عالَم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

المدير المسؤول
الدكتور ابراهيم عثمان
المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير
الدكتور عادل الحرفوش
الدكتور زياد القطب

96
السنة العشرون /آذار- نيسان/
2005

مجلة دوريه تصدر ست مرّات في السنة عن هيئة الطاقة الذرية في الجمهورية العربية السورية وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذري والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

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

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

3 ـ 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 لايتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.

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

5 ـ 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 ـ إذا تضمنت المادة صوراً وأشكالاً، تُرسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة «4»، مرقمة حسب أماكن ورودها.

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

8- تُكتب 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. وتُستعمل في النص المؤلّف أو المترجَم الأرقام العربية 1،2،3 أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلةٌ أو قانون أحرف أجنبية وأرقام فتكتب المعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.

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

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

11 ـ يُرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

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

13 ـ يُمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

14 ـ تُوجه المراسلات باسم رئيس مكتب الترجمة والتأليف والنشر إلى العنوان التالي:

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

E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy

رسوم الاشتراك

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

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

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

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13

مزة ـ جبل ـ 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 ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ دمشق ـ ص.ب: 6091

مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف

والنشر في الهيئة ـ دمشق ـ 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 ريالات 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 ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر

دمشق ص.ب 6091 ـ الجمهورية العربية السورية

أو الاتصال على رقم الهاتف 6111926/2132580 ـ فاكس 6112289

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقـالات

- نبائط فائقة الناقلية..... أ. م. كامبل..... 5
  ترجمة د. أحمد الحصري
- أشباه المواد وقرينة الانكسار السالبة..... د. ر. سميث، وآخرون..... 10
  ترجمة هيئة الطاقة الذرّية
- مفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج..... ب. دوماس، وآخرون..... 17
  ترجمة هيئة الطاقة الذرّية
- التلسكوبات تفتح مجالاً جديداً في البحث عن الأشعة الكونية..... د. كليري..... 26
  ترجمة د. أحمد الحصري
- ولادة نواة الخلية..... إ. بنيسي..... 29
  ترجمة د. حسين أبو حامد
- مستقبل التقانة النانوية..... ر. جونز..... 33
  ترجمة د. أحمد الحصري

أخبار علمية

- نظرة حديثة إلى إماهة الإلكترون..... 40
- علماء الفيزياء النووية يدعمون المشروع الألماني..... 41
- هل يُؤمِّن مفاعل نووي وقود الكرة الأرضية؟..... 42
- القوة الشديدة تستحق جائزة نوبل..... 43
- الميكانيك الكمومي للنباتات..... 44
- لماذا تعتبر اللهبات الباردة احتمالاً ساخناً..... 46
- تسخين تسببه الهدروكربونيات..... 49
- الزنك..... 50

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

- التنوع الوراثي لأصناف الفستق الحلبي Pistacia vera L المزروعة في سورية.... د. نزار مير علي، عماد نابلسي..... 55
  باستخدام طريقة RAPD
- الحسابات العددية لتوزُّع درجة الحرارة في طبقات معدنية مضاعفة..... د. محمد سويقة، وآخرون 62
  معالجة بالحزم الليزرية

- النمذجة الرياضية لليزر نيوديميوم – زجاج مزود بمفتاح جودة ضمن المجاوب..... د. بشار عبد الغني، وآخرون..... 67

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- التلوث الضوضائي في مدينة دمشق القديمة..... د. يوسف مسلماني، د. محمد العودات 76
- تأثير السبيرميدين على بُقيا خلايا خميرة الخبز المشعّة..... معتصم شما، وآخرون..... 76
  بجرعات مختلفة من أشعة غاما
- التعيين الكروماتوغرافي الانتقائي والحسّاس للفاناديوم..... د. محمد الخالد عبد الباقي، وآخرون... 77
  في حمض الفسفور التجاري السوري بالتعقيد بأيون بروم باداب
- أمثلة التصميم الهندسي للمفاعل MNSR..... د. محمد البرهوم 77
- توليد سنة مناخية مرجعية لمنطقة دمشق..... د. كمال سكيكر..... 78
  باستخدام طريقة فيلكينشتاين – شافير الإحصائية
- إعداد برنامج حاسوبي تطبيقي قادر على التعامل ..... د. سامر الأيوبي، وآخرون 79
  مع نتائج طيوف التحليل بالتنشيط النتروني
- تقييم الري التسميدي الحيوي لفول الصويا بتقانة التخفيف النظيري للنتروجين..... د. مصدق جانات، د. فواز كرد علي 79
- تراكيز هرموني البروجستيرون والأستراديول في مصل دم نعاج العواس السوري..... د.معتز زرقاوي..... 80
  خلال الدورة المبيضية
- دراسة الطابع النووي للخلايا الأمنيوسية..... د.محمد راتب شيبان، د. وليد الأشقر.. 80

كتب حديثة مختارة

- قصة إلنينو..... (تأليف: س. ج. فيلاندر)..... 82
  (عرض وتحليل: ديفيد أندرسون)
- حالة الكون..... (تأليف: ر. بينروز)..... 83
  (عرض وتحليل: ج. فورشو)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد 92

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.

نبائط فائقة الناقلية★

أ. م. كامبل
مركز البحوث متعدد الفروع في الناقلية الفائقة في جامعة كامبردج، المملكة المتحدة

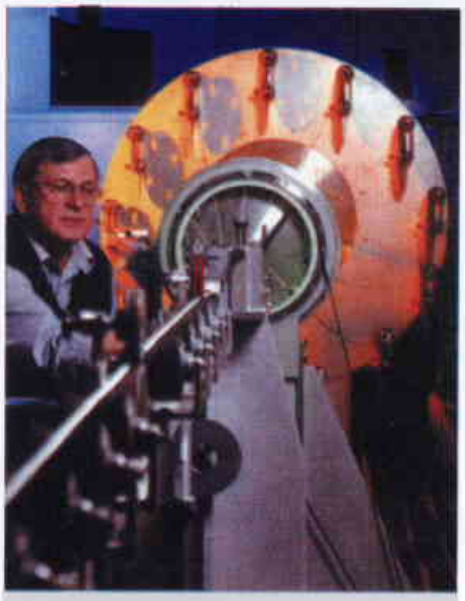
ملخص
يلتفت المهندسون الآن إلى المواد الفائقة الناقلية لإنتاج محركات وعنفات ومحامل أصغر حجماً وأعلى مردوداً لاستخدامها في تطبيقات متنوعة.

الكلمات المفتاحية: *المواد فائقة الناقلية، درجة حرارة حرجة، ثنائي بوريد المغنيزيوم، دوامات التدفق.*

فتنت الناقلية العلماء منذ اكتشافها في عام 1911. وقد حدث تعريفي بالموضوع حينما كنت أبحث عن مشروع للحصول على درجة دكتور فلسفة (Ph.D.) في مطلع ستينيات القرن العشرين. وفي تلك الآونة، كانت الناقلية الفائقة تبدو مكافئة للتخاطب عن بعد telepathy بوصفهما ظاهرتين غريبتين جديرتين بدراستي إياهما لبضع سنين قبل حصولي على عمل مناسب. وظلت المشكلة التي طرقتها للحصول على درجة دكتور فلسفة بدون حل بعد انقضاء أربعين عاماً، ولكني استطعت كسب رزقي في تلك الأثناء من موضوع جلب أفكاراً جديدة للفيزياء البحتة والإلكترونيات وهندسة الطاقة الكهربائية.

تنعدم مقاومة أية مادة للتيار الكهربائي تماماً حينما تصبح تلك المادة فائقة الناقلية. ويحدث هذا التحول الهام عند درجة حرارة حرجة critical temperature قريبة من درجة الصفر المطلق absolute zero بالنسبة لمعظم المواد الفائقة الناقلية، مما يجعل مثل هذه المواد مفيدة جداً للنبائط الإلكترونية. فعلى سبيل المثال، يمكن للتيارات العالية جداً التي يمكن تمريرها داخل مادة فائقة الناقلية أن تستخدم لتوليد حقول مغنطيسية كبيرة يمكن استخدامها بعدئذ لتشغيل محركات كهربائية قوية.

ظلت مناشىء الناقلية الفائقة لغزاً غامضاً حتى عام 1957 حينما بيَّن جون باردين J. Bardeen، وليون كوبر L. Cooper وجي روبرت شرايفر J.R. Schrieffer أن التفاعل التجاذبي المتبادل بين أزواج الإلكترونات الناجم عن تفاعلاتها المتبادلة مع التشوهات الموضعية للشبيكة البلورية يمكن أن يُفْضي إلى حالة من الناقلية الفائقة. ومع أن ما اكتشفه هؤلاء الثلاثة الذين يرمز لهم اختصاراً بـ BCS يعد كشفاً ساطعاً في علم الفيزياء الأمر الذي أكسبهم جائزة نوبل، فإن نظرية BCS للناقلية الفائقة ليست مفيدة جداً لأمثالنا الذين يريدون وضع النواقل الفائقة قيد الاستخدام.



استجرار مزيد من التيار: إن الأسلاك والأشرطة المبينة في هذه الصورة والتي انتجتها شركة سيمنس لأغراض الاختبار، تستطيع نقل تيارات أعلى بكثير مما تستطيع نقله المواد التقليدية ويمكن لذلك استخدامها في صنع محركات كهربائية أكثر قوة وفعالية.

ففي المقام الأول، لا تسمح لنا نظرية BCS بالتنبؤ بوجود نواقل فائقة جديدة. صحيح أننا بإجراء قدر كبير من الحسابات نستطيع التنبؤ بدرجة الحرارة الحرجة لبنية بسيطة، إلاّ أنه من الأسرع صنع مواد جديدة وتجريبها. وقد تمّ توضيح ذلك بجلاء في عام 2001 من خلال الاكتشاف المدهش بأن مركب ثنائي بوريد المغنيزيوم البسيط simple magnesium diboride هو ناقل فائق، وله درجة حرارة حرجة قدرها 39K[1]. وتفوق هذه الدرجة درجة الحرارة الحرجة لأي ناقل فائق معدني سابق بحوالي 16K.

ولكن ثمّة نظرية، على الأقل، توضح الناقلية الفائقة عند درجات الحرارة المنخفضة. أما فيما يتعلق بالناقلية الفائقة عند درجة الحرارة العالية فيوجد حالياً عدد كبير من النظريات المعقولة، تتفق جميعها مع بعض التجارب مثلما تختلف مع بعضها الآخر. ولكن على غرار معظم الإنجازات التقانية، فإن معدّل التقدُّم في تطبيقات النواقل الفائقة لا يتحدّد عبر الفيزياء النظرية ولا حتى عبر الهندسة الذكية، بل عبر علم المواد.

الدوّامات المتدفقة

تتحول عناصر معدنية عديدة إلى نواقل فائقة من النموذج I حينما تتعرض للتبريد إلى درجات حرارة منخفضة كافية. وتميل المركّبات السبيكية intermetallic والخلائط المعدنية (مثل خليطة

★ نشر هذا المقال في مجلة Physics World, 6 August 2004

(1) إن سلم درجات الحرارة المستخدم عادة هو سلم كلفن K حيث درجة حرارة الصفر المطلق هي 273- درجة مئوية

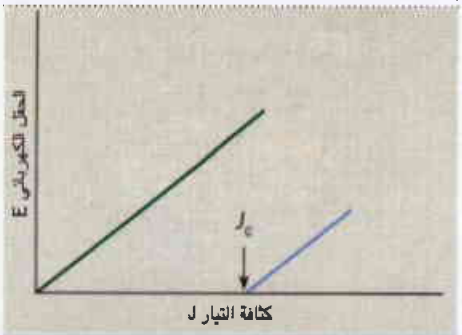
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

النيوبيوم والقصدير) إلى أن تكون ذات درجات حرارة حرجة عالية، وتبقى النواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية العالية أكثر تعقيداً؛ فهي على الأغلب مركبات ذات طبقات تشتمل على أربعة عناصر أو خمسة.

وخير ما توصف به خواص هذه النواقل من النموذج II إنما يكون بدلالة ما يسمى بدوّامات التدفق flux vortices. وهذه الدوامات هي خطوط دفق مغنطيسي تستطيع أن تدور حولها الإلكترونات بدون مقاومة على مسافات تصل حتى حوالي 100 نانومتر (nm)[2]. فعندما يوضع ناقل فائق في حقل مغنطيسي فإن هذا الحقل يدخل المادة كعدد كبير من الدوامات. ويبلغ قطر قلب الدوامة نانومترات قليلة، ويمكن اعتباره مادة عادية، في حين تكون المادة خارج ذلك القلب فائقة الناقلية.

تولد الإلكترونات الدائرة حقلاً مغنطيسياً، ويكمَّى quantized[3] مقدار الدفق المغنطيسي المصاحب للدّوامة لأن الاندفاع الزاوي المداري orbital angular momentum للإلكترونات يُكمّى أيضاً. وبما أن كل دوامة تدفع عنها جيرانها، فإن الدوامات سوف ترتب نفسها في صفيفة سداسية hexagonal array. وفي الواقع فإن التنبؤ بخواص هذه الدوامة هو ما أكسب ألكسي أبريكوسوف A. Abrikosov من مختبر أرغون الوطني Argonne National Laboratory جائزة نوبل للفيزياء في عام 2003.

الشكل 1- أساسيات النواقل الفائقة



حينما يمر تيار J في مادة فائقة الناقلية ليس فيها عيوب (الخط الأخضر) تنتج قوة لورنتز التي تؤدي إلى سريان دوامات تدفق مغنطيسية عبر المادة. وهذا يولد حقلاً كهربائياً E، ويتصرف الناقل الفائق، لذلك، كمادة مقاومة عادية. أما عند وجود عيوب، فإن الدوامات تثبت ويمكن نقل التيار بدون مقاومة إلى أن يتم الوصول إلى التيار الحرج J_c الذي يطلق الدوامات (الخط الأزرق).

الشكل 2- أسلاك فائقة

يمكن استخدام الأسلاك المصنوعة من النواقل الفائقة لصنع ثنائط غير ممكنة باستخدام مواد تقليدية. إذ تستطيع هذه الأسلاك نقل تيارات كهربائية أعلى بكثير ولذا يمكن استخدامها لتوليد حقول مغنطيسية كبيرة. وتبين هذه الصورة مقطعاً عرضياً لسلك دايبورايد المغنيزيوم تم تلبيسه بالكربون بحيث يغدو قادراً على مجابهة حقول مغنطيسية أشد. وقد أخذت الصورة باستخدام ضوء مستقطب لكشف جميع حبيباته الصغيرة (10μm).

على أية حال، فإن أكثر الوسائل بداهة لفهم دوامات التدفق تتمثل في القبول بأنها خطوط فاراداي Faraday للقوة كُسيت بَدَناً ففي المادة المتجانسة تستطيع الدوامات التحرك بحرية، ويولد التيار المار عبر هذه المادة قوة لورنتز Lorenz force[4] التي تجعل الدوامات تتدفق عبر المادة. ولكن هذه عملية تبديدية لأنها تولّد حقلاً كهربائياً. وبعبارة أخرى، مع أن هذه المادة تكون فائقة الناقلية فيما يتعلق بحالتها الإلكترونية، فإنها ما تزال تبدي مقاومة لتيار خارجي ما.

وللالتفاف على هذه المشكلة نستخدم مواد ذات عيوب defects مثل "الانخلاعات" dislocations كي "تُدَبِّس" خطوط التدفق هذه، وعندها نستطيع تمرير التيار عبر المادة إلى النقطة التي تفوق فيها قوة لورنتز القوة المثبتة. ولكن ما إن تتجاوز كثافة التيار القيمة الحرجة هذه، حتى تنسحب الدوامات عبر مراكز التدبيس، وتعود مقاومة المادة. وبما أن أي تغير في الحقل المغنطيسي أو التيار الكهربائي يتضمن خطوط تدفق متحركة عبر مراكز التدبيس، فلابد من حدوث فقدان في التيار المتناوب AC. ولا تُعدُّ النواقل الفائقة من النمط II بدون مقاومة إلاّ في شروط يكون فيها التيار مستمراً DC. وتكون كثافة التيار الحرجة عادة عالية جداً تتجاوز $10^6 Acm^{-2}$ في الحقل المغنطيسي الصفري الذي يفوق ألف مرة ما يمكن نقله في النحاس. وتمثل هذه المقدرة على نقل كثافة تيار عالية جداً ما يمكن اعتباره الميِّزة العملية الرئيسة للنواقل الفائقة (انظر الشكل 1).

نواقل فائقة جديدة

فتح اكتشاف النواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية العالية في عام 1986 فصلاً جديداً مثيراً في الناقلية الفائقة. وهناك في هذا المجال مادتان لهما أهمية عملية خاصة هما أكسيد نحاس الباريوم اليوتريوم yttrium barium copper oxide (YBCO) الذي يتمتع بدرجة حرارة حرجة قدرها 92K، وأكسيد نحاس الكالسيوم والسترونسيوم والبزموت bsmuth strontium (BSCCO) calcium copper oxide الذي يتمتع بدرجة حرارة حرجة قدرها 93K أو 110K تبعاً لبنيته. وفي الواقع، وُجدت مواد درجة حرارتها الحرجة 160K ولكنه لم يصنع منها أي ناقل مفيد.

على أية حال، أثارت أكاسيد النحاس الفائقة الناقلية ذات الدرجة الحرارية العالية (التي تعرف كذلك بالنواقل النحاسية الفائقة) مفاجأتين بغيضتين. فخلافاً لما هو شائع الاعتقاد، لا تكمن المشكلة في هشاشة هذه المواد. ما تزال الشركات تصنع في الواقع مغانط فائقة الناقلية باستخدام قصدير النيوبيوم القابل للطّرق كالخزف

(2) النانومتر / nm واحدة طول تعادل 9-10k متر.
(3) يُكمى quantized، يعطى بشكل مضاعفات لكم ثابت.
(4) تعطى قوة لورنتز التي يخضع لها جسيم شحنته q وسرعته $\vec{v}$ متحرك في حقل مغنطيسي $\vec{B}$ وكهربائي $\vec{E}$ بالعلاقة: $\vec{F}=q(\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B})$
(5) wedgewood China: سمي كذلك نسبة إلى الخزاف البريطاني Josiah Wedgewood الذي طور صناعة الخزف الصيني

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

الصيني الثمين [5] منذ أكثر من 30 عاماً، وبالأحرى، فقد تبيَّن أن هناك تأثيرات جوهرية ربما تحول دون نقل المركبات النحاسية للتيار على نطاق مفيد.

تكمن المشكلة الأولى في الحدود الحُبَيْبيّة الفاصلة بين البلورات داخل المادة (انظر الشكل 2). فهذه الحبيبات تكون ذات حجوم تبلغ عادة بضعة ميكرونات في المادة غير المعالجة، ولكن قد يصل حجمها حوالي بضعة سنتيمترات عندما يُصاغ الناقل في ناقل للتيار. ونذكر أن حدود حبيبة واحدة في عرض سلك مصنوع من YBCO تستطيع تخفيض كثافة التيار الحرجة من $10^6 Acm^{-2}$ إلى $10^3 Acm^{-2}$ جاعلة الناقل عديم الفائدة للأغراض العملية. ومازال سبب ذلك غير واضح مع أنَّ كلاً من الكثافة المنخفضة للإلكترونات في YBCO وتناظر التابع الموجي wavefunction للناقل الفائق يمكن أن يلعبا دوراً.

أما المفاجأة الثانية فهي ظاهرة تعرف بـ "خط اللاعكوسية irreversibility line" فقد تبيَّن أن دوّامات التدفّق في أكسيدات النواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية العالية تصبح متحركة لدى الاقتراب من درجة الحرارة الحرجة. ونتيجة لذلك يختفي التيار الحرج من حقول مغنطيسية أضعف بكثير مما تستطيع المادة العادية، في خلاف ذلك، أن تعمل. ومرة أخرى لا تعرف الأسباب مع أنه قد اقتُرح أنها تنجم بفعل "ذوبان" شبيكة الدوامات.

ما يزال الجانبان النظري والعملي لهاتين المشكلتين هما بؤرة البحوث الحاليّة، وقد تم قدر كبير من التقدم في هذا المجال. إذ تبين أن مشكلة حدود الحبيبات على سبيل المثال أقلّ وقعاً في BSCCO منها في YBCO، ويستطيع عدد من الشركات الآن إنتاج أسلاك من المادة الأولى يبلغ طولها بضعة كيلومترات.

ولصنع هذه الأسلاك تسحق الأكاسيد وتمزج أوّلاً بعضها مع بعض بنسب صحيحة ثم تسكب في أنبوب فضي. بعدئذٍ يخضع الأنبوب إلى سلسلة من معالجات السحب والحرارة لعمل سلك فائق الناقلية. وبما أن BSCCO هي مادة ذات طبقات فإن عملية سحب الأنبوب لتشكيل سلك طويل تصفّف الطبقات في حبيبات متّصلة. وهذا يزيد التيار الممكن نقله عبر الحدود زيادة كبيرة.

ولكن يكون "خط اللاعكوسية" عند درجة حرارة الآزوت السائل البالغة (77K) منخفضاً جداً بحيث لا يصلح للتطبيقات المغنطيسية. وهذا يعني أنه ما لم يوقَ الناقل بستر المحركات والمغانط المحتوية على BSCCO فإنه يجب تشغيلها بدرجة حرارة تقارب 30K حيث تكون الحساسية للحقول المغنطيسية أقل بكثير. أما خلائط YBCO فيمكن استخدامها بدرجة حرارة قدرها 77K، ولكن لابد من تصفيف الحبيبات ضمن ما يقارب 4°. وعلاوة على ذلك، فإن العملية المستخدمة في استحضار BSCCO لا تصلح لحالة YBCO.

هناك تقنيتان لاستحضار YBCO في شكل مفيد. تتمثل أولاها في إنشاء حبّات وحيدة البلورة بدون حدود حُبَيْبية. ولحدّ الآن تُحْضَر هذه الحبّات ضمن قطر قدره بضعة سنتيمترات، وتستخدم كمغانط دائمة إلى حدٍّ ما. ويتم أسْر الدفق المغنطيسي في العينة من خلال تطبيق حقل مغنطيسي شديد على الحبّات ثم نزعه. ولقد جرى توليد حقول مغنطيسية شدتها 3 تسلا (3T) عند درجة حرارة 77K، ويرتفع هذا الرقم إلى 7T عند درجة حرارة 50K التي يسهل الوصول إليها باستخدام مبرد فائق التبريد cryocooler. وتعد هذه الحقول أشد بعشر مرات من الشدة التي تولدها المغانط الدائمة. وكذلك فإن حبّات YBCO رخيصة نسبياً وتشكل أساساً لعدد من التطبيقات. ويقوم دافيد كاردويل D. Cardwell في جامعة كمبردج، على سبيل المثال، بإنشاء أشكال مختلفة من هذه المواد لاستخدامها في المحركات والمحامل واستعمالها كمقطبات مسبقة pre-polarizer لأجهزة التحليل الطيفي بالتجاوب النووي المغنطيسي NMR. وكذلك حصل بعض التقدم عبر لحم قضبان من حبّات YBCO بعضها مع بعض لصنع نواقل ماكرويّة macroscopic.

أما التقنية الثانية فهي تشكيل لـ YBCO في أسلاك، الأمر الذي يُعَدُّ خياراً أكثر جاذبية للمهندسين من الحبّات. ومع أن استحضار بلورة وحيدة بطول كيلومتر من أكسيد مركب يبدو عملاً مستحيلاً، فإن علماء المواد شارفوا على إنجاز ذلك باستخدام طرائق مختلفة. فقد بدأ معظمهم بشريط معدني ملفوف كالنيكل، يُصفّف بعدئذ في وضعيّة عالية التوجيه عن طريق التلدين (غير الإحماء والتبريد). وبعد ترسيب سلسلة من طبقات الفصل، يرحّل هذا الاصطفاف إلى طبقة من YBCO متوضعة في الأعلى. ولا تخفّض هذه العملية التيار الحرج إلى ما دون التيار الحرج للبلورة الوحيدة، ولكن بحوثاً كثيرة تجري لاكتشاف طرق لتبسيط إنتاج أسلاك YBCO وجعلها بالتالي أرخص ثمناً.

وكما علمنا سابقاً فإن أحدث مادة فائقة الناقلية ذات درجة حرارة حرجة عالية هي مادة دايبورايد المغنيزيوم magnesium diboride. وتعدُّ هذه المادة طيِّعة السلوك ويمكن شراؤها من أية شركة كيميائية، ويَسْهُلُ تصنيع أسلاك منها بنفس طريقة BSCCO. ولكنّ الحقول والتيارات الحرجة في مادة دايبورايد المغنيزيوم تكون أدنى منها في النواقل الفائقة المصنوعة من أكسيد النحاس، الأمر الذي يعني أنه يجب تشغيل المادة عند درجات حرارة تقارب 27 K للأغراض العملية.

