذا التوجه الضعيف هو صغير جداً ليغيّر التحول الزجاجي (درجة حرارة وعرض) وهو كافٍ لتغيير ثنائي الانكسار وعملية إعادة التبلور الحرارية في العينات اللابلّورية أصلاً. ولا يوجد طور لابلّوري قاسٍ يمكن نسبه إلى عملية السحب. بين $\lambda = 2$ و $\lambda = 4$ تؤدي عملية الشد إلى طور بلّوري يظهر في العينات مترافق مع جزء لابلوري قاسٍ. هذا الجزء على الأرجح مرتبط بالبلّورات التي يمكن أن تفسر حركيته الضعيفة وعدم ظهور الحركات التساهمية المرتبطة بالتحول الزجاجي. وبالرغم من ذلك وخلافاً لما يحدث في الطور البلّوري فإن الحركات الموضعية يمكن أن تحدث في الجزء اللابلّوري القاسي. والطور اللابلّوري المتبقي هو أيضاً مضطرب بداخله مع أن عملية الاسترخاء ممكنة. عندما تزداد نسبة السحب يصبح هذا الطور أكثر لاتجانسية. ومن أجل نسب سحب عالية ($\lambda > 4$) يصل الطوران البلّوري واللابلّوري القاسي إلى قيمتهما العظمى وتتوجه الجزيئات الضخمة باتجاه محور السحب.

من أجل عينات الـ PETG ضعيفة السحب ($\lambda < 4.5$) لا توجد بلّورات ودرجة الطور اللابلّوري القاسي صغيرة وقريبة من 7%. هذه القيمة قريبة جداً من مجال الربية (الخطأ التجريبي) لاستنتاج وجود جزء لابلّوري قاسٍ كهذا. وتوجه عملية الشدّ على الأرجح الجزيئات الضخمة بدون أي تغيير هام في الطور اللابلّوري ومن أجل $\lambda > 4.5$ يظهر طور بلّوري ناشئ من الشد ولكن تبقى نسبته المئوية ضعيفة (3.5% تقريباً). وبالرغم من ذلك يحدث ازدياد كبير في جزء الطور اللابلّوري القاسي ويصل حتى 25% من أجل نسبة السحب الأعظمية. هذا يدلّ على أن البلّورات تعمل كأساس أو كبذور لنشوء الجزء اللابلّوري القاسي. لم تتم ملاحظة أي تغير في تجانسية الطور اللابلّوري المتبقي واسترخاء β مسموح كما هو الحال بالنسبة لـ PET، على كامل الجزء اللابلّوري ($X_{ar} + X_{am}$).

خاتمة

رأينا في هذا العمل أنه يمكن أن يظهر طور لابلّوري قاسٍ في متعدد الإسترات المسحوبة. يتعزّز هذا الجزء اللابلّوري بوجود البلّورات الناشئة من الشد. استنتاج التأثير الخاص لعملية السحب والطور البلّوري على الجزء غير المتبلور للمادة هو أن وجود البلّورات في متعدد الإسترات المسحوبة يكون عاملاً أساسياً في زيادة درجة الجزء اللابلّوري القاسي. في هذا الجزء، الحركات التعاونية مستبعدة ولكن الحركات الموضعية تحصل كما في الطور اللابلّوري المتحرك. والطور اللابلّوري هو أيضاً مضطرب ويصبح أقل تجانسية عندما تصبح نسبته المئوية قليلة (PET $\lambda > 4$).

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

REFERENCES المراجع

[1] Li Y, Xue G. Polymer 1999; 40:3165.

[2] Seyler RJ. J Them Anal 1997; 49:491.

[3] Coburn JC, Boyd RH. Macromolecules 1986 ;19:2238.

[4] Cheng SZD, Cao MY, Wunderlich B. Macromolecules 1986; 19 1868.

[5] Mathot VBF. Thermal characterization of states of matter. In: Mathot VBF, editor. Calorimetry and thermal analysis of polymers. Munich: Hanser, 1994. p. 105.

[6] Huo P, Cebe P. J Polym Sci Polym Phys 1992;30:239.

[7] Bouriot P, Jacquemart J, Sotton M. Bull Sci ITF 1977;6:9.

[8] Hagege R, Mamy C, Thiroine C. Makromol Chem 1978; 179:1069 - 81.

[9] Dargent E, Grenet J, Auvray X. J Therm Anal 1994;41:1409.

[10] Dargent E, Grenet J, Dahoun A. Polym Engng Sci 1997;37: 1853-7.

[11] Kattan M, Dargent E, Ledru J, Grenet J. J Appl Polym Sci 2001;81:3405-12.

[12] Van Turnhout J.Thermally stimulated discharge of polymer electrets. Amsterdam: Elsevier, 1975.

[13] Sauer BB, Avakian P. Polymer 1992;33:5128.

[14] Laredo E, Grimau M, Müller A, Bello A, Suarez N. J Polym Sci Polym Phys 1996;34:2863.

[15] Lacabanne C, Lamure A, Teyssedre G, Bernes A, Mourgues-Martin M. J Non-Cryst Solids 1994;172-174:884.

[16] Santais JJ. CNAM Thesis. Rouen France, 1992.

[17] Hay IL. In: Fava RA, editor. Methods of experimental physics, vol, 16. New York: Academic Press, 1980. p. 163 part C.

[18] Konda A, Nose K, Ishikawa H. J Polym Sci A2 1976;14:1495.

[19] Gupta VB, Kumar S. J Polym Sci Polym Phys 1979;17:1307.

[20] Devries AJ, Bonnebat C, Beautemps J. J Polym Sci Polym Symp 1977:58:109.

[21] Dumbleton JH. J Polym Sci A2 1968;6:795.

[22] Schwach E. Unpublished results.

[23] Bernes A. Martin M, Martinez JJ, Boye J, Lacabanne C. J Therm Anal 1992;38:169.

[24] Dargent E, Santais JJ, Saiter JM, Bayard J, Grenet J. J Non-Cryst Solids 1994;172:1062-5.

[25] Wunderlich B. Macromolecular physics. New York: Academic Press 1980.■

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

قياس درجة الحرارة الوسطية لقلب مفاعل منبع النترونات السوري المصغَّر باستخدام التفاعلية *

د. إبراهيم خميس
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 دمشق - سورية.

ملخص

جرى تطوير نموذج رياضي لمحاكاة السلوك الديناميِ لمفاعل منبع النترونات السوري المصغَّر. الهدف من ذلك هو تحديد وتقييم درجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل كتابع لحمل التفاعلية الكلّي في قلب المفاعل. يأخذ النموذج بعين الاعتبار الظواهر الفيزيائية الملائمة التي تحكم قلب المفاعل، مثل حركية المفاعل، والتغذيات الراجعة للتفاعلية العائدة إلى درجة حرارة المبرّد والكزينون، وكذلك علم الترموهيدروليك. كما تمّ توظيف ظاهرة الحمل الحراري الطبيعي والحركيات النقطية التي تشمل القفزة الفورية وتقريبات المزج النهائية . قمنا بالتكهن بقيم كلٍّ من استطاعة الذروة، وحمل التفاعلية لقلب المفاعل، ودرجة حرارة مخرج قلب المفاعل، ومتغيّرات أخرى، وذلك أثناء حدوث الشرود للاستطاعة ذاتية الضبط، ثم قارنّاها بالمراجع ذات العلاقة فحصلنا على نتائج متقاربة. دُرِست درجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل كتابع للتفاعلية أثناء تشغيل المفاعل وفي الحالات العابرة. ثم قدّمنا تقديراً تقريبياً شاملاً لدرجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل كتابع لحمل التفاعلية، ومن ثم تمّ اقتراح القيام بإجراءٍ لقياس درجات الحرارة المشابهة لتلك التي قمنا بها.

الكلمات المفتاحية: مفاعل منسر، محاكاة، ترموديناميك المفاعل، جموح التفاعلية.

مقدمة

يمتلك مفاعل منبع النترونات المصغَّر منسر قلباً أسطوانياً متراصّاً وصغير الحجم من النوع المكعّبي بقطر 230 مم وارتفاع 230 مم. فهو عبارة عن مفاعل بحثي من النوع الحوضي صُنِع وطوّر من قِبَل المعهد الصيني للطاقة الذرّية [1]. يُستخدم مفاعل منسر بشكل رئيس كمنشأة للتشعيع النتروني لأغراض التدريب والتحليل بالتنشيط النتروني. أما قلب المفاعل، الحاوي على مخزون من اليورانيوم 235 أكثر بقليل من 1 كغ، فيُحمَّل بـ 347 قضيباً أسطوانياً من عناصر الوقود المصنوعة من سبيكة اليورانيوم والألمنيوم، ويُهدأ بالماء الخفيف، ويحوي في جميع جوانبه على مادة البريليوم العاكس. تتكوّن حشوة عنصر الوقود من اليورانيوم العالي الإغناء (89.97% من وزنه عبارة عن مادة اليورانيوم 235). تُقدّر الاستطاعة الحرارية الاسمية بـ 30 كيلو واط، ويُقيَّد فائض التفاعلية المضاف الأعظمي بقيمة لاتزيد عن 4 mk. يوضع قلب المفاعل داخل وعاء أسطواني الشكل مملوء بالماء وعلى عمق 5.4 م قرب أسفله. يبلغ قطر المفاعل 0.6 م ويُعلَّق في حوض كبير من الماء المبرّد بالحمل الحراري الطبيعي، أما الوعاء فهو محكم الإغلاق من أعلاه ويُفتَح فقط أثناء ضبط فائض التفاعلية؛ أي لإضافة البريليوم العاكس العلوي مرّة كلّ سنتين تقريباً.

تتحقق مراقبة درجات حرارة المفاعل ودرجة حرارة قلب المفاعل والفرق بين درجتي حرارة الماء في المدخل والمخرج عن طريق استخدام نظامي قياس. يُستخدم مقياس درجة الحرارة ذو المقاومة المصنَّعة من البلاتين والموجود أسفل قلب المفاعل، في حين تُستخدم مزدوجتان حراريتان مغلّفتان بمادتي الكرومل والألوميل Alumel-Chromel لقياس فروقات درجة الحرارة عبر قلب المفاعل. تُثبَّت إحدى المزدوجتين عند المخرج بالقرب من حلقة البريليوم، أما الأخرى فتثبَّت بالقرب من فوهة مدخل قلب المفاعل.

قد يتعذّر قياس قيم بعض المتحوّلات الهامة في منسر، وذلك يعود إلى كونه متراصّاً ومبرّداً بالحمل الحراري الطبيعي، نذكر بعض تلك الحالات والقيم وهي (دور المفاعل- درجة حرارة كلٍّ من الوقود والغلاف- درجة حرارة مبرّد قلب المفاعل).لا يشكّل المبرّد بعد عبوره من خلال قلب المفاعل حلقة مغلقة بشكل كلّي، حيث إن مبرّد قلب المفاعل الساخن وبعد خروجه مباشرة من قلب المفاعل يختلط بالماء المبرّد المتواجد في النازل downcomer، ثم يدخل إلى قلب المفاعل جزء فقط من الماء المختلط. وبالنتيجة، فمن الصعوبة - إلى حدٍّ ما - قياس درجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل.

تتلخص ميّزات الأمان الذاتية لمنسر بتوافر معامل تفاعلية لدرجة حرارة المهدئ ذي قيمة عالية السلبية (حوالي 0.1 mk/°C في المجال الحراري 20-45°C)، وبأنه ذو كتلة حرجة منخفضة. إن مثل تلك الميّزات تحدّ من الوصول إلى مستويات استطاعة الذروة عقب إدخال عرضي للتفاعلية، وتؤكد على سلامة مفاعل منسر تحت جميع الحالات العرضية الممكن تصوّرها.

* نُشِرت ورقة البحث هذه في مجلة *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 40, issue 2, 2002.

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

ولقد تمّت محاكاة النموذج الديناميّ باستخدام معادلة لغة المحاكاة المستمرة والموجهة [2]، والتي تُدعى باستبدال المحلّل التفاضلي القابل للنقل (DARE-P). وبما أن لغة المحاكاة هذه مناسبة للحاسوب الشخصي PC، فقد جرى تطويرها بقسم الهندسة الإلكترونية لجامعة أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية.

يصف هذا العمل المنهجية والطريقة المقترحة لقياس درجة الحرارة الوسطية للمبرّد في قلب المفاعل منسر كتابع لحمل التفاعلية الكلّي.

النموذج الديناميّ لمنسر

نظراً لأن النموذج الديناميّ قد جرى تطويره من أجل التحديد الكمّي والنوعي لمنسر، لذا فهو يقسم منظومة المفاعل إلى نموذجين رئيسين هما: حركية النترونات والهدروليك الحراري [3].

حركية النترونات

يُعدّ نموذج قلب المفاعل حركية النقطة الوسطية الفراغية التي تمثل النترونات ذات المجموعات الست من النترونات المتأخرة[4] والمجموعات التسع من النترونات الفوتونية [5]. ومعادلات حركية النترونات هي:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{(\rho - 1)\beta_{eff}}{\Lambda} n + \sum_{i=1}^{6} \lambda_i c_i^d + \sum_{j=1}^{9} \lambda_j c_j^p + q$$

$$\frac{dc_i^d}{dt} = \frac{\gamma^d \beta_i^d}{\Lambda} n - \lambda_i c_i^d \qquad (i = 1,2,3,...,6)$$

$$\frac{dc_j^p}{dt} = \frac{\gamma^d \beta_j^p}{\Lambda} n - \lambda_j c_j^p \qquad (j = 1,2,3,...,9)$$

حيث:

n= كثافة النترونات.

ρ= حمل التفاعلية.

β_{eff}= النسبة الكلّية للنترونات المتأخرة والنترونات الفوتونية.

$$\beta_{eff} = \gamma^d \sum_{i=1}^{6} \beta_i^d + \gamma^p \sum_{j=1}^{9} \beta_j^p$$

β^d_i, β^p_j= المجموعة i وz النترونات المتأخرة والنترونات الفوتونية على التالي (أي المولّدات الطليعية).

λ_i, λ_j= ثوابت التفكك للمولّدات الطليعية i وz.

c^d_i, c^p_j= المولّدات الطليعية للنترونات المتأخرة والنترونات الفوتونية.

γ^d_i, γ^p_j= مردود النترونات المتأخرة والفوتونية.

Λ= زمن توليد النترون المقيس تجريبياً [6].

لُخصت معطيات الانشطار الحراري لمفاعل منسر، والتي استُخدمت في هذا النموذج، في الجدول 1. حيث أعطيت الكسور النسبية للمولّدات الطليعية لكلٍّ من النترونات المتأخرة والفوتونية كالتالي:

الجدول 1– معطيات الانشطار الحراري لمفاعل منسر

النترونات الضوئية			النترونات المتأخرة		
j	المنتوج $\beta_j^p \times 10^{-6}$	ثابت التفكك (λ_j, sec^{-1})	i	المنتوج $\beta_i^d \times 10^{-3}$	ثابت التفكك (λ_i, sec^{-1})
1	20.7	2.265×10^{-2}	1	0.246	0.0127
2	36.6	8.886×10^{-3}	2	1.363	0.0317
3	18.5	3.610×10^{-3}	3	1.203	0.115
4	36.8	7.453×10^{-4}	4	2.605	0.311
5	3.66	2.674×10^{-4}	5	0.819	1.4
6	32.0	6.191×10^{-5}	6	0.167	3.87
7	2.6	1.591×10^{-5}			
8	0.38	2.478×10^{-6}			
9	0.57	6.098×10^{-7}			
$\sum \beta_j^p = 1.517 \times 10^{-4}$			$\sum \beta_i^d = 0.0064$		
$\gamma^p \approx 1.23$			$\gamma^d \approx 1.23$		

$$\beta_{i,eff} = \frac{\gamma^d \beta_i^d}{\beta_{eff}} \quad \Big| \quad \beta_{j,eff} = \frac{\gamma^p \beta_j^p}{\beta_{eff}}$$

ويُحسب حمل التفاعلية عند كلّ خطوة زمنية في النموذج [7] والنموذج [8] كالتالي:

$$\rho = \rho_{cr} + \alpha_m (\overline{T_{core}} - \overline{T_{init}}) + \rho_{xe}$$

حيث:

ρ_{cr} = حمل التفاعلية لقضيب التحكّم [mk].

α_m = معامل التفاعلية للمهدئ [Δk/k/°C]، ويُعطى وفق العلاقة التالية:

$$\alpha_m = 0.026445 \times 10^{-3} - 0.0034752 \times 10^{-3} \cdot \overline{T_{core}}$$

$\overline{T_{core}}$ = درجة الحرارة الوسطية لمبرّد قلب المفاعل [°C] عند الزمن t.

$\overline{T_{init}}$ = درجة الحرارة الأولية لمبرّد قلب المفاعل [°C] (بدء الزمن).

ρ_{xe} = تفاعلية الكزينون [mk].

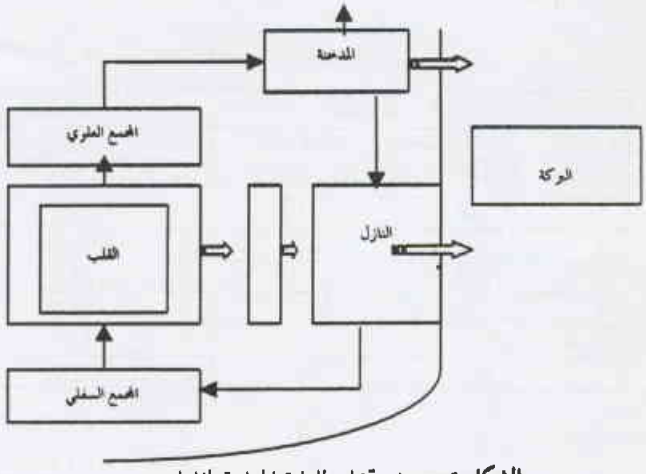
بادئ الأمر، حُسبت تفاعلية الكزينون في هذا النموذج باستخدام المعادلات التفاضلية التابعة للزمن لكلٍّ من تراكيز اليود والكزينون المشكّلة أثناء عمل المفاعل. ثم تبيّن لاحقاً أن تأثير الكزينون لم يتغيّر كثيراً أثناء الحالات العابرة؛ أي إن تأثيره لم يكن هاماً جداً وبالإمكان اعتبار تأثير الكزينون ثابتاً.

النموذج الحراري

يتألف النموذج الهدروليكي الحراري من معادلات توازنية بسيطة حيث تحدث ظواهر الانتقال الحراري. تنتقل الحرارة المتولّدة بسبب الانشطار النووي إلى المبرّد ثم إلى المصرّف الحراري النهائي الذي يمثّل الحوض. ويمثّل الشكل 1 الحلقة الترموهدروليكية لمفاعل منسر.

لقد صيغت معادلات درجات الحرارة لكلٍّ من الدخل والخرج والمبرّد داخل قلب المفاعل وذلك باستخدام معطيات محاكية [9] ومعطيات حقيقية جُمعت أثناء عمل المفاعل. يدمج هذا النموذج العلاقة التي تربط

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



الشكل 1– عرض تمثيلي للدارة الحرارية لمفاعل منسر

بين الانخفاض في درجة حرارة قلب المفاعل إلى الاستطاعة العاملة ودرجة حرارة مدخل المبرّد، أي:

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

حيث:

ΔT = فرق درجات الحرارة عبر قلب المفاعل [°C].

H_{in} = ارتفاع فوهة دخول المبرّد إلى القلب [6.0mm].

T_{in} = درجة حرارة المبرّد عند دخول القلب [°C].

P = الاستطاعة الاسمية [kW].

تُحسب درجة الحرارة الوسطية لمبرّد قلب المفاعل باستخدام طريقة التقريب بالمزج الكلّي وتُعطى بالعلاقة:

$$\overline{T_{core}} = \Delta T / 2 + T_{in}$$

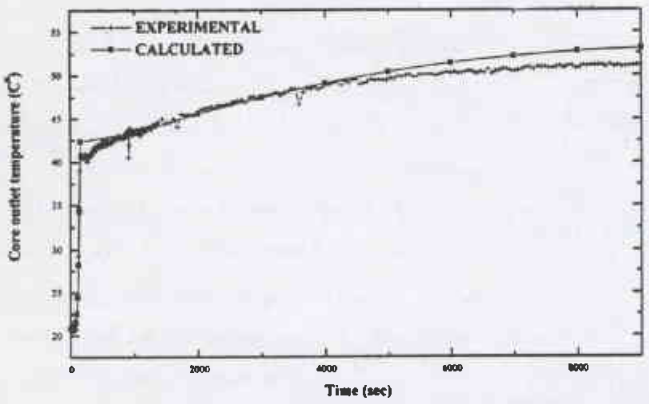
وبزيادة استطاعة المفاعل تزداد كثافة المبرّد مما يؤدي إلى إنقاص تفاعلية قلب المفاعل وبالتالي استقرار التدفق النتروني. ونظراً لانخفاض قيمة فائض التفاعلية المتوافر بالمفاعل، فإن التغيّرات في درجة حرارة المبرّد لها تأثير سلبي عنيف على تفاعلية قلب المفاعل ويُعبَّر عنها بتابع خطي كما ذكر آنفاً.

التحقق من النموذج

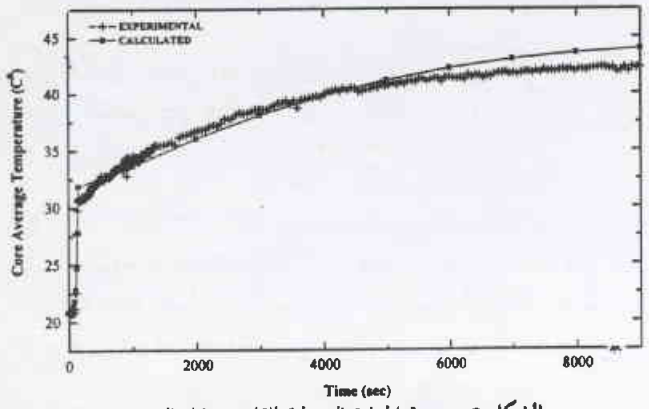
لقد جرى التحقق من هذا النموذج باستخدام المحاكاة لكلٍّ من الحالة المستقرة والحالة العابرة. وفي كلتا الحالتين، جرت مقارنة بين المعطيات الحقيقية التي جُمعت؛ أي تلك التي تمّ اقتباسها من المعطيات المذكورة في تقرير إعادة التشغيل لمنسر [10]، وبين النتائج التي حصلنا عليها من

الجدول 2– الحالات العابرة المقيدة ذاتياً.

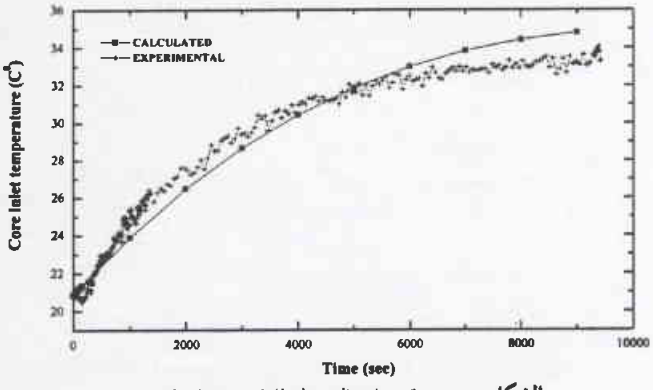
متغيرات المفاعل عند استطاعة الذروة	التفاعلية المدخلة [mk]			
	2.1		3.8	
	المرجعية	المحاكاة	المرجعية	المحاكاة
استطاعة الذروة[kw]	42	42.9	99.3	99.0
التدفق النتروني الحراري عند الذروة $[n.cm^{-2}s^{-1}]$	$1.4x10^{12}$	$1.43X10^{12}$	$3.31x10^{12}$	$3.30X10^{12}$
درجة حرارة المبرّد عند الخروج من القلب[°C]	44.7	47.8	60.5	64.5



الشكل 2– درجة حرارة الخروج من القلب مقابل الزمن.



الشكل 3– درجة الحرارة الوسطية للقلب مقابل الزمن.