مكنات فائقة

هنالك توجُّه متزايد في الصناعات الجوية والبحرية للاستعاضة عن المنظومات الميكانيكية بأخرى كهربائية، وستعتمد بعض هذه المنظومات الكهربائية الجديدة على النواقل الفائقة. فالبحرية الأمريكية، على سبيل المثال، تستثمر أموالاً طائلة في المنظومات الفائقة الناقلية لأنها تزيد القدرة وتخفض الفقد في المحركات. إن الفائدة في مجال السفن تتمثل في إمكانية تركيب مولدة تعمل بالديزيل أو عنفة غازية تعمل بأقصى مردود لها في أكثر الأماكن ملاءمة، ثم جر القدرة من المولدة إلى محرك أصغر، أو إلى أكثر من محرك، فائق الناقلية يقوم بتشغيل الدواسر propellers

اعتبارات في التصميم

إنّ أي قرار بشأن الناقل الفائق الذي ينبغي استخدامه في تطبيق معيّن، كهذا المحرك الفائق الناقلية الذي طوّرته شركة السواقل الفائقة الأمريكية من أجل اختبارات في السفن، يتطلب دراسات معقدة لتكاليف المادة ولدرجة الحرارة التي يمكن أن تعمل المادة عندها ولتكاليف تبريدها أيضاً. فضلاً عن أنه لابد من وجود مصادر إضافية للمقاومة لغرض إدخال النواقل الفائقة في التطبيقات الصناعية. فالصناعة الكهربائية، على سبيل المثال محافظة جداً، ولا ترغب أية شركة في أن تكون الأولى في الاستعاضة عن المواد الموطدة منذ زمن بعيد بتقانة جديدة ربما يثبت عدم وتوقيتها. ولكن هذا الشك في غير محله، فالأشياء التي تحفظ باردة لا تفسد، الأمر الذي يعني أنه ما إن تعمل نبيطة فائقة الناقلية حتى تستمر في العمل. وأول مغنطيس باعته شركة أكسفورد للأدوات في ستينيات القرن العشرين، على سبيل المثال، كان مصنوعاً من مادة الزركونيوم النيوبيوم niobium zirconium الفائقة الناقلية، وشكل هذا المغنطيس قطعة التجهيز المركزية في أطروحتي للدكتوراه. ومازالت مادته تحمل مواصفات عام 1987 ذاتها، كما استخدمت في بعض تجاربنا الأولى على YBCO في كمبردج.

إن كلفة تبريد نبيطة فائقة الناقلية أمر أساسي بالنسبة لأية تطبيقات. وتتسرب الحرارة إلى داخل المنظومة من الخارج، وهناك فقدانات ضمن الناقل الفائق عندما يتغير الحقل المغنطيسي أو التيار، ويقضي القانون الثاني من قوانين الديناميكا الحرارية (أو الترموديناميك) أن هناك قدراً أدنى من العمل ينبغي أن يزوده المبرد بغية انتزاع هذه الحرارة من الحيّز البارد وقذفها عند درجة حرارة الغرفة. وتزداد كمية العمل عندما تخفض درجة حرارة التشغيل؛ إذ يحتاج المبرد قدرة مقدارها 3W لانتزاع تسرب الحرارة البالغ 1W عند درجة حرارة 77K، ويزداد هذا الرقم إلى حوالي 30W عند درجة الحرارة 4.2K. فضلاً عن أن المبردات ليست فعالة جداً، وتتطلب عادة عشرة أمثال القدرة الدنيا المحسوبة من القانون الثاني. ولهذا فإن النواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية العالية لا تفيد كثيراً في بعض التطبيقات. ويمكن على سبيل المثال عزل مغانط التيار المستمر DC، (كتلك المستخدمة في الفصل المغنطيسي magnetic separation وفي ماسحات scanners الجسم)، عن محيطها ولا تتطلب سوى ملئها بسائل الهليوم من حين لآخر.

وعلى أية حال، تتضمن غالبية التطبيقات الهندسية أسلاك التوصيل الكهربائي ومحاور السواقة التي يسمح جميعها بتسرب كبير للحرارة إلى داخل المنظومة. كما أن فقدانات التيار المتناوب AC عند التردد (التواتر) 50Hz تكون كبيرة وسبباً في كون النواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية المنخفضة لم تستخدم قط عند ترددات القدرة الكهربائية العاملة. ولذا فإن تبريد الناقل الفائق يكلف كثيراً في التجهيز والقدرة، وهناك فرق كبير في التكلفة بين التشغيل عند 4.2K وعند 30K أو عند 77K.

(انظر المؤطر الموجود في هذه الصفحة).

يتألف أبسط المحركات من مغنطيس أسطواني يدعى "العضو الدوّار rotor" الذي يدور داخل أسطوانة ثابتة تدعى "العضو الساكن stator". وتؤمن لفات المثبت حقلاً مغنطيسياً دواراً يسحب العضو الدوار. ويدور العضو الدوّار في معظم المكنات الكبيرة بنفس سرعة هذا الحقل المغنطيسي، ولهذا فهو "يرى" حقلاً ثابتاً. أما العضو الساكن فإنه "يرى" الحقل المتذبذب بتردد قدره 50Hz. وهذا فرق مهم لأنه سيكون هناك فقْدانات كبيرة للتيار المتناوب في العضو الساكن وليس في العضو الدوّار.

إنّ كثافة التدفق الأعظمية في المحرك التقليدي محدودة بنحو 1T بسبب إشباع الحديد، في حين يكون التيار الأعظمي في اللفّات محدوداً باعتبارات تبريدية بنحو $10^5 Am^{-1}$. ويسفر ذلك عن خرج output يقارب 25MW لكل واحدة حجم من العضو الدوار عند تواتر تيار 50Hz، وهو رقم تقريبي، ولكنه يكفي للمقارنة بالنواقل الفائقة.

تتألف جميع المحركات الفائقة الناقلية التي تمّ إنتاجها حتى الآن من عضو ساكن من النحاس والحديد التقليدي مع عضو دوّار فائق الناقلية. ويغتبط الزبائن باختزال الحجم والوزن بمقدار أربعة أمثال. ولكن من أجل الحصول على الفوائد كاملة من النواقل الفائقة لابد من استخدام عضو دوّار وعضو ساكن فائقَي الناقلية. ويتألف أبسط عضو دوار فائق الناقلية من كتلة صلبة من YBCO مذابة بالمعالجة بكثافة تيار تبلغ نحو $2\times10^4 Am^{-2}$. أما في العضو الساكن الفائق الناقلية فتقضي كثافة التيار هذه إلى قدرة تقارب 12GW لكل واحدة حجم، الأمر الذي يفوق القدرة التي نحصل عليها من المكنات التقليدية ذات الحجم نفسه بـ 500 مرة. ولكن، توجد إشكالات في تحقيق كثافة القدرة هذه. وبوجه خاص، يجب علينا تهيئة حقل دوار قدره 2T وهذا يتطلب لفافات فائقة الناقلية ذات فقدانات كبيرة جداً من التيار المتناوب. ولهذا السبب، تتألف جميع المحركات الفائقة الناقلية المصنوعة حتى الآن التي تدار بتيار متناوب AC من عضو دوار فائق الناقلية وعضو ساكن تقليدي.

كان أول محرك عملي فائق الناقلية محركاً متجانس الأقطاب homopolar مقدرته 3000hp [6] صنعه طوني أبلتون T. Appleton وفريقه في IRD في عام 1964. ولقد كان ذلك إنجازاً مدهشاً إذا ما أخذنا بالحسبان أن المعدن المستخدم وهو "تيتانيوم النيوبيوم" (niobium titanium) قد اكتشف قبل ذلك ببضع سنوات فقط. وقد كانت هذه النبيطة محركاً يعمل بتيار مستمر DC مع حقل مغنطيسي على طول محور الدوار يولده مغنطيس فائق الناقلية، ومع تيار يُنقل إلى محيط قُرْص ناقل. ولا توجد مشكلة فيما يتعلق بفقدانات التيار المتناوب AC ولكن لم تحظ هذه المحركات بالاستحسان بسبب صعوبة التقاط التيار عبر مماسّات منزلقة sliding contacts.

لقد صنّعت أعداد كبيرة من المحركات بفضل اكتشاف النواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية العالية. ويستخدم أبسط هذه المحركات حبّات من YBCO المنصهر المعالج من أجل العضو الدوار الذي يسلك كمغنطيس دائم لذا لا يحتاج إلى توصيلات ترتبط به. وقد صنعت شركة أوزوالد OSWALD للمحركات الكهربائية في ألمانيا سلسلة من هذه النبائط، وجرى تحليل الخواصّ الكهرطيسية لعدد من بنيانات العضو الدوّار من قبل مالكوم ماك كلّوش Malcolm McCulloch والعاملين معه في جامعة أكسفورد. وفي الوقت نفسه صنع جان سيكولسكي Jan Sykulski والعاملون معه في جامعة ساوثامبتون Southampton مكنة تزامنية synchronous قدرتها 100kW بأشرطة BSCCO في دوّار حديدي. وباستخدام تصميم مغنطيسيٍّ ذكيٍّ

(6) hp اختصار لـ horse power أي مقدرة حصان بخاري وهو يعادل 0.75 كيلو واط.

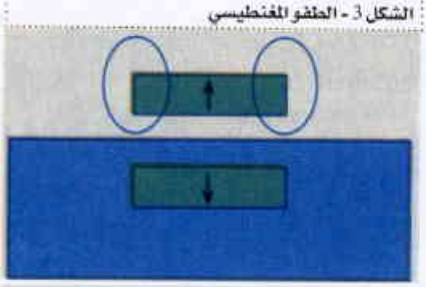
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

أنقصوا الحقل الذي يراه الناقل الفائق، الأمر الذي أتاح للمحرك أن يعمل عند (77K)، وأكثر المكنات تقدماً حتى الآن هو محرك قدرته 5MW صنعته شركة American Superconductors and Alstom ويخضع الآن إلى اختبارات لصالح تطبيقات السفن (انظر الإطار السابق).

الاسترفاع (الطفوُ)

ربما كان أكبر بيان مثير للناقلية الفائقة هو الطريقة التي يستطيع بها مغنطيس أن يقوم فوق ناقل فائق – وهو أمر مستحيل باستخدام المواد التقليدية بدون إلكترونيات تؤمن تحكماً فعالاً. فالمغانط العادية تكون مقلقلة بطبيعتها، ولكن تثبيت الدَّفق flux في ناقل فائق يقاوم أية محاولة يبذلها المغنطيس العائم للتزحزح مبتعداً (الشكل 3).

الشكل 3 - الطفو المغنطيسي



إذا قرب مغنطيس باتجاه ناقل فائق فإن الحركة تولد تيارات ثمَّ حقلاً مغنطيسياً. ويمكن أن يعزى الحقل إلى مغنطيس وهمي ذي قطبية معاكسة للناقل الفائق، بحيث تعزى قوة الطفو أساساً إلى مغنطيسين متماثلين. إلا أن خطوط الدفق لا يمكنها أن تخترق الناقل الفائق لذا يطفو المغنطيس على ما يشبه الوسادة المغنطيسية. وينبغي ألا يلتبس على القارئ هذا الفعول ومفعول مايسنر (Meissner) وهو طرد الدفق الذي يحدث عندما يبرد ناقل فائق.

يجري إعداد المحامل بالاعتماد على هذا المفعول بحيث لا تنافسها المواد التقليدية بصورة مباشرة. فأوّلاً، تكون المحامل الفائقة الناقلية بدون احتكاك، وهذا يعني أنها لا تتآكل ولا تحتاج إلى صيانة غير التبريد. فضلاً عن أنها تستطيع أن تعمل بسرعات غير محدودة تقريباً. والعيب الوحيد للمحامل الفائقة الناقلية في بعض التطبيقات هو أنها أكثر ليناً بكثير من المحامل التقليدية، ولكن العيب يمكن أن يكون مزيّة في تطبيقات أخرى مثل المثقلات centrifuges. والواقع أننا نقوم في كمبردج بإعداد محمل لمنظومة تخزين الطاقة صنعته شركة أورينكو URENCO بالاعتماد على المثقلات المستخدمة لفصل نظائر اليورانيوم.

هذا النوع من الاسترفاع (الطفوّ) يَصْلُح جيداً للمحامل ولكنه باهظ الثمن جدّاً بالنسبة لمشاريع مثل قطارات ماغليف (Maglev) الحوّامة مغنطيسياً في اليابان لأنها تتطلب سلكاً طوله بضع مئات من الكيلومترات مصنوعاً من مغانط فائقة الناقلية أو مغانط دائمة. فقطارات ماغليف Maglev تحتوي على مغنطيس فائق الناقلية، ولكن الاسترفاع يحدث فعلاً بفضل تيارات دوامية في سكة عادية. وبما أن كلفة الناقل الفائق والمبردات الفائقة التبريد تعد قليلة بالمقارنة مع كلفة السكة وما يصحبها من هندسة مدنية، فلن يكون للنواقل الفائقة ذات الدرجة الحرارية العالية أثر كبير على اقتصاديات هذه القطارات.

والأمر نفسه صحيح فيما يتعلق بخطوط القدرة. إذ تمثل خسارة 6% في الشبكة الوطنية قدراً كبيراً من الطاقة، لذا فإن أول ما يفكر به الناس كتطبيق للنواقل الفائقة هو كوابل القدرة. ولكن لدى ترصيد الأرقام فإنها تبدو أقل جدوى في الكلفة. ومع ذلك، يمكن استخدام خطوط القدرة الفائقة الناقلية في المدن الشديدة الازدحام، حيث يمكن رفع كثافة القدرة في الكابلات الممددة أصلاً تحت الأرض.

وعلى النقيض من معظم تطبيقات النواقل الفائقة الأخرى توجد نبيطة لا يمكن تكرارها بالتقانة في معظم تطبيقات التقليدية: إنها محدِّدة التيار المغلوط. ووظيفتها تحديد الدارة القاصرة short circuit عندما يحدث خطأ كهربائي، ويتم الآن تنفيذ ذلك باستخدام فواصم وقواطع أبطأ وأقل وثوقية بكثير. وربما تكون محددة التيار الفائقة الناقلية هذه ألصق نبيطة فائقة الناقلية للتطبيقات التجارية.

تُصمَّم المحدِّدة الفائقة الناقلية بحيث يكون تيارها الحرج أعلى من التيار المقدَّر (أي: التيار الذي يعد آمناً للتعامل به). ونتيجة لذلك، لا تبدي هذه المحدِّدة أية مقاومة عند التيار المقدَّر. ولكن حينما يزداد التيار لدى حدوث خطأ ما تصبح المادة مقاومة فتقوم بتحديد التيار على الفور وتعيده إلى قيمة آمنة. لذلك يحدث تحديد التيار في هذه النبيطة الفائقة الناقلية في أول دورة cycle للتيار المتناوب AC في حين تستغرق قواطع التيار الحالية دورات عدة كي تقوم بعملها، ولذا ينبغي أن تكون متينة وقوية بقدر يكفي لمجابهة تيار الخطأ خلال هذا الوقت. وسوف تسمح محددات تيار الخطأ الفائقة الناقلية للمولدات المحلية الصغيرة التي تعمل بمنابع الكهرباء المتجددة أن تضاف إلى شبكة الكهرباء القائمة دون حاجة إلى تحسين جميع عناصر الحماية.

أفكار جديدة

يستحيل وصف جميع تطبيقات النواقل الفائقة في مقالة قصيرة كهذه. ولكن، هناك أمر واحد واضح، يتمثل في الشروع باستعمال النبائط الفائقة الناقلية الآن في استعمالات تجارية على نطاق واسع بميزانيات تبلغ ملايين الدولارات. وكذلك تجلب النواقل الفائقة أفكاراً جديدة إلى تقانات مثل مكاشيف التيراهرتز (10^{12}Hz) لصالح علم الفلك الراديوي، والمنطق الرقمي باستخدام الكم الدفقي flux quantum على هيئة بتات (bit)، وكذلك المرشحات الانتقائية selective filters العالية للاتصالات المكروية، وتصوير الدماغ باستخدام وصلات جوزيفسون (Josephson). إن الموضوع أوسع بكثير مما ذكرنا، وكل جزء فيه مثير الآن كما كان قبل أربعين عاماً، ومازالت هناك مجالات لمشاريع دكتوراه مهمّة.

أشباه المواد وقرينة الانكسار السالبة*

د. ر. سميث
قسم الفيزياء، جامعة كاليفورنيا، سان ديغو، الولايات المتحدة
ج. ب. بندري
قسم الفيزياء، الكلّية الملكية (إمبيريال كوليج) بلندن، المملكة المتحدة
م. س. ك. ويلتشَير
قسم علوم التصوير، الكلّية الملكية بلندن، المملكة المتحدة

ملخص

أشباه المواد التي تمَّ تركيبها اصطناعياً أضحت الآن موضع اهتمام كبير، لأن باستطاعة هذه المواد أن تبدي خصائص كهرمغنطيسية مغايرة لخصائص أي مادة من المواد التقليدية. فالمغنطيسية الصنعية وقرينة الانكسار السالبة هما نمطان خاصّان من السلوك تمَّ تبيانهما على مدى السنوات القليلة الماضية، الأمر الذي يوضح الفيزياء الجديدة والتطبيقات الجديدة الممكنة عندما نوسِّع نظرتنا حول ما يكوِّن المادة. وفي هذه المراجعة، نَصِفُ الإنجازات الحديثة في بحوث أشباه المواد ونناقش ما يمكن لهذه المواد أن تحوزه لتحقيق ظواهر كهرمغنطيسية جديدة وغريبة على ما يبدو.

الكلمات المفتاحية: أشباه المواد، انكسار سالب، مغنطيسية صنعية، تصوير بالتجاوب المغنطيسي، استجابة، مجاوب ذو حلقات مجزّأة، لفافة سويسرية، مَيْز تحت الطول الموجي، الفضاء السالب، بلّورات فوتونية.

لنتأمل الضوء الذي يمر عبر صفيحة من الزجاج. نحن نعلم أن الضوء هو موجة كهرمغنطيسية، مكوَّنة من حقلين مهتزين كهربائي ومغنطيسي، وتتميز بطول موجي λ. ونظراً لكون الضوء المرئي يمتلك موجة أكبر بمئات المرّات من الذرّات التي يتكون منها الزجاج، فإن التفاصيل الذرّية تفقد الأهمية في وصف الكيفية التي يتآثر interact بها الزجاج مع الضوء. ومن الناحية العملية، فإننا نستطيع أن نحسب المقياس الذرّي، مستبدلين بصورة حدسية بالوسط اللامتجانس من بعض النواحي مادة متجانسة تتميّز ببارامترين كهرمغنطيسيين جهريين macroscopic فقط هما السماحية الكهربائية (ε) والنفوذية المغنطيسية (μ).

من وجهة النظر الكهرمغنطيسية، يقرّر الطول الموجي λ ما إذا كان بالإمكان اعتبار مجموعة من الذرّات أو أجسام أخرى يمثل مادة. إن البارامترين الكهرمغنطيسيين (ε و μ) ليسا بحاجة لأن يبرزا قصراً من استجابة الذرّات أو الجزيئات: فأي مجموعة من الأجسام يكون قدُّها ومسافة تباعدها أصغر بكثير من (λ) يمكن أن توصف بواسطة (ε و μ). وتتعيَّن قيمتا ε و μ هنا بخواص تبعثر الأجسام المُبْتناة. ورغم أن مثل هذه المجموعة اللامتجانسة قد لا يلبِّي تعريفنا الحدسي للمادة، فالموجة الكهرمغنطيسية التي تمر خلال هذه البنية لا تستطيع أن تبيّن الفرق. ومن وجهة النظر الكهرمغنطيسية، فقد ابتدعنا مادة صنعية، أو شبه مادة metamaterial.

لقد كان للاستجابة المُهنْدَسة engineered لأشباه المواد وقع مثير على الفيزياء والبصريات والمجتمعات الهندسية، لأن أشباه المواد تستطيع أن تقدم خواص كهرمغنطيسية يصعب أو يستحيل تحقيقها باستخدام المواد التقليدية الموجودة بصورة طبيعية. أمّا ابتكار أشباه المواد فقد أعطى فرصاً جديدة لتحقيق ظواهر فيزيائية كانت في السابق مجرد تمارين نظرية.

المغنطيسية الصنعية

لقد جرى في عام 1999 إدخال بضع مواد صنعية مبنية على عناصر صُمِّمت كي تؤمن استجابة مغنطيسية عند تواترات مكروموجية أو أدنى منها [1]. وهذه البنى اللامغنطيسية المؤلفة من صفيفات عُرى سلكية يستطيع حقل مغنطيسي خارجي مطبَّق عليها أن يحرِّض فيها تياراً، فيولِّد بذلك استجابة مغنطيسية فعّالة.

إن إمكانية وجود مغنطيسية من دون مواد مغنطيسية في طبيعتها تبيَّن أنه مضاهيءٌ طبيعيٌّ للتصوير بالتجاوب المغنطيسي (MRI) الذي نستخدمه كمثال على مجال محتمل التطبيق لأشباه المواد. ففي ماكنة

* نُشر هذا المقال في مجلة Scienc, Vol 305, 6 August 2004 وتمت الترجمة في هيئة الطاقة الذرية السورية.

MRI يوجد حقلان مغنطيسيان متمايزان. إن الحقول شبه السكونية الكبيرة، التي تقع قيمها بين 0.2 و3 تسلا في الماكنات التجارية، تُسبِّب اصطفاف السبينات النووية في جسم الإنسان. وتكون السبينات متجاوبة عند تواتر لارمور الموضعي local Larmor frequency، الذي يقع نمطيّاً بين 8.5 و128 ميغاهرتز بحيث يثيرها حقل مغنطيسي ثانٍ على شكل نبضة ذات تواتر راديوي (RF) جاعلاً إيّاها تستبق الحقل الرئيسي. ويُعاد بناء الصور عن طريق ملاحظة الإشارة المعتمدة على الزمن الناتجة عن استباق السبينات. ومع إننا نحصل على ميْز ماكنة MRI من خلال الحقول شبه الساكنة، فإن التحكم المضبوط في الحقل RF يُعدُّ أساسياً أيضاً للتشغيل الفعّال والدقيق لهذه الماكنة.

إن أي مادة يُقرَّر استعمالها في الوسط المرناني (MNR) ينبغي ألا تشوش نموذج الحقل المغنطيسي شبه الساكن، وبهذا يستبعد استخدام كل المواد المغنطيسية التقليدية من الاستخدام. بيد أن أشباه المواد المغنطيسية التي تستجيب للحقول المتغيرة مع الزمن بدون أن تستجيب للحقول الساكنة يمكن أن تستخدم لتغيير الحقول RF وتبئيرها من دون التَّدَخل بنموذج الحقل شبه الساكن.

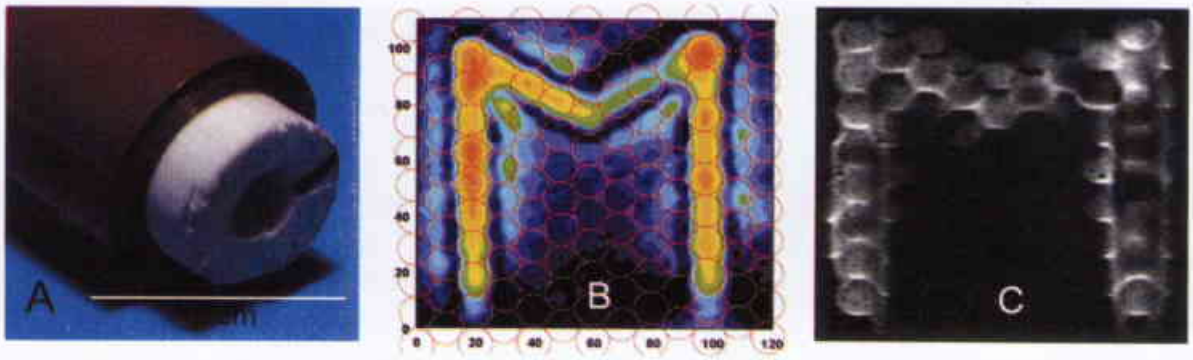
تُجرى جميع القياسات على مقياس للطول أصغر كثيراً من الطول الموجي، الذي هو 15 متراً عند التواتر 20 ميغاهرتز. المركّبتان (الكهربائية والمغنطيسية) للإشعاع الكهرمغنطيسي تكونان مستقلتين أساساً على مقياس تحت طول موجي. وبهذا فإننا كيما نداول الإشارة المغنطيسية عند تواتر راديوي RF لا نحتاج إلا إلى التحكم بالنفوذية المغنطيسية لشبه المادة: أي إن خواص العزل الكهربائي لا علاقة لها بالموضوع إلى حدٍّ بعيد.

إن تصميم شبه المادة الأنسب لتطبيقات MRI (التصوير بالتجاوب المغنطيسي) هو ما يدعى اللفافة السويسرية Swiss roll [1] المصنوعة بلفِّ صفيحة معدنية معزولة حول أسطوانة. ويعطي التصميم الناتج عن 11 لفة حول أسطوانة قطرها 1 سنتيمتر استجابة تجاوبية عند 21 ميغاهرتز. ويبيّن الشكل 1A أسطوانة من هذا القبيل. وتتشكّل شبه المادة بتكديس العديد من هذه الأسطوانات بعضها مع بعض.

لقد تبيَّن في عرض مبكّر أنه يمكن تطبيق أشباه المواد المصنَّعة على هيئة لفافات سويسرية في الوسط المرناني [2]. وجرى استخدام باقة من اللفافات السويسرية لتوجيه التدفق الصادر عن جسم ما نحو مكشاف بعيد. وكانت شبه المادة التي استخدمت في هذه التجارب كثيرة الفَقْد، وكل المعلومات المتعلقة بالموضع في الصورة كانت تقدمها المنظومة المكوِّدة الحيِّزيّة العائدة للماكنة المرنانية MRI. ومع ذلك فقد اتّضح من هذا العمل أن أشباه المواد هذه تستطيع أن تؤدي من باب الاحتمال وظيفة مفيدة ومتميزة.