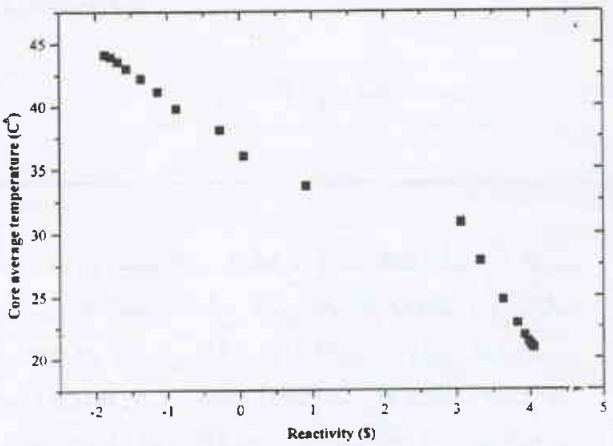
الشكل 4– درجة حرارة الدخول للقلب مقابل الزمن.

المحاكاة. ويمثل الجدول 2 نتائج المحاكاة المبنية على النموذج المطوّر والنتائج المقتبسة الناتجة عن التجارب العلمية لحالتين عابرتين مقيدتين ذاتياً تتضمنان إدخالات قفزية للتفاعلية.

النتائج والمناقشة

قمنا بإجراء المحاكاة للحالة التشغيلية للمفاعل منسر عند عمله بالاستطاعة الاسمية، وحصلنا على النتائج المبيّنة بالأشكال 2 و3 و4، بالإضافة إلى المعطيات الحقيقية لحالات مشابهة أخرى تمّ الحصول عليها. حيث يبيّن الشكل 5 الرسم البياني لدرجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل والتفاعلية.

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



الشكل 5– درجة الحرارة الوسطية للقلب مقابل التفاعلية.

وكما هو واضح بالأشكال 2 و3 و4، فإن النموذج الديناميي يتنبأ بشكل جيد بسلوك مفاعل منسر أثناء الحالات التشغيلية، إذ إنه يعطي نتائج متقاربة بشكل نوعي وذلك عند مقارنتها بالمعطيات الحقيقية الموافقة. لدينا بالشكل 5 الحالة الأولية للتفاعلية 4 mk ودرجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل 20 °C.

في بادئ الأمر، عندما يكون كامل فائض التفاعلية متوافراً، فإن درجة الحرارة لا تتغير بشكل سريع، وذلك يعود إلى سعتها الحرارية الكبيرة. ومن الملاحظ أنه حتى بعد استهلاك كامل فائض التفاعلية (وتصبح بالنهاية التفاعلية ذات قيمة سالبة عند إغلاق المفاعل)؛ فإن درجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل تستمر بالزيادة لفترة ما نتيجةً للحرارة المتولّدة من نواتج الانشطار. إن المطابقة الرياضية الخطّية للمعطيات بالشكل 5 على كامل المجال التشغيلي للمفاعل تكشف لنا عن العلاقة التجريبية الخطّية البسيطة التالية والتي تجمع بين التفاعلية ودرجة الحرارة الوسطية بداخل قلب المفاعل:

$$T_{av} = 37.17 - 4.6 \times \rho$$

حيث تُقاس التفاعلية ρ بواحدة [mk].

ومن المعروف أن مطابقة أفضل، باستخدام الشكل الأسي أو كثيرات الحدود أو حتى تقطيع المنحنى إلى قطع، قد تؤدي إلى الحصول على دقة أفضل. ومع ذلك، فإنه لتشكيل دارة للقياس، يُفضَّل وبشكل كبير استخدام المطابقة الخطّية مع الأخذ بعين الاعتبار أن إجراء القياس لدرجة الحرارة يصبح ذا أهمية أكبر عند الانتهاء من الحالة العابرة لإقلاع المفاعل. وبالاعتماد على هذه النتيجة، يمكن إجراء القياس لدرجة حرارة قلب المفاعل منسر. كما يمكن معالجة الإشارة المأخوذة من دور المفاعل أو حجرة الانشطار ضمن دارة إلكترونية لإعطائنا قراءة لدرجة حرارة مخرج قلب المفاعل.

النتيجة

إن النموذج الديناميي المطوّر الحالي، والمتحقق منه بشكل محدود، يمكنه محاكاة سلوك مفاعل منسر بشكل مرضٍ. وقد اقتُرحت طريقة ممكنة لقياس درجة الحرارة الوسطية لقلب المفاعل كتابع لحمل التفاعلية. وحالياً، يؤخذ بعين الاعتبار بصورة جدّية إجراء عمل تجريبي لتطبيق مثل هذه المنظومة لقياس درجات الحرارة.

المراجع

REFERENCES

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

[2] Korn G.A. and Wait J.V. (1978) Digital Continuous System Simulation. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

[3] Khamis I. (1988) Simulation of a nuclear power plant pressurizer and its application to inherently safe reactors. Ph.D. Dissertation, Univ. of Arizona, USA.

[4] Hetrick D.L. (1971) Dynamics of Nuclear Reactors. University of Chicago Press Ltd., Chicago, USA.

[5] Pytel K. (1998) IAEA-Expert report. Vienna, Austria.

[6] Hainoun A. and Khamis I. (2000) Determination of neutron generation time in miniature neutron source reactor by measurement of neutronics transfer function, Nuclear Engineering and Design, 195, 299-305, The Netherlands.

[7] Ash M. (1979) Nuclear Reactor Kinetics. McGraw-Hill Inc., USA.

[8] Lewins J. (1978) Nuclear Reactor Kinetics and Control. Pergamon Press, Oxford, UK.

[9] Khamis I., Alsous M.B., Haj Hassan H., Jouhara H. (2000) Dynamic simulator for the miniature neutron source reactor. Progress in Nuclear Energy, vol. 36, No. 4, pp. 379-385.

[10] AECS (1996) commissioning report for the Syrian Miniature Neutron Source Reactor, internal report.■

خواص مركّبات خشب - بلاستيك:
تأثير الإضافات اللاعضوية*

د. إلياس حنا بكرجي – نعمان سلمان
قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرية – ص. ب. 6091 – دمشق – سورية

ملخص

حُضّرت مُركّبات خشب – بلاستيك من أنواع أخشاب سورية (حور، سرو، صفصاف) بالتشعيع بأشعة غاما. غُمس الخشب الجاف بالأكريلاميد أو بوتيل ميتا أكريلات بتراكيز مختلفة في الميتانول المستخدم كعامل انتفاخ. دُرس تأثير الإضافات والإضافات المشتركة اللاعضوية مثل نترات الليثيوم ($LiNO_3$)، كبريتات النحاس ($CuSO_4$)، وحمض الكبريت (H_2SO_4)، والتي استخدمت بتراكيز منخفضة جداً (1%)، في الحمولة البوليميرية (PL) وتحمل الضغط (CS). وُجد أن جميع الإضافات والإضافات المشتركة، باستثناء أيون النحاس Cu^{2+}، أدّت إلى زيادة قيمة الحمولة البوليميرية، كما وُجد أن أيون الليثيوم Li^+ فقط أدّى إلى تأثير إيجابي في تحمل الضغط (CS).

الكلمات المفتاحية: بلمرة، أشعة غاما، أخشاب سورية، إضافات.

مدخل

يُستخدم الخشب بشكل واسع كمادة في البناء، ولكن رغم ميزاته الكثيرة إلا أنه يتضخم (ينتفخ) عندما يمتص الماء ويتشقق عندما يجف. يمكن تحسين المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للخشب باستخدام البلمرة الإشعاعية لمعالجة المونومرات في الخشب [1]. يتكون الخشب من طبقات من السللوز، حيث المونومرات متشرّبة عادة في مادة الخشب تحت الخلاء كمرحلة أولى قبل التشعيع الذي يحرض على بلمرة المونومر مع مكونات الخشب. يُدعى الخشب المتغير الناتج مركّب خشب – بوليمير (WPC) [2-6].

تتعلق نوعية (WPC) بالحمولة البوليميرية (PL)، والتي يمكن أن تزداد بشكل واضح باستخدام بعض الإضافات. وهذه الزيادة يمكن أن تؤثر في الخواص الميكانيكية لـ WPC. في مقالنا السابق [7]، بيّنا أن تشرّب الأكريلاميد (AM)، بوتيل ميتا أكريلات (BM) والستيرين (ST)، مع خمسة أنواع من الخشب السوري، قد أظهر ازدياداً واضحاً للحمولة البوليميرية (PL) وقوة تحمل الضغط الميكانيكية. نقوم في العمل الحالي باستخدام AM و BMA بوجود الإضافات والإضافات المشتركة اللاعضوية. إن دور الإضافات في تسريع عملية البلمرة الإشعاعية مهم جداً، حيث إنه وتحت شروط تجريبية ملائمة، يؤدي إلى زيادة مردود المنتَج النهائي [8].

التجربة

اختيرت ثلاثةُ أنواع من الخشب السوري من بين الأنواع الخمسة التي استخدمت في عملنا السابق [7] وهي الحور (Populus alba)، ($d = 340 kg/m^3$)، السرو (Cupressus sempervirens)، ($d = 460 kg/m^3$)، الصفصاف (Salix alba)، ($d = 490 kg/m^3$)، حيث d هي كثافة الخشب. استخدمت المونومرات AM و BMA والإضافات $LiNO_3$، $CuSO_4$، و H_2SO_4 في هذا العمل، دون أي معالجة. شُعّعت العيّنات عند الجرعة 30 kGy باستخدام خلية غاما (^{60}Co) الموجودة في هيئة الطاقة الذرّية السورية بجرعة معدّلها 3.5 kGy/h. الإجراءات التجريبية المختارة في هذه الدراسة هي ذاتها التي استخدمت سابقاً [7]، باستثناء مفاده أن الإضافات والإضافات المشتركة التي تمّ استخدامها في هذا العمل كانت بتركيز 1% نسبة إلى المونومر. عُيّنت الجرعة البوليميرية من النسبة المئوية لزيادة وزن العيّنة بعد التشعيع والتجفيف. حُسب مُعامل تحمل قوة الضغط (CS) كالتالي:

$$C_r = CS_{WPC}/CS_{Wood}$$

حيث C_r هو معامل CS، CS_{WPC} هو CS لمركب خشب – بلاستيك، و CS_{Wood} هو CS للخشب غير المُعالَج.

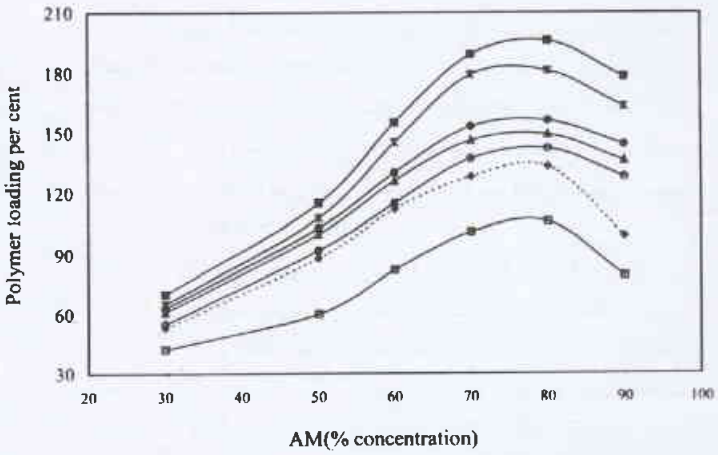
النتائج والمُناقشة

تأثير الإضافات في PL

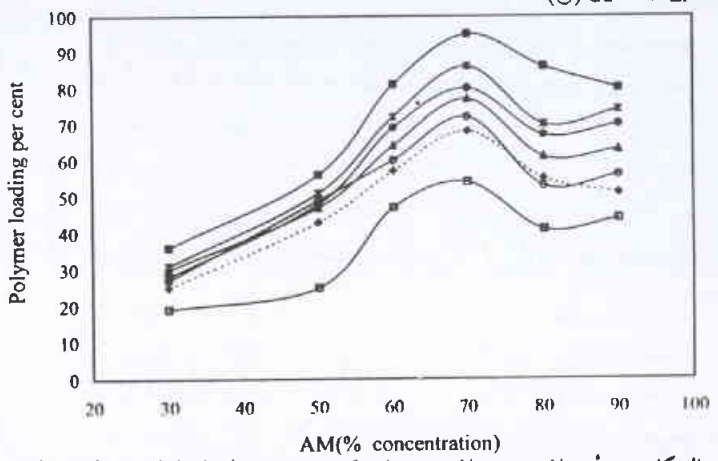
إن الإضافات اللاعضوية ذات فائدة للمنتَج من حيث الحماية وجمالية اللون. تُظهر الأشكال (1-3) الحمولة البوليميرية للأكريلاميد في أنواع الخشب الثلاثة بوجود الإضافات والإضافات المشتركة عند تراكيز مختلفة للأكريلاميد في الميتانول (MeOH)، حيث تمثل كل نقطة وسطي قيم عيّنتين. الخطأ التجريبي لمختلف المُعطيات يتراوح بين 7% و 11%. يتّضح من الأشكال، باستثناء Cu^{2+}، أن الإضافات أدّت إلى زيادة الحمولة البوليميرية مقارنة بقيم PL بدون استخدام الإضافات. وتظهر النتائج أيضاً

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Radiation Physics and Chemistry*, 2002.

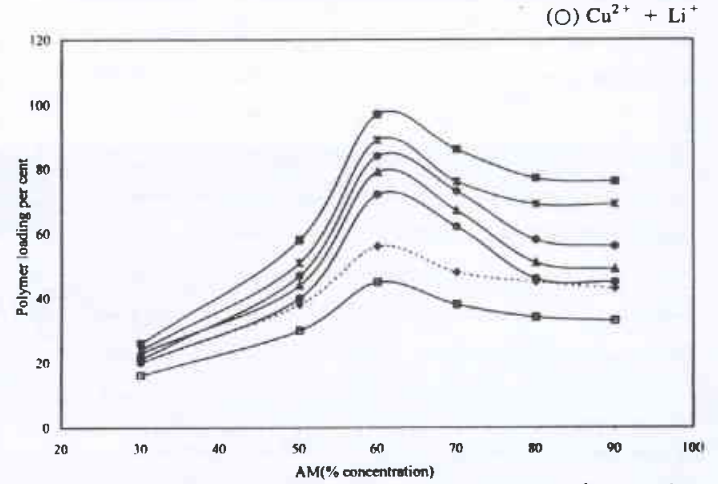
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل 1– تأثير الإضافات والإضافات المشتركة (1%) في الحمولة البوليميرية لخشب الحور باستخدام محاليل AM
(◆) No additive; (□) Cu^{2+}; (■) H^+; (▲) Li^+; (•) $H^+ + Li^+$; (●) $H^+ + Cu^{2+}$; (○) $Cu^{2+} + Li^+$



الشكل 2– تأثير الإضافات والإضافات المشتركة (1%) في الحمولة البوليميرية لخشب السرو باستخدام محاليل AM
(◆) No additive; (□) Cu^{2+}; (■) H^+; (▲) Li^+; (•) $H^+ + Li^+$; (●) $H^+ + Cu^{2+}$; (○) $Cu^{2+} + Li^+$



الشكل 3– تأثير الإضافات والإضافات المشتركة (1%) في الحمولة البوليميرية لخشب الصفصاف باستخدام محاليل AM
(◆) No additive; (□) Cu^{2+}; (■) H^+; (▲) Li^+; (•) $H^+ + Li^+$; (●) $H^+ + Cu^{2+}$; (○) $Cu^{2+} + Li^+$

أن H^+ أدّت إلى زيادة PL بعامل قدره 1.8 - 1.3، بينما أدّى أيون Li^+ إلى زيادة PL بعامل 1.4 أو أقل. إن قيم PL الأعظمية بوجود إحدى الإضافات (H^+, Li^+, Cu^{2+}) مع مونومير للأكريلاميد، كانت بتركيز 80% للأكريلاميد مع الحور وبتركيز 70% و 60% للأكريلاميد مع السرو والصفصاف على الترتيب. إن أعلى قيمة للحمولة البوليميرية (196%) بين جميع المنظومات، كانت مع (H^+ + AM) + حور. وكتخمين أولي، يبدو أن شكل المنحني في الأشكال (1-3) يعود إلى مفعول الهُلامة Gel effect الذي يمكن أن يكون بسبب التراكيز العالية للمونومير.

تزداد الحمولة البوليميرية، كما تُظهر الأشكال (4-6) مع ازدياد تركيز البوتيل ميتا أكريلات وتصل إلى القيمة العظمى عند تركيز 90% لـ BMA في الميتانول في جميع المنظومات. أما فيما يتعلق بأعلى قيمة للحمولة البوليميرية مع BMA، فالنتيجة مشابهة لما هو مع AM، حيث تصل الحمولة البوليميرية إلى القيمة العظمى 187 % عند تركيز 90 % لـ BMA مع خشب الحور وبوجود H^+ كإضافة. من الواضح أن H^+ و Li^+ كإضافات أدّت، مع كل من المونومرين، إلى تحسين الحمولة البوليميرية في جميع المنظومات، بينما أدّت Cu^{2+} كإضافة إلى إنقاص الحمولة البوليميرية. تنفرد أملاح النحاسي، كإضافة، بأن مردود التمخلب ينقص أيضاً أثناء عملية إعاقة التجانس البوليميرية [9]. تُبيِّن النتائج أنه في المنظومات المدروسة، يكون الحمض أكثر فعالية من الأملاح المدروسة في عملية زيادة التمخلب عند جميع تراكيز المونومير.

تأثير الإضافات المشتركة في PL

يمكن أن يؤثر وجود الإضافات في كل من مردود التمخلب وتجانس البلمرة. بيّن Dworjanyn و Garnett [9] أن وجود الحمض كإضافة، يزيد كلاً من مردود التمخلب وتجانس البلمرة عند جميع تراكيز المونومير المدروسة حتى 50% لمحلول الستيرين. لذلك فإن إدخال الإضافات المشتركة، H^+ مع إما Li^+ أو Cu^{2+} ، و Cu^{2+} مع Li^+ أدّى إلى تحسين الحمولة البوليميرية مقارنة بقيم PL مع استخدام المونومير فقط. وهذه الزيادة في الحمولة البوليميرية لا تتضمن زيادة في تركيز المونومير.

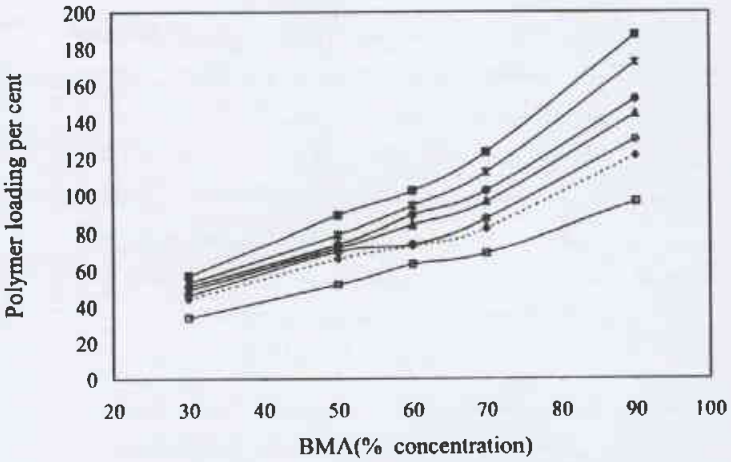
حصلنا على أعلى قيمة للحمولة البوليميرية مع الإضافات المشتركة، مع أنواع الخشب الثلاثة، مع منظومة المونومير + ($H^+ + Li^+$)، ولكن بقيت قيم PL مع المونومير H^+ هي الأعلى. إن ترتيب قيم الحمولة البوليميرية وفقاً للإضافات والإضافات المشتركة المستخدمة مع منظومة (حور + AM) كان على النحو التالي:

$$H^+ > H^+ + Li^+ > H^+ + Cu^{2+} > Li^+ > Li^+ + Cu^{2+} > \text{بدون إضافة} > Cu^{2+}$$

وهذا الترتيب مشابه للقيمة التي حصل عليها Khan و Idriss ali [10] من أجل خشب السيمول (Salmalia malabarica) باستخدام الستيرين كمونومير، بينما كان هذا الترتيب مع منظومة (السرو + AM) أو منظومة (الصفصاف + AM) على النحو التالي:

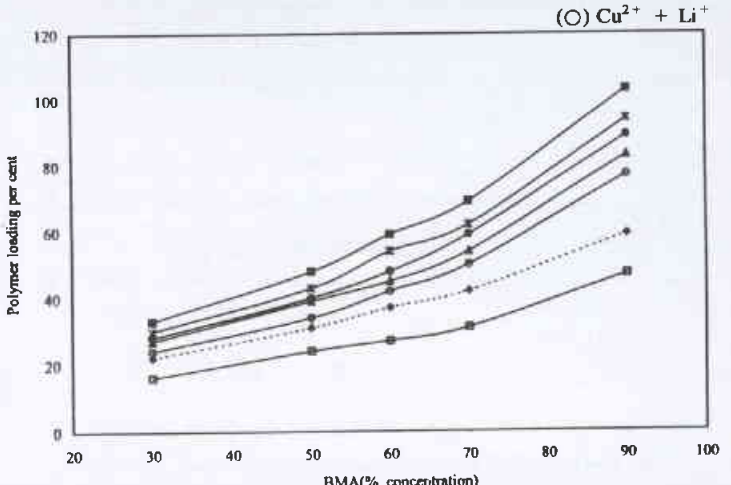
$$H^+ > H^+ + Li^+ > Li^+ > H^+ + Cu^{2+} > Li^+ + Cu^{2+} > \text{بدون إضافة} > Cu^{2+}$$

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



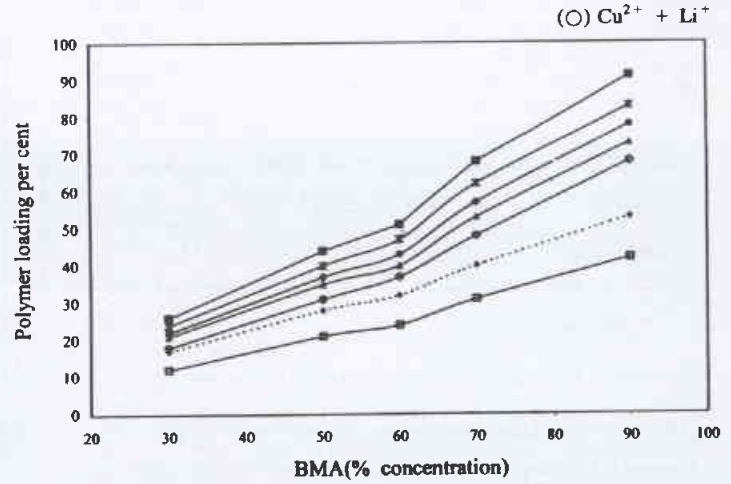
الشكل 4– تأثير الإضافات والإضافات المشتركة (1%) في الحمولة البوليميرية لخشب الحور باستخدام محاليل BMA

(◆) No additive; (□) Cu^{2+}; (■) H^+; (▲) Li^+; (•) $H^+ + Li^+$; (●) $H^+ + Cu^{2+}$; (○) $Cu^{2+} + Li^+$



الشكل 5– تأثير الإضافات والإضافات المشتركة (1%) في الحمولة البوليميرية لخشب السرو باستخدام محاليل BMA

(◆) No additive; (□) Cu^{2+}; (■) H^+; (▲) Li^+; (•) $H^+ + Li^+$; (●) $H^+ + Cu^{2+}$; (○) $Cu^{2+} + Li^+$



الشكل 6– تأثير الإضافات والإضافات المشتركة (1%) في الحمولة البوليميرية لخشب الصفصاف باستخدام محاليل BMA

(◆) No additive; (□) Cu^{2+}; (■) H^+; (▲) Li^+; (•) $H^+ + Li^+$; (●) $H^+ + Cu^{2+}$; (○) $Cu^{2+} + Li^+$

إن ترتيب قيمة الحمولة البوليميرية وفقاً للإضافات والإضافات المشتركة باستخدام BMA مع أحد أنواع الخشب مشابه للترتيب مع حور + AM (انظر الأشكال 1-6). إن نتائجنا من أجل H^+، Cu^{2+} و $H^+ + Cu^{2+}$ متوافقة، من أجل المونوميرين المستخدمين، مع النتائج التي حصل عليها إدريس علي وآخرون [11] من أجل خشب السيمول باستخدام AM كمونوميرـ إن إدخال ($H^+ + Cu^{2+}$) أو ($H^+ + Li^+$) مع محلول المونومير + MeOH أدّى إلى زيادة قيمة الحمولة البوليميرية مع أنواع الخشب المستخدم وذلك مقارنة بوجود Cu^{2+} أو Li^+ فقط مع منظومة (مونومير + ميتانول)، بينما أدّى وجود Cu^{2+} كإضافة مشتركة مع H^+ أو Li^+ في أنواع الخشب بوجود الأكريلاميد أو البوتيل ميتا أكريلات إلى إنقاص الحمولة البوليميرية. من المفيد أن نبيّن أن وجود أيونات H^+ في جميع المنظومات ساهم بالحصول على أعلى قيم للحمولة البوليميرية وذلك من خلال آلية إعطاء البروتون، ولكن CS في WPC أدّت إلى قيم أقل من تلك التي تعود إلى منظومة لا تحوي الحمض، وهذا لأن أيونات H^+ تكسر السلسلة الطويلة للمونومير مؤدية إلى إنقاص قوة التحمل للمركّب [10]. يمكن أن يستخدم الليثيوم كبديل جيد عن الحمض للحصول على قيم PL عالية بدون تخريب CS لـ WPC. وهذا الأمر من الممكن أن يكون بسبب قابلية أيونات Li^+ العالية للامتزاج ضمن جسم البوليمير.