أشباه المواد والاستجابة التجاوبية

لماذا تسلك مجموعة من النواقل على هيئة لفافات سويسرية سلوك مادة مغنطيسية؟ إن الصفائح النحاسية الملفوفة، في هذه البنية، تمتلك وسْعيّة ذاتية self capacitance وتحريضيّة ذاتية self-inductance تخلقان تجاوباً. والتيارات التي تتدفق حينما يتنشّط هذا التجاوب تقترن بقوة مع حقل مغنطيسي مطبّق، مولِّدة نفوذية مغنطيسية يمكن أن تصل قيماً عالية. وعند تواتر التجاوب تسلك شريحة من متركّبة اللفافة السويسرية سلوك مجموعة من أسلاك مغنطيسية: أي إن توزعاً لحقل مغنطيسي يرد على أحد وجهي الصفيحة يجري نقله بصورة منتظمة إلى الوجه الآخر بالطريقة نفسها التي سيُنقَل فيها توزع لحقل كهربائي بواسطة باقة من الأسلاك الناقلة كهربائياً. أما في المواد الحقيقية، فهناك بالطبع ضياع وهذا يحدّ من مَيْز النقل إلى ما يقارب $d/\sqrt{\mathrm{Im}(\mu)}$، حيث d هو ثخن الشريحة و $\mathrm{Im}(\mu)$ هو الجزء التصوُّري من النفوذية. لقد تمَّ تبيان حقل النقل transference field هذا [3] عبر إعداد هوائي antenna على هيئة الحرف M واعتباره بمثابة المنبع، ثم رسم خريطة توزع الحقل المغنطيسي المُرْسل (الحقول بالقرب من الأسلاك التي تنقل تياراً يغلب عليها الطابع المغنطيسي). ولدى التجاوب أُرسلت بنية اللفافة السويسرية نموذجَ الحقل الوارد عبر الشريحة (الشكل 1B)، وضاهى المَيْز ما تنبأت به النظرية من مَيْز.



الشكل 1- (A) عنصر وحيد من شبه المادة اللفافة السويسرية. (B) صفيف من مثل هذه العناصر تمّ تجميعه كشريحة أما الحقل المغنطيسي ذو التواترات الراديوية RF والصادر عن هوائي على شكل حرف M موضوع تحت الشريحة فقد أُعيد توليده على السطح العلوي. وتبيّن الدوائر الحمراء موضع اللفافات، التي كان قطرها 1cm. وأما (C) فهي الصورة النهائية المأخوذة في ماكنة (MRI)، وتبيّن أن نموذج الحقل يُبث ذهاباً وإياباً عبر الشريحة.

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

كما تمَّ أيضاً تبيان نقل الصورة في ماكنة MRI [4]. وهنا استُخدم الهوائي ذاته ذو الشكل M نفسه كمنبع لحقل الإثارة RF (ذي التواتر الراديوي) وكمكشاف للإشارة أيضاً، وتمَّ اختبار شبه المادة مرتين. إذ كان على شبه المادة هذه أوّلاً أن ترسل حقل الإثارة من دون تدني المعلومات المكانية (الحيِّزية) spatial بحيث يثار نموذج السبين المطلوب في العيِّنة. وثانياً، كان ينبغي نقل الإشارة من ذلك النموذج السبيني وإرجاعها إلى المستقبل بشكل أمين. ولقد أوضحت هذه التجربة أن باستطاعة شبه مادة عالية الأداء أن تلعب دور صفيحة واجهة مغنطيسية وتنقل المعلومات من أحد الجانبين إلى الجانب الآخر من دون فَقْدٍ للمعلومات المكانية الحيِّزية (الشكل 1C).

ليس التصوير الطبي إلاّ مثالاً واحداً للاستخدامات المفيدة الممكنة للمواد المغنطيسية الصنعية. ومع إن أشباه المواد المغنطيسية الصنعية تمتلك خواصّ فريدة، فإن المواد التقليدية عند هذه التواترات المنخفضة تُبدي المغنطيسية أيضاً. ومن ناحية أخرى، عندما ننظر إلى تواترات أعلى تتضاءل المغنطيسية التقليدية تدريجياً ويمكن أن تلعب المغنطيسية الصنعية دوراً متزايد الأهمية.

وهناك مجال تواتري ذو أهمية خاصة يقع بين 1THz و3THz، وهي منطقة تمثل نقطة انقطاع طبيعية بين الاستجابة المغنطيسية والاستجابة الكهربائية في المواد التقليدية. فعند التواترات المنخفضة، يمكن أن تُرى مواد مغنطيسية بطبيعتها(أي مواد تَنْتُجُ المغنطيسية فيها من سبينات إلكترونات غير متزاوجة) وهي تبدي تجاوبات. أما عند التواترات العالية، فإن كل المواد تقريباً تمتلك تجاوبات إلكترونية تنتج عن الاهتزازات الشبيكية lattice vibrations أو عن آليات أخرى وتؤدي إلى استجابة كهربائية. هذا وتمثل منطقة التواترات الوسطية mid-THz النقطة التي تتخامد عندها الاستجابة الكهربائية من النهاية العالية التواتر كما تتخامد عندها الاستجابة المغنطيسية بدءاً من النهاية المنخفضة التواتر: وهنا لاتُقدّم الطبيعة أي مواد عازلة (كهرنافذة) قوية أو مواد مغنطيسية قوية.

ومن ناحية أخرى، يمكن إنشاء أشباه مواد لتعطي هذه الاستجابة. فعند التواترات العالية، يمكن استعمال بنية ناقلة أخرى، هي المجاوب ذو الحلقات المجزَّأة (SRR) split ring resonator، بكل ارتياح لأداء استجابة مغنطيسية [1]. ويتألف هذا المجاوب ذو الحلقات المجزَّأة SRR من مجموعة مستوية من حلقات متمركزة، تكون فيها كل حلقة مجهزة بفرجة. ونظراً لكون SRR مستوياً فمن السهل تصنيعه بطرائق الطباعة الحجرية (الليتوغرافيا) بمقاييس ملائمة لتواترات تمتد من التواترات المنخفضة إلى التواترات الضوئية.

لقد تمَّ حديثاً تصميم مجموعة SRR بحيث تعطي تجاوباً مغنطيسياً عند تواترات تراهرتزية [5]. وكان كبر المجاوبات ذوات الحلقات المجزَّأة (SRRs) من رتبة 30 μm، أي أصغر من الطول الموجي 300 μm عند 1THz بعشر مرات. وقد أكّدت تجارب التبعثر أن الأداة SRR كانت ذات تجاوب مغنطيسي يمكن توليفه على مدى العصابة التراهرتزية عن طريق إجراء تغييرات طفيفة في بارامترات SRR الهندسية.

إن كلا أشباه المواد (سواء ما كان منها على هيئة لفافة سويسرية أو مجاوب تراهرتزي ذي حلقات مجزَّأة) يوضّحان محاسن إيجاد استجابة مغنطيسية صنعية. لكن أشباه المواد تستطيع أن تأخذنا شوطاً أبعد من ذلك، يُحقّق مواد ليس لها مثيل بين المواد التقليدية.

استجابة المواد السالبة

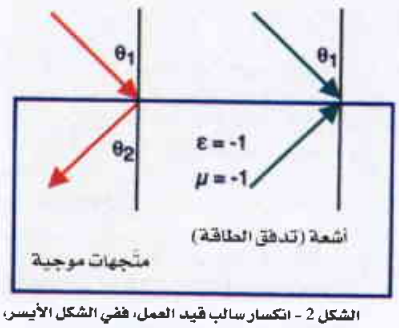
يتصف الهزاز التوافقي بتواتر تجاوبي تستطيع عنده قوة دفع صغيرةٌ أن تولِّد انزياحاً كبيراً جداً. لنتأمل في كتلة على نابض: فبدونَ التواتر المجاوب تنزاح الكتلة في نفس اتجاه القوة. أما فوق التواتر المجاوب، فإن الكتلة تنزاح في اتجاه معاكس لاتجاه القوة المطبَّقة. ونظراً لأن كل مادة يمكن نمذجتها كمجموعة شحنات مترابطة بشكل توافقي، فإن استجابة التجاوب السالبة تترجم مباشرة إلى استجابة مادة سالبة، حيث فيها الحقل المطبَّق الكهربائي أو الحقل المغنطيسي المؤثِّران في الشحنات المترابطة يقابلان القوة والعزم الثنائي القطب المستجيب الموافقين للانزياح. ويُفضي التجاوب في استجابة المادة إلى قيم سالبة لكل من (ε) أو (μ) فوق التواتر المجاوب.

تكون جميع المواد المألوفة تقريباً، كالزجاج أو الماء، ذات قيم ε و μ موجبة. أما المواد التي تكون فيها ε سالبة فإنها ليست معروفة بهذا القدر. فهناك عدة معادن كالفضة والذهب، على سبيل المثال، ذات ε سالبة عند طول موجي يقع في الطيف المرئي. وتكون المادة التي فيها إما ε أو μ سالبة (ولكن ليس الاثنان) مادة كامدة opaque بالنسبة للإشعاع الكهرمغنطيسي (أي لا ينفذ منها هذا الإشعاع).

لا يستطيع الضوء أن يدخل في المعدن، أو لنقل إنه لا يستطيع على الأقل أن ينفذ فيه مسافة كبيرة، لكن المعادن ليست خاملة بالنسبة للضوء. إذ يمكن أسر الضوء عند سطح معدن ما وينتشر هنا وهناك في حالة تعرف باسم البلازمون السطحي surface plasmon. وهذه الحالات السطحية ذات صفات مثيرة للاهتمام ولا يزال استغلالها في التطبيقات في بدايته [6].

وبينما يتم وصف استجابة المواد كلّياً بالبارامترين ε وμ، فإن الخصائص الضوئية للمادة الشفافة غالباً ما يتم وصفها بشكل مريح باستخدام بارامتر مختلف، هو قرينة الانكسار n، التي تعطيها العلاقة $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$. وهكذا تسير الموجة بشكل أبطأ (بعامل يساوي n) عندما تنتقل في وسط كالزجاج أو الماء. ونشير إلى أن كل المواد الشفافة المعروفة تمتلك قرينة انكسار موجبة لأن كلاً من ε وμ موجبتان.

وحتى الآن، لا يعيقنا المجال الجائز لاستجابة المواد من دراسة وسط تكون فيه كل من ε وμ سالبتين. فمنذ أكثر من 35 عاماً فكّر فيكتور فيسلاغو ملياً في خواص مثل هذا الوسط [7]. ونظراً لأن الجداء $\varepsilon\mu$ موجب القيمة، فإن أخذ الجذر التربيعي يعطي عدداً حقيقياً لهذه القرينة. وبذلك نستنتج أن المواد التي تكون فيها (ε) و (μ) سالبتين هي مواد شفافة بالنسبة للضوء.



الشكل 2 - انكسار سالب قيد العمل. ففي الشكل الأيسر، يدخل شعاع وسطاً medium ذا انكسار سالب وينعطف في الطريق الخطأ بالنسبة للناظم على السطح، مشكّلاً شارة على شكل حرف (V) عند السطح البيني. أما على اليمين، فقد رسمنا المتّجهات vectors الموجية، الانكسار السالب يتطلب أن تسير المتّجهة الموجية وسرعة المجموعة (سرعة الشعاع) في اتجاهين متعاكسين

ثمَّة ثروة من الظواهر المعروفة جيداً ترافق انتشار الأمواج الكهرمغنطيسية في المواد. وينبغي إعادة فحص كل هذه الظواهر حينما تكون كل من (ε) و(μ) سالبتين في آن معاً. وعلى سبيل المثال، يكون انزياح دوبلر معكوساً باستخدام منبع ضوئي يتحرك نحو مراقب observer تمَّ زَيْحُهُ إلى الأسفل في التواتر. وبالمثل فإن إشعاع شرنكوف الصادر من شحنة تمر عبر المادة إنما يصدر في الاتجاه العكسي لحركة الشحنة وليس في الاتجاه الأمامي [7].

يمكن أن يُعزى منشأ هذا السلوك الجديد المتنبَّأ به حديثاً إلى الفارق بين سرعة المجموعة group velocity التي تصف جريان الطاقة من جهة، وسرعة الطور phase velocity التي تصف حركة طلائع (صدور) الموجات من جهة أخرى. وتكون سرعتا المجموعة وطورها متوازيتين في المواد التقليدية. في حين يكون الوضع بعكس ذلك، أي تتجه هاتان السرعتان في اتجاهين متعاكسين، حينما تكون ($\varepsilon < 0$) وتكون ($\mu < 0$) (كما في الشكل 2).

إن انعكاس سرعة الطور وسرعة المجموعة في مادة ما ينطوي على نتيجة سهلة التعبير لكنها عميقة المدلول، تتمثل في وجوب احتساب إشارة قرينة الانكسار (n) سالبة.

بعد العمل المبكر الذي قام به فيسلاغو، تبخر الاهتمام بالمواد السالبة القرينة، بسبب انعدام وجود مادة معروفة في الطبيعة تبدي عصابة تواتر ذات ($\mu < 0$) وتمتلك أيضاً ($\varepsilon < 0$). لكن الموقف تغير في عام 2000 حينما ظهرت بنية مُتركّبة مبنية على SRRs وتبيَّن أنها ذات عصابة تواتر كانت كل من (ε وμ) على طولها سالبتين [8]. وقعت μ السالبة عند تواترات تفوق التواتر المجاوب للبنية SSR، أما ε السالبة فقد استُحْضِرَت عن طريق إدخال شبيكة من الأسلاك الناقلة بين الشبيكة SRR. إذ إن شبيكة الأسلاك تمتلك تواتر قطع cutoff frequency تكون (ε) بدونه سالبة [9]؛ فباختيار بارامترات لشبيكة الأسلاك بحيث يكون فيها تواتر القَطْع فوق التواتر المجاوب (SRR) بشكل ملحوظ، أمكن جعل المتركّبة تمتلك منطقة تراكب تكون فيها كل من (ε وμ) سالبتين. لقد بيَّنت هذه التجربة الأولية أن فرضية فيسلاغو يمكن أن تتحقق في بنى صنعية، كما دفعت بسرعة ميدان أشباه المواد السالبة القرينة الآخذ بالتنامي سريعاً.

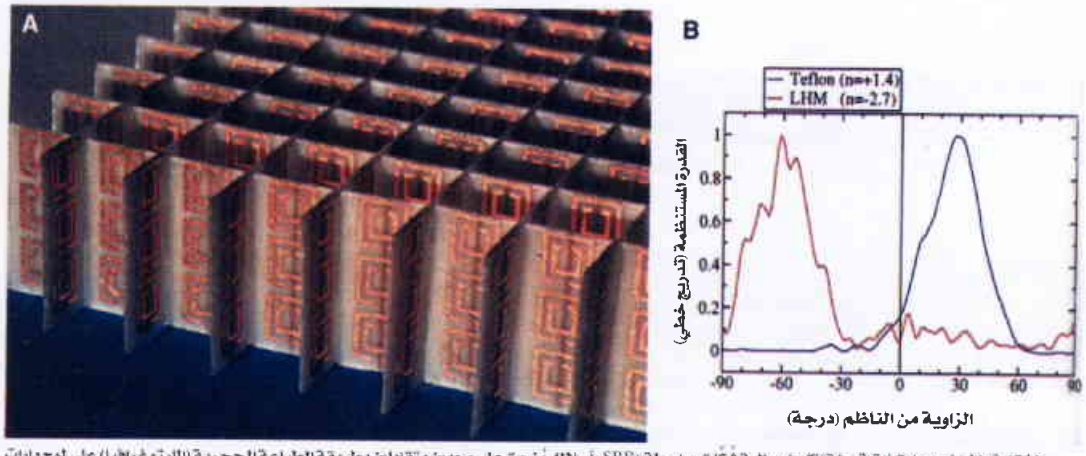
الانكسار السالب والمَيْز فيما دون الطول الموجي

يمكن تعيين قرينة انكسار مادة ما تجريبياً بقياس انحراف حزمة ما لدى دخولها أو خروجها من السطح البيني interface للمادة بزاوية ما. وتتجسد الصيغة الكمية للانكسار في قانون سنيل Snell،الذي يربط زاوية خروج الحزمة (θ_2)، وهي الزاوية التي تصنعها الحزمة مع مستقيم عمودي على السطح البيني للمادة منسوبة إلى زاوية الورود θ_1 بالعلاقة:

$$sin(\theta_1) = nsin(\theta_2)$$

وتعيِّن قرينة الانكسار مقدارَ انحراف الحزمة. فإذا كانت القرينة موجبة فإن الحزمة الخارجة تنحرف نحو الجانب المقابل من الناظم على السطح، في حين إذا كانت القرينة سالبة فإنها تنحرف في الجانب نفسه من الناظم (الشكل 2).

في عام 2001 أُجريت تجربة قانون سنيل على شبه مادة لها شكل الإسفين كانت قد صُمِّمت كي تكون ذات قرينة سالبة عند تواترات الأمواج المكروية [10]. وفي هذه التجربة جرى توجيه حزمة من الأمواج المكروية إلى الجزء المسطح من عيِّنة الإسفين، فمرت خلال العيِّنة من دون انحراف، ثم انكسرت على الوجه البيني الثاني. ومن ثم قيست التبعية الزاوية angular dependence للقدرة المنكسرة حول محيط الدائرة، لتعيين زاوية الانكسار.



الشكل 3-(A) شبه مادة ذات قرينة انكسار سالبة شُكّلت بواسطة SRRs وأسلاك وُضعت على وجهين متقابلين بطريقة الطباعة الحجرية (الليتوغرافيا) على لوح دارات معياري. يبلغ ارتفاع البنية 1. cm (B) قيست القدرة كتابع للزاوية في تجربة القانون سنيل وأُجريت على عيِّنة من التفلون (المنحني الأزرق) وعيِّنة ذات قرينة انكسار سالبة (المنحني الأحمر).

لقد بيّنت نتائج التجربة (الشكل3) بكل جلاء أن العيّنة الإسفينية كسرت حزمة الأمواج المكروية بطريقة تتوافق مع قانون سنيل. ويبيّن (الشكل 3B) القدرة المُكْتشَفة كتابع للزاوية من أجل إسفين تفلون(n = 1.5، المنحني الأزرق) بالمقارنة مع إسفين NIM (المنحني الأحمر). إن موضع الذروة الذي يوافق إسفيناً من مادة ذات قرينة انكسار سالبة (MIN) يدلّ على قرينة قيمتها 2.7-.

وعلى الرغم من أن النتائج التجريبية تؤكد، على ما يبدو، أن عيّنة شبه المادة امتلكت قرينة انكسار سالبة، فإن الأساس النظري للانكسار السالب خضع للتحدي في عام 2002 [11]. إذ جودل بأن الخواص المتبدِّدة للتواتر في المواد ذوات القرينة السالبة ستمنع الإشارات التي تحمل المعلومات من أن تنكسر بحق انكساراً سالباً. وفيما بعد تصدّى لهذه المسألة النظرية بضعة مؤلفين [12-14]، استنتجوا أن الإشارات المتغيرة مع الزمن يمكن جعلها بالفعل تنكسر انكساراً سالباً كذلك.

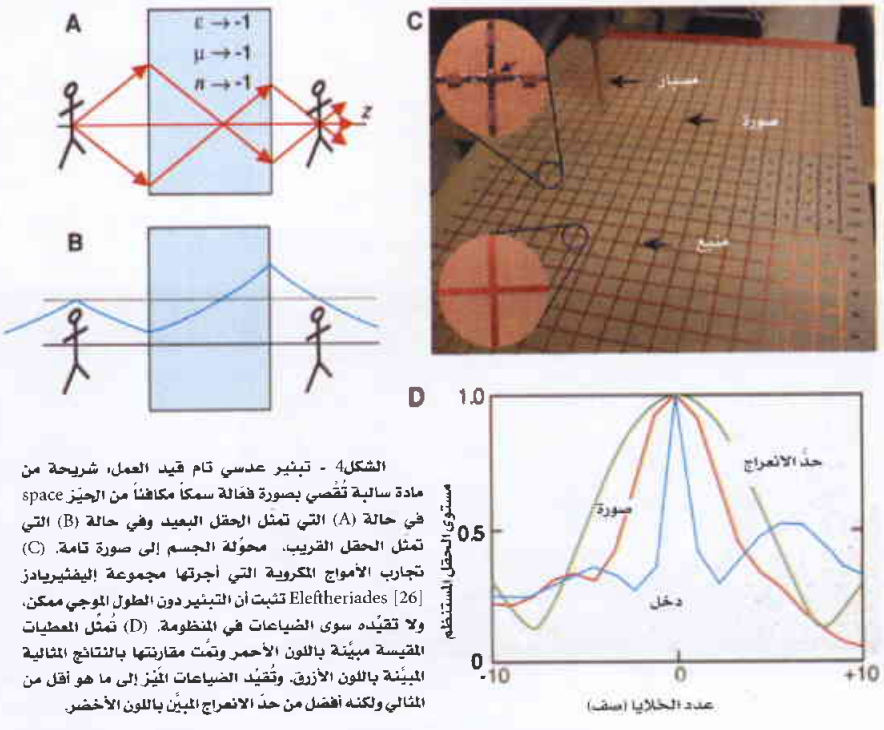
ومنذ هذا التبيان الأول للانكسار السالب، تمَّ الإعلان عن تجربتين إضافيتين حول قانون سنيل، استعملت كلتاهما عيِّنات على هيئة أسافين من أشباه المواد مماثلة في تصميمها للعيِّنات التي استخدمت في التبيان الأول. وقد تصدّت هاتان التجربتان لنواحٍ لم تتناولها التجربة الأولى. ففي إحداهما، على سبيل المثال، رسمت خرائط حيِّزية (مكانية) للحقول الكهرمغنطيسية بدلالة المسافة بين الإسفين والمكشاف. وبالإضافة إلى ذلك استعملت عيّنات إسفينية ذات ثلمين سطحيين مختلفين للتأكيد بأن زاوية الانكسار كانت متفقة مع قانون سنيل [15]. وفي التجربة الثانية من هذه التجارب، قيست الحزمة المنكسرة سلبياً عند مسافات أكثر بعداً عن العيِّنة الإسفينية [16]. وعلاوة على ذلك، فقد تمَّ تصميم عيّنة شبه المادة في التجربة الأخيرة بعناية، بحيث كانت ضياعات المادة أصغرية وبحيث أبدت البنية مضاهاة أفضل في الممانعة بالنسبة للفضاء الحر. وفي هذه الطريقة جرى إرسال كمية أكبر من الطاقة عبر العيِّنة، مما جعل الحزمة المنكسرة انكساراً سالباً أسهل ملاحظة وأقل احتمالاً في أن تكون نتيجةً لأيّة خوادع artifacts تجريبية. إن هذه القياسات الإضافية كانت كافية لإقناع الكثيرين بأن المواد ذات قرينة الانكسار السالبة هي حقيقة واقعة.

بعد أن رسخنا حقيقة الانكسار السالب، أصبحنا جاهزين لدراسة ظواهر أخرى تتعلق بالمواد التي لها قرينة انكسار سالبة. وبسرعة نجد أنه يجب إعادة النظر في بعض من الأفكار الراسخة المتعلقة بالأمواج والبصريات! ومن الأمثلة الأساسية على ذلك نذكر حالة التصوير بالعدسات. فمن الاصطلاحات المقبولة أن مَيْز صورة ما يُقيِّده الطول الموجي للضوء المستخدم. ويفرض قيد الطول الموجي للبصريات إحراجات خطيرة للتقانة البصرية: إذ إنه يحدّ من الكثافة التي يكتب بها على الأقراص DVDs، كما أن كثافة الدارات الإلكترونية المشكلة بالطباعة الحجرية (الليتوغرافيا) تُمثِّل مظهراً لقيد الطول الموجي. لا يوجد حتى الآن سبب أساسي لداعي وجوب عدم تشكيل صورة بمَيْز عالٍ اعتباطيّاً. إن قيد الطول الموجي هو نتيجة للبنيان البصري للتصوير التقليدي.

إنَّ الانكسار السالب الذي تحدثه شريحة من مادة ما يثني شعاعاً من الضوء رجوعاً نحو المحور وبذلك يكون له مفعول تبئيري عند النقطة التي تلاقي فيها الأشعةُ المنكسرةُ المحورَ (الشكل 4A).

ولقد لوحظ مؤخراً [17] أن العدسة ذات القرينة السالبة تبدي نمطاً جديداً كلّياً من ظاهرة التبئير، إذ لا تُجمِّع الأشعة المنتشرة فحسب بل وكذلك أدق جزيئات الحقول الكهرمغنطيسية القريبة التي تكون سريعة الزوال ولاتنتشر (الشكل 4B). فبالنسبة لشريحة مستوية من مادة ذات قرينة سالبة، وفي الشروط المثالية، يوجد مستوٍ للصورة يحتوي على نسخة مثالية تامة للحجم الكائن على الجانب المقابل من الشريحة. ومع إن المواد القابلة للتنفيذ لن تلبي على الإطلاق الشروط المثالية، فإن هذه المفاهيم الجديدة لقرينة الانكسار السالبة تبيّن أن التصوير بما دون الطول الموجي يمكن تحقيقه من حيث المبدأ؛ ولا نحتاج بعد الآن إلى استبعاد هذا الاحتمال من الحسبان.

إنّ هذه الحيلة، التي تتضمن المَيْز العالي ولكن مع اضمحلال سريع لجزء من الصورة، تتحقّق عن طريق التضخيم التجاوبي للحقول.



الشكل4 - تبئير عدسي تام قيد العمل، شريحة من مادة سالبة تُقصي بصورة فعّالة سمكاً مكافئاً من الحيّز space في حالة (A) التي تمثل الحقل البعيد وفي حالة (B) التي تمثل الحقل القريب. محوّلة الجسم إلى صورة تامة. (C) تجارب الأمواج المكروية التي أجرتها مجموعة إليفثيريادز Eleftheriades [26] تثبت أن التبئير دون الطول الموجي ممكن. ولا تقيّده سوى الضياعات في المنظومة. (D) تُمثل المعطيات المقيسة مبيَّنة باللون الأحمر وتمّت مقارنتها بالنتائج المثالية المبيّنة باللون الأزرق. وتُقيّد الضياعات المَيْز إلى ما هو أقل من المثالي ولكنه أفضل من حدّ الانحراف المبيّن باللون الأخضر.

فالمواد التي لها سماحية كهربائية سالبة أو نفوذية مغنطيسية سالبة تدعم حشداً من صيغ سطحية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالبلازمونات السطحية، التي غالباً ما تشاهد عند السطوح المعدنية [6]، وهذه هي الحالات التي تستثار تجاوبياً. وبتضخيم الحقول الآخذة بالاضمحلال لمنبع ما، تستعيدها الصيغ السطحية من أجل تصحيح السَّعة amplitude في مستوي الصورة.

إن مصطلح العدسة يُعدُّ اسماً مغلوطاً حينما يصف التبئير بواسطة مواد ذات قرينة سالبة. لقد بيّنت بحوث حديثة [18، 19] وصفاً أكثر دقة للمادة ذات القرينة السالبة يتمثل في الفضاء السالب negative space. ولتوضيح ذلك نتصور شريحة من مادة سماكتها d حيث:

$\mu = -1$ و $\varepsilon = -1$

عندئذٍ يكون الأمر، من وجهة النظر البصرية، كما لو أن الشريحة انتزعت سمكاً مساوياً للفضاء الفارغ الذي يليها وأفنته. وبالفعل، فإن العدسة الجديدة تنقل الجسم البصري مسافة 2d تحت المحور لتشكّل صورة.

لقد واجه مفهوم العدسة المثالية perfect lens في البداية معارضة لا يستهان بها [20، 21]، ولكن الصعوبات المطروحة وجدت إجابات عنها عبر توضيح المفهوم وقيوده [22، 23]، بمحاكاة عددية [24، 25]، وبالتجارب في الأشهر القليلة الماضية.

وفي تجربة أُجريت حديثاً، رُتِّبت على لوحة دارات مسطحة نسخة ثنائية البعد من مادة ذات قرينة سالبة، أُخذت من عناصر متفرقة [26]. ويُبيّن تفصيل لهذه التجربة (الشكل 4C) موقع منبع نقطي والموقع المتوقع للصورة. أما الشكل 4D فإنه يُبيّن المعطيات التجريبية، حيث يمثل المنحني الأحمر النتيجة المقيسة ويقع كما ينبغي ضمن المنحني الأخضر، الذي يمثل النتيجة المحسوبة المحدودة بالانعراج. ويمكن أن تعطي منظومة أكثر كمالاً وأقل ضياعاتٍ تبئيراً أفضل.

تكونَ الشروط المؤدية إلى "العدسة المثالية" صارمة إلى حدٍّ ما ويجب تلبيتها بدقة [23]. وهذه مسألة خاصة عند التواترات الضوئية التي يصعب فيها العثور على أي نشاط مغنطيسي. ولكنْ هناك حلٌّ توفيقيٌّ يمكننا عمله إذا كانت جميع أبعاد المنظومة تقل كثيراً عن الطول الموجي: فكما ذُكِر من قبل، يكون الحقلان الكهربائي والمغنطيسي مستقلين على مدى مسافات قصيرة، فيمكننا أن نختار التركيز كلّياً على الحقول الكهربائية؛ إذ لا يكون من الضروري في مثل هذه الحالة إلا الموالفة إلى ($\varepsilon = -1$) مع إمكانية أن نتجاهل μ تماماً. وهنا سوف تقوم عدسة "الرجل الفقير" هذه بتبئير الحقول الكهربائية الراكدة، ولا يحدّدها سوى الضياعات في المنظومة. وهكذا وُضع اقتراحٌ بأن شريحة رقيقة من الفضة ثخنها بضعة نانومترات تستطيع أن تلعب دور عدسة [17]. ولقد أظهرت التجارب تضخيماً للضوء بواسطة منظومة كهذه بمقتضى التنبؤات النظرية [27].

البلّورات الفوتونية والانكسار السالب

لقد استخدمت أشباه المواد المبنيّة على عناصر ناقلة لتبيان الانكسار السالب بنجاح باهر. ولكن استخدام النواقل في تواترات عالية، وبخاصة التواترات البصرية، يمكن أن يكون إشكالياً بسبب الضياعات. لذا لجأ كثير من الباحثين إلى بديل آخر في دراستهم إمكانية الانكسار السالب في البنى الدورية التي تُعرف باسم البلّورات الفوتونية [28]. وتتألف هذه المواد بصورة نمطيّة من عوازل وهي تستطيع لذلك أن تبدي ضياعات منخفضة جداً، حتى في التواترات البصرية.

وفي البلّورات الفوتونية يكون حجم العناصر المبعثرة ودوريتها من رتبة الطول الموجي بدلاً من أن تكون أصغر منه بكثير. ويُعدُّ وصف البلّورة الفوتونية بأنها وسط متجانس وصفاً غير ملائم، لذا فمن غير الممكن تحديد قيم لكلٍّ من ε و μ. غير أن الظواهر الانعراجية في البلّورات الفوتونية يمكن أن تؤدي إلى إثارة أمواج تكون سرعتها الطورية وسرعة المجموعة فيها معكوسة بنفس أسلوب ما يحدث في أشباه المواد ذات القرينة السالبة. وعليه، يمكن مشاهدة الانكسار السالب في البلّورات الفوتونية تحت الشروط الصحيحة.

تبيَّن، في عام 2000، وبصورة نظرية، أن باستطاعة بضعة بنيانات configurations بلّورية فوتونية أن تبدي الأنماط نفسها من الظواهر البصرية المتنبّأ بها للمواد ذات القرينة السالبة، بما في ذلك الانكسار السالب والتصوير بواسطة سطح مستوٍ [23].

ومنذ ذلك الحين استُخدمت بضع نسخ من البلّورات الفوتونية لتبيان الانكسار السالب. فقد استُخدمت، على سبيل المثال، بلّورة فوتونية معدنية شُكّلت على هيئة إسفينٍ في تجربة قانون سنيل [29]. وفي مقاربة بديلة، استُخدم الانزياح في موضع خروج حزمة واردة بزاوية على أحد وجهي شريحة من بلورة فوتونية عازلة مسطحة لإثبات قرينة الانكسار السالبة الفعّالة [30]. وبالرغم من إنجاز هذه التجارب في تواترات أمواج مكروية، فإن البنى الكاسرة السالبة نفسها المصنَّعة لتلائم التواترات البصرية سيكون الفَقْد (الضياع) فيها أقل بكثير من الفَقْد في أشباه المواد المبنية على عناصر ناقلة.

لقد استُخدمت البلّورات الفوتونية أيضاً لتبيان التبئير focusing [31]. ويمكن الحصول على صور واضحة المعالم بحدَّة تبلغ $\lambda/5$ في تواترات الأمواج المكروية وذلك باستعمال عدسات شرائح بلّورية فوتونية [32]. ويُعدُّ العمل في البلّورات الفوتونية مثالاً للمجال الذي استحثّ فيه تحديدُ بارامتر جديد للمادة نشوء مفاهيم مماثلة في منظومات أخرى.

مواد جديدة وفيزياء جديدة

نحن نعتمد على بارامترات المواد الكهرمغنطيسية مثل قرينة الانكسار أو ε وμ، كي نستبدل بتفاصيل البنى الكهرمغنطيسية المعقدة وغير ذات الصلة بنى أصغر بكثير من الطول الموجي. وهذا يفسر، على سبيل المثال، لماذا نستطيع أن نفهم كيف تُبَئِّر عدسةٌ

ما الضوء من دون اهتمام بحركة كل ذرّة من الذرّات التي تتكون منها العدسة. فباستبعاد تعقيد المواد من التفكير، نصبح طُلقاء في استخدام خواص المواد لتصميم تطبيقات أو أن ندرس ظواهر انتشار موجية أخرى بمرونة كبيرة.

لقد أوضحت السنوات القليلة الماضية قدرة مقاربة أشباه المواد، إذ تُتاح لنا الآن استجابات مواد جديدة للدراسة والاستكشاف وبعض هذه الاستجابات ليس له نظير في المواد التقليدية. والأمثلة المعروضة هنا والتي تتضمن المغنطيسية الصنعية والانكسار السالب والتبئير بالحقل القريب ما هي إلا بواكير الظواهر الجديدة التي ستنبثق من تطوير مواد صنعية. ومع سيرنا قدماً، فإن مقدرتنا على إدراك وفهم الفيزياء الغريبة والمثيرة المتوقعة في أغلب الأحيان سيعتمد الآن على نوعية أشباه المواد.

REFERENCES المراجع

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

[2] M. C. K. Wiltshire et al., Science 291, 849 (2001).

[3] M. C. K. Wiltshire, J. V. Hajnal, J. B. Pendry, D. J. Edwards, C. J. Stevens, Opt. Express 11, 709 (2003).

[4] M. C. K. Wiltshire et al., Proc. Int. Soc. Mag. Reson. Med. 11, 713 (2003).

[5] T. J. Yen et al., Science 303, 1494 (2004).

[6] W. L. Barnes, A. Dereux, T. W. Ebbesen, Nature 424, 824 (2003).

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

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

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

[10] R. Shelby, D. R. Smith, S. Schultz, Science 292, 77 (2001).

[11] P. M. Valanju, R. M. Walser, A. P. Valanju, Phys. Rev. Lett. 88, 187401 (2002).

[12] D. R. Smith, D. Schurig, J. B. Pendry, Appl. Phys. Lett. 81, 2713 (2002).

[13] J. Pacheco, T. M. Grzegorczyk, B.-I. Wu, Y. Zhang, J. A. Kong, Phys. Rev. Lett. 89, 257401 (2002).

[14] J. B. Pendry, D. R. Smith, Phys. Rev. Lett. 90, 029703 (2003).

[15] A. A. Houck, J. B. Brock, I. L. Chuang, Phys. Rev. Lett. 90, 137401 (2003).

[16] C. G. Parazzoli, R. B. Greegor, K. Li. B. E. C. Koftenbah, M. Tanielian, Phys. Rev. Lett. 90 107401 (2003).

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

[18] J. B. Pendry, S. A. Ramakrishna, J. Phys. Cond. Matter 15, 6345 (2003).

[19] A. Lakhtakia, Int. J. Infrared Millimeter Waves 23, 339 (2002).

[20] N. Garcia, M. Nieto- Vesperinas, Phys. Rev. Lett. 88, 207403 (2002).

[21] G. W. 't Hooft, Phys. Rev. Lett. 87, 249701 (2001).

[22] J. t. Shen, P. M. Platzman, Appl. Phys. Lett. 80, 3286 (2002).

[23] D. R. Smith et al., Appl. Phys. Lett. 82, 1506 (2003).

[24] P. Kolinko, D. R. Smith, Opt. Express 11, 640 (2003).

[25] S. A. Cummer, Appl. Phys. Lett, 82, 1503 (2003).

[26] A. Grbic, G. V. Eleftheriades, Phys. Rev. Lett. 92, 117403 (2004).

[27] Z. W. Liu, N. Fang, T. J. Yen, X. Zhang, Appl. Phys. Lett. 83, 5184 (2003).

[28] M. Notomi, phys. Rev. B 62, 10696 (2000).

[29] P. V. Parimi et al., Phys. Rev. Lett. 92, 127401 (2004).

[30] E. Cubukcu, K. Aydin, E. Ozbay, S. Foteinopoulou, C. M. soukoulis, Nature 423, 604 (2003).

[31] P. V. Parimi, W. T. Lu, P. Vodo, S. Sridhar, Nature 426, 404 (2003).

[32] E. Cubukcu, K. Aydin, E. Ozbay, S. Foteinopolou, C. M. Soukoulis, Phys. Rev. Lett. 91, 207401 (2003).

مفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج★

ب. دوماس، أ. أنتوني، ب. أرنو، أ. برجرون، س. رينو، ج. ريمبو
مديرية الطاقة النووية في مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية

ملخص

يُستخدم الماء كحامل حرارة ومهدئ في الغالبية العظمى من محطات توليد الكهرباء النووية العاملة في الوقت الحاضر. في مفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء الغالي يحتفظ بالماء تحت نقطته الحرجة التي تُقدَّر بـ 21 بار و 374°C، مما يحدّ من فعالية الدورة الترموديناميكية لتحويل الطاقة (المردود الصافي حوالي 33%).

وعند تجاوز النقطة الحرجة، يستخدم عندئذ مصطلح "الماء فوق الحرج"، حيث تتيح الضغوط ودرجات الحرارة المتوصل إليها الحصول على كسب محسوس في المردود. وفوق ذلك، يتميز الماء فوق الحرج بصفات تثير الاهتمام. ففي هذه الحالات لايعود التصاحب بين البخار والسائل ممكناً، كما أنه لن تحدث أزمة غليان أبداً، وهي إحدى الظواهر التي تحدّ من القدرة الخاصة بمفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء الغالي. وكانت مفاعلات الماء فوق الحرج منذ الخمسينيات موضوعاً لدراسات مفصّلة كثيراً أو قليلاً، ولكنها تُركت وأصابها الإهمال. وفي بداية التسعينيات، استعاد هذا النمط من التصميم مكانته، واكتسب اهتماماً من جديد؛ ولذلك احتلت مفاعلات الماء فوق الحرج، في إطار المنتدى الدولي "الجيل الرابع"، موقع أحد الخيارات الكبيرة المطروحة دراستها لمفاعل من الجيل الرابع.

ومنذ عام 1999، بدأت مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية تهتم بالموضوع بتيقظ فعّال، وخاصة بالمشاركة في برنامج أوربي معروف بالمختصر HPLWP (مفاعل الماء الخفيف العالي الأداء). وتركزت دراسات البحث والتطوير في هذا السياق على ميادين النترونيات والترموهدروليك (ميكانيك السوائل الحراري) والمواد. وتنوي مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية أن تتابع نشاطاً محدوداً في البحث والتطوير حول هذا النمط من المفاعلات في إطار تعاون دولي، مع تفضيل دراسة صيغ الطيف السريع.

الكلمات المفتاحية: مفاعلات، ترموديناميك، ترموهدروليك، تحويل الطاقة، الثقالة المكروية.

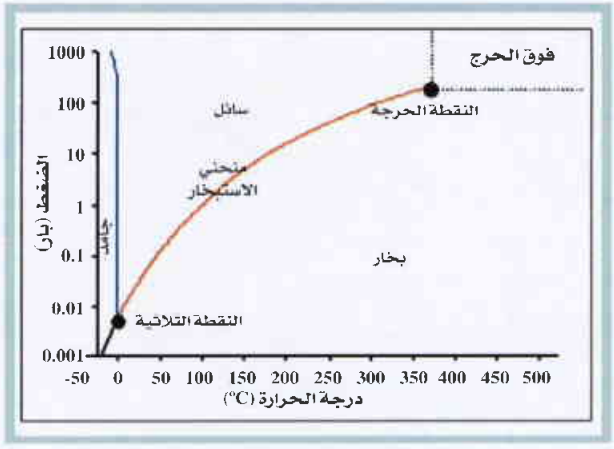
مقدمة

يُستعمل مصطلح فوق الحرج للمائع (المؤلف من جسم نقي) بصورة عامة عندما تتجاوز قيمتا الضغط ودرجة الحرارة لهذا المائع قيمتيهما اللتين تقابلان نقطته الحرجة (للماء: 221 بار و 374°C). وتستخدم الموائع فوق الحرجة منذ أكثر من قرن في العديد من العمليات الصناعية (استخراج مع فصل، واصطناع،....). وموضعها في مخطط الأطوار يمنحها بالفعل صفات فيزيائية كيميائية خاصة. وهي تستخدم منذ أربعين سنة تقريباً في ميدان الطاقة، علماً بأن دورات رانكين لتحويل الطاقة في محطات توليد الكهرباء من الوقود الأحفوري تتجه تدريجاً نحو الضغوط العالية ودرجات الحرارة المرتفعة. وأثار هذا الانطلاق في الوقت نفسه مشروعات بحث عديدة ترمي إلى استخدام الموائع فوق الحرجة كحوامل حرارة في مفاعل نووي (الماء خاصة، وإن كان غاز الكربون CO_2 لايمكن نسيانه). ولم تؤدِّ هذه المشروعات إلى تحقيقات صناعية، ولكنها احتفظت مع ذلك بالاهتمام بشأن حامل الحرارة هذا، وانطلقت برامج جديدة في البحث والتطوير في اليابان وكندا والولايات المتحدة الأمريكية وأوربا. وهكذا فإن مفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج قد جرى التمسك بها منطقياً في إطار المنتدى الدولي "الجيل الرابع" [1].

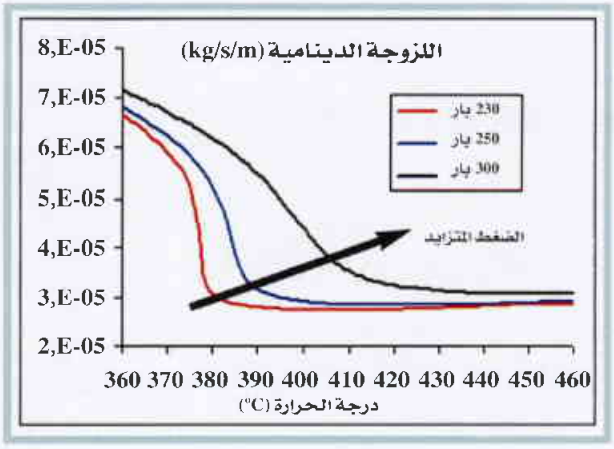
التذكير ببعض المعلومات الفيزيائية

تتميز النقطة الحرجة للماء بالضغط 221 بار ودرجة الحرارة 374°C. وفي المنحني البياني لتغير الضغط مع درجة الحرارة (الشكل 1)، هي النقطة الفريدة التي تحدّد نهاية منحني الاستبخار. وهذا المنحني يحدّ تماماً الخط الفاصل بين منطقتي السائل والبخار. ولايمكن فيما بعد هذه النقطة التمييز بوضوح بين هذين الطورين، ولن يوجد بعدها، في نطاق التوازن الترموديناميكي، تصاحب بين طوري السائل والبخار. وما يسمى عادةً "المائع فوق الحرج" يقابل المنطقة التي يكون فيها الضغط ودرجة الحرارة أكبر من قيمتيهما الحرجتين (الشكل 1). ويجري

★ نُشر هذا المقال في مجلة *RGN*, N°4, July-August 2003. وتمت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

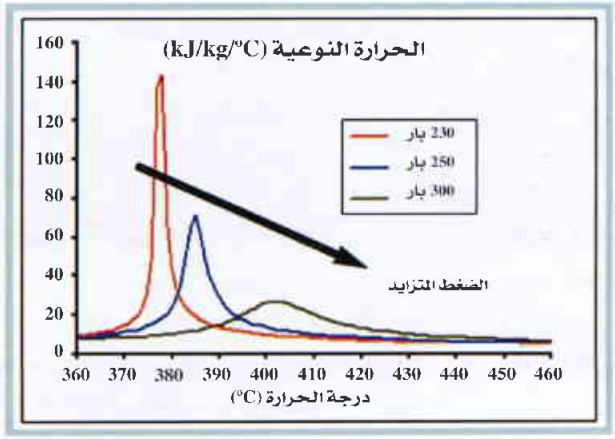


الشكل 1- المنحني البياني لتغير الضغط مع درجة الحرارة في حالة الماء.

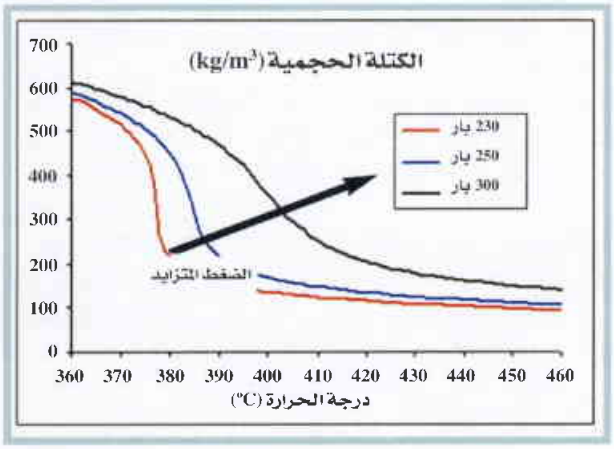


الشكل 3- تغيرات اللزوجة الدينامية بدلالة درجة الحرارة.

التأكيد غالباً على أن الصفات الفيزيائية تكون خاصة جداً، وهي متوسطة بين صفات الغاز وصفات السائل. وإذا لاحظنا الصفات الفيزيائية للماء ما بعد النقطة الحرجة (الأشكال 2 و 3 و 4)، نلاحظ منطقة تتغير فيها هذه الصفات تغيراً شديداً. وتقع هذه التغيرات حول النقطة المسماة النقطة الحرجة الكاذبة، وهي تقابل القيمة العظمى للحرارة النوعية تحت ضغط ثابت (الشكل 2). بالفعل، فإن للحرارة النوعية قيمة عظمى واضحة تماماً، وتزداد وضوحاً كلما اقتربنا من النقطة الحرجة. وكلما ابتعدنا بعداً كافياً عن منطقة القيمة العظمى هذه، نعود فنجد الصفات المميزة للسائل أكثر، تحت درجة الحرارة الكاذبة، بينما نجد صفات الغاز فوق هذه الدرجة. وهكذا تكون الصفات أميل إلى تمثيل حالة الغاز عند الضغط 300 بار والدرجة 375C° (عند الضغط 300 بار، تساوي درجة الحرارة الحرجة الكاذبة 402°C)، ويلاحظ أن اللزوجة الدينامية تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة. وفي درجات حرارة أعلى (ما فوق 450°C) نجد الصفات أميل إلى تمثيل حالة الغاز، مع لزوجة دينامية متزايدة مع ارتفاع درجة الحرارة. وعليه فإن الصفات الخاصة المنوّه بها



الشكل 2- تغيرات الحرارة النوعية بدلالة درجة الحرارة.

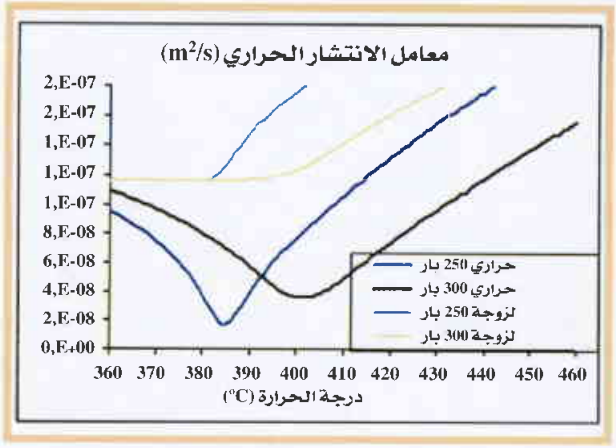


الشكل 4- تغيرات الكتلة الحجمية بدلالة درجة الحرارة.

آنفاً، والتي تميز حالة المائع فوق الحرج، تظهر إذاً حول درجة الحرارة الحرجة الكاذبة. لذلك لم يتم إثبات الطريقة الرابعة لانتشار الحرارة المسماة مفعول "بيستون" إلا في جوار النقطة الحرجة، ولم يشاهد هذا المفعول إلا في ظروف الثقالة الصغرية (المكروية).

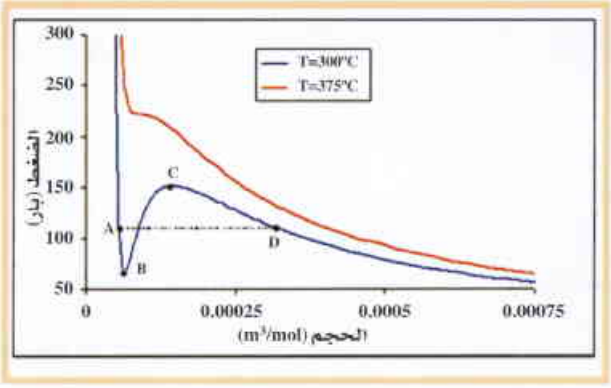
وفي التطبيقات المتعلقة بالطاقة، يتّضح أن القيم الكبيرة للحرارة النوعية تُشكّل ميّزة مفيدة رابحة، وهكذا فإن معامل الانتشار الحراري (الشكل 5) يتناقص بشدة حتى النقطة الحرجة الكاذبة (ويكون معدوماً عند النقطة الحرجة)، بينما تبقى اللزوجة الحركية ثابتة (ولذلك يأخذ عدد "براندت" قيمة عظمى). بينما تُشكّل التغيرات الكبيرة في الكتلة الحجمية، نظراً إلى صفات الماء المهدئة، صعوبة محتملة في سبيل تصميم مفاعل نووي يستخدم الماء المضغوط فوق الحرج.

ويسمح شكل المنحنيات المتساوية في درجة الحرارة التي تتنبأ بها معادلة "فان ديرفالس" في المنحني البياني بين الضغط والحجم (المسماة منحنيات كلابيرون، الشكل 6) بتوفير فهم

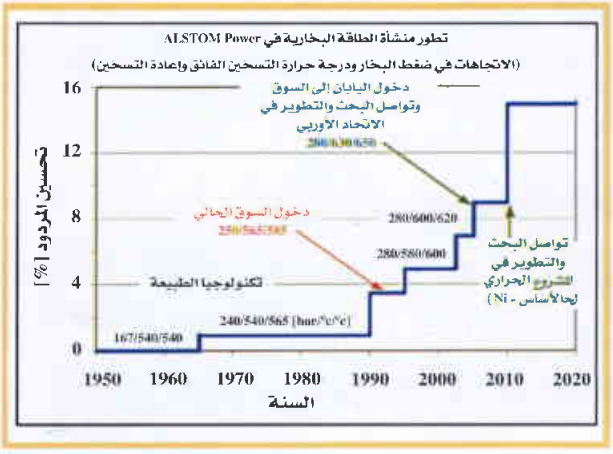


الشكل 5- تغيرات معامل الانتشار الحراري بدلالة درجة الحرارة.