تأثير الإضافات و الإضافات المشتركة في قوة تحمل الضغط

يظهر الجدولان 1 و 2 قيم CS مقابل القيم العظمى للحمولة البوليميرية في مركّبات خشب - بلاستيك المحضّرة مع أنواع الخشب الثلاثة المستخدمة، ومع المونوميرين AM و BMA واللذين يحويان H^+، Li^+ و Cu^{2+} كإضافات وإضافات مشتركة. من الواضح من المعطيات، أن المركّبات خشب - بلاستيك المحضّرة في هذا العمل مع AM تملك قيماً لـ CS أعلى من تلك المحضّرة مع BMA كمونومير بوجود أو بغياب الإضافات و الإضافات المشتركة، وذلك في الشروط نفسها. تظهر المعطيات في الجدولين 1 و 2 بأن قيم C_r بوجود الإضافات و الإضافات المشتركة، باستثناء Li^+، أصغر من قيم C_r بدون إضافات و إضافات مشتركة. ومن المفيد أن نلاحظ أن القيم العظمى لـ PL تمّ الحصول عليها بوجود الحمض كإضافة، ولكن قيم CS انخفضت بشكل كبير لقيم أصغر من تلك التي هي للخشب غير المعالج باستثناء المنظومة (حور + AM). يؤدي وجود الإضافات المدروسة إلى زيادة التجانس البوليميري، مما يؤدي بالتالي إلى إنقاص البلمرة المشتركة للمونومير مع مكونات الخشب [6، 12] وهذا يُفسّر ازدياد قيم PL وانخفاض قيم CS بوجود هذه الإضافات باستثناء Li^+.

حصلنا على القيم الأعلى لـ CS مع Li^+ بغض النظر عن المونومير في جميع المنظومات. وهذه النتيجة ذات دلالة عندما تكون القوة الميكانيكية لمركّب خشب - بلاستيك هي الهدف. إن الـ AM أدّى إلى الحصول على المردود الأعلى للحمولة البوليميرية وذلك لـ C_r مقارنة مع BMA بوجود أو غياب الإضافات، وذلك مع جميع أنواع

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

الجدول 1– عامل تحمّل الضغط (C_f) لأنواع مختلفة من الخشب السوري عند الحمولة البوليميرية الأعلى لمونومير الأكريلاميد بوجود الإضافات.

أنواع الخشب ◄ / الإضافات ▼	الصفصاف		السرو		الحور	
	PL	C_f	PL	C_f	PL	C_f
---	133	2.10	68	1.70	56	1.40
H^+	196	1.15	95	0.91	97	0.82
Li^+	149	2.27	77	1.89	79	1.47
Cu^{2+}	106	2.00	54	1.47	45	1.22
$H^+ + Li^+$	181	1.91	86	1.41	89	1.19
$H^+ + Cu^{2+}$	156	1.62	80	1.22	84	1.06
$Cu^{2+} + Li^+$	142	2.08	72	1.77	72	1.34

الجدول 2– عامل تحمل الضغط (C_f) لأنواع مختلفة من الخشب السوري عند الحمولة البوليميرية الأعلى لمونومير بوتيل ميتا أكريلات بوجود الإضافات.

أنواع الخشب ◄ / الإضافات ▼	الصفصاف		السرو		الحور	
	PL	C_f	PL	C_f	PL	C_f
---	121	1.52	59	1.21	53	1.15
H^+	187	0.88	103	0.75	91	0.66
Li^+	144	1.92	83	1.52	73	1.43
Cu^{2+}	96	1.53	47	1.15	42	1.12
$H^+ + Li^+$	173	1.33	94	1.12	83	1.10
$H^+ + Cu^{2+}$	152	1.23	89	1.06	78	1.08
$Cu^{2+} + Li^+$	130	1.78	77	1.42	68	1.35

الخشب الثلاثة المدروسة. لم يؤثر وجود Cu^{2+} كثيراً كإضافة مشتركة في PL و C_f.

الخلاصة

من خلال هذه الدراسة على مركّبات خشب - بلاستيك لأنواع أخشاب سورية، يمكننا أن نستنتج بشكل عام أن بعض الإضافات والإضافات المشتركة اللاعضوية، المستخدمة في هذه الدراسة، تلعب دوراً إيجابياً بالنسبة إلى الحمولة البوليميرية، وبعضاً منها يلعب دوراً إيجابياً بالنسبة لتحمل قوة الضغط CS. إن وجود حمض الكبريت، مثلاً، يزيد من الحمولة البوليميرية ولكنه ينقص من قيمة تحمل الضغط CS في جميع الحالات مقارنة بالقيم في غياب المونومير. يتّضح من هذه الدراسة على مركّبات خشب - بلاستيك أن استخدام الإضافات والإضافات المشتركة يتعلق فيما إذا كان الهدف هو الحصول على PL أعظمي أم C_f أعظمي.

المراجع

REFERENCES

[1] Roos, S.L., Hodgins, J.W., 1966. Irradiated Wood-Polymer 93 combinations. Isotopes Radiat. Technol. 3 (3), 236-244.

[2] Karpov, V.L., Malincky, Y.M., 1961. Radiation makes better wood. Nucleonics.19 (10), 88-91.

[3] Kent, J.A., Winston, A., Boyle, W.R., Loos, W., Ayres, J.E., 1965. Preparation of wood- plastic combinations using gamma radiation to induce polymerization. USAEC Reports, ORO 658.

[4] Czvikovszky, T., 1968. Wood-plastic combination. Atomic Energy Review, VI, No. 3, 99 pp. IAEA, Vienna.

[5] Iya, V.K., Majali, A.B., 1978. Development of radiation processed wood- polymer composites based on tropical hardwood. Radiat. Phys. Chem. 12, 107-110.

[6] Czvikovszky, T., 1992. Radiation processing of wood-plastic composites. In: Singh A and Silverman J (eds.), Radiation Processing of Polymers, Hanser, Munich, pp 121-148.

[7] Bakraji, E.H., Salman, N., Alkassisi, H., 2001. Gamma radiation induced wood- plastic composites from Syrian tree species. Radiat. Phys. Chem. 61, 137-141

[8] Garnett, J. L., Loo-Teck, N.G., 1996. Additive effects common to radiation grafting and wood -plastic composite formation. Radiat. Phys. Chem. 48 (1), 217-230.

[9] Dworjanyn, P.A., Garnett, J.L., Khan, M. A., Maojun, X., Meng-Ping, Q., Nho, Y.C., 1993. Novel additives for accelerating radiation grafting and curing reactions. Radiat. Phys. Chem. 42 (1-3), 31-40.

[10] Khan, M. A., Idriss Ali, K.M., 1992. Role of additives on tensile strength of wood- plastic composite. Radiat. Phys. Chem. 40 (6), 421-426.

[11] Idriss Ali, K.M., Khan, M. A., Husain, M., 1994. Role of additives in wood plastic composite of water soluble monomer. Radiat. Phys. Chem. 44 (4), 421-425.

[12] Dworjanyn, P.A., Garnett, J.L., 1989. The role of multifunctional acrylates in radiation grafting and curing reactions. Radiat. Phys. Chem. 33 (1), 429-436.■

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

تقييم بعض المواد العلفية غير التقليدية للمجترّات في الزجاج عن طريق معامل هضم المادة العضوية والطاقة والكتلة الحيوية المِكروبية*

د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة- هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091- دمشق - سورية

ملخص

تمّ تقدير معامل هضم المادة العضوية الظاهري (IVOMAD) أو الحقيقي (IVOMTD) في الزجاج والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL)، إضافةً إلى الآزوت المِكروبي (MN) والكتلة الحيوية المِكروبية (MBM) المتكونة بغرض التنبؤ بالقيمة الغذائية لبعض المنتجات الزراعية الثانوية والنباتات الشجرية والرعوية المتحمّلة للجفاف. كما تمّت دراسة العلاقة بين الغاز المنتج في الزجاج ومعامل الهضم الظاهري أو الحقيقي والآزوت المِكروبي والكتلة الحيوية المِكروبية باستخدام تقنية الحضن بسائل الكرش في الزجاج. أشارت النتائج إلى اختلاف قيم IVOMAD و IVOMTD وME وNEL وGP وMBM والآزوت المِكروبي المتكوّن حسب نوع المواد التجريبية المدروسة. وأعطى التخمّر الحقيقي للجزء الخارجي لنبات القطف Atriplex leucoclada كمّيةً من الغاز أعلى من الجزء المتوسط أو الجزء الداخلي للنبات، ورافق ذلك ارتفاع في قيم IVOMAD وIVOMTD وME و NEL الخاصّة بها. وأدّى فصل خشب الزيتون عن تفل الزيتون بعملية النخل، بغرض الحصول على تفل الزيتون اللحمي، إلى زيادة حجم الغاز الناتج من التخمّر الحقيقي للمادة الأخيرة وإلى ارتفاع قيم IVOMAD وIVOMTD وME وNEL. وإن 1 مل غاز يولد من تهدّم حقيقي لـ 5 مغ من نباتات تبن القمح أو المورينغا (Moringa oleifera)، أو العاقول (Alhagi camelorum)، أو الكينا (Eucaliptus camaldulensis أو القطف)، أو من 11 مغ لنبات الخرينبة (Prosopsis stephaniana) أو تفل زيتون لحمي، أو من 20 مغ لتفل الزيتون أو خشب تفل الزيتون. توقفت قيم MN أو MBM المنتجة من التخمّر الحقيقي لـ 100 مغ مادة عضوية على نوع المادة المتخمّرة، وتراوحت القيم بين 0.7–2.9 مغ لـ MN و 8–34 مغ لـ MBM. وجدت علاقة ارتباط سلبية بين الألياف الخام وكلٍّ من IVOMAD وIVOMTD وME وNEL. وجدت علاقة ارتباط موجبة ومعنوية بين الغاز الناتج من التخمّر وبين IVOMAD أو IVOMTD، وعلاقة ارتباط سلبية ومعنوية بين الغاز الناتج وبين الآزوت المِكروبي أو الكتلة الحيوية المِكروبية المتكوّنة.

الكلمات المفتاحية: نباتات شجرية، معامل هضم، غاز منتج، كتلة مِكروبية، تغذية، تفل زيتون، نباتات رعوية، سائل كرش.

مختصرات

إنتاج غاز (GP)، معامل الهضم الظاهري للمادة العضوية في الزجاج (IVOMAD)، معامل الهضم الحقيقي للمادة العضوية في الزجاج (IVOMTD)، كتلة حيوية مِكروبية (MBM)، طاقة استقلابية (ME)، نتروجين مِكروبي (MN)، طاقة صافية لإنتاج الحليب (NEL)، معامل انحدار (R)، حمض دهني طيّار (VFA).

مقدمة

تعتمد تغذية الحيوان في المناطق الجافة وشبه الجافة على أتبان الحبوب بشكل كبير، وهي أعلاف فقيرة بسبب احتوائها على كمّية عالية من المواد اللغنوسللوزية [1]. تتجه الأبحاث في الدول النامية إلى إمكانية الاستعاضة عن الأعلاف المركّزة، والتي تستورد غالباً، بمواد علفية منتجة في المزرعة، لتغطية الاحتياجات البروتينية للحيوانات المجترّة. يمكن استخدام بعض النباتات الرعوية والشجرية، المتحمّلة لتغيّرات الظروف البيئية المحلية على مدار السنة، كمواد بروتينية مكمّلة للأتبان.

تحتوي أوراق بعض أنواع النباتات الشجرية المدخلة (مثل المورينغا Moringa oleifera Lam، والجاتروفا Jatropha curcas Linn، و الكينا Eucaliptus camaldulensis Dahnh) على كمّية مرتفعة من البروتين، ويمكن استخدامها كمواد علفية مكمّلة للأعلاف الخشنة الفقيرة النوعية [3,2]. تحتوي أوراق المورينغا والجاتروفا والكينا على 25% و16% و9% بروتين خام، على التوالي. غالباً ما يُشار إلى نبات المورينغا بشجرة "عصي الطبل" (وصفاً لشكل قرون النبات) أو بشجرة "فجلة الفرس" (وصفاً لمذاق جذوره). وينتمي نبات المورينغا إلى عائلة Moringaceae التي تنمو في أغلب أمكنة المناطق الاستوائية، وموطنها بقاع هيمالايا الدنيا وشمال غرب الهند وباكستان وبنغلاديش وأفغانستان. إنها شجرة متعددة الأغراض وذات أهمية اقتصادية ولها استخدامات صناعية وطبية متعددة

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Tropical Animal Health and Production, 34 (2002).

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

[4]. تحتوي أوراق المورينغا على كمّيات مهملة لاتذكر من التانينات tannins، أما محتواها من الصابونينات saponins فهو مشابه للكمّية المتواجدة في مسحوق فول الصويا، كما تُعدّ أوراق المورينغا خالية من اللكتينات lectins وكابحات عمل التريبسين trypsin inhibitors. ينتمي نبات الجاتروفا إلى عائلة Euphorbiaceae ويُعرف غالباً بأسماء عدة، مثل بندق دوائي مسهل physic nut، أو بندق مسهل ومطهر purging nut أو بينونسيللو Pinoncillo أو حب الملوك، أو بندق القيء الأسود black vomit nut أو بندق بارباذوس المسهل Barbados purging nut، أو راتانجوتي Ratanjyoti. نبات الجاتروفا سريع النمو، وينتشر في الترب الفقيرة الحصوية و يقاوم الجفاف والأمراض، كما يمتلك القدرة على النمو في الأراضي الصحراوية القاحلة والأراضي الزراعية الهامشية. ينتشر نبات الجاتروفا بشكل واسع في وسط وجنوب أمريكا وأفريقيا والهند وجنوب شرق آسيا [6,5]. تُعدّ شجرة الكينا من الأشجار المعمّرة المنتمية لعائلة Myryaceae التي يمكن أن تنمو في الأراضي الرملية [7].

تُعدّ نباتات القطف أو الأتريبلكس المحلّي Atriplex leucoclada Boiss، والخرينيبة Prosopis stephaniana Kunth، والعاقول Alhagi camelorum Fisch، من النباتات المتحمّلة للجفاف. ينتمي نبات القطف إلى عائلة Chanopodiaceae [8]، وهو من الشجيرات المعمّرة التي تنمو في الأراضي الصحراوية، وله قدرة على مقاومة عمليات القطع المتكرّر. يُعدّ نبات الخرينيبة من النباتات المعمّرة التي تتكاثر بالبذور، وينتمي إلى العائلة البقولية Leguminoceae. يمكن لنبات الخرينيبة أن ينمو في الترب الخصبة في المناطق الرعوية المنخفضة الارتفاع، وفي الأراضي المراحة غير المزروعة، كما ينتشر بشكل كبير في جنوب غرب ووسط آسيا وفي مصر وقبرص. يُعدّ نبات العاقول من النباتات المعمّرة التي تنتمي إلى العائلة البقولية، ويمكن أن ينمو في الأراضي المراحة غير المزروعة على ارتفاع حتى 1200 متر عن سطح البحر، ويُرعى من قِبَل الأغنام والإبل. يتحمّل نبات العاقول الترب الملحية، وينتشر في غرب القوقاز وغرب سيبيريا وإيران وفي وسط وشرق آسيا [9]. إن لتفل الزيتون – وهو من المنتجات الزراعية الثانوية – معامل هضم منخفضاً جداً لتغذية الحيوانات المجترّة [10]، وليس له استخدامات نوعية خاصة، ماعدا التخلّص منه غالباً بعمليات الحرق، مسبّباً مشكلات بيئية مختلفة. استُخدم خشب أشجار الزيتون للحصول على عجينة الورق [11]، كما درست [12] إمكانية استخدام تفل الزيتون مع المخلّفات الحيوانية لإنتاج الغاز الحيوي.

الغرض من التجارب الحالية تقييم بعض المواد الخشنة الفقيرة النوعية (تبن قمح، تفل زيتون، تفل زيتون لحمي، خشب تفل زيتون)، وبعض النباتات الرعوية المتحمّلة للجفاف (القطف المحلّي، الخرينيبة، العاقول)، وأوراق بعض أنواع النباتات الشجيرية المدخلة (مورينغا، جاتروفا، كينا)، وذلك بتقدير معامل هضم المادة العضوية وحجم الغاز المنتج والطاقة والآزوت الميكروبي، باستخدام تقنية الحضن في سائل الكرش. إضافةً لذلك، أنجز العمل دراسة العلاقة بين حجم الغاز المنتج وبين معامل الهضم والكتلة الحيوية الميكروبية المتكوّنة.

المواد والطرائق

المواد النباتية المختبرة

تمّ قطع عدة نباتات من القطف المحلّي على ارتفاع 30 سم عن سطح الأرض من محطة بحوث في منطقة دير الحجر، التي تبعد حوالي 30 كم في الجهة الجنوبية الشرقية من مدينة دمشق، المتصفة بالجفاف (معدّل الهطول السنوي حوالي 100–120 مم). قُصّت النباتات ثلاث مرّات من الخارج إلى الداخل على أبعاد 25–30 سم للحصول على ثلاثة أجزاء واضحة (جزء خارجي، جزء متوسط، جزء داخلي).

تمّ الحصول على تفل الزيتون، كمخلّف ثانوي لمعامل عصر الزيتون، من معصرة محلّية تستخدم الضغط الهدروليكي والماء والطرد المركزي العالي في عملية استخلاص الزيت من الزيتون. تمّ نخل تفل الزيتون على منخل قطر ثقوبه 2.5مم للحصول على تفل الزيتون اللحمي (تفل زيتون منخول)، أما الجزء المتبقي فقد عُبِّر عنه بخشب تفل الزيتون. أعطى نخل تفل الزيتون 25% تفل زيتون لحمي و75% خشب تفل زيتون (وزناً). تمّ الحصول على تبن القمح ونباتات الخرينيبة والعاقول والمورينغا والجاتروفا والكينا من محطة دير الحجر.

جُفّفت المواد المدروسة في الهواء الطلق لمدة 5 أيام. تمّ تقطيع المواد الجافة هوائياً لكلٍّ من القطف والخرينيبة والعاقول لأجزاء طولها 1 سم ثم خُلط كل منها جيداً. تمّ طحن كافة العيّنات المدروسة ومرّرت على منخل قطر ثقوبه 1مم، وحُفظت تحت التجميد (-20°C) في أكياس نايلون مغلقة لحين إجراء التحاليل اللازمة. ويعطي الجدول 1 بعض المكوّنات الغذائية للعيّنات المدروسة، التي تمّ تقديرها حسب [14,13].

الجدول 1– المكوّنات الكيميائية للمواد المختبرة

	Ec	Ps	Ac	Jc	Mo	OCP	OCW	OC	AIM	AIO	WS
مادة جافة (DM%)	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	93.0	94.0	93.0	94.0	94.0	94.0
المكونات (% في DM)											
رماد خام	6.5	5.6	10.5	21.8	13.4	3.5	2.1	2.4	9.3	18.0	8.5
دهن خام	10.6	2.6	1.7	5.3	7.5	12.8	8.5	10.0	2.7	3.3	1.7
بروتين خام	9.4	14.8	12.8	15.8	25.5	9.8	4.7	6.5	7.8	15.7	2.6
ألياف خام	15.5	23.8	26.7	15.3	13.4	39.9	46.9	44.2	37.2	20.9	41.6
ألياف منظف متعادل	37.3	59.3	54.5	33.3	19.3	69.8	84.0	78.3	73.0	54.5	79.5
ألياف منظف حامضي	28.5	34.3	38.0	28.8	11.3	59.6	67.1	64.2	51.1	34.8	55.7

تبن قمح (WS)، قطف محلي جزء خارجي (AIO)، قطف جزء متوسط (AIM)، قطف جزء داخلي (AII)، تفل زيتون (OC)، تفل زيتون لحمي (OCP)، مورينغا (Mo)، جاتروفا (Jc) عاقول (Ac)، خرينيبة (Ps)، كينا (Ec).

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

المعايير المقيسة أو المقدرة

حُضنت العيّنات التجريبية في محاقن زجاجية مدرّجة سعة 100 مل مع خليط من سائل الكرش وبيئة وسيط حسب [17,16,15]، لتقدير معدّل الغاز المنتج (GP) لحساب معامل الهضم الظاهري للمادة العضوية في الزجاج (IVOMAD)، والطاقة الاستقلابية (ME)، والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL). وكتطوير للطريقة، حُضنت المحاقن بوضعها بشكل عمودي في الحمّام المائي، عوضاً عن وضعها أفقياً في جهاز دوراني بطيء داخل الحاضنة [18]. وكانت المعادلات المستخدمة لحساب معامل الهضم الظاهري للمادة العضوية والقيمة الطاقية للعلف كما يلي:

IVOMAD (g/kg مادة جافة) = 41.88+0.8893 (ml غاز منتج) +
0.0448 (g/kg مادة جافة: بروتين) + 0.0651 (g/kg مادة جافة: رماد).

ME (MJ/kg مادة جافة) = 2.20 + 0.136 (ml غاز منتج) + 0.0057
(g/kg مادة جافة: بروتين) + 0.00029 (g/kg مادة جافة: ^{2}دهن).

NEL (MJ/kg مادة جافة) = 0.1149 (ml غاز منتج) + 0.0054
(g/kg مادة جافة: بروتين) + 0.0139 (g/kg مادة جافة: دهن)
- 0.0054 (g/kg مادة جافة: رماد) - 0.36.

حجم الغاز ناتج من تحضين 200 مع من المادة لمدة 24 ساعة. واختيرت المعادلات للمواد الخشنة حسب [17,19]. تمّ الحصول على سائل الكرش من ثلاثة كباش عواس مزوّدة بناسور كرشي، لتجنب التغيّرات في فعالية السائل الكرشي خلال التجارب. غُذّيت الكباش بشكل أساسي على عليقة خشنة (تبن عدس ودريس الفصة)، وتلقّت 185غ بروتين خام و 10.6 ميغاجول طاقة استقلابية باليوم. قُدّم العلف للكباش مرتين يومياً، وتمّت المحافظة على مواعيد التعليف وعلى مكوّنات الخلطة العلفية بشكل ثابت خلال التجارب. أُخذت عيّنات سائل الكرش مرّة كلّ 7 أيام، وكان الوقت الفاصل بين آخر موعد تعليف وبين أخذ عيّنات سائل الكرش 17 ساعة. أُخذت عيّنات سائل الكرش قبل التعليف وتمّت مجانستها وتصفيتها خلال قماش من النايلون الخاص (100 مكرون) في حوجلة دافئة (39°C) مملوءة بغاز ثنائي أكسيد الكربون. تمّ ضخ 30 مل من مزيج الوسط (يحتوي على 10 مل سائل كرش و 20 مل من خليط البيكربونات: المعادن: ماء مقطر بنسبة 1:1:2 حجماً) بواسطة ماصّة آلية إلى داخل المحاقن الدافئة المحتوية على العيّنات المدروسة أو على شاهد من الدريس (200 مغ)، وكذلك إلى المحاقن الشاهدة. ويمكن الرجوع إلى [20] للحصول على مزيد من التفاصيل عن جمع سائل الكرش وتحضير مزيج الوسط وطرائق الحضن. تمّ تحريك المحاقن بلطف يدوياً مرّتين في الساعة الأولى من الحضن، ومرّة بعد 3 و 5 و 7 ساعات من الحضن. وتمّ تسجيل كمّية الغاز المنتج بعد 24 ساعة من الحضن ومقارنته بالغاز المنتج لعيّنة الدريس الشاهدة (جامعة هوهنهايم، ألمانيا)، والتي استُعملت من قِبَل [16] بغرض مراقبة نوعية سائل الكرش.

تمّ تقدير معامل الهضم الحقيقي للمادة العضوية في الزجاج (IVOMTD) على مرحلتين حسب طريقة [21]. بعد حضن العيّنات لمدة 24 ساعة، كما تمّ شرحه سابقاً، غُسل محتوى المحاقن بمَحلول منظف متعادل ونُقل إلى كأس سعته 600 مل. تمّ غلي الراسب في الكأس لمدة ساعة من الزمن مع المنظف لاستخلاص المادة المِكروبية من العلف غير المتهدّم [20]، وتمّ استرداد بقايا العلف على بوتقة فلتر زجاجية نفاذيتها 2 (شركة روبو للزجاجيات والأجهزة، ألمانيا). وتمّ تجفيف بقايا الراشح لليوم الثاني على درجة 105°C ثم وُزِنت ورُمِّدت في المرمدة على درجة 500°C لمدة 5 ساعات، ثم وُزِنت ثانيةً. وتمّ حساب معامل الهضم الحقيقي من وزن المادة المحضونة مطروحاً منها وزن البقايا بعد المعاملة بالمحلول المنظف المتعادل وكذلك وزن الرماد. وتمّ حساب كمّية المادة العضوية المتخمّرة ظاهرياً (AFOM) والمادة العضوية المتخمّرة حقيقياً (TFOM) من حاصل ضرب كمّية المادة المحضونة بمعامل هضم المادة العضوية الظاهري أو الحقيقي.

أُضيفت اليوريا المحتوية على آزوت معلم ^{15}N (درجة الإغناء 95%) إلى خليط سائل الكرش (30 مل) ، الذي حُضنت فيه العيّنة المختبرة (200 مغ) لمدة 24 ساعة، بغرض تقدير الآزوت المِكروبي (MN) و الكتلة الحيوية المِكروبية المتكوّنة (MBM) حسب [22]. تمّ قياس الآزوت الكلّي ونسبة إغناء الآزوت المعلم ^{15}N في الحوض الآزوتي للعيّنة المحضونة لمدة 24 ساعة، بواسطة جهاز الإصدار الضوئي (JASCO N-150, Japan Spectroscopic Com. Ltd, Tokyo, Japan)، للتمكّن من تقدير الآزوت المِكروبي.

[1-(للآزوت المعلم في الحوض الآزوتي للعيّنة المحضونة لمدة 24 ساعة نسبة الإغناء (95%<) / ^{15}N% الكمّية المضافة من ^{15}N (mg)]= (عيّنة محضونة mh/ 24 ساعة/ MN (mg.

MBM (mg عيّنة محضونة 24/mg ساعة) = MN/0.0864.

حيث أشار [23] إلى أن مِكروبيات الكرش تحتوي على 8.64% آزوت.

المعاملة الإحصائية للنتائج

حُلّلت العيّنات المختبرة ضمن ثلاثة مكرّرات وأُخضعت النتائج إلى تحليل التباين (ANOVA) باستخدام البرنامج الإحصائي Statview II واختبار أقل فرق معنوي لفيشر (LSD) عند مستوى 5%. كما تمّ حساب معامل الانحدار (R) و معامل الارتباط (r) بين المعايير المدروسة.

النتائج

يشير الجدول 2 إلى التغيّرات في كلّ من IVOMAD, IVOMTD, ME, NEL للمواد المختبرة. والعلاقة بين حجم الغاز المنتج إلى معامل تهدم المادة في الزجاج يشير إليها الجدول 3. يبيّن الشكل 1 العلاقة بين الغاز المنتج (مل) وبين الآزوت المِكروبي أو الكتلة الحيوية المتكوّنة لكلّ 100 مغ مادة عضوية متخمّرة حقيقياً. أشارت النتائج إلى أن 0.7-2.9 مغ آزوت مِكروبي أو 8-34 مغ كتلة حيوية مِكروبية نتجت من تخمّر حقيقي لـ 100 مغ مادة عضوية.

المناقشة

تعود الاختلافات في قيم معامل الهضم والطاقة إلى نوع المكوّنات الغذائية في المواد المدروسة. أشارت النتائج إلى أن قيم IVOMAD, IVOMTD, ME, NEL ترتبط عكسياً بتراكيز الألياف الخام (r=- 0.88, r=-0.97, r=-0.86, r=-0.83 على التوالي). وقد حصل [24]

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

الجدول 2– معامل هضم المادة العضوية الظاهري (IVOMAD) والحقيقي (IVOMTD) في الزجاج والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) للمواد المختبرة.

LSD	AIO	AIM	AII	OC	OCW	OCP	Mo	Jc	Ac	Ps	Ec	WS	
1.06	61.6	41.6	25.8	22.4	16.2	28.0	64.8	60.3	55.7	31.0	59.2	39.8	(%)IVOMAD
	±1.1	±0.3	±0.5	±0.6	±0.4	±0.2	±0.1	±0.9	±0.4	±0.9	±0.7	±0.6	
0.73	69.6	44.6	28.1	34.8	27.9	39.8	84.9	82.1	59.2	35.1	72.6	53.9	(%) IVOMTD
	±0.7	±0.3	±0.3	±0.5	±0.5	±0.3	±0.1	±0.1	±0.6	±0.4	±0.6	±0.3	
0.16	7.4	5.2	3.5	3.3	2.4	4.2	8.4	6.9	7.3	4.0	8.6	5.2	(MJ/kg DM) ME
	±0.2	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.0	±0.0	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	
0.12	3.6	2.2	0.7	1.7	0.7	2.6	7.0	4.2	3.7	1.2	7.0	1.9	(MJ/kg DM) NEL
	±0.2	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.0	±0.0	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	

تبن قمح (WS)، قطف محلي جزء خارجي (AIO)، قطف جزء متوسط (AIM)، قطف جزء داخلي (AII)، تفل زيتون (OC)، تفل زيتون لحمي (OCP)، موريغا (Mo)، جاتروفا (Jc) عاقول (Ac)، خرينية (Ps)، كينا (Ec)، أقل فرق معنوي (LSD).

الجدول 3– العلاقة بين الغاز المنتج (GP) والمادة العضوية المتخمّرة ظاهرياً (AFOM) أو حقيقياً (TFOM).

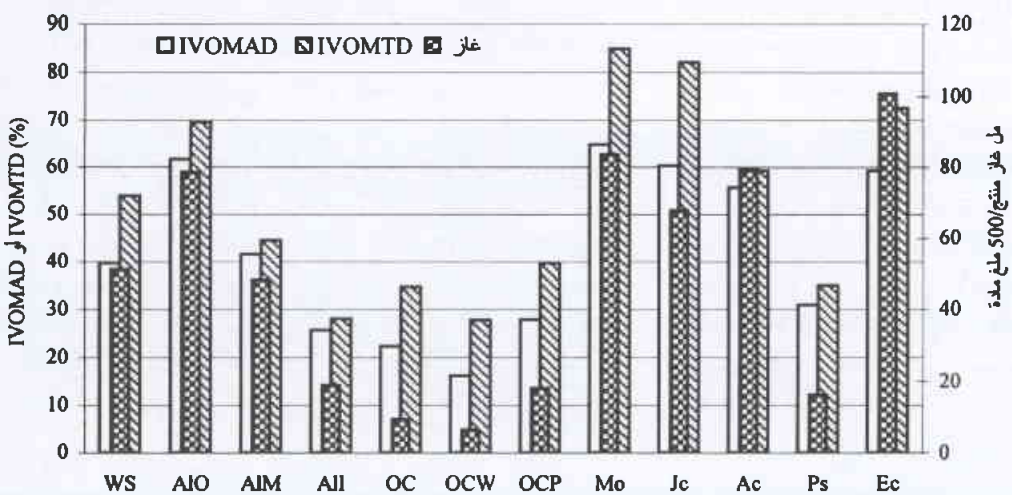
LSD	AIO	AIM	AII	OC	OCW	OCP	Mo	Jc	Ac	Ps	Ec	WS	
5.3	307.8	208.2	128.8	112.2	81.1	140.0	323.9	301.3	278.3	154.8	295.8	199.2	(mg) AFOM
	±5.7	±1.6	±2.3	±3.1	±2.0	±1.0	±0.3	±4.4	±1.8	±4.4	±3.7	±3.1	
3.6	347.9	222.8	140.5	174.1	139.5	198.9	424.7	410.4	296.0	175.6	362.9	269.4	(mg) TFOM
	±3.5	±1.5	±1.3	±2.7	±2.3	±1.6	±0.7	±0.6	±2.9	±2.1	±3.0	±1.4	
3.0	78.6	48.3	19.0	9.4	6.5	18.2	83.6	67.8	79.3	16.2	100.8	51.3	(ml) GP
	±3.2	±0.9	±1.3	±0.9	±0.6	±0.5	±0.1	±2.5	±1.1	±2.5	±2.1	±1.8	

تبن قمح (WS)، قطف محلي جزء خارجي (AIO)، قطف جزء متوسط (AIM)، قطف جزء داخلي (AII)، تفل زيتون (OC)، تفل زيتون لحمي (OCP)، موريغا (Mo)، جاتروفا (Jc)، عاقول (Ac)، خرينية (Ps)، كينا (Ec)، أقل فرق معنوي (LSD).

على معامل ارتباط مشابه بين الطاقة الهضمية المقدّرة في الزجاج وبين محتوى ألياف المنظف المتعادل (r=-0.97) أو الألياف الخام (r=-0.93) لبعض المخلّفات الزراعية المعاملة بالتشعيع وهدروكسيد الصوديوم. ليست فقط كمّية الألياف الخام تؤثر بشكل سلبي على معدّل تهدّم المادة والغاز المنتج، ولكن أيضاً انخفاض كمّية البروتين ووجود الدهن في المادة يعيق ذلك (تفل الزيتون وخشب تفل الزيتون). وإن نخل تفل الزيتون للحصول على تفل الزيتون اللحمي يزيد حجم الغاز المنتج من المادة المتخمّرة حقيقياً وبرفع قيم IVOMAD, IVOMTD, ME, NEL (الجدول 2). وبناءً عليه، يمكن استخدام تفل الزيتون اللحمي كمادة علفية في تغذية الحيوانات المجترّة.

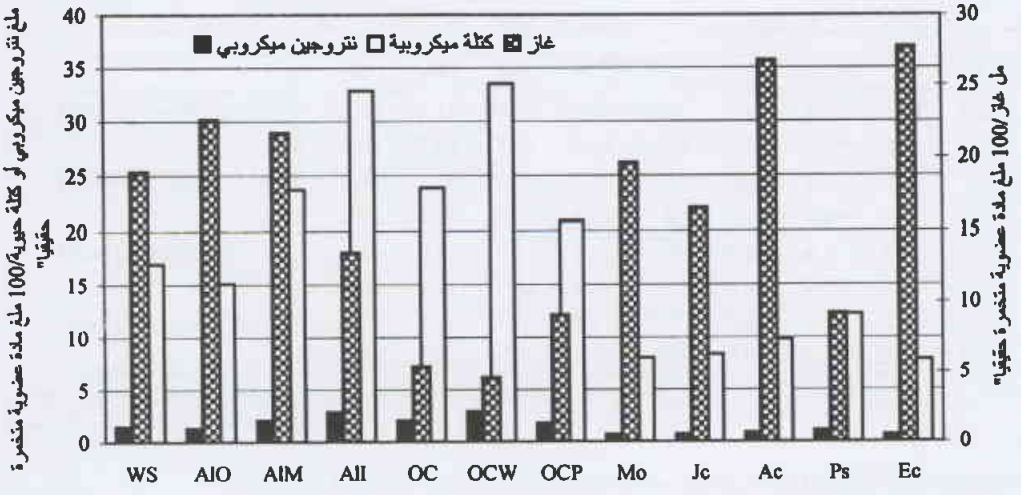
أشارت النتائج إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية ($P<0.0001$) بين الغاز المنتج و IVOMAD ($R=0.96$) أو IVOMTD ($R=0.90$) (الشكل 2). كما وجد [21] علاقة ارتباط عالية وإيجابية بين الغاز المنتج ومعاملات الهضم الظاهري أو الحقيقي في الزجاج. وأشار [25]، عند التنبؤ بكمّية المادة الجافة المستهلكة للحيوان، إلى ارتفاع معنوي ($P<0.0001$) في نسبة المادة المتهدّمة حقيقياً إلى الغاز المنتج، كما كان معدّل استهلاك العلف أعلى في الأعلاف الخشنة التي تنتج نسبياً كمّية أقلّ من الغاز لكلّ وحدة من المادة المتهدّمة.

أشار [26]، في دراسته لتقييم أتبان 42 صنفاً نباتياً من الحبوب، إلى اختلاف معدّل تهدّم المادة الجافة من 128 إلى 437 مغ ، وهذا ارتبط بحجم الغاز المنتج والذي بلغ من 26 إلى 87 مل، وإنتاج 1 مل من الغاز



الشكل 1– العلاقة بين الغاز المنتج ومعامل هضم المادة العضوية في المختبر ظاهرياً (IVOMAD) أو حقيقياً (IVOMTD) للمواد المختبرة. تبن قمح (WS)، قطف محلي جزء خارجي (AIO)، قطف جزء متوسط (AIM)، قطف جزء داخلي (AII)، تفل زيتون (OC)، تفل زيتون لحمي (OCP)، موريغا (Mo)، جاتروفا (Jc)، عاقول (Ac)، خرينية (Ps)، كينا (Ec).

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



الشكل 2- العلاقات بين الغاز المنتج والنتروجين الميكروبي أو الكتلة الحيوية الميكروبية المتكوّنة للمواد المختبرة.
تبن قمح (WS)، قطف محلي جزء خارجي (AIO)، قطف جزء متوسط (AIM)، قطف جزء داخلي (AII)، تفل زيتون (OC)، تفل زيتون لحمي (OCP)، موريغا (Mo)، جاتروفا (Jc)، عاقول (Ac)، خربنية (Ps)، كينا (Ec).

يتطلّب 3.1 مغ من المادة المتهدّمة حقيقياً. أشارت نتائجنا إلى أن كمّية (مغ) المادة العضوية المتخمّرة حقيقياً واللازمة لإنتاج 1 مل غاز، تتوقف على نوع المادة المتخمّرة. وإن 1 مل غاز يتولّد من تهدّم حقيقي لـ (±0.5)4.1 مغ من العاقول والكينا والقطف الجزء الخارجي والمتوسط، ولـ (±1)6 مغ من الموريغا والجاتروفا وتبن القمح والقطف الجزء الداخلي، ولـ (±2.2)20.2 مغ من تفل زيتون وخشب تفل زيتون. أشار [27] إلى أن ارتفاع تركيز المواد الكربوهدراتية في العلف يقود إلى زيادة معدّل سرعة التخمّر، وارتفاع في الأحماض الدهنية الطيّارة والغاز المنتج. وأفاد [28] بوجود علاقة ارتباط قوية ($R^2=0.84$, $P<0.01$) بين النسبة المئوية للزيادة في حجم الغاز المنتج وبين النسبة المئوية للتغيّرات في إنتاج الأحماض الدهنية الطيّارة الكلّية للنباتات الشجيرية.

أشارت نتائجنا إلى وجود ارتباط معنوي وعالٍ ($P<0.0001$) بين الغاز المنتج والمادة العضوية المتخمّرة ظاهرياً أو حقيقياً (الجدول 3). وكان حجم الغاز المتولّد من التخمّر الحقيقي للمادة العضوية لتفل الزيتون اللحمي والقطف الجزء الخارجي أكبر من ذلك المتولّد من تفل الزيتون أو خشب تفل الزيتون أو من القطف الجزء المتوسط أو الجزء الداخلي. وهذا يمكن أن يعود إلى انخفاض كمّية المادة العضوية المتخمّرة المتوافرة في وسط التخمّر للمواد السابقة المختبرة والتي لها معدّل تهدّم منخفض. لقد أشار [12] إلى انخفاض كمّية الغاز الحيوي المنتج وبشكل معنوي بزيادة نسبة تفل الزيتون في المخمّر.

إن لألياف المنظف المتعادل والمنظف الحامضي والليغنين الحام تأثيرات سلبية على حجم الغاز المنتج ومعامل الهضم للمواد العلفية الخشنة [29,30]. ويرتفع محتوى النبات من الألياف الحام ومكوّنات الجدار الخلوي وينخفض معامل هضم المادة الجافة بزيادة عمر النبات [31]. أشار [32] إلى ارتفاع معامل الهضم الظاهري في الزجاج لأوراق عشبيّ Pangola grass (Digitaria decumbens), Rhodes grass (Chloris gayana) مقارنة بالسوق. وبذلك، فإن الجزء الخارجي لنبات القطف، الذي يحتوي على كمّية كبيرة من الأوراق والأفرع الغضة، ينتج كمّية من الغاز لكلّ وحدة وزن أكبر من الأجزاء المتوسطة أو الداخلية للنبات. أشارت النتائج إلى أن قيمة النتروجين الميكروبي أو الكتلة الحيوية الميكروبية الناتجة من التخمّر الحقيقي لـ 100 مغ مادة عضوية تتوقف على نوع المادة المتخمّرة. أفاد [34,33] أن إنتاج الخلايا الميكروبية من المحتمل أن يكون أعلى في المواد الأكثر تعقيداً، حيث إن معدّل الاستفادة للبيبتيدات والأحماض الأمينية والأحماض النووية سيزيد الكتلة الحيوية الميكروبية. واقترح [35] أن قياس الغاز المنتج يحتاج إلى إجراءات متمّمة، بإجراء تقدير مرافق للمواد المتخمّرة الحقيقية حسب [14]، وذلك لتجنب اختيار المواد بإنتاج الأحماض الدهنية القصيرة السلسلة بشكل تناسبي ومرتفع، حيث يقود ذلك إلى إنتاج منخفض من الكتلة الحيوية الميكروبية لكلّ وحدة من المادة المتخمّرة. وقد لاحظ [18] وجود تلازم شديد بين إنتاج الأحماض الدهنية القصيرة السلسلة وبين الغاز المنتج في الزجاج. وإن العلاقة بين الأحماض الدهنية القصيرة السلسلة وبين الكتلة الحيوية الميكروبية غير ثابتة [38,37,36].

أشارت النتائج إلى وجود علاقة ارتباط سلبية ($R=-0.61$, $P<0.0001$) بين الغاز المنتج وبين الكتلة الحيوية الميكروبية أو النتروجين الميكروبي. كما أشار [26] إلى وجود ارتباط سلبي ومعنوي ($r=-0.64$, $P<0.0001$) بين كمّية المادة المحوّلة إلى الخلايا الميكروبية وبين الغاز المنتج من وحدة معطاة من المادة المتخمّرة حقيقياً. كما وجد [35,25] أيضاً أن الغاز المنتج يرتبط سلبياً بالبروتين الميكروبي المتكوّن. إن زيادة تركيز الكربوهدرات الذائبة في وسط التخمّر تقود إلى زيادة أعداد البروتوزوا (الطلائعيات) والتركيز الكلّي للأحماض الدهنية القصيرة السلسلة [40]. وأشار [41] إلى انخفاض الإنتاج الميكروبي عند تواجد أعداد كبيرة من البروتوزوا في وسط التخمّر، بسبب استهلاك الخلايا البكتيرية والتي استُخدمت كمصادر بروتينية للبروتوزوا.

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

REFERENCES المراجع

[1] Al-Masri, M.R. and Zarkawi, M., 1994. Effects of gamma irradiation on chemical compositions of some agricultural residues, Radiation Physics and Chemistry, 43, 257-260.

[2] Aderibigbe, A.O., Johnson, C.O.L.E., Makkar, H.P.S., Becker, K. and Foidl, N., 1997. Chemical composition and effect of heat on organic matter- and nitrogen - degradability and some antinutritional components of Jatropha meal, Animal Feed Science and Technology, 67, 223-243.

[3] Makkar, H.P.S. and Becker, K., 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted Moringa olifera leaves, Animal Feed Science and Technology, 63, 211-228.

[4] Nautiyal, B.P and Venhataraman, K.G., 1987. Moringa (drumstick) - an ideal tree of social forestry: growing conditions and uses - Part I, Myforest, 23, p.53.

[5] Cano, A.L.M., Plumbly, R.A., Hylands, P.J., 1989. Purification and partial characterization of the hemagglutination from seeds of Jatropha curcas, Journal of Food Biochemistry, 13, 1-20.

[6] Heller, J., 1996. Physic Nut Jatropha curcas L. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops, (Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Gatersleben) and International Plant Genetic Resources Institute, Rome), Vol. 1. 66 pp.

[7] Zoght, M.F. 1978. Sand Dunes (Fixation- Afforestation-Exploitation). (The Arab Center for the Studies of Arab Zones and Dry Lands. ACSAD/R10/77, Damascus, Syria), 142 pp.

[8] Mouterde, P., 1966. Nouvelle Flore du Liban et de la Syrie. Tome Premier Atlas, (Editions de l'Imprimerie Catholique Beyrouth, Liban), 565 pp.

[9] Bischof, F., 1978. Common weeds from Iran, Turkey, the Near East and North Africa. (Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, GTZ, GmbH, Germany), 212 pp.

[10] Al-Masri, M.R. and Guenther, K.D., 1995. The effect of gamma irradiation on in vitro digestible energy of some agricultural residues, Das Wirtschaftseigene Futter, 41, 61-68.

[11] Jimenez, L., Perez, I., de la Torre, M.J. and Garcia, J.C., 1999. The effect of processing variables on the soda pulping of olive tree wood, Bioresource Technology, 69, 95-102.

[12] Al-Masri, M.R., 2001. Changes in biogas production due to different ratios of animal and agricultural wastes, Bioresource Technology, 77, 97-100.

[13] Naumann, C., Bassler, R., 1976. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Methodenbuch Band III, 6-2, (Neumann-Neudamm, Berlin), p.1.

[14] Goering, H.K. and Van Soest, P.J., 1970. Forage Fibre Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications), Agriculture Handbook No. 379, (-Agricultural Research Service, USA).

[15] Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W., 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro, Journal of Agricultural Science, 93, 217-222.

[16] Steingass, H. and Menke, K., 1986. Schatzung des energetischen Futterwertes aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 1. Untersuchungen zur Methode, Tierernahrung, 14, 251-270.

[17] Menke, K.H. and Steingass, H., 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid, Animal Research Development, 28, 7-55.

[18] Blummel, M. and Orskov, E.R., 1993. Comparison of in vitro gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle. Animal Feed Science and technology, 40, 109-119.

[19] Close, W. and Menke, K.H., 1986. Selected Topics in animal Nutrition. A manual prepared for the 3rd Hohenheim course on Animal Nutrition in the tropics and Semi-Tropics, 2nd edition, (University of Hohenheim, Stuttgart, Germany), 251 pp.

[20] Blummel, M, Becker, K., 1997. The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral-detergent fibres, as described by in vitro gas production and their relationship to voluntary feed intake, British Journal of Nutrition, 77, 757-768.

[21] Van Soest, P.J. and Robertson, J.B. 1985. Analysis of Forages & Fibrous Foods. A Laboratory Manual for

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

Animal Science, No. 612, (Cornell University, Ithaca, New York, USA), 252 pp.

[22] Coenen, G., 1988. In vitro-Untersuchungen mit dem RUSITEC-System zum Einfluss unterschiedlicher Feet-Starke-Kombinationen auf verschiedene Fermentationsparameter von Pansenmikroben, (Dissertation, Georg-August-Universitat, Gottingen, Germany), 168 pp.

[23] Czerkawski, J.W., 1986. An Introduction to Rumen Studies, (Pergamon press, UK).