جيد لخصوصيات الانتقال من سائل إلى بخار بحسب مستوى درجة الحرارة. فالمنحنيات المتسدرجات (متساويات درجة الحرارة) الواقعة تحت درجة الحرارة الحرجة يكون لها حدّان طرفيان. فنحصل، من أجل ضغط معيّن، على قيمتين للحجم 7 تقابلان توازنين ميكانيكيين مستقرين: النقطة A للسائل والنقطة D للبخار (الشكل 6). إذاً يتصاحب وجود الطورين



الشكل 6- متسدرجات "فان ديرفالس" في مخطط كلابيرون



الشكل 7- تطور المراجل العاملة بالفحم (حسب المرجع [2]).

السائل والبخار. وفائدة هذا التمثيل أنه يوضح الحالات المسماة شبه المستقرة (المتقلقلة) (خارج التوازن الترموديناميكي): الخط (AB) للسائل فوق المسخن والخط (CD) للبخار تحت المبرّد. أما للمنحني المتسدرج الواقع فوق درجة الحرارة الحرجة، فلا توجد سوى قيمة وحيدة للحجم الممكن، من أجل ضغط معين، ولاتوجد حينئذ حالات متقلقلة. لذلك يمكن أن ندرك أن الانتقال من سائل إلى بخار يكون أبسط فيما بعد الضغط الحرج (غياب الغليان ومن ثمَّ غياب أزمة الغليان).

لماذا ينبغي تجاوز النقطة الحرجة في مفاعل بالماء؟

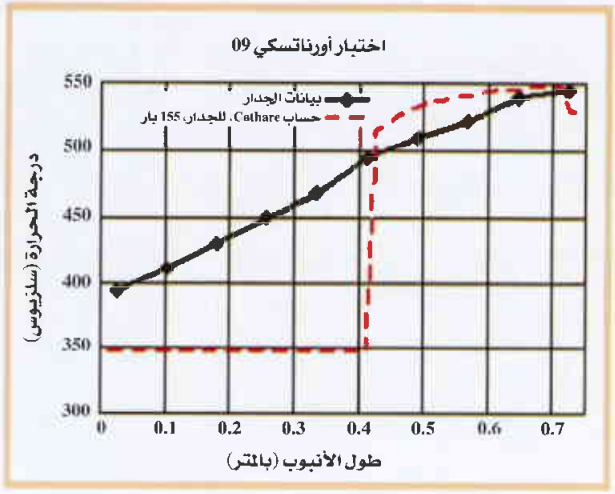
قيم الضغط الأولي المزمعة لمفاعل بالماء فوق الحرج (RESC) هي من رتبة 250 بار. وهذا يمثل زيادة مهمة جداً عن مفاعل الماء المضغوط (60%) ومفاعل الماء الغالي (260%). لذلك لابد من تحفيز قوي لإنجاز مثل هذه القفزة، ويجب أن يرتبط هذا التحفيز ارتباطاً أساسياً بالكسب المنتظر في مجال المنافسة، مع البقاء دوماً ضمن تقانة المفاعل بالماء الخفيف.

لاشك أن التطلع إلى ضغوط عالية ودرجات حرارة مرتفعة يؤدي إلى قيم مرتفعة لمردود تحويل الطاقة. وهذا هو السبيل المتّبع في المراجل الأحفورية ذات الدورة البخارية. وقد وضعت في الخدمة منذ الستينيات أولى المراجل فوق الحرجة العاملة بالفحم (الشكل 7). ومنذ ذلك الوقت حدث تحسين كبير في خصائص البخار. ويجري التفكير في الضغط 375 بار ودرجة الحرارة 700°C لأواخر هذا العقد. "والاكتفاء" بالضغط 250 بار ودرجة الحرارة 500°C عند الخروج من قلب المفاعل، يوصل إلى مردود صافٍ يبلغ 44%.

ثم إن الضغط فوق الحرج يوفر صفات حرارية مهمة ذكرت في الفقرة السابقة:

- معامل انتشار حراري ضعيف يقتضي معاملاً جيداً للتبادل الحراري.
- غياب أزمة الغليان، وهي ظاهرة تُحدّد أبعاد المفاعل بالماء الخفيف.

يمكن توضيح الفائدة من حامل الحرارة "فوق الحرج" بتجربة بسيطة تكمن في تسخين ماء يجري في أنبوب أسطواني. وقد أجريت التجربة المشروحة في [3] تحت ضغط 255 بار، وبدرجة حرارة دخول الماء قدرها 315°C، وتدفق عبر السطح قدره $1MW/m^2$. ويلاحظ أن درجة حرارة الأنبوب اللازم لإخلاء هذا التدفق (الشكل 8، منحني الخط الأسود) تزداد بانتظام شديد على طول محور الأنبوب. وتحت ضغط قدره 155 بار، مع بقاء جميع الأشياء الأخرى كما هي، يلاحظ تغير في درجة حرارة أسرع بكثير بسبب جفاف الجدار (الشكل 8، منحني الخط الأحمر، نتيجة حساب CATHARE2).



الشكل 8- درجة حرارة الجدار بدلالة محور الأنبوب.

تؤدي هذه الخصائص الحرارية إلى اقتراح مراجل نووية، كما هي حال الأحفوريات، تعمل في دورة مباشرة ذات مرور وحيد (الماء المحقون في المرجل يمر مرة واحدة بتماس مع الوقود قبل أن يفلت في الآلة العنفية). ويلاحظ عندئذ في مفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء الغالي أن الكمية اللازمة من حامل الحرارة (بالنسبة إلى كمية الوقود) تكون أقل بكثير. وهذا يتيح تصميم مراجل وأحواض حصر تكون أكثر تراصًّا، من ثمّ احتمال التوصل إلى منشآت أرخص ثمنا.

يلاحظ، إضافة إلى الجوانب المتعلقة بالمنافسة، أن الحصول على طيوف نترونية سريعة يمكن التفكير فيه، نظراً إلى صغر الكميات اللازمة من حامل الحرارة في مرجل الدورة المباشرة. وهذه الخاصية تثير الاهتمام في تصميمات الجيل الرابع.

التصميمات الأولى لمفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج

يعطي الجدول 1 بعض العناصر المميزة لأكثر المشروعات قدما [4. 5. 6. 7]. وكما ذكر آنفاً، فإن ما أثار إطلاق مشروعات جنرال إلكتريك ووستنغهاوس هو استخدام المراجل الأحفورية فوق الحرجة. وكانت هذه المشروعات طموحة جداً بشأن الثنائي ضغط – درجة الحرارة المقصود عند مخرج القلب.

إن المشروعات SPPR و SCOTT-R و FSPPR تسمح بتوضيح الإشكاليات المتنوعة المصاحبة لمفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج (الحراري منها أو السريع).

يُلاحظ أولاً أن معمارية المراجل وتصميم الوقود بعيدان جداً عن مفاعلات الماء الحديثة. كما يحدث ارتفاع في درجة حرارة حامل الحرارة بشكل نظامي بعد اجتياز القلب عدة مرات، ويتوقع حدوث إعادة التسخين الفائق النووي (بعد أول انفلات في عنفة). وتعقيد منشأة إنتاج البخار يبدو مهماً جداً في الحالات الثلاث.

ويقتضي الحصول على نسبة تهدئة كافية، في تصميمات الطيف الحراري، لتحسين استخدام الوقود UO_2 المخصّب قليلاً، أن يضاف مهدىء داخل القلب (لأن كمية حامل الحرارة غير كافية، انظر ملاحظات الفقرة السابقة)، مما دعا إلى تصميم أنابيب القوة في تكديسات الغرافيت في المشروع SCOTT-R والحوض المملوء بالماء الثقيل في المشروع SPPR.

بينما يجب أن يكون حجم حامل الحرارة في تصميمات الطيف السريع محدوداً جداً، بغية الحصول على نسبة تهدئة تسمح بالتوصل إلى كسب موجب لإعادة التوليد. وهكذا تمّ اقتراح تجميعة "فدْرة" خاصة جداً للمشروع FSPPR (الشكل 9). ولمّا كانت نسبة التهدئة الحاصلة ليست معدومة، فإن فقدان حامل الحرارة يمكن

الجدول 1- العناصر المميزة للمشروعات الأكثر قدماً.

التصميم	FSPPR (جنرال إلكتريك)	SCOTT-R (وستنغهاوس)	SPPR (جنرال إلكتريك)	B500-SKDI (معهد كورشاتوف)
تاريخ نشر الدراسات	1959	1962	1963	1980
القدرة MWe	300	1000	300	515
معمارية المرجل	حوض ماء ثقيل يحوي التجميعات	أنابيب القوى مدرجة في قدر من الغرافيت	حوض مبرّد بالهليوم يحوي التجميعات	حوض يحوي GV مدمجة
التجميعات	تجميعات مرتصّة ذات جريان داخلي	حزمة من أقلام حلقية متمركزة	تجميعات مرتصّة ذات جريان داخلي	حزمة من أقلام
الدورة وعدد المرورات في القلب	مباشرة، 3 مرورات	مباشرة، 4 مرورات	مباشرة، 3 مرورات	غير مباشرة
الضغط، بار	350	241	243	235
درجة حرارة الخروج من القلب، °C	621	566	566	380
المردود الصافي	40	43.5	44.3	38.1
الطيف	حراري	حراري	سريع	حراري
المهدئ	ماء ثقيل	غرافيت		ماء خفيف

أن يؤدي إلى زيادة في تفاعلية القلب (عامل موجب للتفريغ). وللتوصل إلى سلوكية مرضية عند التفريغ، اقترح المشروع FSPPR إضافة منطقة داخلية في القلب تأسر زيادة من النترونات في حالة التفريغ (منطقة اليورانيوم المنضّب المحتوية على مهدئ صلب).

والدراسات B500-SKDI في المعهد كورشاتوف هي أقل قدماً، ومع ذلك فإن خياراتها أقل طموحاً بكثير. ويتعلق الأمر من حيث الأساس "بمفاعل ماء مضغوط مدمج" يعمل مائعه الأولي فيما بعد الضغط الحرج.

تجديد دراسات مفاعل الماء المضغوط فوق الحرج

لم تؤدِّ المشروعات السابقة المعروضة آنفاً إلى أي تطبيقات عملية، ويفسر ذلك في أغلب التقدير بضرورة البدء بنشاط مهم في البحث والتطوير حول مختلف النقاط الصعبة في هذا النمط من المفاعلات بينما شهدت الستينيات التطور المدهش لمفاعلات الماء الخفيف. وجامعة طوكيو هي التي أنعشت اهتمام الأوساط الدولية بمفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج.

والمهم في أعمال جامعة طوكيو أنها انطلقت من مفاعلات الماء الغالي بدلاً من مفاعلات الماء المضغوط فوق الحرج التي يعود تاريخها إلى الستينيات. وكانت الفكرة ترمي إلى تحسين مفاعلات الماء الغالي بالانتقال إلى ضغط فوق حرج. وتسمح هذه الزيادة في الضغط بتوقع كسب في المردود، وتوقع تبسيط مهم أيضاً عن طريق إلغاء:

– منظومة إعادة دوران المائع الأولي داخل الحوض، مع مراعاة الصفات الترموهدروليكية تحت ضغط فوق حرج (دورة المرور الوحيد في القلب).

– الفاصلات – المجفّفات، نظراً إلى غياب تصاحب القطيرات مع البخار. كل هذا يقود إلى حوض أكثر تراصّاً من حوض مفاعل الماء الغالي.

ويوجز الجدول 2 خصائص التصميمين الرئيسين اللذين تقترحهما جامعة طوكيو وهما SCLWR و SCFR [9.8]، ويقارنها بخصائص التصميم ABWR. وتجدر ملاحظة القيم الصغيرة لصبيب القلب (بدون إعادة دوران)، والقدرات الحجمية المماثلة لقدرات مفاعل الماء المضغوط.

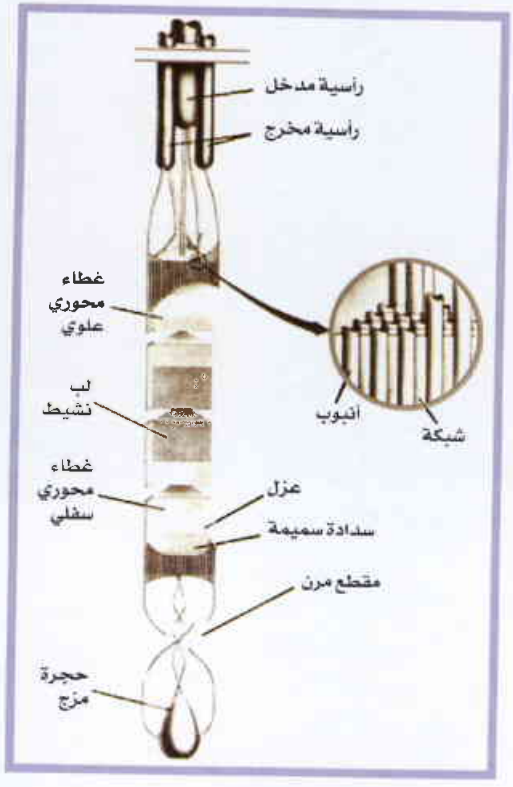
ورسما الحوض المقترحان في الحالتين قريبان نوعاً ما من رسوم أحواض مفاعلات الماء المضغوط (الشكل 10). ومن المؤكد، في حالة التصميم الحراري SCLWR، أنه يلزم إضافة التهدئة، وهو ما يتم تأمينه بأقلام مائية يجتاز فيها جزء من ماء التغذية قلب المفاعل من الأعلى إلى الأسفل. وفي التصميم السريع SCFR استعمل قلب غير متجانس (الشكل 11)، وأدرج مهدئ صلب (هدريدات) بين المناطق الانشطارية الخصبة لتأمين سلوك مقبول عند التفريغ (تنقص التفاعلية بسبب زيادة عمليات الأسر في اليورانيوم 238 في حالة الطيف فوق الحراري).

إثر الأعمال التي جرت في جامعة طوكيو، تمّ الشروع بعدة برامج بحث وتطوير:

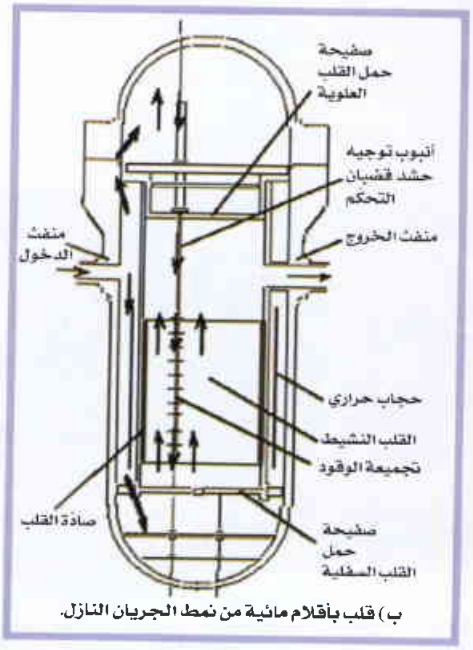
– مشروع CANDU-Xd'AECL [10]، دراسة صيغ متنوعة فوق حرجة للنموذج CANDU.

– دراسات (ثلاثة مشروعات صغيرة) تمولها USDOE في إطار NERI.

– دراسات محققة



الشكل 9- تجميعة FSPPR (جنرال إلكتريك).



ب) قلب بأقلام مائية من نمط الجريان النازل.

الشكل 10- التصميم SCLWR، رسوم الحوض (بأقلام مائية ذات جريان صاعد وجريان نازل).

الشكل 11- التصميم SCFR، مقطع نصف قطري للقلب.

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

الجدول 2- مقارنة خصائص التصميمين الرئيسين اللذين تقترحهما جامعة طوكيو (SCLWR و SCFR) و ABWR.

التصميم	ABWR	SCLWR-H	SCFR-H
القدرة، MWe	1356	1570	1728
الضغط، بار	72	250	250
المردود الصافي	34.5	44	44.5
درجتا حرارة الدخول/الخروج، °C	287/278	508/280	526/280
صبيب القلب، kg/s	14500	1816	1694
القدرة الحجمية kW/litre	50.6	101	144

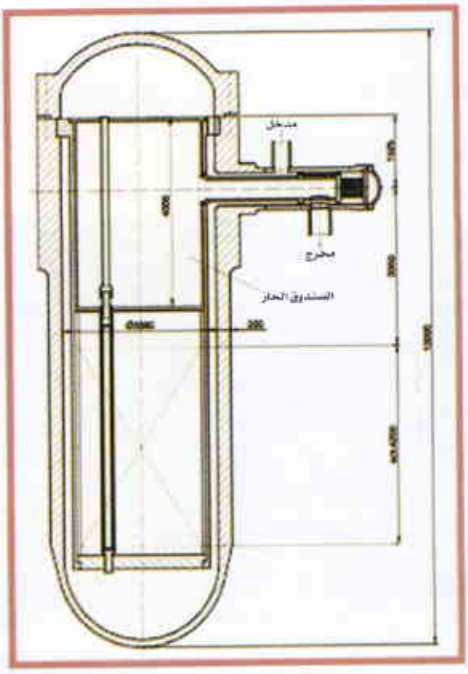
في أوربا (المشروع الخامس PCRD HPLWR (مفاعل الماء الخفيف العالي الأداء) بمشاركة فعّالة من مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية.

وفي إطار المنتدى الدولي "الجيل الرابع"، تجري مناقشة خطط للبحث والتطوير وينبغي لها أن تخطط بنية الدراسات المذكورة آنفاً.

دراسات مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية ومفاعل الماء الخفيف العالي الأداء

أطلقت مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية في عام 1999 برنامجاً صغيراً لتقييم وتحليل الفائدة من منظومة هذا المفاعل والنقاط الصعبة في هذه التقانة. وتدرس في هذا البرنامج الموضوعات التالية:

- المواد، مع الاهتمام على وجه الخصوص بآلية التآكل تحت الإجهاد (CSC).
- النترونيات، مع تطوير تخطيطة للحساب تشمل أخذ الترموهدروليك بالحسبان بصورة مبسطة، وتستخدم هذه التخطيطة في دراسات الجدوى والبحث عن إمكانيات التصميمين الحراري والسريع.
- الترموهدروليك، مع التوسع إلى المجال فوق الحرج لمقدرات الكودين FLICA4 و CATHARE2، علماً بأن هذين الكودين يتيحان تحقيق دراسات من نمط التشغيل – الأمان التي يتطلبها نشاط التقييم.



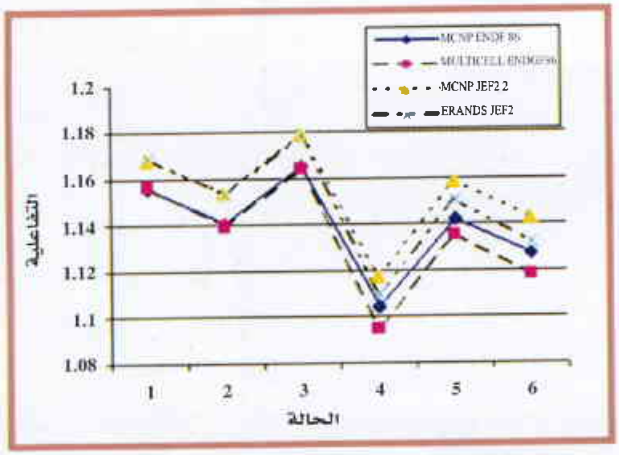
الشكل 12
المشروع HPLWR، رسم الحوض (أقلام مائية ذات جريان نازل).

تركزت الدراسات في إطار البرنامج الخامس PCRD HPLWR [10] على التصميمات الحرارية من نمط التصميمات التي تقترحها جامعة طوكيو. وهكذا كان المفاعل SCLWR-H هو المفاعل المرجعي للمشروع HPLWR (مفاعل الماء الخفيف العالي الأداء). وقادت النتائج الحاصلة إلى إدخال تطوير على التصميم الأولي. وهكذا اقترحت رسومات جديدة للحوض والتجميعة (الشكل 12).

دلّت دراسات النترونيات [12] على أن التهدئة غير كافية لاستخدام وقود فيه يورانيوم مخصّب. وفوق ذلك يجب أن تكون التهدئة أحسن توزيعاً في التجميعة لتفادي النقاط الساخنة. ومن وجهة نظر أكثر عمومية فقد تمّ إثبات:

- أن أغلبية المواد المزمع استعمالها (بمراعاة سويات درجة الحرارة) للبنى الداخلية في القلب وفي الغمد (أنواع الفولاذ، سبائك أساسها النيكل) تكون ماصّة وتعوق الرصيد النتروني ومن ثمّ عملية التخصيب.
- أن هذه التصميمات تؤدي دوماً إلى عدم تجانس شديد في نسبة التهدئة، محورياً وقطرياً، إذا يجب تهيئة مناطق محورية وقطرية للتخصيب (أو للمحتوى من البلوتونيوم)، وتحضير أجهزة كثيرة التعقيد أو قليلته لإضافة تهدئة وتوزيعها أفضل توزيع (هنا إضافة أقلام مائية تقتضي التغذية بالماء أو توزيعه). وذلك يحرّض تعقيداً كبيراً نسبياً في رسومات القلب والحوض.
- أن توزيع القدرة قطرياً يقتضي الفصل بحواجز بين تجميعات القلب، وهذه هي داخليات تكميلية.

أما فيما يتعلق بطرائق الحساب، فقد بيّنت العلامة البارزة المنظمة في إطار المشروع HPLWR، أن الأدوات المتوفرة كافية في هذه المرحلة التمهيدية لدراسة الجدوى (الشكل 13)، علماً



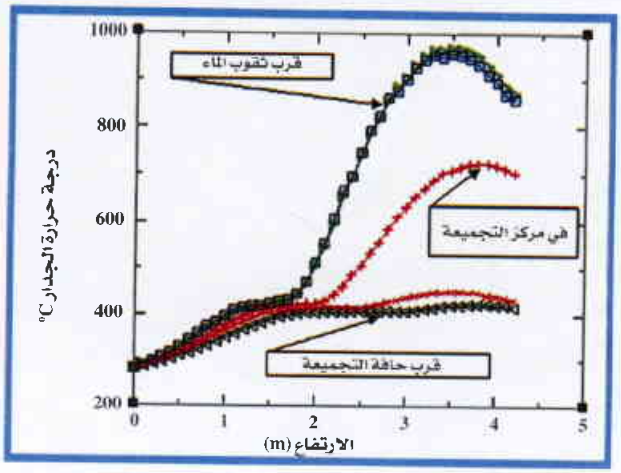
الشكل 13- "علاقة بارزة نترونية" حسابات معاملات التضاعف من أجل تخصيبات مختلفة وكثافات مختلفة.

بأن الجزء الأساسي من التفاوتات (ضعيفة عامة ولكنها تصبح مهمة في حالة المعاملات المضادة للتفاعل) مرتبط بمكتبات المقاطع المختارة (JEF2 و ENDFB6). غير أن هذه الدراسة كانت قد أجريت في ظل ترموديناميك مفروض (كثافة الماء) أو أن النتائج كانت حساسة للغاية لاقتران النترونيات بالترموهدروليك. ويجب الاستعاضة عن الاقتران الأولي المستعمل حتى الآن بتخطيطة أقل تقريبية (دراسة تجري حالياً لحساب مرجعي يقرن TRIPOLI4 بـ FLICA4).

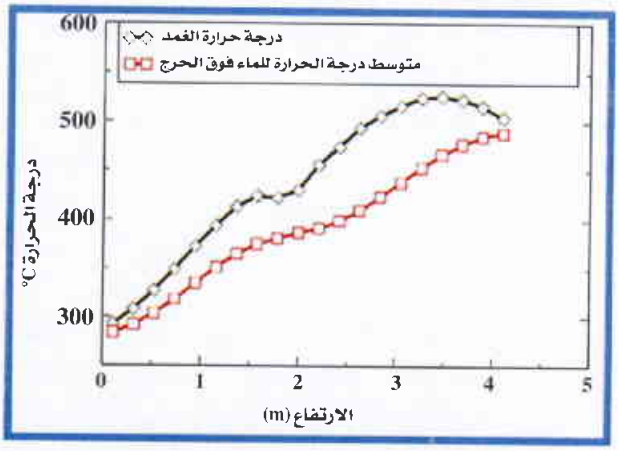
أثبتت حسابات الترموهدروليك للقلب FLICA4 شدة تحسس درجات حرارة الوقود بتوزيع مساحات الاحتكاك في التجميعة. ومن اللازم أن يكون توزيع الأقطار الهدروليكية متجانساً جداً في التجميعة، وإلا فستحصل نقاط ساخنة حتى في حالة توزيع مثالي للقدرة (الشكل 14). ففي هذه التجميعة أمكن التوصل، بتغيير القطر الخارجي للأقلام المائية، إلى إنقاص درجة الحرارة العظمى للغمد بشكل محسوس. يُشكل ذلك أحد التقييدات الإضافية في التصميم. بدأ تحليل السلوكية الانتقالية لهذه التصميمات الحرارية بحساب حوادث ضياع المبرّد (APRP). وبالفعل، فإن الضغوط العالية المتوقعة للاشتعال (250 بار) تجعل ظهور أثلام أولية أمراً مقلقاً. وقد بُذل جهد كبير جداً للتوسع بكود الترموهدروليك CATHARE2 إلى ما بعد النقطة الحرجة [13]. وتتيح أوجه التطور المتحققة حساب الحالة الابتدائية للمرجل (الشكل 15) وكذلك الانتقالات فوق الحرجة الثنائية الطور (أما بشأن البقية، فتسترجع المجال العادي لاستخدام الكود).

درست الانقطاعات في خطوط البخار وخطوط التغذية بالماء (الشكل 15). وهذه الخطوط الأخيرة تكون معيقة بشكل خاص، لأن المخزون القليل في الحوض (حوالي 50 طناً) يضيع بسرعة عند الثلم. ولكي يتم الحدّ من هذا الضياع في المخزون، ومن ثمّ من ارتفاع درجة حرارة الوقود، يلزم فتح بوابات تخفيف الضغط على خطوط البخار. ويصبح عندئذ ارتفاع درجة حرارة القلب أكثر اعتدالاً (الشكل 17)، ويمكن عندئذ التفكير في استخدام عمليات حقن للأمان، كما في مفاعل الماء المضغوط.

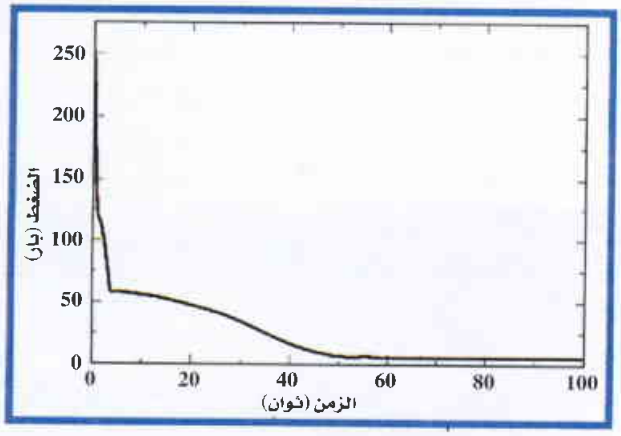
إن هذا التحليل الأولي لحوادث ضياع المبرّد (APRP) يجب ألا يحجب المبادرات الأخرى التي تُعدُّ نموذجية شائعة غالباً في مفاعلات الماء الغالي، والتي قد تكون إداراتها أكثر صعوبة في مفاعلات الماء فوق الحرج. وهذه هي حال المبادرات التي تقود إلى زيادة في التهدئة. ويمكن أن نذكر منها: الأصبّة (جمع صبيب) الفائقة في التغذية، أو خسارات مسخنات ماء التغذية، أو الإطلاقات المباغتة لعمليات الحقن للأمان تحت ضغط عالٍ (إن كانت موجودة). وتثير هذه المبادرات، في مرجل يعمل بمرور واحد في القلب، زيادة في نسبة التهدئة ومن ثمّ في التفاعلية (في تصميم حراري) دون أي إمهال (يعكس مفاعلات الماء الغالي حيث تكون كتلة المادة الأولية كبيرة جداً، ويكون هناك نظام لإعادة دورات الماء). فالسلوك العبوري لمفاعل الماء



الشكل 14- الجانبيات المحورية لدرجات حرارة الغمد في التجميعة HPLWR حسب الموقع القطري للقلم في التجميعة (الحساب FLICA4).

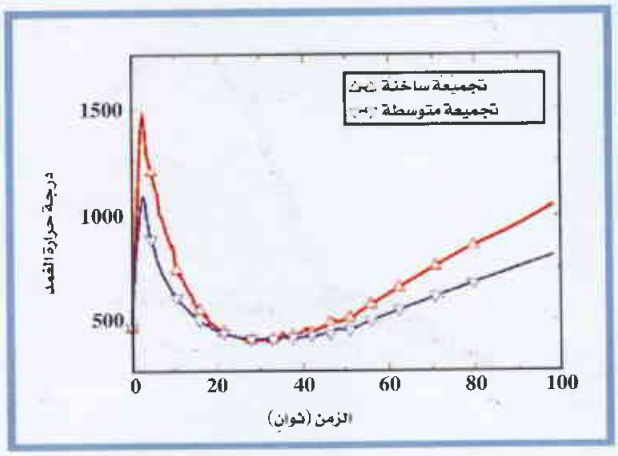


الشكل 15- الجانبيات المحورية لدرجات حرارة الغمد والمائع في تجميعة متوسطة القدرة (الحساب CATHARE2)



الشكل 16- حوادث ضياع المبرّد، حالة انقطاع في خط البخار- تغير الضغط بدلالة الزمن.

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



الشكل 17- حوادث ضياع المبرّد (APRP)، حالة انقطاع في خط ماء التغذية - تغير درجة الحرارة العظمى للغمد بدلالة الزمن.

فوق الحرج هو إذاً أساسي لتحقيق الجدوى. وتعتبر الجوانب المتعلقة بالمواد في هذه المنظومة هي النقطة الصعبة الأساسية. صحيح أن المواد يجب أن تلبي معايير عديدة، منها التماسك الجيد ميكانيكاً عند درجات الحرارة العالية (300 إلى 650°C)، والتماسك الجيد حيال التآكل المتعمم أثناء سنوات عديدة، وعدم التحسس بالتآكل تحت الإجهاد، ومقاومة التآكل تحت الإجهاد بمساعدة التشعيع (Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking-IASCC). وجرى التفكير بأنواع الفولاذ الأوستينتي وسبائك النيكل لغمد الوقود وبقية داخليات القلب، وبأنواع الفولاذ الحديدي المرتنسيتي للمكونات الموجودة خارج القلب. ومن الواضح أنه ينبغي الاستفادة من التقدم الذي تحقق بشأن المراجل الأحفورية، ولكن أوجه التقدم هذه غير كافية. وهذه هي بكل جلاء حالة مفاعيل التشعيع، ولكن النتائج المتوفرة محدودة فيما يتعلق بالتآكل تحت الإجهاد. وهذا ما دفع مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية إلى إطلاق برنامج لانتقاء المواد استناداً إلى اختبارات التآكل تحت الإجهاد في مُوْصدة فوق حرجة.

وتدرس مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية، فيما يتعلق بتصميمات الطيف السريع، رسومات للقلب يمكنها أن تلبي مواصفات تصاميم الجيل الرابع، ويجري البحث بصورة خاصة عن قلوب تعمل بدورة مغلقة ذاتية التوليد دون استعمال أغطية (خِصْبَة) يصاحبها أسلوب مبسّط لإعادة المعالجة. والحصول على تصميمات للقلب تلبي هذه المواصفات ومن ثمَّ تبدي سلوكاً مقبولاً في حالة التفريغ (يجب إنقاص تفاعلية القلب عندما يضيع حامل الحرارة)، يظهر أنه يُشكّل مشكلة صعبة اكتشفت لها مسالك مهمة. ولنذكّر أن "مفعول التفريغ" هو مشكلة تتكرر في مفاعلات الماء تحت المهدّأة التي تستخدم البلوتونيوم. وللحصول على سلوك مُرْضٍ في التفريغ، هناك حل معقول هو ما تقترحه جامعة طوكيو، أي القلب غير المتجانس الذي سيئته أنه يتطلب أغطية خِصْبَة.

الاستنتاجات والآفاق

من الواضح أن مفاعلات الماء فوق الحرج تتميز بشيء من الجاذبية في موضوع التوفير. والكسب المحتمل فيما يتعلق بمردود تحويل الطاقة وتراصّ المنشأة هو كسب كبير جداً، ويشكل قطيعة حقيقية مع تقانة مفاعل الماء الخفيف القائمة حالياً. ومن البديهي أن تتأكد الجدوى، علماً أن الجوانب المتعلقة بالمواد والتشغيل/الأمان تبدو أكثر الجوانب مدعاةً للانشغال.

ويحتمل جداً أن تكون لمفاعلات الماء فوق الحرج إمكانيات من حيث الدورة. ويبدو أن التوليد الذاتي مع قلب متجانس أمر ممكن، ولكنه صعب المنال مع الاحتفاظ بمعاملات مضادة للتفاعل سالبة. فنحن إذاً أمام معايير متعارضة، وهذه هي الحال غالباً لمنظومات الجيل الرابع.

ومما تجدر ملاحظته أيضاً أن الأعمال التي تحققت في هذه السنوات الأخيرة (وخاصة في إطار المشروع الأوربي HPLWR) تميزها كثيراً تصميمات جامعة طوكيو: مرجل دورته مباشرة مع مرور وحيد. وعلى الرغم من أن خيارات التصميم هذه جذابة جداً، إلا أن غيرها من التصميمات ينبغي أن تدرس (الدورات غير المباشرة أو التصميم بأنابيب القوة مثلاً) لأنها قد تسمح بالاستجابة لبعض الانتقادات الواردة آنفاً.

وتنوي مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية أن تتابع في السنوات القادمة جهداً محدوداً من نشاط البحث والتطوير على هذا النمط من المفاعلات، وخاصة في إطار دولي: البرنامج السادس الإطاري للاتحاد الأوربي ومنتدى "الجيل الرابع".

المراجع REFERENCES

[1] A technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, US DOE Nuclear Energy Advisory Committee and Generation IV International Forum, December 2002.

[2] Marion, J.Bill A., and Griffin T, Nsakala ya Nsakala, Controlling Power Plant CO2 Emissions: A long range View, Conference Proceedings, Power Generation. Brussels, 2001.

[3] Ornatsky A.P. et al, The research of temperature conditions of small diameter parallel tubes cooled by water under supercritical pressures, Int. Heat Transfer Conference, B 8.11, 1970.

[4]supercritical pressure power reactor, a conceptual design, Hand ford Laboratories, General Electric,

rapport HW-59684, 1959.

[5] keyfitz I.M., Gorman P.F, "1000 MWe Supercritical Pressure Nuclear Power Plant Design Study", Contract AT(30-1) - 2948, Westinghouse Electric Corporation-Atomic Power Division, 1964.

[6] Aase D.T. et al, Economic evaluation of a 300 MWe fast supercritical pressure power reactor, Contract AT(45-1)-1350, the Atomic Energy Commission and General Electric Company Energy Society, p.79, May 1966.

[7] Silin V.A., Voznesensky V.A. et Afrov A.M., The light water integral reactor with natural circulation of the coolant at supercritical pressure B-500 SKDI, Nuclear Engineering and design, Vol. 144, pp.327-336, 1993.

[8] Dobashi K., Oka Y., Koshizuka S., Conceptual design of a high temperature power reactor cooled and moderated by supercritical light water, International conference on nuclear Engineering, ICONE6, Nice, France, May 10-15, 1998.

[9] Oka Y. et al, Supercritical pressure light water cooled fast reactors, a competitive way of FR over LWR, International Conference on Nuclear Engeneering, ICONE8, Baltimore USA, April 2-6, 2000.

[10] Bushby S.J. et al, Conceptual designs for advanced high temperature CANDU reactors, International Conference of Nuclear Engineering, ICONE8, Baltimore, USA, April 2-6 2000.

[11] Squarer D. et al, Overview of the HPLWR Project and Future Direction, international Conference on Advanced Power Plants ICAPP'03, Cordoba, Spain, May 4-7, 2003.

[12] Rimpault G. et al, Core design feature studies and research needs for high performance light water reactors, International Conference on Advanced Power Plants, ICAPP'03, Cordoba Spain, May 4-7, 2003.

[13] Antoni O., Dumaz P., Preliminary Calculations of a Supercritical light Water Reactor Concept using the CATHARE Code, Proceedings of international conference on advanced Power Plants, ICAPP'03, Cordoba, Spain, May 407, 2003.

التلسكوبات تفتح مجالاً جديداً في البحث عن الأشعة الكونية*

دانيال كليري

ملخص

يقوم الباحثون ببناء أجهزة على أرض راسخة لتتبُّع مواضع نشأة الجسيمات الغامضة القادمة من الفضاء ولجني ثمار جديدة.

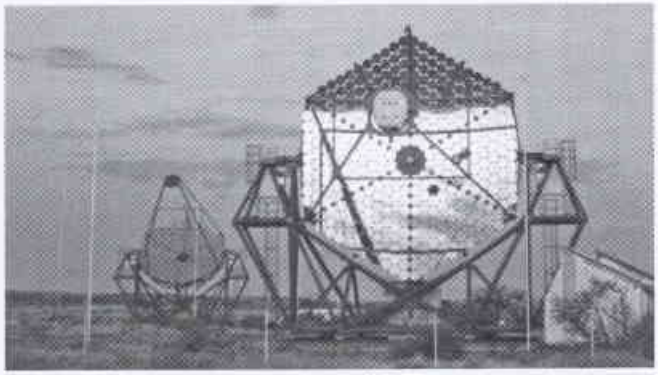
الكلمات المفتاحية: *علم الفلك، فيزياء فلكية، أشعة كونية، تلسكوب، مستعرات فائقة، مادة خفية، فيزياء الجسيمات.*

انطلق عالم الفيزياء النمساوي فيكتورهيس Victor Hess عام 1912 لاكتشاف مصدر الإشعاع الغامض الذي كان يشوّش التجارب الإلكترونية في عصره. فقد كان معظم الفيزيائيين يعتقدون أنه صادر عن مواد مشعة في الأرض. ولكنَّ هيس بيَّن إثر قيامه بسلسلة من التحليقات الجريئة بالمناطيد إلى ارتفاعات شاهقة بلغت بضعة كيلومترات أن هذا الإشعاع الغامض يزداد بازدياد الارتفاع، وأنه لا يتضاءل أثناء الليل، أو عند اقتراب حدوث كسوف كلي للشمس. واستنتج جدليّاً أن هذا الإشعاع الغامض يأتي من أعماق الفضاء وهو إشعاع يطلق عليه اسم الأشعة الكونية cosmic rays وقد حاز على اكتشافه جائزة نوبل في الفيزياء. ومع ذلك فما زال علماء الفيزياء الفلكية astrophysics، بعد مرور قرن من الزمن على تجارب هيس، لا يعرفون من أي مكان في الفضاء تأتي هذه الأشعة.

ربما يكون ذلك الأمر على وشك التغيير بفضل التلسكوبات الجديدة القوية المصمَّمة لكشف الضوء ذي الطاقات العالية جداً، والمؤلف من فوتونات شعاع غاما ذات الطاقات الواقعة في مجال الـ (10^{12} إلكترون فولط) أو (تِرًا Terra إلكترون فولط TeV). وخلافاً للتلسكوبات الفلكية العادية التي تحاول استراق النظر عبر الغلاف الجوي الأرضي المشوَّه لرؤية الأشياء من ورائه، فإن الأجهزة الجديدة – المعروفة بـ "تلسكوبات شيرينكوف[1] الهوائية المصوِّرة" imaging air Cerenkov telescopes – تستخدم أسلوباً غير مباشر: إنها تبحث عن ومضات ضوء مرئي تتولد في أعالي الجو عندما تصطدم به أشعة غاما. ويعتقد الفيزيائيون النظريون أن العديد من أشعة غاما هذه تتشارك في المنشأ مع الأشعة الكونية، وبالتالي لابد أن يكون تتبُّعها رجوعاً إلى مصادرها أيسر شأناً.

ظل الجيل الأول من تلسكوبات شيرينكوف يَمْسَحُ السماء طيلة عقدين من الزمن. وعلى الرغم من أنها كشفت بضعة مصادر واعدة لأشعة غاما ذات الطاقات الواقعة في المجال (TeV)، فإنها لم تستطع حتى الآن أن تثبت أن الأشعة الكونية تأتي من المكان نفسه. ويتوقع الباحثون أن الجيل الجديد والأقوى من هذه التلسكوبات، والذي وُضع قيد الاستخدام هذا العام، سوف يسد الثغرات ويكمل الصورة. وتأتي في الطليعة مصفوفة رباعية التلسكوبات Four-scope array أقيمت في ناميبيا وأطلق عليها اسم "منظومة الطاقة العالية الطيفية" High Energy Spectra scopic System (أو اختصاراً HESS) تكريماً لرائد الأشعة الكونية، مع العلم بأن هذه المصفوفة بدأت الرصد Camsberg في يناير/كانون الثاني المنصرم وتم تدشينها رسمياً في 28 سبتمبر/أيلول. وثمّة مصفوفة أخرى شرعت تعمل في أستراليا في مارس/آذار، وسوف يلتحق تلسكوب واحد في جزر الكناري في عملية اصطياد الأشعة الكونية في الخريف. وهناك خطة لإتمام مصفوفة موجودة في الولايات المتحدة الأمريكية عام 2006.

يقول كارل مانهايم Karl mannheim من جامعة ورزبيرغ في ألمانيا: "يعد علم فلك أشعة غاما ذات الطاقات العالية الواقعة في المجال (TeV) غريباً على عَالَم علم الفلك، فنحن نستخدم تقنيّات فيزياء الجسيمات بينما تختلف الثقافة الإجمالية عن ذلك". ويقول الناطق باسم مرصد هيس، وارنر هوفمان Warner Hofmann من معهد ماكس بلانك للفيزياء النووية في هايدلبيرغ "لقد شرع الفلكيون يأخذوننا على محمل الجد بفضل بعض النجاحات الحديثة التي حققتها تلسكوبات شيرينكوف القديمة والحديثة". وهذا صحيح بوجه خاص لأنه بالرغم من الدافع الأساسي لدراسة أشعة غاما ذات الطاقات العالية الواقعة في المجال TeV كان يتمثل في استقصاء الأشعة الكونية لأن هذا الجزء من الطيف يفتح آفاقاً واعدة لدراسة الأجرام الفلكية التقليدية مثل "النبّاضات" pulsars و"الوماّضات" blazars و"نوى المجرات النشطة" وحتى "انفجارات أشعة غاما والمادة الخفية" dark matter" الغامضتين.



انظر اعلاه، اثنان من أربعة صحون من منظومة الطاقة العالية الطيفية ذات الاثني عشر متراً، غامسبرغ، ناميبيا

* نشر هذا المقال في مجلة Scienc, September 2004.

(1) تشيرينكوف: فيزيائي روسي حاز على جائزة نوبل لاكتشافه عام 1934 إشعاعاً يصدر عن أوساط مائعة معينة عندما تجتازها جسيمات مشحونة بسرعة تفوق سرعة انتشار الضوء فيها، كما تصدر عن أشعة غاما لدى انطلاقها فيها.

ليست الأشعة الكونية إلا نوى ذرّية صغيرة - معظمها نوى هدروجين أو بروتونات - تنقُّ في الفضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء. ولا يمكن لنجم عادي أن يسرِّع المادة إلى سرعات لا يمكن تصورها كهذه فلا بد من وجود آلية أخرى عالية الطاقة تجري في أعماق الفضاء. ويشتبه الباحثون بأن آلية كهذه تحدث في مستعر فائق supernova، ولكنهم لا يملكون حتى الآن دليلاً حاسماً. وتكمن المشكلة في أن الأشعة الكونية لا تخبرنا من أين أتت. ولما كانت هذه الجسيمات تحمل شحنة كهربائية فإن حقولاً مغنطيسية[2] بين نجمية interstellar تشقّ مساراتها بحيث يغدو من المستحيل معرفة مصدرها. ولكن إذا كان الفيزيائيون النظريون على حق في قولهم بأن الأشعة الكونية تنطلق أساساً من بقايا مستعر فائق، فإنه لابد وأن يكون لهذه التقوية ناتج فرعي يتمثل في أشعة غاما ذات الطاقات العالية الواقعة في المجال (TeV) التي تشق طريقها في الفضاء مستقيمة كالسهم لكونها عديمة الشحنة. وتضيف النظرية بأننا إذا استطعنا معرفة من أين تصدر هذه الأشعة فإننا نستطيع عندئذ العثور على مصدر للأشعة الكونية.

ولكن لا تبوح أشعة غاما بأسرارها بسهولة، لأنها لا تستطيع اختراق جو الأرض. أما أول مشهد لهذه الأشعة رآه الفلكيون فقد كان بمساعدة مكاشيف تدور حول الأرض بين عامي 1991 و2000 وذلك من مرصد كومبتون Compton للأشعة الكونية التابعة لوكالة الفضاء الأمريكية ناسا (NASA). وأما مرصد شيرينكوف للأشعة الكونية (CGRO) فلم يكن حساساً للفوتونات من الصنف TeV. ولدراسة هذه الفوتونات استخدم علماء الفيزياء الفلكية خدعة الحدس المضاد counterintuitive trick وهي جعل الغلاف الجوي جزءاً من المكشاف.

عندما ترتطم أشعة غاما أو الأشعة الكونية بأعالي الجو فإنها تقصف ذرّةً ما ويؤدي الحطام المنطلق بسرعة هائلة إلى قصف ذرّات أخرى يؤدي حطامها إلى قصف المزيد من الذرّات وهكذا. وسرعان ما ينشأ عن ذلك زخات من ملايين الجسيمات تتساقط كالمطر على سطح الأرض وتسير في بداية الأمر بسرعة عالية تفوق سرعة الضوء في الهواء، ولكي تخفف الجسيمات من سرعتها تطلق فوتونات من الضوء الأزرق تعرف بإشعاعات شيرينكوف. وقد اكتشف الباحثون ضوء شيرينكوف لأول مرة من الأشعة الكونية في خمسينيات القرن المنصرم، إلا أنهم لم يتبينوا كيفية التمييز بين زخات أشعة غاما الهوائية المألوفة وزخات الأشعة الكونية الهوائية إلا في الثمانينيات، إذ إنّ لكل من نمطي الزخات هذه شكلاً يختلف قليلاً عن الآخر.

كانت أول أداة التقطت ضوء شيرينكوف من إحدى زخات الهواء وكوّنت له صورة هي تلسكوب ويبل Whipple - الذي يبلغ قطر صحنه البصري عشرة أمتار والكائن على قمة جبل كيت Kitt في أريزونا Arizona. ولا يحتاج تصنيع مثل تلسكوبات شيرينكوف هذه إلى الدقة التي تتطلبها التلسكوبات الفلكية العادية لأنها ترصد أشياء لا تبعد إلا عشرة كيلومترات في الجو العلوي وحسب. ولكن الضوء الصادر عن الزخات الهوائية خافت جداً - إذ لا يصل منه إلى سطح الأرض إلا 100 فوتون في المتر المربع الواحد - لذا يفضل للتلسكوب أن يكون في مكان عالٍ وجاف وشديد الظلام. يُجمِّع صحن التلسكوب هذه الإشارة الخافتة في مصفوفة للمضاعفات الضوئية photomultipliers بمقدورها كشف الفوتونات المفردة فتشكّل صورة تقريبية للزخة.

تُعدُّ الصورة هذه مفتاحاً، حيث إن شكلها لا يميز أشعة غاما عن الأشعة الكونية فحسب، بل ويساعد الباحثين على حساب الاتجاه الذي قدمت منه أشعة غاما. كما وتخبرنا كثافة الصورة - أي عدد الفوتونات التي شكلتها - عن طاقتها. ففي عام 1989 استطاع مرصد ويبل لأول مرة اقتفاء أشعة غاما من الصنف TeV رجوعاً إلى مصدر معروف هو سديم السرطان crab nebua الذي يُعدُّ بقية مستعر فائق يعتقد أنه انفجر عام 1045.

لقد حدث الاختراق اللاحق في منتصف تسعينيات القرن الماضي نتيجة تجربة أوربية تعاونية أطلق عليها اسم هيغرا HEGRA (أي علم فلك الأشعة الكونية العالية الطاقة High Energy Gamma Ray Astronomy). وقد جرت هذه التجربة في جزيرة لابالما Lapalma من جزر الكناري. ويشتمل مرصد هيغرا على تشكيلة منوعة من مكاشيف أشعة غاما ذات الطاقات العالية في المجال (TeV)، لكن أكثرها نجاحاً، حسبما يقول مانهايم، مصفوفة من خمسة تلسكوبات شيرينكوف تصويرية تتوزع في ساحة قطرها مئة متر ويقع أحدها في المركز. أما الفائدة التي يمكن جنيها من وجود مصفوفة من التلسكوبات فتتمثل في أن المشاهد المختلفة لزخة الهواء تسفر عن رسم صورة ثلاثية الأبعاد للحدث، الأمر الذي يجعل التمييز بين أشعة غاما المألوفة والأشعة الكونية أفضل، بالإضافة إلى أنه يجعل تحديد الاتجاه الذي قدمت منه الأشعة الكونية أكثر دقة، (انظر الشكل المرافق). ويقول رينيه أونغ Rene Ong من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجيلوس "تُعدُّ تقنية التصوير المجسَّم فعّالة بشكل هائل".

لقد شجع نجاح تلسكوبات هيغرا على وضع اقتراحات لبضع مصفوفات أخرى ذات صحون أكبر وإلكترونيات أفضل. وقد اشترك فريق من هيغرا مع آخرين وشرعوا في بناء مرصد هيس في غامسبيرغ Gamsberg في ناميبيا. كما باشر فريق ويبل تركيب منظومة تتضمن مصفوفة تلسكوبات تصويرية للإشعاعات عالية الطاقة جداً (أطلق عليها اسم VERITAS اختصاراً) تشتمل المنظومة مبدئياً على أربعة تلسكوبات موزَّعة على قمة جبل كيت Kitt Peak. وثمة فريق ياباني وأسترالي شرع بإقامة أول جيل من مراصد شيرينكوف في وومیرا Woomera بأستراليا يشتمل على أربعة مراصد جديدة عرفت باسم (كانغارو ثلاثة CANGAROO III).

كما وشكّل أفرادُ آخرون من هيغرا فريقاً جديداً مع مانهايم ليجرِّبوا مساراً آخر يتمثّل في بناء تلسكوب واحد أكبر بكثير من التلسكوبات الأخرى بلغ قطره سبعة عشر متراً ويُعرف باسم ماجيك MAGIC اختصاراً وذلك على جبل لابالما LaPalma. ويستطيع هذا التلسكوب اكتشاف أشعة غاما الخفيضة الطاقة من الأرض.

(2) المترجم: يخضع الجسم المشحون بشحنة (q) والمنطلق بسرعة (v) في حقل مغنطيسي (B) إلى قوة (f) التي تُعطى بالعلاقة الشعاعية ($\vec{f}=\vec{q}\,\vec{v}\wedge\vec{B}$).