[24] Al-Masri, M.R., 1999. In-vitro digestible energy of some agricultural residues as influenced by gamma irradiation and sodium hydroxide, Applied Radiation and Isotopes, 50, 295-301.

[25] Blummel, M., Steingass, H. and Becker, K., 1997b. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and ^{15}N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages, British Journal of Nutrition, 77, 911-921.

[26] Blummel, M., 1994. Relationship between kinetics of stover fermentation as described by the Hohenheim in vitro gas production test and voluntary feed intake of 54 cereal stovers, (Dissertation, Universitat Hohenheim, Germany), 104 pp.

[27] Counotte, G.H.M. and Prins, R.A., 1979. Regulation of rumen lactate metabolism and the role of lactic acid in nutritional disorders of ruminants, Veterinary Science Communications, 2, 277-303.

[28] Khazaal, K. and Orskov, E.R., 1994. The in vitro gas production technique: an investigation on its potential use with polyvinylpyrrolidone for the assessment of phenolic related antinutritive factors in browse, Animal Feed Science and Technology, 47, 305-320.

[29] Minson, D.J., 1982. Effect of chemical composition of feed digestibility and metabolizable energy, Nutrition Abstract Review, Series B52 (10), 592-615.

[30] Nsahlai, I.V., Siaw, D.E.K.A. and Osuji, P.O., 1994. The relationship between gas production and chemical composition of 23 browses of the genus Sesbania, Journal of the Science of Food and Agriculture, 65, 13-20.

[31] Al-Masri, M.R., 1998. Yield and nutritive value of vetch (Vicia sativa) - barley (Hordeum vulgare) forage under different harvesting regimens. Tropical Grasslands, 32, 201-206.

[32] Popple, D.P., Minson, D.J. and Ternouth, J.H., 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. II- Factors controlling the retention of feed in the reticulo-rumen, Australian Journal of Agricultural Research, 32, 109-121.

[33] Russell, J.B., O'Connor, J.D., Fox, D.G., Van Soest, P.J. and Sniffen, C.J., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 1. Ruminal fermentation, Journal of Animal Science, 70, 3551-3561.

[34] Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G. and Russell, J.B., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 2. Carbohydrate and protein availability, Journal of Animal Science, 70, 3562-3577.

[35] Blummel, M., Makkar, H.P.S. and Becker, K., 1997a. In vitro gas production: a technique revisited. Journal of animal Physiologie and Animal Nutrition, 77, 24-34.

[36] Kristensen, V.F. and Weisbjerg, M.R., 1990. Neu approach to feed evaluation for ruminants. A not to the meeting of the Nordic Working group on feed evaluation in Iceland, (August 12-13, 1990, Iceland).

[37] Beever, D.E., 1993. Ruminal animal production from forages-present position and future opportunities. In: Baker, M.J. (eds.), Grassland for our word, (SIR publishing), p. 158.

[38] Leng, R.A., 1993. Quantitative ruminant nutrition- A green science, Australian Journal of Agricultural Research, 44, 363-380.

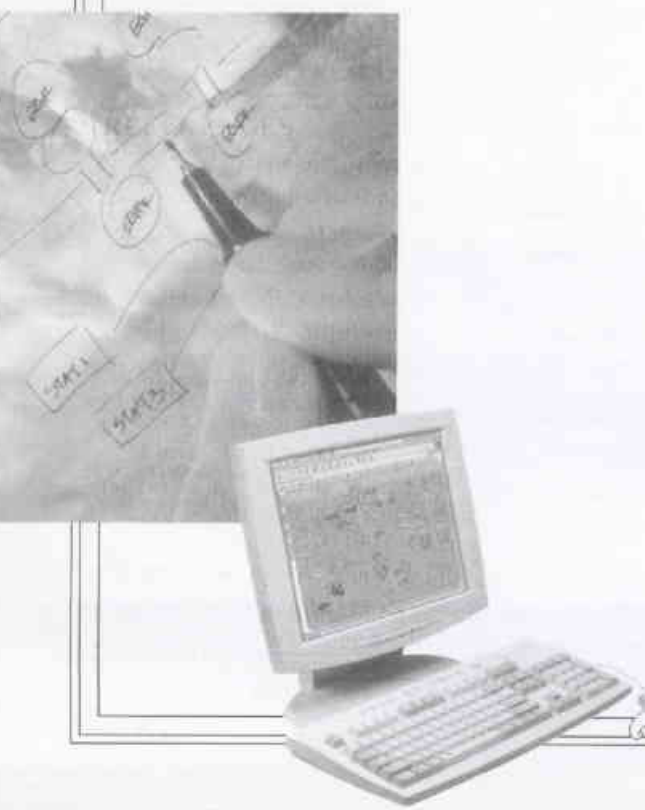
[39] Hillman, H.K., Newbold, C.J. and Stewart, C.S., 1993. The contribution of bacteria and protozoa to ruminal forage fermentation in vitro, as determined by microbial gas production, Animal Feed Science and Technology, 42, 193-208.

[40] Gomez, C.D., Al-Masri, M.R., Steinberg, W. and Abel, Hj., 1998. Effect of varying hay/barley proportions on microbial biotin metabolism in the rumen-simulating-technique RUSITEC. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology, (DLG-Verlag, Germany), Band 7. p.1.

[41] Ushida, K., Jouany, J.P. and Demeyer, D.I., 1991. In "Protein Nutrition in Ruminants". Second Edition, (E. R. Orskov, eds.), (Academic press, London, San Diago, New York, Boston, Sydney, Tokyo), 175 pp.■

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

التقارير العلمية



تحليل آليّة نقل التيّار في الخلايا الشمسيّة $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ *

د. معين سعد – د. عمار قسيس
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 دمشق – سورية

ملخّص

تمّ تحليل مُميّزات التيار – الفولطية للخلايا الشمسيّة $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ التي أساسها البلّورة الأحادية $CuGaSe_2$ المقيسة في درجة حرارة الغرفة بتابعية شدّة الإضاءة. يمكن توصيف المُميّزات المقيسة باستخدام نموذج الديودَيْن (الثُنائيين) ممّا يدلُّ على وجود آليتين لنقل التيار في الخلايا. الآلية الأولى والمسيطرة هي آلية إعادة اتّحاد الشحنات على السطح البيني بين طبقة CdS وطبقة $CuGaSe_2$. الآلية الأخرى هي آلية إعادة اتحاد الشحنات في منطقة النضوب، وقد تبيَّن أن تأثيرها على الكفاءة الفوتو فولطية صغير. إن كلاً من عامل جودة الديود و كثافة تيار الإشباع للديود المسيطر يرتفعان تحت تأثير الإضاءة. ومن أجل فهم سلوك هذه الخلايا تمّ تطوير نموذج للخلايا الشمسية من وصلات p-n غير متجانسة حيث تكون آلية إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني هي الآلية المسيطرة لنقل التيار. يشرح هذا النموذج ارتفاع كل من عامل جودة الديود ($n > 2$) وكثافة تيار الإشباع بفعل زيادة كثافة الحالات الفعالة N_{it}. يؤدي إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني إلى خفض قيم كلٍّ من توتر الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة وعامل الامتلاء (عامل الاشغال). إن هذه النتائج موضّحةٌ بحسابات عدديّة لوسطاء الخليّة الشمسيّة. يسمح تطبيق النموذج على الخلايا المدروسة بتقدير قيمة كل من كمون الانتثار والمقطع العرضي لأسر الثقوب على السطح البيني وحركية الإلكترونات في طبقة CdS.

الكلمات المفتاحية: خلايا شمسية، $CuGaSe_2$، حالات السطح البيني، إعادة اتحاد الشحنات.

مقدّمة

حازت الخلايا الشمسية التي أساسها الشالكوبيرايت (مثل خلايا $ZnO/CdS/CuGaSe_2$) اهتماماً متزايداً سواء في أنظمة الكمون العالي (كخلايا فردية) أو في أنظمة الخلايا الترادفية (كخلية عليا) [1–4]. لكن تحليل هذه الخلايا يُعطي في كثير من الأحيان عامل جودة كبير (أكبر من 2) إضافة إلى عدم وجود انزياح ثابت بين مُميّزات التيار – الفولطية سواء في الظلام أو تحت تأثير الضوء [5–8]. و قد اقتُرحت العديد من النماذج لتفسير هذا التصرّف [9–14]. Rothwarf [10,9] و Eron and Rothwarf [12,11] اقترحوا آليّة إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني كآلية أساسية لتوليد التيّار الموجب ونجحوا في إعطاء تفسير لعامل الجودة الكبير تحت تأثير الضوء، كما قام Potter and Sites [13] بقياسات دقيقة للانزياحات في مميزات التيار – الفولطية التي سببها إضاءة الخلايا، وفسّروا نتائج قياساتهم بعملية شحن للحالات على السطح البيني تحت تأثير الضوء. بينما اقترح Miller and Olsen [14] تفسيراً لآلية ضياع التيّار عن طريق تكاثف آليتي إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني والعُبور النَفَقي. وقد فسّروا عدم وجود انزياح ثابت بين مميزات التيار – الفولطية في الظلام و تحت تأثير الضوء بارتفاع تيّار الإشباع j_0 مع ازدياد شدّة الضوء. ولكن في بعض الحالات (مثل خلايا $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ بلّورة أحادية) يتغيّر كل من عامل الجودة n وتيار الإشباع j_0 بتغيّر شدة الإضاءة وفي الوقت نفسه يمكن إهمال تابعية التيار المُنتَج بفعل الضوء j_{ph} للفولطية المطبقة على الخلية [15]. وفي هذه الحالات لاتُفسّر أيٌّ من النماذج المقترحة سابقاً النتائج التجريبية بشكل دقيق. يهدف هذا البحث إلى تحليل مميزات التيار – الفولطية للخلايا الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ ووَضْعِ نموذج نظري يُفسّر هذه النتائج بشكلٍ أدق.

النتائج والمناقشة

أُخذت مُميّزات التيار – الفولطية للخلايا الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ من [15] تحت تأثير شدّات مختلفة من الضوء. إن الملاءمة المُثلى لهذه المُميّزات تكون عبر استخدام ديودَيْن مربوطين على التفرُّع بالإضافة إلى مقاومتين أوميتين إحداهما مربوطة على التسلسل والأخرى مربوطة على التفرع حسب المعادلة (1):

$$j = j_{01}\left\{\exp\left[\frac{q(V - jR_s)}{n_1 kT}\right] - 1\right\} + j_{02}\left\{\exp\left[\frac{q(V - jR_s)}{n_2 kT}\right] - 1\right\} + \frac{(V - jR_s)}{R_{sh}} - j_{ph}$$

حيث يمثل j التيار المار في الخلية،

j_{01}, j_{02} التيار المار في الديود 1 والديود 2،

n_1, n_2 عامل جودة الديود 1 والديود 2،

V الفولطية المطبّقة على الخلية،

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

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

R_s المقاومة الأومية الموصولة على التسلسل،

R_{sh} المقاومة الأومية الموصولة على التفرع،

j_{ph} التيار المنتج بواسطة الضوء،

q شحنة الإلكترون،

k ثابت بولتزمان، .

T درجة الحرارة / كلفن.

يُظهر الجدول (1) خلاصة الوسطاء الناتجة من ملاءمة مميّزات التيار - الفولطية لإضاءات مختلفة.

يتّضح من هذا الجدول أن:

- قيمة عامل جودة الديود الأول أكبر بكثير من الديود الثاني، مما يدلّ على وجود آلية نقل للتيار وهي إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني [16].

- عامل جودة الديود الثاني يأخذ قيماً قريبة من الديود الأوّل مما يدلّ على وجود آلية نقل للتيار وهي توليد الشحنات و إعادة اتحادها في منطقة النضوب (Generation/Recombination) [16].

- على تقدير أنّ كلاً من j_{01} و n_1 يزداد بازدياد شدة الضوء. ويمكن ردّ هذا الازدياد إلى ارتفاع كثافة الشحنات على السطح البيني.

- قيم R_s تنقص بازدياد شدة الضوء بسبب ازدياد الناقلية الكهربائية وبخاصة في طبقة CdS [6].

- قيم R_{sh} تنقص بازدياد شدة الضوء و لكنها تبقى عالية نسبياً بحيث يمكن إهمال تأثيرها على جميع المميزات المقيسة تحت شدات مختلفة من الضوء.

إنّ التحليل الدقيق لهذه النتائج يؤكد لنا أن آلية إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني هي الآلية الأساسية في نقل التيار في الخلايا المدروسة، ويمكن تفسير سلوك هذه الخلايا بوضع نموذج لبنية الخلية الشمسية وفق الافتراضات التالية:

1- الخلية عبارة عن وصلة p-n غير متجانسة بالإضافة إلى منطقة بينية ذات ثخانة معينة في البداية ومن ثَمّ تتحول عند تناهي ثخنها إلى الصفر إلى سطح بيني. وأغلب الخلايا على أساس $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ هي من هذا النوع. تُبرّر هذا الافتراضَ قياسات المردود الطيفي الكمومي و التي أظهرت أن عملية تجميع الشحنات المتولّدة بتأثير الضوء تحصل تقريباً بالكامل في منطقة الحقل الكهربائي المرتفع من طبقة $CuGaSe_2$ [7،5-15]. هذا ما يعزز افتراض أن الوصلة غير متجانسة.

2- حالات السطح البيني N_{is} معتدلة كهربائياً. وهي لذلك لا تؤثر في مستوى طاقة فرمي و لاتتأثر بالحقل الكهربائي. هذا ما يتوافق مع إهمال تابعية التيار المنتج بفعل الضوء j_{ph} للفولطية المطبقة على الخلية [15]. إعادة اتحاد حاملات الشحنة في منطقة السطح البيني تشحن الحالات في هذه المنطقة بكهربائية سالبة بسبب مكوث الإلكترونات وقتاً أطول في حالات الثقوب هذه. وهذه الحالات المشحونة N_{is} هي فقط الفعّالة.

3- يزداد معدل إعادة اتحاد الشحنات بالإضاءة ممّا يؤدي إلى ارتفاع كثافة الحالات المشحونة على السطح البيني.

نستطيع باستخدام هذا النموذج أن نُفسّر ارتفاع عامل جُودة الديود بارتفاع كثافة الحالات المشحونة على السطح البيني. كما يُفسّر النموذج عدم وجود انزياح ثابت بين مميزات التيار - الفولطية في الظلام وتحت تأثير الضوء بسبب ارتفاع كثافة الحالات المشحونة على السطح البيني مع زيادة شدة الضوء و بالتالي ارتفاع كلٍّ من عامل جودة الديود و تيار الإشباع . كما يبّنت الحسابات العددية باستخدام هذا النموذج أن هذا الارتفاع يؤدي إلى خفض جميع الوسطاء الفوتو فولطيّة (توتر الدارة المفتوحة، تيار الدارة القصيرة و عامل الامتلاء (عامل الاشغال).

وعلاوة على ذلك، يؤدي استخدام نتائج ملاءمة مميزات التيار - الفولطية تحت تأثير شدات مختلفة من الضوء في هذا النموذج إلى تقدير كمون الانتشار وبعض ثوابت المواد المكوّنة للخلايا المدروسة (المقطع العرضي لأسر الثقوب يأخذ قيماً بين $\sigma_p = 7.9510^{-18}$ cm^3 و $\sigma_p = 7.6410^{-18}$ cm^{-3} و حركية الإلكترونات في طبقة CdS تتراوح بين $\mu_l = 0.005$ cm^2/Vs و $\mu_l = 0.04$ cm^2/Vs).

الجدول 1- خلاصة الوسطاء الناتجة من ملاءمة مُميّزات التيار - الفولطية من أجل إضاءات مختلفة. يمثل j_{ph} التيار المنتج بفعل الضوء، ويمثّل j_{01}، j_{02} التيار المار في الديودين 1 و 2 ويمثل n_1، n_2 عاملا جودة الديودين 1 و 2، ويمثل R_s المقاومة الأومية على التسلسل ويمثل R_{sh} المقاومة الأومية على التفرّع.

I [mW/cm^2]	j_{ph} [mA/cm^2]	n_1	j_{01} [mA/cm^2]	n_2	j_{02} [mA/cm^2]	R_s [Ω cm^2]	R_{sh} [Ω cm^2]
83	12.5	7.8	0.291	1.26	1.9E-12	2.71	5.1E3
57.27	8.8	7.4	0.198	1.22	7.8E-13	2.78	5.7 E3
40.26	6.1	7.0	0.130	1.19	2.8E-13	2.86	6.7 E3
19.92	3.5	6.7	0.092	1.15	1.2E-13	3.00	8.1 E3
8.3	1.5	6.3	0.056	1.11	4.4E-14	3.36	1.4 E4
2.08	0.5	6.0	0.038	1.07	2.2E-14	3.61	1.7 E4
0.83	0.2	5.7	0.027	1.06	1.1E-14	3.93	2.1 E4
0.21	0.09	5.5	0.020	1.03	6.6E-15	4.35	2.7 E4
0.083	0.05	5.4	0.016	1.01	3.8E-15	4.54	3.0 E4

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

وبذلك نكون قد ساهمنا في فهم أفضل لآلية نقل التيار في الخلايا الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ وهذا ما يساعدنا على تحضير خلايا بمواصفات أفضل.

المراجع REFERENCES

[1] V. Nadenau, U Rau, A. Jasenek and H. W. Schock, J. Appl. Phys. 87, 1, 2000, 584

[2] A. Jasenek, U Rau, V. Nadenau, and H. W. Schock, J. Appl. Phys. 87, 1, 2000, 594

[3] J. H. Schon, M. Klenk, O. Schenker and E. Bucher, Appl. Phys. Lett. 77, 22, 2000, 3657

[4] V. Nadenau, D. Hariskos, H. W. Schock, M. Krejci, F.-J. Haug, A. N. Tiwari, H. Zogg and G. Kostorz, J. Appl. Phys. 85, 1, 1999, 534

[5] M. Saad, H. Riazi, E. Bucher, M. Ch. Lux-Steiner, Appl. Phys. A 62, 181-185, 1996

[6] M. Saad, W. Simon, K. Friemelt, H. Riazi-Nejad, E. Bucher and M. Ch. Lux-Steiner, Proc. 12th EC PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, 1546, 1994

[7] M. Saad, H. Riazi-Nejad, E. Bucher and M. Ch. Lux-Steiner, Proc. 1st World Conf. on PVEC, Hawaii, USA, 214, 1994

[8] R. Klenk, Dissertation der Uiversitat Stuttgart, 1993

[9] A. Rothwarf, IEEE Trans. Electron Devices, 29, 10, 1513, 1982

[10] A. Rothwarf, Solar cells 16, 567-590, 1985

[11] M. Eron and A. Rothwarf, Appl. Phys. Lett 44, 1, 131, 1984

[12] M. Eron and A. Rothwarf, J. Appl. Phys. 57, 6, 2275, 1985

[13] R. R. Potter and J. R. Sites, IEEE Trans Electron Devices, 31, 5, 571, 1984

[14] W. A. Miller and L. C. Olsen, IEEE Trans Electron Devices, 31, 5, 654, 1984

[15] M. Saad, Ph. D. thesis, University of Konstanz, ISBN 3-89191-933-6, 1995

[16] S. Ashok, K. P. Pande, Solar Cells 14, 61, 1985.■

تصميم وتنفيذ لوحات إلكترونية محلية لنظام التحكم الآلي بالمفاعل MNSR ★

د. إبراهيم خميس – موفق نصري

قسم الفيزياء- هيئة الطاقة الذرّية- ص.ب 6091- دمشق - سورية

ملخّص

جرى خلال هذا العمل تطوير وتنفيذ وتصنيع نموذج محليّ أوّليّ للوحة نظام التحكم الآلي الإلكتروني بالمفاعل منسر MNSR. وقد تضمّن النموذج الجديد بعض التعديلات الخاصة آخذين بعين الاعتبار وجود العناصر الإلكترونية المتوفرة في السوق المحلية وإمكانية تصنيع هذه اللوحة محلياً والاحتفاظ بها كقطع احتياطية بديلة. هذا وقد اختُبرت اللوحة المصنّعة محلياً قبل تركيبها في نظام التحكم وقبل تشغيل المفاعل للتأكد من حُسن تصنيعها. ومن ثَمّ، ستُختبر اللوحة عند تركيبها كجزء من نظام التحكم وتشغيل المفاعل للتأكد من أنها تقوم بالوظائف المطلوبة منها على أكمل وجه.

الكلمات المفتاحية: مفاعل منسر، نظام تحكّم، تصنيع لوحة تحكّم.

مقدّمة

يعدُّ نظام التحكّم الآلي بالمفاعل منسر MNSR [CIAE-DC-15, 1992] و [CIAE-DC-3, 1992] من أهمّ الأنظمة الحسّاسة والمهمّة في سير عمل المفاعل. حيث يجري هذا النظام مراقبة قيمة التدفق النتروني وتنظيمه وذلك بحسب القيمة المُدْخَلة من قبل المُشغّل. ومن ثمّ يقوم برفع (سحب) أو خفض (إدخال) قضيب التحكم للمحافظة على قيمة التدفق النتروني وذلك بدقة تحكّم تصل إلى مرتبة 0.025%. كما يقوم هذا النظام بإعطاء أمر إغلاق قسري للمفاعل في الحالات الطارئة Scarm. وتتمثّل

★ تقرير مختصر عن عمل تقني أُنجز في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

هذه الحالات الطارئة عند تجاوز الحدّ الأعظمي المسموح به للتدفق النتروني أو عند ازدياد درجة حرارة القلب على الحدّ الأعظمي المسموح به على سبيل المثال. كما يجري قياس التدفق النتروني الآني للمفاعل وإخراج قيمته عبر عارضات رقمية Digital، إضافةً إلى مراقبة حالة تناقص التدفق وازدياده وإعطاء إشارات تحذيرية وفقاً لذلك.

إنَّ هذا النظام يقوم مقام عدَّة أنظمة منفصلة بعضاً عن بعض في الأداء والوظيفة ولكنها مع ذلك تشترك في عناصر تحكم وإشارات دخل تعود إلى وضعية التحكّم، والتدفق النتروني (بقسميه العشري والأسي)، وهذه الأنظمة تتلخص على الشكل الآتي:

1- نظام قراءة التدفق النتروني عبر دارة تضخيم لإشارة التيار (عن طريق حجيرة الانشطار النتروني) ومن ثمَّ تحويل هذا التيار عبر مجزئات الكمون بحيث يتعيّن لدينا مجال التدفق النتروني والقيمة العشرية، إن قيم التدفق هذه ينبغي أن تقع ضمن مجال أعظمي وألاّ تتجاوزه، وفي حال وصول النظام إلى هذه العتبة يعمل نظام الحماية للمفاعل ويقوم بإغلاقه آلياً Automatic Shutdown.

2- نظام التحكم بقضيب التحكم صعوداً أو نزولاً بحيث يتمّ التواقت زمنياً مع نظام القراءة (الفقرة 1)، وفي حال وصول التدفق النتروني إلى حدوده العظمى (يُعطى أمر الإغلاق الآلي للمفاعل ويجري إنزال قضيب التحكم إلى الوضعية الصفرية).

3- نظام إظهار القيمة الآنية للتدفق النتروني عن طريق مقارنات كمون وعارضة رقمية.

4- نظام رفع قضيب التحكّم وخفضه وذلك بالتزامن مع كلا النظامين (الفقرتان 1و2). وفي حالة الطوارىء يعمل هذا النظام إما على إغلاق المفاعل آلياً وبشكل سلس Smoothly Shutdown أو على إغلاقه قسرياً Scarm.

5- كما يوجد نظام إدخال (Setting) لقيم التدفق بجزأيه العشري والأسي، حيث يمكن للمُشغِّل عبره وضع القيم الحدّية للتدفق النتروني ولوضعية قضيب التحكم (القيمة العظمى لارتفاع قضيب التحكم) ومن ثمَّ إعطاء أمر الإقلاع للمفاعل Start-Up.

6- نظام القرار المنطقي (Logical System)، حيث يقوم هذا النظام بالتنسيق بين جميع الأنظمة السابقة وإعطاء القرار المناسب سواءً بمراقبة قيمة التدفق النتروني الحالي أو بإعطاء إشارات تحذيرية عند تجاوز الحدود المسموح بها للتدفق صعوداً أو نزولاً ، أو بإعطاء أمر إغلاق كامل للمفاعل في الحالات الطارئة.