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

منظور جديد، تساعد المشاهد المتعددة لزخة الهواء على تتبع مصدر أشعة غاما

بدأ فريق مرصد HESS عمليات بحث روتينية في كانون الثاني/يناير المنصرم، وحذا حذوه فريق CANGAROO III في آذار/ مارس. وقد أعلن كلا الفريقين بعضاً من نتائجهما الأولية في اجتماع عُقد بشأن "علم الفلك المتعلق بأشعة غاما العالية الطاقة" في هايدلبيرغ في تموز/ يوليو (مجلة Science.6 آب/ أغسطس، صفحة 763). أما مرصد فريتاس (VERITAS) الذي استغرق تركيبه زمناً أطول لأسباب تمويلية ففيه تلسكوب أوليّ النمط وسيوضع في الخدمة والعمل عام 2006. ويقول الناطق باسم فريتاس تريفور ويكس Trevor Weeks من مرصد ويبل "لقد بيّنا صحة عمل هذه التقانة وعلينا الآن فقط تكثيرها". ويزمع مرصد ماجيك البدء في عمليات الرصد الروتينية في أكتوبر/ تشرين الأول من هذا العام.

يستعد الباحثون لتلقي فيض من المعطيات الجديدة. يقول هوفمان: "كانت المشكلة الرئيسة في الماضي تتمثل في أننا كنّا نرصد 18 أو 19 مصدراً فقط من مصادر أشعة غاما ذات الطاقات الواقعة في المجال (TeV)، أما التلسكوبات الجديدة ذات المقدرة الخارقة على التقاط أشعة غاما من بين إشعاعات الخلفية Background فلسوف توسع بسرعة هذا الدليل إلى مئة مصدر أو يزيد، بما في ذلك بقايا المستعرات الفائقة وغيرها من الأجرام السماوية الغريبة في المجرات النائية". ويقول الناطق باسم كانغارو ثلاثة ماساكي موري Masaki Mori من جامعة طوكيو"سيكون ذلك فاتحة علم فلك حقيقي".

يقول الباحثون إن أول مشروع كبير يسعون إلى تحقيقه هو معرفة ما إذا كان المستعر الفائق يولّد أشعة كونية فعلاً. ويقول هوفمان أنه عندما تصطدم المادة المنطلقة بسرعة من المستعر الفائق بالغاز بين النجمي interstellar فإنها تولّد موجة صدمية "فتمتطي الجسيمات، التي عادة ما تكون من بروتونات، هذه الموجة مثلما يمتطي المتزلق لوح التزلج فوق أمواج البحر". هذا وتنساب معظم هذه الزلاجات المنطلقة بسرعة الضوء في الفضاء على شكل أشعة كونية، إلا أن قلّة قليلة منها تصطدم بذرّات الغاز بين النجمي فتفنى، وتولّد كلٌ منها بيوناً[3] معتدلاً من الناحية الكهربائية لا يلبث أن يتفكك إلى شعاعَي غاما اثنين من الصنف ذي الطاقة الواقعة في المجال (TeV).

ولكن ليست هذه هي الآلية الوحيدة التي تولد أشعة غاما من الصنف TeV. فباستطاعة الإلكترونات المسرَّعة التي تتصادم مع فوتونات منخفضة الطاقة أن تولد هذه الأشعة. ولكي يكتشف الباحثون فيما إذا كان بعض أشعة غاما، على الأقل، تولّده البروتونات وليس الإلكترونات، فسيكون عليهم أن يحاولوا تتبُّع مصدر أشعة غاما حول بقايا المستعر الفائق، لأنه قد يكون للآليتين توزيعات مختلفة. ويقول ويكس: "لا يمكن حلّ غموض الأشعة الكونية بين عشية وضحاها، إذ لن يكون بإمكان رصد واحد حل هذا اللغز". ويحذّر الباحثون من أن النتيجة ليست استنتاجاً مفروغاً منه. ويقول هوفمان: "إذا لم يثبت أن المستعرات الفائقة هي مصدر الأشعة الكونية، فإنه سيكون علينا أن نعيد التفكير بنماذجنا models".

حتى ولو لم تحن مطلقاً تلك الثورة، فإن تلسكوبات شيرينكوف مازالت تطلق مفاجآت. فعندما أقيمت التلسكوبات الأولى، كان الباحثون يركزون على مسألة الأشعة الكونية. ويقول ويكس: "لن أفاجأ إذا ما اقتصرنا على رصد بقايا المستعر الفائق فقط". بيد أن قدراً كبيراً من المنابع التي وجدوها كانت في الواقع أجراماً أكثر بعداً تقبع في مجرات أخرى. وعندما نجح الباحثون بتحديد هذه المنابع الواقعة وراء المجرات عن طريق البحث عنها بأطوال موجية أخرى فقد ذهلوا لتنوّعها الهائل. تتضمن هذه التشكيلة المنوَّعة نوى مجراتية نشطة يعتقد أن ثقوباً سوداء متلاحمة تحتل مراكزها. وغالباً ما تصدر هذه الثقوب السوداء دفقات من الجسيمات بسرعات نسبوية تستطيع توليد أشعة غاما. وهناك أيضاً مجموعات متماسكة بقوة من النجوم الضخمة جداً والنجوم الحارة التي تعرف بنجوم (OB) تنتج عنها هبَّات من رياح نجمية تولد موجة صدمية لدى ارتطامها بالوسط بين النجمي.

يقول مانهايم: "ربما كان الأمر الأكثر فتنة هو إمكانية تحديد هوية المادة الظلماء dark matter". فنحن نعلم من سلوك المجرات أنها لابد أن تحوي بداخلها مادة تفوق ما نستطيع رؤيته في النجوم الساطعة والغبار المتوهج. ويعتقد الفيزيائيون النظريون أن هناك بعض الجسيمات من المادة الخفية تتجمع حول مراكز المجرات أو في ثقوبها السوداء. فإذا كانت جسيمات المادة الظلماء ومضاداتها تلغيان إحداهما الأخرى، فإنها ستولّد أشعة غاما من صنف (TeV) تستطيع تلسكوبات شيرينكوف رؤيتها. وقال فريق مرصد هيس في ملتقى هايدلبيرغ إنهم رصدوا أشعة غاما تصدر عن مركز مجرتنا. ويقول هوفمان: "إن هذه الطاقة لا تتفق مع كون مصدرها المادة الظلماء"، لكنه يُضيف القول بأنهم "لايستطيعون استبعاد ذلك التفسير".

لايعرف الرواد، عند هذه الحدود للطاقة العالية بعد ما الذي سيعلمونه عن هذه الأجرام الفائقة الغرابة لدى دراستهم أشعة غاما من الصنف (TeV)، ولكنهم يتطلعون إلى معرفة المزيد. ويقول مانهايم: "علينا أن نستعد لاكتشاف شيء جديد". كما يضيف أونغ Ong قائلاً: "مازالت نتائج مرصد هيس في بدايتها".

(3) البيون pion: جسيم أولي كتلته أكبر من كتلة الإلكترون بـ 273 مرة ويوجد منه ثلاثة أنواع يرمز لها بـ π^+ و π^- و π^0.

ولادة نـــواة الخليـــة*

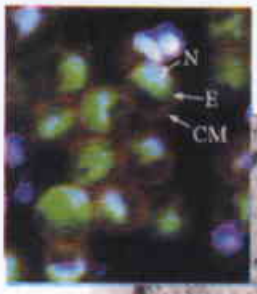
إليزابت بنيسي

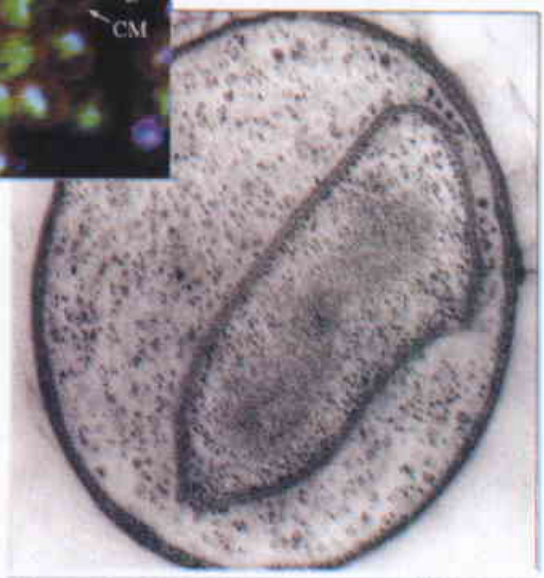
ملخص

متـى وكيـف نشـأ مركـز القيـادة والتحكم فـي الخلايـا الحقيقيـات النـوى.

الكلمات المفتاحية: *الإشريكية القولونية، الخلايا حقيقيات النوى، الخلايا بدائيات النوى، بدائيات.*

ليه تريللس، فرنسا- إننا نختلف عن الإيشيريكية القولونية Escherichia coli بالنواة. فالخلايا الحقيقيات النوى eukaryotic cells التي تعد لبنات البناء الأساسية في الإنسان والنبات والمتحولات amoebae تملك مراكز القيادة المتخصصة المملوءة بالدنا DNA، بينما تفتقر إليها البكتريا (الجراثيم) والبدئيات archaea وأوّليات النوى prokaryotes. ويمكن أن يكون ظهور النواة على مسرح الحياة قد مهّد الطريق للتنوّع الكبير الذي نشاهده اليوم في الحياة العديدة الخلايا. وبذلك فتنت هذه العُضَيّة organelle المحاطة بغشاء جمهور العلماء ودفعتهم إلى استكشاف تطور المتعضيات الحية الحديثة. ويقول باتريك فورتر P. Forterre، مختص البيولوجيا الجزيئية في جامعة باريس الجنوبية في مدينة أورسي بفرنسا: "إن مسألة أصل نواة الخلية مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بمسألة أصلنا نحن بالذات".





أولى نواة محكر النشوء. لا يفترض امتلاك البكتريا للنواة ولكن النوع (جيمانا أو بسكيري غلوبس globus Gemmata obscuri) يملك نواة. وتبين النظرة الفاحصة عن قرب وجود الدنا (N، أزرق) ضمن غلاف نووي مناسب (E، أخضر) وكذلك الغشاء السيتوبلازمي (CM، أحمر).

وفي شهر تموز/ يوليو من هذا العام، اجتمع فورتر Forterre ونحو عشرين من المختصصين بعلم الأحياء الدقيقة وبيولوجيا التطور والبيولوجيا الخلوية، وآخرون غيرهم هنا في مدينة ليه تريللس [1] بهدف تفصيص النظريات الرئيسة التي تبحث في أصل النواة. وفي حين تمسك أحد المعسكرات بأن هذه العضيّة (أي النواة) جاءت نتيجة اندماج ميكروني، يجادل معسكر آخر غيره بأن بقايا (ثمالات) النوى المتوارية في بعض البكتريا (الجراثيم) تشير إلى أن هذا الابتداع الحاسم (أي النواة) أقدم بكثير مما يعتقد بشكل شائع. وربما كانت أكثر النظريات راديكاليّة بين جميع النظريات تلك التي تضع الفيروسات في مركز هذا التشكل الخلوي.

وفي نهاية هذا المؤتمر، تركت المناقشات المتعلقة بأصل النواة لدى البيولوجيين استبصاراً رئيساً يتمثل في أنهم بخسوا تعقيد طليعة الخلايا الحقيقيات النوى التي ناهز عمرها 1.5 بليون سنة حقّه. كما أشارت البيانات التي قدموها للمؤتمر إلى امتلاك هذه الخلية السلفية أعداداً من الجينات والبنى والسيرورات الكيميائية المتنوعة تفوق ما كان يظن من قبل.

ولكن حينما وصل الأمر إلى تعليل كيفية ولادة النواة، لم تقفز فرضيّة وحيدة بعينها إلى السطح، ويقول فورتر: "إنها أشبه باللغز"، فالجميع يسعى لضم أجزاء المعلومات المتاحة بعضها مع بعض، ولكننا لا نعرف ما هو الصحّ منها، وما إذا كان بعض أجزاء المعلومات الحاسمة مفقودة".

ومنذ زمن طويل اعتبر البيولوجيون النواة القوة المحركة الرئيسة المسؤولة عن التعقيد الكبير في الخلايا الحقيقيات النوى. ويُنسَب اكتشاف النواة قبل 180 سنة إلى النباتي الاسكوتلندي روبرت براون R. Brown أثناء دراسته نباتات الأوركيديا orchids، (الفصيلة السحلبية) تحت المجهر. وفي نشرته العلمية الأصلية، أطلق روبرت على هذه البنية الخلوية المستحدثة اسمين هما "هالة areola" و"نواة nucleus". ولكن الثانية هي التي كبتت. والآن، كما في السابق، ظل التعقيد الشديد لهذه العُضَيّة باعثاً للرهبة. ويقول أوجين كونين E. Koonin من المركز الوطني لمعلومات التِّقَانة الحيوية في مدينة Bethesda بميريلاند Maryland: "إن النواة استحداثاً تطورياً هائلاً".

تتكون كلّ نواة في الخلية الحقيقية النواة من غشاء ليبيدي البنية

* نشر هذا المقال في مجلة Sciene, 6 August 2004.

(1) "أصل النواة"، مؤتمر عقد في مدينة ليه تريللس، فرنسا في الفترة الواقعة بين 7 و 13 تموز (2004).

تتخلله آلاف من المعقّدات البروتينية المتطوّرة التي تؤلف ثقوباً نووية تتحكم في حركة مرور الجزئيات من هذه العضيّة وإليها. وبداخل هذه العُضيَّة تقوم البوليمرازات polymerases وأنزيمات أخرى متخصصة بنقل رسائل تكويد بروتين الدنا DNA إلى رنا RNA، كما تُحَوِّر بروتينات أخرى شرائط الرنا strands of RNA على نحو يضمن حملها رسائل صحيحة إلى الريبوزومات الموجودة خارج النواة. وتحتوي النواة كذلك على خلطة مرصوصة رصّاً محكماً من الرنا وبروتينات يجري تحويرها وترحيلها إلى خارج النواة لبناء الريبوزومات.

تختلف هذه الصورة إلى حد كبير في البكتريا (الجراثيم)، حيث الدنا والرنا والريبوزومات والبروتينات جميعها تعمل سويّاً داخل حجيرة الخلية الرئيسة، فبمجرّد الانتهاء من انتساخ transcribtion كود الدنا إلى رنا، تشرع البروتينات المجاورة في ترجمة تلك الرنا إلى بروتين جديد. ويقول جون فيورست J. Fuerst، مختص الأحياء الدقيقة في جامعة كوينزلاند بأستراليا: "إن غشاء النواة المضاعف للخلايا الحقيقيات النوى يفكّ اقتران uncouple الانتساخ والترجمة"ويسمح بمراقبة أفضل لجودة التحكّم. وفي نتيجة ذلك يتم تحوير الرنا قبل أن يصبح بتماس مع الريبوزومات الموجودة خارج النواة.

لقد صاغ هذا التمييز النووي بين حقيقيات النوى وأوّليّات النوى فكَراً مبكّرة حول تشكّل الحياة المعقدة. وحتى عام 1970 هيمنت نظريتان متنافستان على النقاش حول التطوّر المبكر لحقيقيات النوى. فوفقاً للنظرية الأولى، ابتَنَت زمرة فرعية من البكتريا بشكل بطيء ملامح خلايا حقيقية النواة، مثل النواة. أما فيما يتعلق بالنظرية الأخرى فإن حقيقيات النوى ظهرت أولاً ثم فَقَدَ بعضها نواته بمرور الزمن واستحدث غشاءً خلوياً معطياً البكتريا ذات المظهر الحديث.

وبعدها، عصفت الثورة الوزينية Woesean revolution. فخلال قيام كارل ووز C.Woese، مختص الأحياء الدقيقة في جامعة إيلينويز (أوربانا – شامبين) بالتمعّن في اختلاف التتاليات sequences لنفس الجينة عند مئات المتعضيات الدقيقة، تبين له أن البكتريا تؤلف في الواقع مملكتين هما مملكة البكتريا الأصولية ومملكة البدئيات archaea التي نشأت (على ما يبدو) منذ بليوني سنة تقريباً، أي قبل ظهور حقيقيات النوى بملايين السنين. وبيّنت التحاليل الوراثية الأولية أن البدئيات أوثق قرابة بحقيقيات النوى من البكتريا. ونوّهت هذه القرابة باحتمال انحدار الحقيقيات النوى من أصل بدئيٍّ بسيط.

لكن مقارنات حديثة للجينومات الميكروبية المكتملة التتالي sequenced microbial genomes أضافت منعطفاً لهذه القصّة يتمثل في أن حقيقيات النوى تحتوي على جينات بدئية وبكترية في آن معاً. وتميل الجينات لتشغيل سيرورات processes تشمل الدنا والرنا تدعى وظائف المعلومات، بينما أنيطت بالجينات البكترية مسؤولية الأفعال الروتينية للاستقلاب وتصريف الأمور الداخلية. ومن اختلاط الجينات هذا استنتج البيولوجيون التطوريّون أن تقاسم العمل هذا نشأ من التشارك التعايشي القديم بين البكتريا والبدئيات، تشارك ولّد حقيقيات النوى.

اندغامات ودودة

تعتقد لوبيز- غارسيا L. Garcia وديفيد موريرا D. Moreira من جامعة (باريس – سود) أن مثل هذا التشارك ربما كان كافياً لخلق النواة. ويستشفّ هذان البيولوجيان التطوريان أن الاتحاد الأصلي بين البكتريا والبدئيات الاستقلابية قد أوجد احتياجات استقلابية موحّدة. وأن ظهور النواة جاء كأسلوب لهذه المتعايشات الداخلية endosymbionts من أجل حماية الكيميائيات الاستقلابية من التداخل بعضها مع بعض، وتشرح لوبيز- غارسيا ذلك قائلة: "إنك بحاجة إلى الغشاء النووي لأن لديك مسارين متنافسين".

وفي عام 1998 اقترحت لوبيز- غارسيا ومعها موريرا أن بدئيات صانعة للميتان في الأيام الغابرة من الحياة قد عاشت ضمن بكتريا اعتمدت على التخمر في تغذيتها، الأمر الذي يعرف بالنموذج المتزامن التغذية syntrophic model. وقد صَلُحت هذه العلاقة للبدئيات لأن التخمر قد وفر للبدئيات مورداً تحتاجه هو الهدروجين، كما يمكن أن تكون البكتيرية bacterium قد انتفعت من ذلك أيضاً، لأن استمرار عملية التخمر يتطلب بقاء تركيز الهدروجين منخفضاً.

افترضت لوبيز- غارسيا وموريرا أن ظروفاً بيئية متغيرة في كوكب الأرض استحثّت في نهاية المطاف تحوُّلاً في هذا التعايش فَفَقَدَ البدئي تدريجياً شهيته للهدروجين، وتوقف عن صنع الميتان واعتمد بدلاً من ذلك (أكثر فأكثر) على الثوي البكتري في حصوله على المغذيات الأخرى، وبذلك أصبح غشاء البدئي الذي كان أساسيّاً لتوليد الميتان شيئاً نافلاً [2]. وفي غضون ذلك، خَمصَ invaginat الغشاء البكتري الخارجي الحجيرة الخلوية، ثم أحاط في آخر الأمر بالدنا البدئي فيما عدا الريبوزومات. لقد كان هذا التغيُّر مفيداً للبكتريا لأنه ساعد من خلال الريبوزومات الصبغيات الميكروبية في ضمان إيصال أدق لرسالة الدنا. وتعتقد لوبيز – غارسيا أن هذا الوضع قد استدام وتطور أخيراً إلى نواة الخلية الحقيقية النواة. أمّا ما تبقى من سيتوبلازما البدئي فقد أصبح النويّة nucleolus.

اقترح باحثون آخرون أن البدئيات الحديثة المولّدة للميتان التي تشبه حقيقيات النوى إنما انحدرت من مولّدات ميتان قديمة دخلت في التعايش المسبِّب للنواة مع البكتريا. فهذه البدئيات وحقيقيات النوى تمتلك جينات متشابهة تكوِّد البروتينات المعنيَّة مع الدنا والرنا. ونذكر على سبيل المثال أنهما تتشاركان في الجينات المسؤولة عن الهستونات التي تعتبر بروتينات تساعد في استقرار الصبغيات. وعلى النقيض من ذلك، فإن البكتريا لا تملك هستونات.

وثمّة ميكرون آخر حديث هو الميكسوباكتريوم myxobacterium. قد يشبه ثويّاً (عائلاً) بكتريّاً قديماً تطوّرت فيه النواة. وعلى

(2) تأهل superfluous أي غير ملتزم.

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

نحو مشابه لحقيقيات النوى، تستطيع الميكسوباكتريا الاتصال (التخاطب) والتحرك وتشكيل معقدات متعددة الخلايا مع الخلايا الأخرى. وتذكر لوبيز غارسيا أن الميكسوباكتريا "تملك أيضاً بنى معقدة مدهشة جدّاً" تذكرنا بالخلايا الحقيقيات النوى. وكذلك تمتلك هذه البكتريا جزئيات للتأشير signaling مثل الكينازات والبروتينات (G) تشترك بها مع حقيقيات النوى.

بادئون ذاتيون

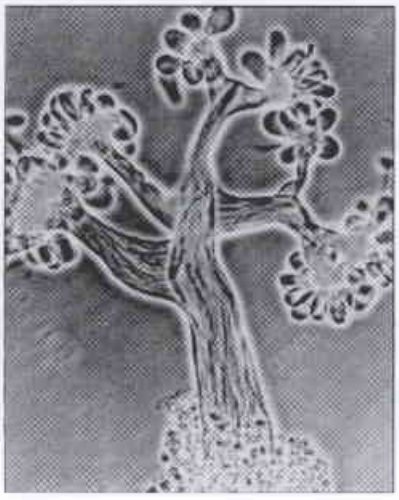
يفترض مقترح لوبيز - غارسيا وموريرا ظهور البكتريا والبدئيات في شجرة الحياة في مرحلة أبكر بالمقارنة مع حقيقيات النوى، أما فيورست Fuerst فإنه يعتقد أن العكس هو الصحيح. فهو على قناعة تامة بأن خلايا مشابهة لحقيقيات النوى كانت موجودة قبل البكتريا والبدئيات، أو أنها نشأت تماماً في نفس زمن انشقاق أوّليات النوى إلى مملكتين منفصلتين. ويشير فيورست كذلك إلى زمرة غير عادية من البكتريا كان قد درسها في فترة العقد الماضي وأظهرت وجود نوى أو شيء ما ذي قرابة بها يمكن أن تشبه الخلايا المبكرة التي تطورت إلى حقيقيات النوى المعاصرة.

يطلق على هذه الميكربات في التربة وفي الماء العذب اسم الفطور العالقة planctomycetes وهي تملك جدراناً خلوية أقل صلابة بالمقارنة مع البكتريا الأخرى. وفي وقت سابق يعود إلى عام 1984، اقترح بعض الباحثين أن هذه الفطور العالقة تملك كذلك أغشية داخلية. ولقد أكّد فيورست وزملاؤه في عام 2001 استخدام تقنيات مجهرية إلكترونية متطورة وجود هذه الأغشية، ووصل الأمر بهم إلى اكتشاف أغشية مضاعفة تشبه أغشية النواة. ويقول فيليب بل P. Bell، المختص في بيولوجيا الخميرة بجامعة مكاري Macquarie في سيدني بأستراليا، أن تلك الملاحظات "قلبت رأساً على عقب العقيدة القائلة بأن أوليات النوى لا تملك أغشية داخلية".

والآن، استطاع فيورست وزملاؤه وباستعمال تقنيات المجهر الإلكتروني المتطورة إثبات وجود حجيرات منفصلة محاطة بالأغشية داخل اثنين من الفطور العالقة هما: Gemmata obscuriglobus و Pirellula marina. ويبدو أن الحجيرة المدفوعة نحو المحيط تملك القليل جدّاً من الأغشية، في حين تشغل الحجيرة الثانية مركز الميكروب وتحبس بداخلها مجموعة كثيفة من مواد وراثية مؤلفة من الدنا والرنا المزوج مع البروتينات المُعالَجَة لهما. وأما المحتوى الكائن بينهما (أي السيتوبلازما) فهو مليء بالبروتينات والريبوزومات والرنا.

يمتلك أحد الفطور العالقة (على الأقل) غشاءً داخلياً مضاعفاً يحيط بالدنا بدلاً من الغشاء المفرد النّمطي، ولا يتصف هذا الغشاء بالاستمرارية بل يتألف من قطع غشائية مطوية ومتصلة معاً. ويقول فيورست Fuerst الفضوات الموجودة بين الطيات قد تشير إلى الكيفية التي ابتدأت بها الثقوب النووية.

لقد طرح تفسير هذه البنى على الدوام نقطة ارتكاز للتطوُّر النووي. فالنواة لا تستطيع أن تنجز مهامها بدون هذه الثقوب.



مشاركة مضمرة. ربما تكون بكتيرية ذات قربى مع هذه البكتيرية المخاطية قد تزاوجت مع احد البدئيات لتعطي في النهاية نواة.

ولكن ما من شيء يشبه هذه القنيّات المعقدة سبق أن شوهد في البكتريا. بيد أن فيورست عرض خلال المؤتمر صوراً مجهرية إلكترونية مدهشة لبقع تشبه فوهات البراكين في الأغشية الداخلية للفطورالعالقة. ويقول فيورست إن هذه الانخسافات تشبه الثقوب النووية عن قرب. وعلى الرغم من صعوبة المقارنة بين جينات الثقوب النووية فإن فيورست يميل إلى أن النظرة الأولية في جينوم الفطور العالقة تنوّه بأن البكتريا تملك نسخاً بدائية لجينات حقيقية النواة مسؤولة عن بعض البروتينات الأساسية للثقوب النووية.