وتتلخّص فائدة هذا العمل في :

- تهيئة البديل للوحة التحكّم بالمفاعل لما لهذه اللوحة من أهمية قصوى فهي تُعدُّ كعصب أساسيٍّ في المفاعل . خاصةً وأنه قد لُوحظ تكرُّر حدوث الأعطال في اللوحة نظراً لوجود بعض العيوب في دارة التحكّم الأليّة التي زوِّدنا بها الجانب الصيني من حيث سوء جودة الطباعة الإلكترونية (خطوط التوصيل النحاسية) وقصور بعض العناصر الإلكترونية ذات المنشأ الصيني عن القيام بمهامها وأدائها المتردِّي.

- تعزيز الخبرة الوطنية المحلية لتصنيع لوحات (بطاقات) تحكّم آليّة. خاصّة أن التوجّهات الحديثة في مجالات التحكّم بالمفاعلات النووية تستدعي وجود دارات تحكّم منفصلة على لوحات مستقلة لكل دارة تحكمية، Modular Type أي عدم جمع عدّة دارات تحكّمية على لوحة تحكّم واحدة. ويمكن استخدام مبدأ استقلالية دارات التحكّم هذه لاحقاً في تطوير أنظمة المفاعل وتحديثه.

- تأمين البديل المباشر والسريع لبطاقات التحكّم الآلية المستخدمة في المفاعل وذلك عند نشوء أي أعطال طارئة. بحيث يمكن استخدام لوحات التحكم البديلة في مفاعل منسر عند حدوث العطب في لوحة التحكم الصينية، وبالتالي منع توقف المفاعل بسبب الصيانة الطارئة لبطاقات التحكّم مما يرفع من كفاءة استثماره.

تحليل ورسم الدارة المطبوعة

بعد تحليل الدارات التحكمية في لوحة التحكّم، جرى تحويل هذه الدارات إلى الحاسب بهدف إدخال العناصر والتوصيلات ومآخذ الإشارات ...إلخ عبر برنامج الرسم الإلكتروني [PADS, 1992]. من ثمَّ، رُسِمت دارة التحكّم بالمفاعل وذلك بشكلها المطبوع PCB بحيث يتسنّى نقل هذه الدارة عبر برنامج PADS لرسم الدارات الإلكترونية وطباعتها لاحقاً. حيث يجري رسمها ونقلها إلى برنامج التنفيذ و توصيل النحاس بين نقاط التوصيل لكامل الدارة. وتتكوّن مرحلة الرسم من مراحل منفصلة ومتتابعة كما يلي:

مرحلة الحساسات

وتتضمّن ربط نقاط توصيل حجيرة الانشطار النتروني بوحدة الكمون العالي. فلقد تمّ تحديد عدد البطاريات اللازمة لوحدة الكمون العالي 145) (V وحُسبت الأبعاد على أساس استخدام بطاريات يابانية الصنع من نوع Sun Moon, CR2032 ومن ثمَّ تمّ توصيل وحدة الكمون العالي بحجيرة الانشطار النتروني، وتمّ ربط القسم المحوري للحجيرة بموجب وحدة الكمون العالي ووصلت طبقة الغلاف بالأرضي.

مرحلة الدخل

في هذه المرحلة، تمّ ربط خطوط التوصيل للمضخم الأولي (U22, ICL7650) الذي يقوم بتكبير إشارة التيار الآتية من حجيرة الانشطار عن طريق وحدة الكمون العالي (القطب السالب) لتأمين تحويل إشارة التيار هذه إلى إشارة كمون عن طريق مقاومات متناسبة مع قيمة هذا التيار (1G, 100M, 1M, 100K, 10K) ومع مفاتيح إلكترونية سريعة U16 ...U19 تقوم بدور وظيفة التبديل في مجال القياس بحسب شدة التيار القادم من حجيرة الانشطار ثم فصله إلى جزئين عُشريٍّ وأُسيٍّ تبعاً لإشارة التدفق النتروني المَقِيس.

مرحلة التيار الثابت

وفيها يجري ربط نقاط التوصيل وإشارات الكمون الثابتة (عن طريق مولّد تيار ثابت). حيث إن الأخيرة مسؤولة عن ضبط مجالات التحكّم بالتدفق النتروني وذلك لكلا الجزأين (العشري والأسي).

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

مرحلة دارة التحكّم

وفي هذه المرحلة ربطت جميع نقاط التوصيل المتعلّقة بالتحكم بالتدفق النتروني ابتداءً من قراءة قيم التدفق النتروني المُدْخَل عبر المشغل والتي تتحوّل إلى قيم جهود لكلا الجزأين العشري والأسي لتحديد مستوى التحكم ضمن مجاله الدقيق ± 0.0025 أو مجاله العادي ± 0.05 ومروراً بقراءة وضعية قضيب التحكّم وانتهاءً بالمفاتيح الضوئية - الإلكترونية المربوطة على المحرك لإعطاء أمر (قرار) لرفع قضيب التحكّم أو تخفيضه.

مرحلة وحدة التغذية

وهي مرحلة ربط نقاط جهود التغذية اللّازمة للنظام ومنظمات كمونات التغذية ($\pm 12V$, $\pm 5V$, $\pm 6V$) بحيث تمّ نقل كل هذه الكمونات إلى عناصر النظام بالكامل.

مرحلة الخرج

وهي مرحلة إخراج إشارات الكمونات والتيار للتدفق النتروني ومن ثم تحويلها عن طريق مبدلات تمثيلية - رقمية وتجزيئها إلى قسمين (عشري وأسي) بحيث تتناسب هذه القيم مع قيمة التدفق النتروني المقيس لحظياً.

مرحلة الإظهار

وهي مرحلة تركيب ووصل العناصر ونقاط التوصيل المتعلّقة بإظهار قيمة التدفق النتروني على اللوحة الرئيسة Main Console لقراءته لحظياً.

بعد ذلك، أُعيد رسم وبناء الدارة المطبوعة على الحاسب عبر برنامج رسم الدارات الإلكترونية وطباعتها. ثم عُولجت هذه الدارة ورسمها عبر برنامج رسم الدارات نفسه [EAGLE, 1999].

تصنيع النموذج الأولي لدارة التحكّم الآلية للمفاعل

جرى إنشاء وتنفيذ وتصنيع النموذج الأولي الاختباري لنظام التحكّم الجديد للوحة التحكّم بالمفاعل منسر آخذين بعين الاعتبار المراحل السابقة والتعديلات المطلوبة على لوحة التحكّم بالمفاعل. لدى القيام بتصنيع نسخة نهائية لدارة التحكم، وجد أنه يمكن عند وضع النقاط للعناصر الإلكترونية استخدام دائرة مثقوبة حتى يسهل ثقب البطاقة الإلكترونية. وكما هو الحال غالباً ستوضع لمثل هذه البطاقات الحسّاسة لحامات من نوع أسطواني مفرغ hollthrow تُلحم من جهتي البطاقة. وهذه العملية مضمونة أكثر لتثبيت العنصر أو الدارة المطبوعة لكنها أكثر كلفة. كما وتستخدم عادة أرضية أو معدن التوصيلات من الفضة أو تجري عملية تفضيض لاحقاً قبل الورنشة مما يعطي الدارة عمراً أطول ومتانة أكبر .

النتائج والمناقشة

يمكن اعتماد النموذج الأولي المُطوَّر كنسخة أساسية عن لوحة التحكم بالمفاعل منسر. حيث يمكن عند الحاجة نسخ العديد من النسخ الاحتياطية مما يزيد من وثوقية المفاعل وأمانه علاوة على استمراريّته في العمل دون التوقف لفترات طويلة الأمد لصيانته وإصلاحه.

ونتيجة لهذا العمل، ولتوافر الخبرة في فهم وتصنيع دارات التحكّم المختلفة التي منها لوحة التحكّم المصنّعة، فإنه ينصح بأن يتمّ تصنيع وطباعة كل دارة من دارات التحكّم بشكل مستقل.■

أشكال الفسفور في الأتربة السورية وتحديد المتاح منها*

د. فارس أصفري
قسم الزراعة، هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091- دمشق - سورية
د. رفعت المرعي - محمد حاميش
قسم الكيمياء، هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخّص

دُرست أشكال الفسفور في الأتربة البنية الحمراء الداكنة والبنية الصفراء والطميّة و استُعملت التربة البنية الحمراء لدراسة تحولات السماد الفسفاتي الثلاثي TSP الموسوم بالنظير ^{32}P في التربة، بوجود نبات أو بدونه. وقد وُجد أن الفسفور الكلّي في الأتربة المدروسة يتراوح بين 375 و 631 مكغ P/ غ تربة منها 87- 95% فسفور لاعضوي تراوح الذائب منه بين 231 و 400 مكغ P/ غ تربة، وتراوح P العضوي بين 23 و 55 مكغ P/غ تربة. كما وُجد أن فسفات الكالسيوم يشكل 32- 93% من P اللاعضوي الذائب، ويشكل فسفور الحديد المحتجز 5- 42% منه، في حين أن باقي أشكال الفسفور كانت قليلة جداً. هذا وتراوح الفسفور المتاح بطريقة أولسن بين 8 و 14 مكغ P/ غ تربة لجميع الأتربة المدروسة بالرغم من الفروقات الكبيرة أحياناً في محتواها من P اللاعضوي الذائب. وبيّنت القياسات النظائرية في تجربة الأصص أن جزءاً كبيراً من P السماد (≈50%) قد تحوّل بالتبادل النظائري isotopic exchange إلى الأشكال المختلفة

* تقرير علمي عن بحث علمي أُنجز في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

لفسفور التربة خلال أسبوع وتذبذبت قيمه في كلّ شكل بنسب مشابهة نسبياً لتواجد هذه الأشكال. وكان P المتاح في التربة المزروعة أعلى منه في التربة غير المزروعة، غير أن وجود النبات لم يؤثر على كيفية تحول P السماد إلى أشكال P المختلفة في التربة. وعند استعمال المبادلات الأيونية في تقدير P المتاح وجد أن المبادل الأيوني Cl^- يعطي نتائج في استخلاص P المتاح مشابهة لطريقة أولسن، وأما المبادل الأيوني HCO_3^- فقد ساعد على زيادة P المتاح في التربة المزروعة وغير المزروعة (1.3 إلى 5 أضعاف). كما بيّنت التجارب أن كفاءة استعمال السماد TSP تراوحت خلال نمو النبات بين 4.1% عند البادرة و 26.8% عند النضج. في حين أن كفاءة استعمال الفسفات الصخري السوري من خنيفيس كانت 2% عند البادرة و 1.1% عند النضج.

وقد أظهر توزع حبيبات سماد TSP السوري أن 71% من الحبيبات ذات أقطار (<2) مم وأن نسبة الفسفور فيها كانت أعلى من الحبيبات الأصغر. وقد انحلّ 73-80% من P السماد في الماء خلال 24 ساعة وازدادت نسبة الفسفات المنحل بانخفاض قدّ الحبيبات. كما أن pH المحلولة قد انخفضت بسرعة من 6.7 إلى 3.8 بعد ثلاث ساعات من بدء الانحلال وبلغت أدنى قيمة لها 3 بعد 72 ساعة من الانحلال.

الكلمات المفتاحية: أشكال P، P مبادل أيوني، أولسن P، تبادل نظائري، P صخري، ^{32}P.

مقدّمة

دُرست أشكال الفسفور في الأتربة البنية الحمراء الداكنة والبنية الصفراء والطميّة، واستُعملت التربة البنية الحمراء في تجربة الأصص لدراسة تحولات السماد الفسفاتي الثلاثي (TRIPLE SUPER PHOSPHATE) TSP الموسوم بالنظير ^{32}P في التربة، بوجود نبات أو بدونه، لتحديد كمية السماد الممتص من قبل النبات والمثبت أو المتاح في التربة وكذلك تحديد كفاءة استعمال السماد TSP في فترات متتالية. كما استُعملت نفس التربة لدراسة كفاءة استعمال الفسفات الصخري (RP) السوري من خنيفيس كسماد. وأجريت مقارنة بين الفسفور المُتاح بطريقة أولسن (OLSEN - P) والفسفور المتاح بالمبادلين الأيونين Cl^- وHCO_3^-. وبالإضافة لذلك دُرس توزّع حبيبات سماد TSP السوري وأثر ذلك في انحلالية حبيبات هذا السماد في الوسط المحيط. جُمعت العيّنات من التربة السطحية (0-20 سم) من ستة مواقع تمثل أتربة المناطق الزراعية الرئيسة في سورية؛ موقعي تل حديا وبريده في سهول حلب، موقعي تل تمر و محطة المقاسم الخمسة في سهول الجزيرة، مزرعة أبي ذر الغفاري في سهول دير الزور، موقع جللين في سهول درعا.

النتائج والمناقشة

وجد أن الفسفور الكلّي في الأتربة المدروسة يتراوح بين 375 و 631مكغP/غ تربة، منها 87- 95% فسفور لاعضوي وتراوح الذائب منه بين 231 و 400 مكغ P/غ تربة، وتراوح P العضوي بين 23 و 55 مكغ p/غ تربة مما يشير إلى أن دوره أقل أهمية من اللاعضوي. كما وجد أن فسفات الكالسيوم يشكل 32-93% من P اللاعضوي الذائب، ويشكل فسفور الحديد المحتجز 5-42% منه، في حين أن باقي أشكال الفسفور (فسفات الحديد، فسفات الحديد والألمنيوم المحتجز وفسفات الألمنيوم والفسفات ضعيف الارتباط) كانت قليلة، مما يدلّ على أن فسفات الكالسيوم يليه فسفور الحديد المحتجز يشكلان المصدرين الأساسيين لتغذية النبات. هذا وتراوح الفسفور المتاح بطريقة أولسن بين 8 و 14 مكغ P/ غ تربة لجميع الأتربة المدروسة.

وفي تجربة الأصص، حيث أُضيف سماد TSP الموسوم بالنظير ^{32}P إلى التربة (17 مكغ P/ غ تربة)، وجد أن P المتاح (تربة + سماد) في التربة غير المزروعة كان يتأرجح بين 11.8 و 21.2 مكغ P/ غ تربة خلال 45 يوماً من بدء التجربة ثم تناقص بشكل كبير وبلغ في نهاية التجربة (بعد 40 يوماً) 6.5 مكغ P/ غ تربة. كما وجد أن جزءاً كبيراً من P السماد (8 مكغ P/ غ تربة) قد تحوّل إلى شكل غير متاح بعد الأسبوع الأوّل من إضافته مع الماء إلى التربة في حين أن P المتاح من التربة قد ازداد بالمقدار نفسه تقريباً (من 6.1 إلى 15.4 مكغ P/ غ تربة) خلال الفترة نفسها، مما يُشير إلى أن P السماد قد تحوّل بالتبادل النظائري isotopic exchange إلى فسفور التربة. كما وجد أن P السماد غير المتاح قد تحول إلى أشكال مختلفة من فسفور التربة وتأرجحت قيمه في كل شكل خلال التجربة في المجالات (مكغ P/ غ تربة)؛ 1.5 - 8.4 كفسفات الكالسيوم 0.6 - 3.6 كفسفات الحديد المحتجز، و 0.33 - 1.2 كفسفات الحديد، و 0.2 - 0.6 كفسفات الألمنيوم، و 0.07 - 0.3 كفسفات ضعيف الارتباط، و 0.07-0.26 كفسفات الحديد والألمنيوم المحتجز. أي أن نسبة تحوّل السماد إلى أشكال مختلفة من فسفور التربة تمّت نسبياً بحسب نسب وجودها. وقد لُوحظ أن نسبة P السماد المتحولة إلى AL-P و Fe-P عالية نسبياً لوجود تلك الأشكال بكميّات قليلة في التربة ممّا يدلُّ على أن نشاطها في امتزاز P أعلى نسبياً من الأشكال الأخرى. هذا وكان Pالمتاح (تربة + سماد + نبات) في التربة المزروعة أعلى منه في التربة غير المزروعة وكان تأرجح القيم (13.3 - 26.8 مكغP/غ تربة) خلال نمو النبات مشابهاً لما هو عليه بدون النبات. غير أن وجود النبات لم يؤثّر في كيفية تحول P السماد إلى أشكال P المختلفة في التربة. إن زيادة P المتاح في التربة المزروعة يمكن أن يُعزى إلى بعض المُفرزات من جذور النبات وإلى الأنزيمات (مثل فسفاتاز) في نهايات جذور النبات التي تساعد على زيادة تحرر P في التربة وإتاحته في محيط الجذور

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

(Rhizosphere)، بالإضافة إلى أن وجود النبات يزيد من نشاط أنزيمات التربة في المحيط الجذري ممّا يُساعد على تحرر P وإتاحته بشكل أكثر منه في حال عدم وجود النبات.

عند استعمال المُبادِلات الأيونية في تقدير P المتاح وجد أن المُبادل الأيوني Cl^- يعطي نتائج في استخلاص P المتاح مُشابهة لطريقة أولسن وأما المبادل الأيوني HCO_3^- فقد ساعد على زيادة P المتاح في التربة المزروعة وغير المزروعة أضعافاً (من 1.3 إلى 5 أضعاف) وقد يُعزى ذلك إلى أن زيادة أيون الكربونات في المحلول يزيد من انحلال الأجزاء الذوابة والصعبة الذوبان كالهدروكسي أباتيت في التربة. ولذلك يجب الانتباه عند اختيار المبادل الأيوني إلى أنه يتناسب مع نوعية التربة لتقدير P المتاح فيها.

بيّنت التجارب أن كفاءة استعمال السماد TSP تراوحت خلال نمو النبات بين 4.1% عند البادرة و26.8% عند النضج وهي قيمٌ لابأس بها.

في حين أن كفاءة استعمال الفسفات الصخري السوري من خنيفيس كانت 2% عند البادرة و1.1% عند النضج، وهي قيم منخفضة بالمقارنة بـTSP إلا أنها متناسبة مع طبيعة الفسفات الصخري. هذا وقد أظهر توزّع حبيبات سماد TSP السوري أن 71% من الحبيبات ذات أقطار < 2 مم، و22% ذات أقطار 2-> 1 مم وأن الحبيبات ذات الأقطار ≥1م لاتزيد عن 7%. كما أن نسبة الفسفور في الحبيبات ذات الأقطار > 2 مم كانت أعلى (47.5 - 49%) منها في الحبيبات ذات الأقطار ≥2(45%). وقد انحل 73-80% من P السماد في الماء خلال 24 ساعة وازدادت نسبة الفسفات المنحل بـ 1-7% بانخفاض قدّ الحبيبات. كما أن pH المحلولة قد انخفضت بسرعة من 6.7 إلى 3.8 بعد ثلاث ساعات من بدء الانحلال ومن ثم كان الانخفاض بسيطاً حتى بلغ أدناه (pH = 3) بعد 72 سا من الانحلال.■

تعيين تراكيز السيزيوم 137 , 134 و السترونسيوم 90 في بعض منتجات سلسلة الجبال الساحلية الزراعية*

د. محمد سعيد المصري - عامر لشواني - بشرى العاقل
قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091- دمشق - سورية

ملخّص

عُنيت هذه الدراسة بتحديد مستويات السيزيوم 137 والسترونسيوم 90 في تسعة عشر محصولاً زراعياً واثنتي عشرة عينة من التربة التي جمعت من عدّة مناطق في سلسلة الجبال الساحلية السورية. وأوضحت النتائج أن تراكيز السيزيوم 137 في مُعظم المحاصيل الزراعية منخفضة مع ملاحظة ارتفاع تركيزه في عيّنات الفطر التي جمعت من جوبة البرغال، حيث بلغ مقدار تركيزه 119 بكريل/ كغ جاف، أما تركيز السترونسيوم 90 فوصل إلى قيمة عظمى وقدرها 33 بكريل/ كغ جاف في تبغ الدالية، ولقد أظهر كل من التبغ والسبانخ بشكل واضح انتقائية خاصة للسترونسيوم، حيث بلغت قيمة معامل الانتقال إلى التبغ نحو 2.25. ونُشير هنا إلى أن التراكيز المسجّلة في هذه الدراسة تقع ضمن الحدود السورية العليا المسموح بها من النشاط الإشعاعي في المواد الغذائية. هذا وقد حُلّلت عينات من التربة جُمعت من المواقع نفسها فلوحظ أن أعلى قيمة لنشاط السيزيوم 137 (124 بكريل / كغ جاف) هي في تربة جوبة البرغال، في حين وصل تركيز السترونسيوم 90 إلى القيمة 28 بكريل / كغ جاف في تربة وادي الجديدة .

الكلمات المفتاحية: السيزيوم 137، السترونسيوم 90، المحاصيل الزراعية، سلسلة الجبال الساحلية السورية.

مقدمة

تنتقل النكليدات المشعة الصنعية من مصادرها (مثلاً المفاعلات) إلى البيئة المجاورة أو البيئات البعيدة بفعل الحوادث النووية (كحادثة مفاعلات تشرنوبل) فتلوّث بذلك مكوّنات البيئة، حيث تأثّرت بيئياً عدّة دول بحادثة تشرنوبل وأُجريت الدراسات و المسوحات الإشعاعية على مستوى العالم بهدف تقدير التعرض الإشعاعي وتأثيراته في الإنسان إضافة إلى تعيين معاملات انتقال النكليدات المشعّة الصنعية عبر سلسلة الغذاء. هذا ولقد أُجريت أيضاً في سورية دراسات مماثلة لتقدير أثر حادثة تشرنوبل في البيئة السورية فجرى تحديد السيزيوم137 و 134 وكذلك اليود 131 في العديد من عيّنات البيئة السورية، ولعلّ دراسة النشاط الإشعاعي الصنعي في ترب قمم الجبال الساحلية السورية عام 1997، الدراسة الوحيدة التي أظهرت وجود تراكيز مرتفعة من السيزيوم 137 والسترونسيوم 90 في التربة

* تقرير علمي عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الزراعية في منطقة سلسلة الجبال الساحلية وهذه التراكيز ناجمة عن حادثة تشرنوبل و لهذا يُتوقع انتقالها إلى المحاصيل الزراعية ومن ثمّ إلى الإنسان، وقد تشكل خطراً على صحته، وبالتالي فإن تحديد مستويات السترونسيوم 90 والسيزيوم 134,137 في بعض المحاصيل الزراعية وترب قمم الجبال الساحلية السورية للتحرّي عن مدى انتقال هذه النظائر إلى المحاصيل الزراعية و مطابقة هذه القيم مع الحدود والمعايير السورية أمرٌ ضروري. ولتحقيق ذلك جُمعت العيّنات الزراعية والتربة من المناطق التالية: الشيحة، جوفين، مصياف، المحروسة، دير الجرد، دير شميل، أبي قبيس، الدالية، المشهد، جبل المولى حسن، المشيرفة، جوبة البرغال، دركوش، كسب، القدموس، الجديدة، كاف الجاع، وذلك خلال عام 2001.

النتائج والمُناقشة

لاتُعدُّ المناطق المزروعة في سلسلة الجبال الساحلية كبيرة فهي تسهم فقط في توفير بعض المحاصيل الزراعية للسكّان المحليين. ويعدُّ استهلاك هذه المحاصيل محصوراً بالمناطق التي جمعت منها العيّنات ما عدا محصول التبغ الذي يمكن أن يُباع لغير القاطنين في منطقة قمم الجبال الساحلية. أوضحت نتائج تحليل العيّنات الغذائية أن تركيز السيزيوم 137 كان منخفضاً وهو أقل من حدّ الكشف الأدنى لطريقة القياس في معظم العيّنات المحللة باستثناء تركيزه في عيّنة الفطر التي جُمعت من منطقة جوبة البرغال، حيث وصل تركيزه إلى 119بكريل/كغ، وربما يعود هذا الارتفاع إلى ارتفاع معامل انتقال السيزيوم إلى نبات الفطر. أمّا تركيز السيزيوم 137 في ورق التبغ و البالغ 2.7 بكريل/كغ فيعود إلى السقط الجوي العالمي و ارتفاع المسطح الورقي لهذا النبات و ليس إلى انتقاله عبر الجذور، هذا ولم يُكشف السيزيوم 134 في أي من العيّنات المحلّلة. أما تراكيز السترونسيوم 90 فتراوحت بين أقل من 0.2 بكريل/كغ في ثمرة اليقطين و 31.5 بكريل/كغ في ورق التبغ، حيث احتوت كافة عيّنات ورق التبغ المحلّلة على تراكيز مرتفعة من السترونسيوم90، وإضافة إلى ذلك كان تركيز السترونسيوم 90 مرتفعاً في كافة النباتات الورقية (التبغ، السبانخ، ورق العنب، ...) إضافة إلى ارتفاعه في عيّنات ثمرة التين. و نظراً لوجود بعض الحيوانات كالأبقار لدى بعض المزارعين والتي ترعى في تلك المناطق، فلقد جرى جمع بعض عينات الحليب، حيث يُتوقّع انتقال السترونسيوم 90 إليها من خلال الأعشاب التي تتغذى بها هذه الحيوانات ومن ثمّ إلى الحليب، ولقد لُوحظ ذلك بالفعل، حيث وصل تركيز السترونسيوم 90 في عيّنات الحليب التي جُمعت من قرية الشيحة قرابة 12 بكريل/ل و هي تقع ضمن الحدود السورية العليا المسموح بها من النشاط الإشعاعي في المواد الغذائية.

تراوح تركيز السترونسيوم 90 و السيزيوم 137 في الترب الزراعية التي جُمعت من مناطق زراعة المحاصيل المدروسة بين 2 بكريل/كغ في تربة كاف الجاع، و 124 بكرل/كغ في تربة جوبة البرغال، وبين 4 بكريل/كغ في تربة جبل المشهد، و 28 بكريل/كغ في تربة وادي الجديدة. هذا وقد لوحظ عدم وجود توافق بين تراكيز هذين النكليدين بين عيّنة وأُخرى، حيث يُتوقع أن تكون النسبة بين النظيرين متقاربة، ويعود عدم التوافق إلى سببين، الأول و هو اختلاف حركة السيزيوم و السترونسيوم من التربة السطحية إلى الطبقات العميقة، إضافة إلى اختلاف معامل الارتباط بالتربة لكل من هذين النظيرين، أما السبب الثاني فيعود إلى انتقال السيزيوم أو السترونسيوم إلى نباتات محدّدة دون أخرى و بالتالي انخفاض التركيز في التربة السطحية مع مرور الزمن (أكثر من 14 عاماً). على أيّة حال، يُنصح بعدم زراعة المحاصيل الزراعية في تلك المناطق والتي يمكن أن تركّز هذه النظائر إضافة إلى ضرورة تحديد المناطق الأكثر تأثراً بهذا التلوّث و تحديد ما يمكن زراعته بناءً على دراسات معاملات الانتقال التي تجري في هيئة الطاقة الذرية السورية.■

تأثير أشعة غاما في بعض الأنواع الجرثوميّة من مستحضر عِزق السُوس السريع الذوبان وفي الخصائص الكيميائية والحسيّة لخلاصته المائية*

محمد عمار العدوي - عبير القائد - د. محفوظ البشير
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرية ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخّص

تمّ تعريض خلاصة عِزق السّوس الى الجُرَع [0, 5, 10, 15, 20] من أشعة غاما الصادرة عن النظير المشع Co^{60}. خُزّنت العيّنات المُعالجة وغير المعالجة بالأشعة في درجة حرارة الغرفة، وتمّ تقدير الحمولة الجرثوميّة في مستحضر عِزق السّوس، كما تمّ تقدير الخصائص الحسيّة والكيميائية لخلاصته المائية وذلك بعد التشعيع المباشر وبعد مرور 12 شهراً على التخزين. بيّنت نتائج هذه الاختبارات أن لأشعة غاما أثراً واضحاً في خفض الحمولة الجرثومية للمستحضر، حيث كانت الجُرْعَة الإشعاعية اللازمة لخفض الحمولة الجرثومية دورةً لوغارتمية واحدة

* تقرير علمي عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

مساوية لـ 1.4 و 0.7 كيلو غراي للتعداد الكلي وجرثوم الكلابسيلا على التوالي.

الكلمات المفتاحيّة: التشعيع، التطهير، خصائص العصير، عِرق السوس، التقييم الحسي.

مقدّمة

تُستخدم جذور عِرق السوس بشكل مباشر بعد طحنها، أوبعد تجهيزها كمستحضرات مُركّزة، وفي كلتا الحالتين تكون عُرضةً للتلوّث بالجراثيم، التي تصلها إما عن طريق التربة، حيث تتماسّ الجذور والتربة، أو عن طريق التداول خلال عمليات التجهيز والتصنيع. يدخل عِرق السّوس في العديد من الصناعات الغذائية [1]، حيث يُستخدم كإضافات في المعجّنات والعصائر والبوظة والحلويات، ويستخدم بشكل واسع في صناعة الأدوية. ويُعتبر عِرق السوس من النباتات الطبية ويتمتّع بخصائص علاجية ووقائية [2].

يستخدم تقليدياً في كلٍّ من المعالجات الحرارية والكيميائية لتخليص المواد الغذائية الجافة، ومن بينها النباتات الطبيّة من حمولتها الجرثومية [3]. وبيّنت نتائج العديد من الدراسات إمكانية استخدام الأشعة المؤيّنة كأسلوب بديل لاستخدام الطرائق الكيميائية لتخليص كلٍّ من النباتات الطبية والبهارات من حمولتها الجرثوميّة [4]. تهدف هذه التجربة إلى اختبار تأثير أشعة غاما في الحمولة الجرثومية والخصائص النوعيّة والحسيّة لمستحضر عِرق السّوس السريع الذوبان والمصنّع محلياً.

المواد وطرائق العمل

لاختبار تأثير أشعة غاما في الحمولة الجرثومية والخصائص النوعية لعِرق السّوس، فقد تمّ تعريض مستحضرٍ سريع الذوبان من جذوره للجرع 0 و 5 و 10 و 15 و 20 كيلوغراي من أشعة غاما الصادرة عن النظير المشع كوبالت 60، وقُدّر بعد التشعيع مباشرة وبعد مرور 6 و 12 شهراً على التخزين كلٌّ من الحمولة الجرثومية الكليّة والأنواع المُمرِضة من هذه الجراثيم في المستحضر الجاهز للتسويق، كما قُدّر في الخلاصة المائية للمستحضر كلٌّ من نسبة المادة الجافه وسكر المالتوز والرماد والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والحمض الغليسيريزي والخصائص الحسية المتمثّلة باللون والطعم والرائحة والقوام.

النتائج والمناقشة

بيّنت نتائج هذه الاختبارات أن للجرع المستخدمة من أشعة غاما تأثيراً معنوياً في خفض كل من الحمولة الجرثومية الكلية والممرضة عند مستحضر العرق سوس، وارتفعت نسبة سكر المالتوز في الخلاصة المائية الناتجة من عيّنات معالجة بالأشعة مقارنة بماهو عليه عند الخلاصة المائية الناتجة من عيّنات الشاهد وذلك بعد التشعيع مباشرة، ولُوحظ عدم وجود فروق معنوية في المادة الصلبة الذّوابة والرماد بين محتوى الخلاصة المائية الناتجة من عيّناتٍ معالجة ومن عيّنات غير معالجة بالأشعة وذلك بعد التشعيع مباشرة وبعد مرور 12 شهراً على التخزين، وأدّى استخدام الجرع المرتفعة من الأشعة الى خفض تركيز كلٍّ من الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم في الخلاصة المائية لعرق السوس. هذا ولم يُسجّل أيُّ تأثيرٍ سلبي للجرع المستخدَمة من أشعة غاما على الخصائص الحسية للخلاصة المائية لعرق السوس والمتمثّلة باللون والقوام والطعم والرائحة.

تشير نتائج تجاربنا إلى أن الجرع 5 و 10 كيلو غراي كافية للوصول الى مستوى التعقيم التجاري (أقل من 10 مِكروب / غرام) [5] وذلك بعد مرور 12 شهراً على التشعيع وبعد التشعيع مباشرة على التتالي.

لقد احتاج مستحضر عرق السوس لتخليصه من كامل حمولته الجرثومية إلى جرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغراي وذلك بعد التشعيع مباشرة، في حين كانت الجرعة 5 كيلو غراي كافية لتخليص المستحضر من كامل حمولته الجرثومية عند تخزينه لمدة 12 شهراً، ويُستنتج من ذلك ان الجراثيم الباقية على قيد الحياة بعد التشعيع مباشرة لم تستطع المحافظة على حيويتها ولم تتحمّل ظروف التخزين. ويتّفق هذا الاستنتاج مع ماورد في المراجع العلمية من إشارة إلى ارتفاع حساسية الباقي من الجراثيم أو المكروبات على قيد الحياة بسبب ظروف التخزين غير المناسبة [6].

وربما يعود ارتفاع نسبة سكر المالتوز في الخلاصة المائية الناتجة من عيّنات معالجة بالأشعة وذلك بعد التشعيع مباشرة إلى دور الأشعة في تحطيم الكربوهيدرات المعقدة، وبشكل خاص النشاء، وتحويلها إلى مركبات أقل تعقيداً وإلى مركبات البُنى الأساسية التي تدخل في تكوينها ومن بينها على سبيل المثال سكر المالتوز. ويتّفق هذا الاستنتاج مع ماذكر في المراجع العلمية من وجود تأثير للأشعة المؤينة على الكربوهيدرات المعقدة وتحويلها إلى مركبات أقل تعقيداً [7]. ربما يعود ارتفاع نسبة حمض الغليسيريزي في الخلاصة المائية للمستحضر المعالج بالأشعة إلى دور الأشعة في تحريره من الأملاح المرتبط بها ليصبح بالشكل الحر أو ليشكّل أملاحاً تكون أكثر ذوباناً في الماء.

لقد بيّن [8] أن تعريض النباتات الطبية لجرعة إشعاعية قدرها 10 كيلوغراي لم يؤثر معنوياً في المادة الفعالة لهذه المنتجات. تُبيّن نتائج هذه التجارب عدم وجود فروق معنوية في الخصائص الحسيّة المقيّسة (القوام والطعم والرائحة واللون) بين الخلاصة المائية الناتجة من عيّنات معالجة بالأشعة والخلاصة الناتجة من عيّنات الشاهد. ويتّفق ذلك مع ما ذُكر في المراجع العلمية من عدم وجود تأثير للجرع المستخدمة من الأشعة بهدف تخليص النباتات الطبية من حمولتها الجرثومية على الخصائص الحسية لها [9].

المراجع

REFERENCES

[1] Snow, J (1996): Glycyrrhiza glabra Monograph. Protocol Journal of Botanical Medicine, 1,3:9-14.

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

[2] Brinker, F. (1998): Herb Contraindications and Drug Interactions. Second edition. Eclectic Institute Inc, Sandy, OR

[3] Gilsbach, W; Weeren, RD (1999): Interlaboratory validation study of a GC method for ethylene oxide and ethylene chlorhydrine determination in spices of pepper and chili. Deutsche Lebensmittel - Rundschau, Vol 95, Iss 3, pp 83- 90.

[4] Migdal, W; Owczarczyk, B; Kedzia, B; Holdemakedzia, E; SegietKujawa, E (1998): The effect of ionizing radiation on microbiological decontamination of medical herbs and biologically active compounds. Radiation Physics and Chemistry, Vol 52, Iss 1- 6, pp 91- 94

[5] International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992): Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings Vienna, IAEA. TECDOC-639.

[6] Farkas, J (1988) Irradiation of Dry Food Ingredients. CRC press Inc. Boca Raton Florida.

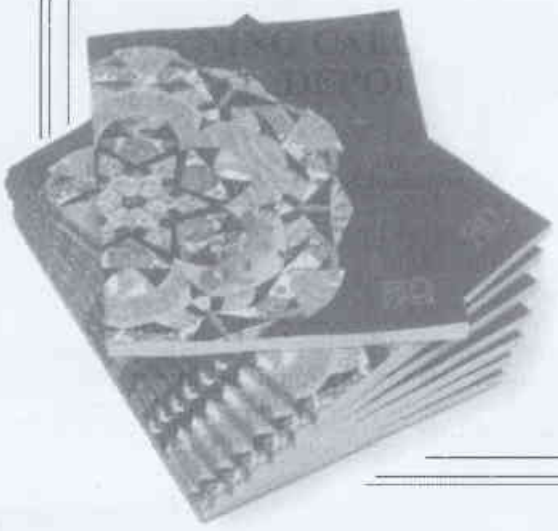
[7] Esteves, MP; Girio, FM; Amaralcollaco, MT; Andrade, ME; Empis, J (1997): Characterization of starch from white and black pepper treated by ionizing radiation .- Sciences Des Aliments,Vol 17,Iss3, pp289-298.

[8] Owczarczyk, HB; Migdal, W; Kedzia, B (2000): The pharmacological activity of medical herbs after microbiological decontamination by irradiation . Radiation physics and Chemistry,Vol 57, Iss3-6 , pp 331-335.

[9] Eiss, I (2001): Growing impact of irradiation on global production of and trade in spices. Irradiation for food safety and quality. Proceedings of FAO/ IAEA/ WHO. International conference on ensuring the safety and quality of food through radiation processing. P 178- 191.■

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

كتب حديثة مختارة



1- التشابك: أعظم سرٍّ في الفيزياء

Entanglement: The Greatest Mystery in Physics ★

تأليف: أ. أكزيل
عرض وتحليل: ف. فيدرال ★★

إنّ وضع علم الفيزياء في متناول الجمهور ليس مهمة صعبة. فالقوانين الأساسية للميكانيك الكمومي على وجه الخصوص تتضمن كثيراً من الملامح البديهية المعاكسة، حتّى أنّ القراء العاديين يمكن أن يجدوا صعوبة في فهمها. وبمعنى آخر، هنالك غالباً ميل للإفراط بتبسيط الحقائق إلى درجة تجعلها غير صحيحة. وللأسف، هذا ما يجعل الفيزياء الكمومية غامضة أكثر بكثير مما هي عليه في الحقيقة.

ويقع أمير أكزيل A. Aczel ضحية ذلك عندما يصف في كتابه التشابكات entanglement، وهذه سمة أساسية في ميكانيك الكم. فهو يؤكد كما أكدَّ العديد من المؤلفين على أنه عندما تتشابك منظومتان كموميتان ومن ثم نقيس إحدى هاتين المنظومتين، نعرف مباشرة حالة المنظومة الأخرى (أو نؤثر عليها) بصرف النظر عن مقدار التباعد بين المنظومتين. وهذا ما يدفعنا للاعتقاد بأن هذه العملية عجيبة إلى حدٍّ ما.

ومع ذلك، غالباً ما نواجه ترابطات في العالم الحالي الذي تُحسن الفيزياء النيوتونية التقليدية وصفه. فعلى سبيل المثال، تخيل أنك تقوم بمراقبة عملية سرقة لأحد المصارف، فاللص حينها يوجّه مسدسه إلى موظف المصرف الذي يعتريه الخوف. ومن خلال النظر إلى الموظف يمكنك أن تعلم ما إذا كان المسدس قد استُخدم أم لا. فإذا كان الموظف حيّاً ولم يُصب بأذى، تعرف عندها أن المسدس لم تطلق منه النار، وإذا كان الموظف قد لاقى حتفه فإنك تعرف عندها أنه قد تمّ إطلاق النار. ولذلك هنالك ترابط مباشر بين حالة المسدس وحالة الموظف. "فإطلاق النار من المسدس" يعني أن "الموظف ميتٌ"، و"عدم استخدام المسدس" يعني أن "الموظفَ حيٌّ". وبطبيعة الحال، نفترض أن اللص قد أطلق النار ليقتل وبالتالي لم يُخفق.

ميت أم حي؟ حالة أمين الصندوق مرتبطة بما إذا تم إطلاق نار من مسدس لي مارفن.

إن الملاحظة الأساسية (والمدهشة) هي أن منظومات الميكانيك الكمومي يمكن أن تكون مرتبطة أيضاً مثل المسدس الذي يكون في حالة التراكب "إطلاق النار وعدم إطلاقها" وعندئذ يكون الموظف في حالة "الموت والحياة" في الوقت ذاته! فالميكانيك الكمومي، كنتيجة لهذا التراكب، هو ببساطة ترابط بين الذرات أو الفوتونات أكثر مما نتوقع تقليدياً. هذا النمط من "الترابط الكمومي الفائق"، الذي قام جون بيل J. Bell بتكميمه بدقة ولأول مرة في عام 1964، هو ما ندعوه "(التشابك)".

في بدايات الميكانيك الكمومي كانت هنالك عدة محاولات لاستخدام التشابك في كشف المفارقة في أسس فيزياء الكم. ومع ذلك، ورغم تكميم هذه الترابطات، فقد استطاع بيل استنباطها من العالم الفلسفي لدى آينشتاين ونيلز بور N. Bohr. وأثبت كيف يمكن أن يوجد التشابك والإتمام معاً في ميكانيك الكم. وتعدّ هذه الترابطات الإضافية "حقيقية" بحيث تم إثباتها بالتجربة، والأهم من ذلك أنه تم تطبيقها بنجاح على النقل الكمومي من بعد للأجسام (الذي قد يكون بطريقة أخرى مستحيلاً) وعلى التعمية الكمومية.

وبالرغم من الإفراط في تبسيط التشابك، إلا أنني وجدتُ أن أكزيل قد قدم عملاً جيداً عندما وصف تاريخها المنوّع، بالإضافة إلى تطورات حديثة كالنقل من بعد للأجسام. ولكن أفضل ما فعله ربما يكمن في المقتطفات التي قدّمها لنا حول أهم الفيزيائيين المساهمين في ذلك. فعلى سبيل المثال، وجدت بعض النوادر الطريفة والممتعة حول حياة الحب عند إيرفن شرودينغر E. Schroding، وحول جون فون نيومان J. V. Neumann الذي اعتبره الجمهور الأمريكي أجنبياً، وحول الصداقة بين هايزنبرغ Heisenberg وبور Bohr. على أي حال، هناك اتجاه خطير في العلم المبتسط نحو تأليه العلماء تأليهاً غير مبررٍ، مما يجعلهم يبدون غير عاديين أكثر مما هم عليه في الحقيقة. وهذا الكتاب يسلك سلوكاً جيداً بين الدقة التاريخية والتفنّن النثري.

وأنا سعيد جداً بأنه قد وُجد أخيراً كتاب حول التشابك بعد 70 عاماً من اكتشافه، وأنصح بهذا الكتاب الأشخاص المهتمين بالخلفية التاريخية لميكانيك الكم وبتطبيقاته العملية. مع ذلك، أخشى على أيّ شخص، لديه اهتمامات في الميكانيك الكمومي وفي طريقة تفكير العلماء به، أن يبتعد كثيراً عن قراءة التقارير المبتسطة لريتشارد فاينمان R. Feynmann كالتحريك الكهربائي الكمومي QED: النظرية الغريبة للضوء والمادة.■

★ A. Aczel: John Wiley, 2002.

★★ ف. فيدرال: مخبر بلاكيت - الكلية الملكية - لندن - المملكة المتحدة.

– العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, VOL 420, 21 November 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

2- أسرع من سرعة الضوء: قصة تأمل علمي

Faster Than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation ★

تأليف: ج. ماجيغو
عرض وتحليل: ج. إليس **

نظرية قيد النقاش عن تغيّر سرعة الضوء ولكن ماتزال النظرية تفتقد إلى أساس متين

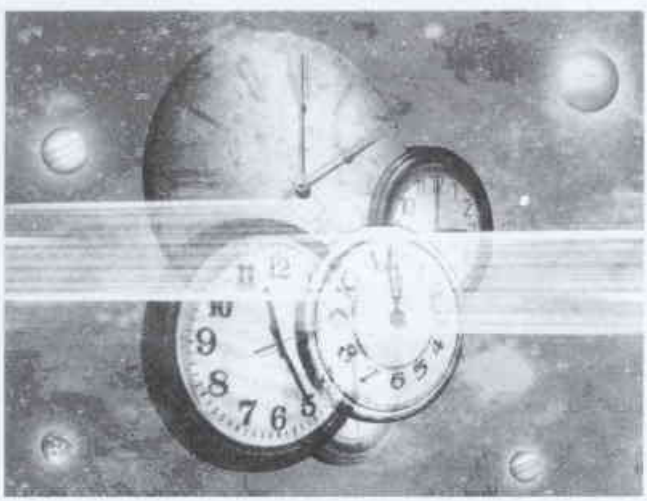
يُعدّ جوا ماجيغو J. Magueijo واحداً من الكثيرين الذين يأملون برؤية العبارة التالية منقوشة على شاهدة ضريحهم: "آينشتاين كان على خطأ، وأنا على صواب". وماجيغو، وهو أحد المتخصصين بعلم الكون، اعتقد فجأة في صباح أحد الأيام الماطرة في كمبردج بإمكانية تغيّر سرعة الضوء كبديل عن نموذج النظرية المتضخّمة التي تسود علم الكون النظري الحالي. لقد عرف منذ البداية أن هذا الأمر يمثل تحدّياً أساسياً لأرثوذكسية الفيزياء (فهو ينتهك قواعد نظرية آينشتاين في النسبية الخاصة) وقد لايكون هذا الأمر مقبولاً بسهولة، لكنه عمل بحماس على تطوير هذه الفكرة. ووجد زميلاً له كان قد تردد في العمل معه لكنهما بالنهاية أكملا معاً بحثاً مشتركاً حول هذا الموضوع. وقد رفضتها المجلات والدوريات الكبيرة هذا الموضوع لكن بالنهاية قد تم قبوله للنشر بعد كفاح طويل. وبعدئذ اكتشف أن الفكرة قد اقتُرحت مؤخراً من قِبل جون موفات J. Moffat ولكن بشكل مختلف قليلاً. كما وجد معاونين جدداً له حيث طوّر بالتعاون معهم متغيرات نظريته.

إن الكتاب "أسرع من سرعة الضوء"، هو مطبوعة رائعة تستقطب إثارة واحباطات إنجاز علم حقيقي. ويروي ماجيغو باهتمام كيف يمكن أن يكون اقتراحه بشأن تغيّر سرعة الضوء على وجه الاحتمال طريقة مستنبطة من بعض الألغاز الرئيسة التي تواجه علم الكون، وهذا ما شرحه جيداً. على أي حال، توجد في الكتاب مقاطع مثيرة للسخط وخاصّة عندما يتوسّع في استخدام استعارة تشمل عدداً من المزارعين والأبقار لشرح النظرية النسبية. ويعلن ماجيغو أن هذا يعتمد على حلم كان يُراود آينشتاين في صغره – وهذا إبداع نثري يظهر موقفاً غير مبالٍ بالحقيقة التاريخية للشك في ادعاءاته التاريخية الأخرى (كتصريح رسمي، إنه ريتشارد تولمان R. Tolman، وليس ياكوف زيلدوفيش Y. Zeldovich، الذي هو أول من بحث في ترموديناميكيات الأكوان المرتدة. ومن حين لآخر ينتقل ماجيغو إلى مكان مختلف تماماً يتّسم بالتنميق المعادي واللغة غير المهذّبة (يبدو أنهم يتوهمون أنهم شواذ علمية). في هذه المقاطع يعبّر ماجيغو عن عدم اقتناعه العميق بكيفية معاملته من قبل المجتمع العلمي رغم الاعتراف به والدعم المجزي الذي تلقّاه (لقد كوفئ بمنحة كمبردج وبمنحة بحث في الجمعية الملكية، وهو معيد في الكلية الإمبرطورية في لندن).

لقد تمّت قراءة أبحاثه على نطاق واسع حول تغيّر سرعة الضوء وأشير إليها. ماالسبب إذن في سخطه الكبير؟ على الرغم من أنه لم يجد صعوبة أكبر من الصعوبة التي وجدها العديد من الذين تحدّوا الأرثوذكسية. وقد لاقت جميع الأفكار الجديدة الأساسية في حينها المعارضة: كتوسع الكون، والجرف القاري، والنسبية الخاصة والنظرية الكمومية على سبيل المثال. فالعلم محافظ بأصله وينبغي أن يكون كذلك، إذا ما وضعنا بالحسبان تدفق المؤلفات التأمليّة. كما ينبغي أن يكون صريحاً، بحيث يسمح بنشر الآراء اللاأرثوذكسية التي تُطرح. ويتّسم بطابع المعارضة لكنه ليس مغلقاً كما بدا بالنسبة إلى ماجيغو. مع ذلك، ثمة شكوى مقنّعة: ففي الاستخدام الحالي للتحكيم كدفاع عن أرثوذكسية النظرية التضخمية في علم الكون ما يدعو في الحقيقة للأسف.

إن عدم اقتناع ماجيغو هو أكبر من ذلك. فهو ينتقد إدارة الجامعة بأكملها بأنها طفيلية (تدخلية) وغير ضرورية. مُلقياً إهانات لا مبرر لها في انتقاده. فهو مغرور بشكل مثير فيما يتعلق بالتمويل – ويبدو أنه يدّعي أن من حقه أن يُموَّل العمل الذي يقوم به بدون مناقشة. ولم يعط انتباهاً لا للطرائق التي يستطيع المرء من خلالها أن يقرر كيفية توزيع التمويل العام في العلم، ولا للسبب الذي يدفع بالجمهور لدفع الأموال للذين من أمثاله إطلاقاً. نعم هنالك مشكلات في تنظيم الجامعة وفي نظام التمويل. فالنقد البنّاء يمكن تبريره وهو ضروري في الحقيقة. إلّا أنّ ملاحظات ماجيغو كانت هدّامة إلى حدٍّ بعيد.

ماذا عن نظرية تغيّر سرعة الضوء بحدّ ذاتها؟ هل هي الدواء العام الذي يحلم به؟ لا، إنها ليست كذلك. لقد عكس آينشتاين ذلك بعمق على أسس الفيزياء، وكان هذا الأساس في نجاحه. لم يرجع ماجيغو إلى الأسس ويفرزها. فأي نظرية من هذا النوع تحتاج، أولاً، إلى اقتراح قابل



★ J. Magueijo: William Heinemann/Perseus, 2002.
★★ ج. إليس: قسم الرياضيات، جامعة كاب تاون، جنوب أفريقية.
– العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, VOL 422, 10 April 2003. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرية السورية.

للتطبيق لقياس الزمن والمسافة معاً، طالما أن السرعة تعتمد على ذلك، وتحتاج ثانياً، إلى نموذج فيزيائي يجسّد هذه القياسات في تركيب رياضياتي محدد، وتحتاج ثالثاً، إلى نظرية كهرطيسية تتنبأ بسرعة الضوء فيما يتعلق بعمليات القياس هذه. وهو لم يمتلك أياً من هذه الشروط التي، بدونها لاتكون لديه القاعدة التي يرتكز عليها في وضع نظريته على أساس متين.

تتعمّق النظرية النسبية المعيارية في تعاملها مع كافة هذه القضايا. والنقطة الأساسية هي أن الطرائق الحالية لقياس المسافة تدمج بدقة سرعة الضوء في أسسها. وعلى نطاقات واسعة، يعدُّ الرادار (بمتغيراته كمنظومة التوضع الأرضية) الطريقة الوحيدة القابلة للتطبيق. ومن غير الممكن عندئذٍ تغيّر سرعة الضوء، لأنها تمثل الأساس بحدّ ذاته لقياس المسافة، وكما أكد ج. ل. سنج J. L. Synge، فإن الوحدات الطبيعية لقياس المسافة هي الثواني الضوئية أو السنوات الضوئية، بدلاً من الأمتار أو الأميال. علاوة على ذلك، يندمج هذا عندئذ في أسس النظرية عبر التنسور (الموتّر) المتري الزمكاني وتفسيره عند تحديد الزمن الحقيقي (يقاس الزمن بميقاتية مثالية على طول خطها العالمي)، وتحديد المسافة الحقيقية (تُقاس بالرادار)، وتحديد المخروط الصفر (الذي يميّز مسار الضوء عبر الزمكان). ونظراً لتجاهل ماجيغو وموفات هذا التفسير الفيزيائي للمسافة المترية، فإن مايطلقون عليه "الانتقال الطوري في سرعة الضوء" لا يُمثل سوى مجرد قفزة في وحدات الزمن الكيفية، بصرف النظر عن إجراءات القياس. وهذا لايُعتبر تنبؤاً فيزيائياً.

بالإضافة إلى ذلك، إن مفاهيم التغيّر المقترحة كأساس للفيزياء تتضمّن التنسور المتري في رفع وخفض الدلائل لإحداث مقادير سلّمية - ومن ثم يُشكل في أسس النظرية لاتغيّر سرعة الضوء (فالمقياس المتري يحدد سرعة انتشار الموجة). ولم نعطِ أي تفسير عن سبب إعطاء أيّ تناظرات متقطعة مترافقة بحلول خاصة للمعادلات الناجمة تفسيراً عرضياً لسرعة متغيّرة للضوء - ولكن هذا التغير يمثل مسلّمة عشوائية لنظرية تغيّر سرعة الضوء. وبصرف النظر عن الجزء من العمل الذي يحدد تغيّر سرعة الضوء (بصورة مستقلة عن معادلات مكسويل)، فإن حدوث سرعة الضوء بوضوح في المبدأ المتغير والمقترح لتغيّر سرعة الضوء هو فقط في تناسب مع ثابت التثاقل G - وهذه مجرد نظرية G متغيرة في الخفاء.

إن التطورات التي يمكن أن تجعل من تغيّر سرعة الضوء قابلاً للتطبيق، كالتحريات الإضافية لاختلاف الزمن في ثابت البنية الدقيقة، أو في نظريات مترية ثنائية، أو في نسخة متغيرة لزمرة التناظر التي تشكل الأساس للنظرية النسبية، أو عبر تعليل نظرية الأوتار "لثوابت" متغيرة، تحتاج إلى تزويد قياس الزمان والمكان بعلاقة واضحة، بالإضافة إلى سبب فيزيائي (يعتمد على نسخة من معادلات مكسويل) لتغيّر سرعة الضوء. ومن المثير للحزن أن ماجيغو لم يذكر العاملين الذين أحرزوا تطوراً في هذه المجالات فهو لم يذكر سوى نفسه والمعاونين له فقط.■

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

The Majority (71%) of Syrian TSP granules size was >2 mm and there P content was more than smaller ones. Within 24 hours 73- 80% of P was dissolved in water being higher with decreasing size of granules. The solution pH decreased quickly from 6.7 to 3.8 after 3 h and dropped to 3 after 72 hours.

Key Words

P forms, resin -P, Olsen- P, isotopic exchange, rock-P, ^{32}P.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

DETERMINATION OF CESIUM 134,137 AND STRONTIUM 90 IN SOME COASTAL MOUNTAINS SERIES AGRICULTURAL PRODUCTS★

M. S. Al-MASRI, A. NASHAWATI, B. Al-AKEL

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, Damascus, P. O. Box 6091, Syria

ABSTARCT

Cesium 137 and Strontium 90 levels in 19 agricultural crops and 12 soil samples collected from several locations in the Syrian coastal mountains series have been determined. Results have shown that ^{137}Cs concentrations in most agricultural crops are relatively low; only one high value (119 $BqKg^{-1}$ dry wt) was observed in mushroom samples collected from Jobet Al-Borgal. The highest ^{90}Sr concentration was found to be 33 $BqKg^{-1}$ dry in Al-Dalia Tobacco. In addition, tobacco and spinach showed a clear selectivity for Sr where transfer factor (TF) has reached a value of 2.25. However, all obtained levels in this study were found to be within the Syrian maximum permissible limits of radioactivity in foodstuff. Moreover, soil samples were collected and analyzed from the same locations that agriculture samples being collected; the highest ^{137}Cs activity (124 $Bq.Kg^{-1}$ dry wt) was found to be in Jobet Al-Borgal soil, while ^{90}Sr concentration has reached a value of 28 $Bq.Kg^{-1}$ dry wt in Wadi Al-Jadida soil.

Key Words

cesium 137, strontium 90, Agriculture Products, Syrian coastal mountains series.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria.

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON MICROBIOLOGICAL, CHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF LICORICE EXTRACT★

M. A. AL-ADAWI, A. AL-KAED, M. AL-BACHIR

Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Extract of licorice roots were exposed to doses of 0, 5, 10, 15 and 20 kGy in a ^{60}CO package irradiator. Irradiated and unirradiated samples were stored at room temperatures. Microbial population on extract, chemical changes and sensory properties of produced juice of licorice were evaluated after 0 and 12 months of storage. The results indicated that gamma irradiation reduced the counts of microorganisms. D_{10} of total count and klebsilla spp. were about 1.4 and 0.7 kGy respectively. The mineral ions (Na, Ca and K) concentration in juice produced from irradiated extract were lower than non-irradiated ones. Glycyrrhetinic acid and maltose concentration in juice produced from irradiated extract were higher than non-irradiated ones. Sensory evaluation indicated that no significant differences ($P>0.05$) were found between juice produced from irradiated and unirradiated extract in color, taste, or odor.

Key Words

irradiation, decontamination, juice characteristics, licorice, sensory evaluation.

★ A short report on an exploratory scientific experiment achieved in the Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria.

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

enables the estimation of diffusion voltage; capture cross section of holes at the interface and mobility of electrons in the CdS layer.

Key Words

solar cells, $CuGaSe_2$, interface states, recombination.

★ A short report on scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF INDIGENOUSLY ELECTRONIC BOARDS FOR THE AUTOMATIC CONTROL OF MNSR★

I. KHAMIS, M. NASRI

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Development, implementation, and manufacturing, indigenously, the first-of-a kind prototype of the electronic automatic control board of MNSR was made in this work. The new prototype includes some specific modifications that take into consideration the availability of electronic elements in the local market, the possibility to manufacture the control board indigenously, and the availability of such board as spare parts on reserve: The manufactured board has been tested (as cooled test) to check for functionality or malfunction before installation as part of the control and operating system. Later on, the board will be installed and tested as part of the above mentioned system to check whether it functions correctly under normal operating conditions (as hot test).

Key Words

MNSR reactor, control system, manufacturing control board.

★ A short report on technical work achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

PHOSPHORUS FRACTIONS AND THEIR AVAILABILITY IN SYRIAN SOILS★

A.F. ASFARY

Dept. of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box, 6091, Damascus, Syria.

R. AL-MEREY, M. Al-HAMEISH

Dept. of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box, 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Phosphorus forms were determined in the dark brown red, yellow brown and alluvial Syrian soils, and the brown red soil was used to study the fate of ^{32}P labeled TSP fertilizer with and without a crop. Total P was in the rang of 375 - 631μgP/g soil with only 231- 400 μg P/g soil is soluble, and 23-55 μg P/g soil was organic P. Calcium phosphate formed 32-93% of the soluble inorganic P and Occluded iron phosphate 5-42% ,whereas the rest of P forms were very low. However Ólsen - P was 8-14 μg P/g soil despite the big differences in soils soluble inorganic P.

In a pot experiment isotopic measurements showed that a large proportion of fertilizer P (≈50%) was isotopicaly transferred to the different forms of soil P within a week and its values in each form fluctuated in a relatively similar proportions to the forms contents. Available P in cropped soil was more than that with no crop, and plants had no effect on transferred P from fertilizer to the different soil P forms. When compared with Olsen -P, the Cl- resin extracted similar amounts to those of Olsen- P whilst HCO_3^- resin extracted more (1.3 to 5 folds) available P in cropped and uncropped soils. The efficient use of TSP varied between 4.1% at seedling and 26.8% at maturity and the efficient use of Syrian rock phosphate from Khnefis was 2% at seedling and 1.1% at maturity.

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

AN IN VITRO EVALUATION OF SOME UNCONVENTIONAL RUMINANT FEEDS IN TERMS OF THE ORGANIC MATTER DIGESTIBILITY, ENERGY AND MICROBIAL BIOMASS*

M.R. AL-MASRI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091,Damascus, Syria

ABSTRACT

In vitro organic matter apparent digestibility (IVOMAD), true digestibility (IVOMTD), metabolizable energy (ME), net energy lactation (NEL), microbial nitrogen (MN) and synthesis of microbial biomass (MBM) were estimated to predict the nutritive values of some agricultural by-products, drought tolerant range plants and browses. The relationships between in vitro gas production (GP), and true or apparent digestibility, MN and MBM were studied utilizing an in vitro incubation technique. The values of IVOMAD, IVOMTD, ME, NEL, GP, MBM and MN varied with the studied experimental materials. The true fermentation of the outside part of Atriplex leucoclada produced a higher volume of gas than the middle or the inside parts, and this was associated with an increase in the values of IVOMAD, IVOMTD, ME and NEL. However, screening off the wood from olive cake to obtain olive cake pulp increased the IVOMAD, IVOMTD, ME, NEL and the volume of gas production from the true fermented material. One ml of gas was generated from the true degradation of 5 mg of wheat straw, Moringa oleifera, Alhagi camelorum, Eucaliptus camaldulensis and A. leucoclada, from 11 mg of Prosopsis stephaniana and olive cake pulp and from 20 mg of olive cake or olive cake wood. The amount of MN or MBM produced from 100 mg of truly fermented organic matter depended on the kind of the fermented material and amounted to 0.7-2.9 mg or 8-34 mg, respectively. Crude fiber was negatively correlated to IVOMAD, IVOMTD, ME and NEL. Gas production was positively correlated to IVOMAD and IVOMTD but negatively correlated to MBM and MN.

Key Words

browse, digestibility, gas production, microbial mass, nutrition, olive cake, range plants, ruminal fluid.

* This paper appeared in *Tropical Animal Health and Production*, 34 , (2002).

REPORTS

ANALYSIS OF CURRENT TRANSPORT IN $ZnO/CdS/CuGaSe_2$*

M. SAAD, A. KASSIS

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Current voltage characteristics of $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ single crystal solar cells measured at room temperature are investigated as functions of illumination intensity. The characteristics can be described using the two-diode model, indicating two current transport mechanisms in the cells. The first and dominant mechanism is recombination of carriers at the interface between CdS and $CuGaSe_2$. The second one is recombination in the depletion region, which has been found to have a small effect on the solar cell photovoltaic performance. Both the diode ideality factor and the saturation current density of the dominant diode increase under illumination. In order to understand the behaviour of these cells a model has been developed for p-n heterojunction solar cells in which interface recombination is the dominant diode current transport mechanism. The model explains the large diode ideality factor ($n>2$) and the increased saturation current density in terms of increased density of active interface states N_{ir}. The interface recombination leads to lower values of the open circuit voltage, short circuit current density and fill factor. These results are illustrated by numerical calculations of solar cell parameters. Applying the model on the investigated cells

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

of a part of the amorphous phase which does not participate in glass transition. The existence of this phase-called rigid amorphous phase-is enhanced by the presence of crystallites rather than by the drawing.

Key Words

poly (ethylene terephthalate), drawing, thermally stimulated depolarisation currents.

* This paper appeared in *Polymer*, 43 (2002) 1399-1405.

MEASUREMENT OF THE SYRIAN MINIATURE NEUTRON SOURCE CORE AVERAGE TEMPERATURE BY MEANS OF REACTIVITY*

I. Khamis

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A mathematical model has been developed to simulate the dynamic behavior of the Syrian Miniature Neutron Source Reactor. The purpose is to assess and evaluate the core average temperature as a function of the overall reactivity load in the core. The model considers relevant physical phenomena that govern the core such as reactor kinetics, reactivity feedbacks due to coolant temperature and xenon, and thermal hydraulics. Natural convection and point kinetics including the prompt jump and complete mixing approximations were employed. Peak power, reactivity core load, core outlet temperature and other variables are predicted during self-limiting power excursions. Good agreement has been obtained with other comparable studies. Core average temperature was studied as a function of reactivity during reactor operation and transients. An overall rough estimate of core average temperature as a function of reactivity load is presented; hence, a procedure to measure such temperature is suggested.

Key Words

MNSR reactor, simulation, reactor thermodynamics, reactivity excursions.

* This paper appeared in *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 40, issue 2, 2002.

PROPERTIES OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES: EFFECT OF INORGANIC ADDITIVES*

E. H. BAKRAJI, N. SALMAN

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Wood-plastic composites from syrian tree species (white poplar, cypress tree, and white willow) were prepared using gamma-ray irradiation. Dry wood was impregnated with acrylamide or butylmethacrylate at various methanol compositions as the swelling solvent. Effect of inorganic additives and co-additives such as lithium nitrate ($LiNO_3$), copper sulfate ($CUSO_4$) and sulfuric acid (H_2SO_4), used at a very low concentration (1%), on the polymer loading (PL) and the compression strength (CS) was also investigated. It has been found that all the additives and co-additives, except Cu^{2+}, increase the PL values and only Li^+ has a positive effect on CS. © 2002 Published by Elsevier Science Ltd.

Key Words

polymerization, gamma irradiation, Syrian wood, additives.

* This paper appeared in *Radiation Physics and Chemistry*, 2002.

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

SMALL AND MEDIUM POWER REACTORS OF YESTERDAY AND TODAY FOR ENERGY PRODUCTION*

B. BARRE
Directeur de la R&D, COGEMA

ABSTRACT

The concept of reactor size (small, medium and large) is developping with time. The small reactors occupy always some niches in the applications or fields where the economic criterion is not most important (for example nuclear-powered submarines). The compitition between medium and large reactors was historically in favor of large ones, but the nuclear energy is new and its history have not finished yet.

Key Words

nuclear energy reactors, neutron flux, electricity, thermal energy, simulation, safty studies, research reactors.

*This article appeared in *RGN*, N°6, December 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

LHC, AN UNPRECEDENTED TECHNOLOGICAL CHALLANGE*

J-O. BARUCH

ABSTRACT

Inside the 27 km-long tunnel of the future large hadron collider (LHC), the beams of protons pulsing at an energy of 7 billions electron-volts will be subjected to a frontal collision to recreate conditions close to the Big Bang. The physicists hope to verify their theories, but they also expect some surprises. The project has been delayed and it will cost more than 2 billions euros.

Key Words

large hadron collider, Big Bang, protons frontal collision.

* This article appeared in *La Recherche*, November 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

THREE PHASE MODEL IN DRAWN THERMOPLASTIC POLYESTERS: COMPARISON OF DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY AND THERMALLY STIMULATED DEPOLARISATION CURRENT EXPERIMENTS*

M. KATTAN
Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission PO Box 6091, Damascus. Syria
E. DARGENT, J. GRENET
University of Rouen, France

ABSTRACT

Differential scanning calorimetry and thermally stimulated depolarisation current measurements are performed to quantify various phases present in amorphous and semi-crystalline polyester samples uniaxially drawn above their respective glass transition temperature. Results show the appearance of a crystalline phase induced by stretching and

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

DESALINATION OF SEA WATER WITH NUCLEAR REACTORS*

S. NISAN & L. VOLPI
CEA, DEN/DDINLDER/SERI, CEN Cadarache

ABSTRACT

This report emphasizes the importance of the problem of water shortage which will be encountered in many regions of the world during the next years. The desalting of sea water may be an attractive solution to meet the needs of about two thirds of the world population. The various techniques of desalting are described briefly. In this respect, it seems that the desalting by using nuclear reactors seems to be a very competitive solution compared with systems using fossil energy. This is true , not only for simultaneous production of electricity and drinking water but also for minimization of greenhouse gas emission.

Key Words

nuclear reactors, desalting (desalination), multiple effect distillation (MED), multistage flash distillation (MSF), vapor compression (VC), reversed osmose (RO), electrodialysis (ED).

*This article appeared in *RGN*, N°6, December 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

USING NUCLEAR ENERGY IN SPACE*

X. RAEPSAET
CEA Saclay, France
P. PEMPIE
CNES Evry France

ABSTRACT

Two types are possible for using the nuclear energy for space applications. The most common is the production of electricity. This electricity can be used to supply the satellites, exploration vehicles, lunar or planetary bases and electrical propellers too. The second way to use the nuclear energy in the space is the thermal nuclear propulsion The nuclear reactor act then as simple thermal exchanger to a gas which will release later in a classical exhaust nozzle. These two applications which concern the two reactors of a very small size are represented here basing on two examples of leading projects in collaboration between CNES and CEA: ERATO as electric generator and MAPS for the thermonuclear propulsion.

Key Words

space application, Nuclear energy, production of electricity, satellites, radioactive fallout, radioisotopic thermoelectric generators, electrical propeller, ergol, thermonuclear propulsion, electric generator.

*This article appeared in *RGN*, N°6, December 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ ANALYSIS OF CURRENT TRANSPORT IN $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ . . . . . M. SAAD, A. KASSIS 77

☐ DESIGN AND CONSTRUCTION OF INDIGENOUSLY ELECTRONIC BOARDS FOR THE AUTOMATIC CONTROL OF MNSR . . . . . I. KHAMIS, M. NASRI. 79

☐ PHOSPHORUS FRACTIONS AND THEIR AVAILABILITY IN SYRIAN SOILS . . . . . A.F. ASFARY 81
R. AL-MEREY, M. Al-HAMEISH

☐ DETERMINATION OF CESIUM 134,137 AND STRONTIUM 90. . . . IN SOME COASTAL MOUNTAINS SERIES AGRICULTURAL PRODUCTS . . . . . M. S. Al-MASRI, ... 83
A. NASHAWATI, B. Al-AKEL

☐ EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON MICROBIOLOGICAl, CHEMICAL AND SENSORY CHARACTERISTICS OF LICORICE EXTRACT . . . . . M. A. AL-ADAWI, ... 84
A. AL-KAED, M. AL-BACHIR

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ ENTANGLEMENT: THE GREATEST MYSTERY IN PHYSICS . . . . . BY: A. ACZEL 88
OVERVIEW & ANALYSIS: V. VEDRAL

☐ FASTER THAN THE SPEED OF LIGHT: THE STORY OF A SCIENTIFIC SPECULATION . . . . . BY: J. Magueijo 89
OVERVIEW & ANALYSIS: G. ELLIS

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH. 96

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ DESALINATION OF SEA WATER WITH NUCLEAR REACTORS . . . . . S. NISAN, L. VOLPI 7

☐ USING NUCLEAR ENERGY IN SPACE . . . . . X. RAEPSAET, P. PEMPIE . . 17

☐ SMALL AND MEDIUM POWER REACTORS OF YESTERDAY AND TODAY FOR ENERGY PRODUCTION . . . . . B. BARRE 23

☐ LHC, AN UNPRECEDENTED TECHNOLOGICAL CHALLANGE . . J-O. BARUCH 27

NEWS

☐ A LIGHT-EMITTING SANDWICH FILLING . . . . . *NATURE* 36

☐ LITHIUM FEELS THE PRESSURE TO BECOME A SUPERCONDUCTOR . . . . . *PHYSICS WORLD* 37

☐ ACCELERATOR AIMS TO FIND THE SOURCE OF ALL ELEMENTS . . . . . *SCIENCE* 39

☐ BOSONS HELP TO BEAT THE FERMI PRESSURE . . . . . *PHYSICS WORLD* 41

☐ PLUTONIUM-BASED SUPERCONDUCTIVITY WITH A TRANSITION TEMPERATURE ABOVE 18 K . . . . . *NATURE* 42

☐ COSMIC MICROWAVES REVEAL POLARIZATION . . . . . *PHYSICS WORLD* 45

☐ PING-PONG WITH BORON . . . . . *NATURE* 46

☐ PLUTONIUM . . . . . *ANL* 49

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ THREE PHASE MODEL IN DRAWN THERMOPLASTIC POLYESTERS: COMPARISON OF DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY AND THERMALLY STIMULATED DEPOLARISATION CURRENT EXPERIMENTS . . . . . M. KATTAN . . . . . 53 E. DARGENT, J. GRENET

☐ MEASUREMENT OF THE SYRIAN MINIATURE NEUTRON SOURCE CORE AVERAGE TEMPERATURE BY MEANS OF REACTIVITY . . . . . I. Khamis 60

☐ PROPERTIES OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES: EFFECT OF INORGANIC ADDITIVES . . . . . E. H. BAKRAJI, N. SALMAN . . 64

☐ AN IN VITRO EVALUATION OF SOME UNCONVENTIONAL RUMINANT FEEDS IN TERMS OF THE ORGANIC MATTER DIGESTIBILITY, ENERGY AND MICROBIAL BIOMASS . . . . M.R. AL-MASRI. 68

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

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam

Editor In-Chief

Dr. Mohammed Ka'aka

Dr. Fouad Al-Ijel

Dr. Ahmad Haj Said

Dr. M. Fouad Al-Rabbat

Dr. Elias Abouchahine

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

86

18th Year / July - August

2003

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