ويصرِّح فيورست قائلاً: إذا جمعت كل الأدلة فإن الحصيل يؤلف صورة متماسكة فالـ "Gemmata تُعدُّ موديلاً صالحاً لأصل غير تعايشي لنواة خلايا حقيقيات النوى".

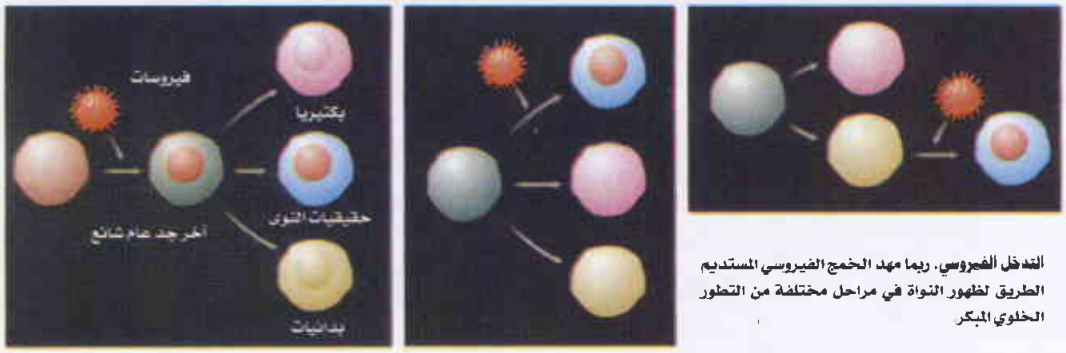
ويستطرد فيورست قائلاً قد لا تكون Gemmata الموديل الوحيد. فقد كشف النقاب حديثاً عن شعبة من البكتريا تسكن الإسفنج ويبدو أنها تملك نوى، ومن المحتمل أن يوجد المزيد من الميكروبات التي تحمل ملامح مشابهة لم يجر اكتشافها بعد. وتوحي البكتريا ذات الثقوب النووية والأغشية الداخلية الحاملة للسمات النمطية المميزة لحقيقيات النوى بأن النواة قد وُلدَت أبكر بكثير مما يعتقد بشكل سائد. ويقول كونين Koonin إنه إذا ما صح سيناريو فيورست فإن "النواة تسبق حقاً حقيقيات النوى".

وحسبما يقول فيورست فإن هذه الحجيرة يمكن أن يرجع تاريخها إلى سلف عام مشترك قديم يتمثل في متعضية مظنونة انبثقت منها في نهاية المطاف حقيقيات النوى والبكتريا والبدئيات. وإذا صح هذا الاعتقاد فإن بعض ملامح هذا السلف (كالنواة مثلاً) استُبقيت في حقيقيات النوى وفُقدت إلى حدٍّ ما في معظم البدئيات والبكتريا. ويبدو بالفعل أن ذلك هو واقع الحال ما دامت الخلايا الحقيقيات النوى تمتلك ملامح تشاهد اليوم في كل واحدة من هذه المجموعات.

استيلاء عدائي

ثمة خيار ثالث يتعلق بأصل النواة يدور حول الفيروسات. إذ يقول ديفيد برنغشفيلي D. Prangishvili، مختص الفيروسات بجامعة

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



التدخل الفيروسي. ربما مهد الخمج الفيروسي المستديم الطريق لظهور النواة في مراحل مختلفة من التطور الخلوي المبكر

ريجنسبرغ في ألمانيا: "إن الفيروسات سبقت الافتراق بين أُطر الحياة الثلاثة هذه". وهو يجادل بأن الفيروسات كانت شائعة تماماً في الحساء الأولي primordial soup ولم تصبح معتمدة على الخلايا لضمان بقائها على قيد الحياة إلاّ في وقت لاحق. ويضيف فورتر Forterre قائلاً: "حينما أقبلت هذه الخلايا المبكرة قامت الفيروسات بلعب دور حاسم في تطور المنظومة [الحقيقية النواة] المعقدة".

تملك الفيروسات بالفعل مقدرة الإقامة الدائمة في الخلايا، فتؤدي إلى خمج الثوي (العائل) دون قتله. وهكذا تصول هذه الفيروسات وجيناتها وتؤثر في تطور الخلايا. ولقد تقدّم كل من بل Bell وفورتر Forterre وبرنغشفيلي Prangishvili ومختص الفيروسات لويس فيلاريل L. Villarreale الذي يعمل بجامعة كاليفورنيا (بإيرفن) بمقترحات متباينة حول كيفية قيام الفيروسات بدور مهم في تطور النواة. صحيح أن بياناتهم الداعمة مثيرة ولكنها ظرفية وخلافيّة. ويعزى إلى جاكومين كرينجس – لاكر J. K. Lacker من مختبر البيولوجيا الجزيئية الأوربي في هيدلبرغ Heidelberg بألمانيا ما نصّهُ: "أنا لا أؤمن بذلك، ويصعب عليّ أن أفهم فكرة اختراع الفيروسات للخلايا الحقيقيات النوى من خربشة scratch".

أما فيلاريل Villarreal فيجابه قائلاً: "تستطيع الفيروسات اكتساب مجموعة كاملة جديدة من الجنيات دفعة واحدة حينما تظلّ مقيمة في الخلايا بدلاً من أن تقتلها. وفي أثناء إقامتها الطويلة التي امتدت ملايين السنين، قد تكون الجينات الفيروسية الجديدة حلّت محل الجينات البكترية أو البدئية، واستبدلت على سبيل المثال البروتينات التي تعالج الدنا. ويمكن أن تتطور الجينات الخارجية لتلعب أدواراً جديدة في الخلية.

ولقد لفَتَ فيلاريل الانتباه إلى وجود تشابه خادع بين النوى والفيروسات. فالفيروسات التي تتكون بصورة أساسية من رزَم صغيرة من الدنا يحيط بها معطف بروتيني (وغشاء في أغلب الأحيان). وفي الطحالب الحمراء على سبيل المثال تستطيع النواة الانتقال من خلية إلى أخرى على نحو مشابه كثيراً للفيروس الخمجي infectious virus. ويمكن القول بصورة عامة أن النوى الخلوية والفيروسات تفتقر إلى مسارات صنع البروتين والليبيد ضمن تخومها. وبينما تحتوي النواة والفيروس على صبغيات خطية، فإن معظم الصبغيات البكترية تكون حلقية. وتشير إلى أن كليهما ينزع الغشاء أثناء التنسخ، replication وأن كليهما ينسخ transcribe الدنا، ولكنهما لا يترجمان الرنا المرسال ضمن حدودهما. وفي أثناء تنسُّخ بعض فيروسات الجدري poxvirus داخل الخلية، فإنها تصنع غشاءً حول الدنا الخاص بها، وذلك باستخدام الشبكة البلازمية الداخلية التابعة للخلية المخموجة. وعلى نحو مشابه، تستخدم الخلايا الحقيقيات النوى المواد ذاتها في بناء نواتها.

هذا ويقترح بل Bell أن الفيروسات الدناوية المعقدة التي ينتمي إليها فيروس الجدري وفيروس حمّى الخنزير الإفريقي تشبه إلى حد كبير السلف الفيروسي المظنون للنواة. إذ تملك خيوط الدنا في هذه الفيروسات قسيمات انتهائية telomeres ابتدائية، وهي تتاليات دناوية وقائية موجودة عند نهايات الصبغيات في الخلايا الحقيقية النواة.

ويتخيل بل Bell وجود فيروس أعدّ أثناء معيشته في أحد البدئيات المسرح للنواة. وفي النهاية، اندمج الدنا الفيروسي ودنا البدْئي داخل الفيروس، ثم في مرحلة تالية جرّد الجينوم الجديد من كليهما المادة الوراثية. وفي الختام يجادل بل Bell قائلاً: "إن البنيان المعماري الوراثي الفريد لحقيقيات النوى ليس إلاّ نتيجة لتراكب البنيان المعماري الوراثي للفيروس مع البنيان المعماري الوراثي للبدئي".

ويعلق فورتر على ذلك قائلاً: "إذا صح ذلك فإننا جميعاً مُتحدِّرون من فيروسات".

ويبقى السؤال التالي: هل هيّأ الفيروس النواة الأولى؟ أم أنها تطوَّرت من خلية بكتيرية مبكرة إمّا من ذاتها أو بالتشارك مع أحد البدئيات؟ ولحل معضلة أصل النواة يقوم مختصّو البيولوجيا التطورية اليوم باستكشاف تقنيّات جديدة تمكّنهم من تحديد العلاقات بين الأحياء الدقيقة التي عاشت في أزمنة موغلة في القدم. وفي الوقت الذي غدت فيه تتاليات جينومية جديدة متوفرة، كتلك الخاصّة ببضعة فطور عالقة، فإن فيورست وآخرين غيره يخططون للتفتيش عن مزيد من التشابهات الوراثية القائمة بين هذه البكتريا وحقيقيات النوى. وفي هذه الأثناء تنتظر لوبيز – غارسيا الجينومات المسلسلة للبكتريا المخاطية وتخطط لأن تقارنها مع جينات حقيقيات النوى.

ويختتم فورتر Forterre قائلاً: "إنها فرصة مدهشة حقّاً لمعالجة مسائل لم تكن تعتبر جديّة إلا من طرف قلّة من النظريين".

مستقبل التقانة النانوية*

ريتشارد جونز
يعمل في قسم الفيزياء والفلك بجامعة شيفيلد، هيكز بيلدنغ، المملكة المتحدة

ملخص

ربما كانت مشاهد الماكنات النانوية المتكاثرة التي تلتهم الكرة الأرضية - في سيناريو الغشاوة الكئيبة grey goo- صورة بعيدة عن الصواب، إلا أن التقانة النانوية الراديكالية سيبقى يُقيّض لها أن تسدي منافع جمّة للمجتمع. والسؤال هو كيف يمكن بلوغ هذا الهدف بأفضل السبل.

الكلمات المفتاحية: *تقانة نانوية حيوية، تنسُّخ ذاتي، ماكنات نانوية المقياس، بيولوجيا خلوية.*

الشكل 1- خيال علمي أم واقع عملي؟

يشوه الجمهور التقانة النانوية غالبا عندما يصورونها برسوم تأملية كهذه - في حين أنه، في نظر عالم الفيزياء، من غير المستحسن، أن يظهر روبوت نانوي وهو يسبح داخل الوريد. يصوّر هذا الروبوت وهو ينتزع سدادة من الوعاء الدموي مستخدما مشارط ومنظفات خوائية نانوية المقياس(2).

تتسلّل التقانة النانوية ببطء إلى الثقافة الشعبية، ولكن ليس بالأسلوب الذي يروق لمعظم العلماء. وثمّة مثال صارخ في رواية دوريان للروائي أوسكار وايلد. ففي مشهد تمّ في مبنى كائن في منطقة صناعية قذرة في ضواحي لوس أنجيلوس نجد دوريان غري Dorian Gray وأصدقاءه يستعرضون صفوفاً من حوجلات ديوار (1) تُحفظ فيها رؤوس وأجساد متجمدة لمرضى هامدين بانتظار اليوم الذي تتقدم فيه العلوم الطبية فتعافيهم من أمراضهم. ومع أن أحد أصدقاء دوريان يشك في أن تستطيع التقانة يوماً ما إصلاح التلف الناجم حين تدفأ أجزاء الجسم ويذوب الثلج، فإن صديقاً آخر (فيرغوس المستكشف Fergus the Ferret) – يبدو أكثر تفاؤلاً.

إن الرأي الذي يقبل بأن التقانة النانوية سوف تفضي إلى اصطناع غواصات روبوتية robotic بالغة الصغر تمخر طريقها عبر أوعيتنا الدموية هو رأي يشيع في كل مكان، وكثيراً ما تُستخدم صور كتلك المبيّنة في الشكل 1 لتوضيح قصص تدور حول التقانة النانوية.

إلا أن منتجات التقانة النانوية اليوم هي أبخس من ذلك بكثير، إذ لا تعدو سراويل مضادة للبقع، ومراهم ضد الحروق الشمسية، ومضارب تينس tennis مقوّاة بأنابيب كربونية نانوية. فهناك هوة خيالية بين ما تَعِدُ به التقانة النانوية وبين ما تقدمه فعلياً.

يعود السبب في هذه المفارقة إلى أن معظم تعاريف التقانة النانوية فضفاضة جداً. إذ تفترض هذه التعاريف أن أية تقانة تنجم عن مقدرتنا على التحكّم بالمادة ومناولتها manipulation بمقاييس طول تبلغ (100-1) نانومتر يمكن وصفها بأنها تقانة نانوية. بيد أن العديد من النجاحات التي تُعزى إلى التقانة النانوية ماهي إلا ثمرة سنوات من البحث في مجالات علمية تقليدية مثل علم المواد وعلم الغروانيات colloid science. ولذلك فإن من المفيد أن نفكك تعريف التقانة النانوية قليلاً.

إن ما يمكن أن نطلق عليه اسم "التقانة النانوية التزايدية incremental nanotechnology" يشمل تحسين خواص العديد من المواد عبر التحكُّم ببنيتها النانوية المقياس. فالمواد البلاستيكية أو اللدائن، على سبيل المثال، يمكن تقويتها باستخدام جسيمات غضارية نانوية المقياس تجعلها أقوى وأقسى وأكثر مقاومة من الناحية الكيميائية. ويمكن صَوْغ مستحضرات التجميل على نحو تكون فيه أكثر نعومة في حالة البعثرة، وبذلك تحسِّن شعور ارتياحٍ الجلد بهذا المستحضر. هذه هي نماذج من منتجات متاحة تجارياً يُقال عنها بأنها تعتمد على التقانة النانوية. إن الأسس العلمية التي تستند إليها هذه المنتجات معقدة، مع العلم أن هذه المنتجات غالباً ما تكون تحسيناتٍ كبيرة على ما كان قد سبقها. ومع ذلك، فإنها لا تمثل انقطاعاً باتاً عن الماضي.

ننتقل الآن إلى "التقانة النانوية التطويرية evolutionary nanotechnology" لنتجاوز المواد البسيطة التي أُعيد تصميمها بالمقياس النانوي إلى النبائط devices الفعلية لهذا المقياس والتي

* نُشر هذا المقال في مجلة Science, 6 August 2004.

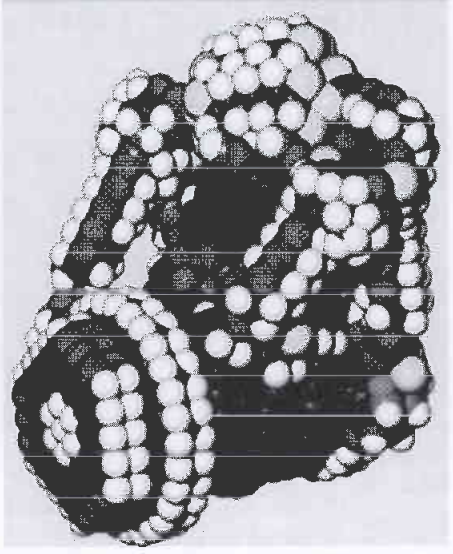
(1) زجاجة ديوار وعاء لحفظ السوائل باردة أو ساخنة لمدة طويلة تُعرف باسم الثيرموس. (المترجم)

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

تؤدي شيئاً مهمّاً. فبإمكان نبائط كهذه على سبيل المثال أن تتحسَّس البيئة، أو أن تعالج المعلومات أو أن تحوِّل الطاقة من شكل إلى آخر. إنها تشتمل على محسَّات sensors نانوية المقياس، تستثمر المساحة السطحية الهائلة لأنابيب الكربون النانوية carbon nanotubes، ومواد أخرى نانوية البنية لكشف ملوِّثات البيئة أو الكيماويات الحيوية biochemicals. ونذكر من بين المنتجات الأخرى للتقانة النانوية التطويرية بنى نانوية نصف ناقلة semiconductors (من أمثال البقع الكمومية quantum dots والآبار الكمومية quantum wells) تُستخدم اليوم لبناء ليزرات للحالة الصلبة أفضل أداءً. ويقوم العلماء كذلك بتطوير طرائق أكثر تعقيداً لتغليف الجزيئات molecules وتسويقها حسب الطلب لصالح السوق الدوائية الموجّهة.

تقود التقانة النانوية بنوعيها التزايدي والتطويري موجة الإثارة الحالية في الصناعة والأوساط العلمية نحو كل شيء ذي مقياس نانوي. ولعل أكبر الخطوات تتخذ حالياً في مجال التقانة النانوية التطويرية التي ستشهد السوق مزيداً من منتجاتها خلال السنوات الخمس القادمة.

الشكل 2- التقانة النانوية الراديكالية



يمكننا تتبع التقانة النانوية الراديكالية وصولاً إلى إيريك دريكسلر (مؤسس معهد التبصّر Foresight Institute في كاليفورنيا) الذي تنبأ بابتكار ماكنات معقدة نانوية المقياس يمكن أن تنجز أعمالاً بدقة ذرّية. فقد تصور استخدام مواد قاسية كالألماس لتصنيع بنى معقدة نانوية المقياس بواسطة تحريك شدوف جزيئية نشطة لتأخذ مواقع لها مناسبة في البنية. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يشكل هذا المتحكم بالحركة motion controller جزءاً من ماكنة نانوية تقوم بتجميع الجزيئات بعضها مع بعض في كل واحد.

الغشاوة الرمادية (الكئيبة) Grey goo والتقانة النانوية الراديكالية

ولكن أين يترك ما تقدم المشهد الأصلي للتقانة النانوية الذي صوَّره إيريك دريكسلر E. Drexler؟ فلقد نشر دريكسلر عام 1986 كتاباً مثيراً عنوانه "محركات الخلق Engines of creation: الحقبة القادمة للتقانة النووية". وفيه تخيَّل ماكنات نانوية المقياس تعمل بدقة ذرّية. ويمكننا أن نطلق على هذا المرمى اسم "التقانة النانوية الراديكالية". فقد تصوَّر دريكسلر طريقة خاصة لتحقيق التقانة النانوية الراديكالية تتضمن استخدام مواد قاسية كالألماس لصنع بنى معقدة نانوية المقياس، وذلك عن طريق تحريك شدوف fragments جزيئية نشطة في الموقع الصحيح. ولقد كان نهجه من حيث الأساس ميكانيكياً تتكامل فيه مسنَّنات وتروس ومحامل بالغة الصغر لصنع مَرْكبات ومسابر وتجهيزات تكون غاية في الصغر، (كما يظهر في الشكل 2).

إن الحجة القسرية التي يسوقها دريكسلر والتي يبرز فيها وجوب إمكانية تحقيق التقانة النانوية الراديكالية تتمثَّل في أن بيولوجيا الخلية تقدم لنا أمثلة لا حصر لها عن ماكنات معقدة نانوية المقياس. وهذه تتضمن محركات جزيئية من النوع الذي تتكوَّن منه عضلاتنا والذي يستطيع تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية بمردود عالٍ مثير للدهشة. نذكر أيضاً القُنَيْوات الأيونية ion channels (انظر الشكل 3) والمضخات الأيونية ion pumpes التي تتحكّم في تدفق الجزيئات عبر الأغشية الخلوية. وثمّة أمثلة أخرى تشتمل على الريبوسومات ribosomes – وهي بنى جزيئية باستطاعتها بناء جزيئات البروتين انطلاقاً من ربط حمض أميني مع حمض أميني ثانٍ وثالث وهلمّ جرّاً وذلك بدقة فائقة وفق تعليمات تتلقاها من الـ DNA(3).

ويجادل دريكسلر بأنه إذا كان بإمكان البيولوجيا أن تنجز عملها بالدقة التي تؤدّيها، فلا بد أن يكون الباحثون قادرين على إنجاز عمل أفضل منها. إذ إن البيولوجيا تستخدم مواد رخوة غير واعدة – كالبروتينات والليبيدات ومتعددات السكّريد polysaccharides – بالإضافة إلى طرائق تصميم عشوائية تقيِّدها حوادث التطور المفاجئة. وتتحقق الحركة هنا عبر تغيُّرات في أشكال هذه الجزيئات وليس من خلال المسنَّنات والمكابس والهندسة الماكروسكوبية. أضف إلى ذلك أن الجزيئات تجول دائرة في وسطها من خلال التقاذف المستمر فيما بينها تحت اسم الحركة البراونية Brownian motion وليس عن طريق أنابيب ومواسير. ولكننا نحن الباحثون نحوز تحت تصرفنا أفضل المواد. فمن المؤكد أننا نستطيع خلق أنماط من الحياة التركيبية الاصطناعية synthetic قادرة على التكاثر والتكيُّف مع البيئة وتتجاوز الحياة "الاعتيادية" في التنافس على الموارد.

لقد أبرز كتاب دريكسلر شبحاً كبيراً من الخوف، فعن طريق هندسة شكل للحياة التركيبية (الاصطناعية) يقوى على خلق ماكنات شاردة ذاتية التضاعف self-replicating قد نصيِّر جميع الحياة الاعتيادية منقرضة في نهاية المطاف. فهل نتوصل ولو بالصدفة أو الإرادة الشريرة إلى تحقيق بَلْوى من روبوتات نانوية ذاتية التضاعف تنتشر على امتداد الغلاف الحيوي مستنفدةً موارده وجاعلةً الحياة بما فيها حياتنا إلى انقراض؟ لقد أطلق دريكسلر على هذه الإمكانية المرعبة اسم سيناريو الغشاوة الرمادية (الكئيبة) "grey goo". وهذا بالضبط هو الذي قدح شكوك الجماهير حول التقانة النانوية، وهو كذلك الذي ألهم الروائي ميخائيل كريشتون M. Crichton لكتابة رواية بعنوان الفريسة prey ستتحوَّل قريباً إلى فيلم سينمائي.

(2) النانومتر: واحدة لقياس الأطوال تعادل 10^{-9} متراً (المترجم)
(3) DNA: مشتقة من Deoxyribonucleic Acid، أي الحمض النووي منزوع الأكسجين (المترجم)

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

إلا أن العديد من العلماء ينبذون ببساطة رؤى دريكسلر التي تنظر إلى الروبوتات النانوية المقياس على أنها ضرب من الخيال العلمي وعلى أنها رؤى سخيفة لا ينبغي الالتفات إليها. وفي الحقيقة، إن دريكسلر نفسه أعلن مؤخراً أن الماكنات الذاتية التضاعف (التي تستنسخ نفسها) غير ضرورية للتقانة النانوية الجزيئية.

عيوب في تصورات دريكسلر

مع هذا، فإن من الجدير بنا أن نستعرض نقائص تصور دريكسلر الأساسي، لأن ذلك يمكن أن يوفّر دالاّت clues فيما يخص الكيفية التي يمكن أن نجعل فيها التقانة النانوية الراديكالية معقولة. لماذا تبدو الرسوم التوضيحية للغواصات النانوية، على سبيل المثال، سخيفة إلى هذا الحدّ بالنسبة للعين العلمية؟ ذلك لأن هذه الصور تفترض أن الهندسة التي نوظّفها بالمقاييس الماكروسكوبية يمكن تصغيرها إلى المقياس النانوي. ولكن الفيزياء تبدو مختلفة تماماً عند هذه الأبعاد. فالتصاميم التي تقوم بوظيفتها جيداً في عالمنا الماكروسكوبي ستكون أقل عملاً وأقل جودة كلما انكمشت أبعادها. فالغواصة النانوية سوف تعمل في وسط مختلف جداً عن نظيره الماكروسكوبي.

إن للأجسام الصغيرة أعداداً رينولدية Reynolds numbers أقل (وهي كمّية عديمة الأبعاد تتناسب مع النسبة بين جداء الحجم في سرعة التدفق* وبين اللزوجة viscosity).

لذا، فإن أعظم القوى التي ستعاكس الحركة إنما تنجم عن اللزوجة وليس العطالة inertia. وفي الوقت ذاته، فإن جزيئات السائل ستمارس قصف الجسم الغاطس فيها باستمرار بسبب الحركة البراونية. وهكذا فإن الغواصة النانوية ستتعرَّض للصدم والدفع بشكل دائم هنا وهناك في الوقت الذي ستتعرَّض أجزاؤها الداخلية للفتل والانثناء بحركة عشوائية مستمرة. وثمّة فارق آخر يكمن في أن القوى السطحية تكون بالمقياس النانوي قوية جداً، ولربما أدّت هذه القوى إلى إلصاق الغواصة النانوية المقياس بأول سطح تصادفه. إن هذه العوامل الثلاثة – المتمثلة في انخفاض أعداد رينولد والحركة البراونية الشمولية والقوى السطحية الشديدة – تشكّل ما يجعل التصميم بالمقياس النانوي يواجه تحدياً كبيراً، على الأقل في درجات الحرارة العادية وبوجود الماء.

فهل يُنظر إلى التقانة النانوية الراديكالية على أنها مستحيلة إذاً؟ إن مما تُعلمنا إياه البيولوجيا (على عكس ما يفترضه دريكسلر ضمناً) هو أن الحياة بلغت سموّاً مثالياً خلال بلايين السنين من التطور، لا يطاله النمط الخاص من الفيزياء الذي يعمل في المقياس النانوي. فمبادئ التجمُّع الذاتي self-assembly وتغيُّر الشكل الجزيئي molecular shape change التي تستخدمها الخلايا في البيولوجيا بشكل كثيف إنما تستثمر الفيزياء الخاصة بالعالَم النانوي (ولا سيما الحركة البراونية والقوى السطحية الشديدة). وبكلمات أخرى، فإننا إذا أردنا تحقيق أهداف التقانة النانوية الراديكالية، يجب علينا أن نستخدم مواد رخوة ونماذج تصميم بيولوجية. وعلينا كذلك أن نكفّ عن الفزع والقلق من الغشاوة الكئيبة grey goo، وذلك لأنه سيكون من الصعوبة بمكان إنتاج متعضيات organisms نانوية المقياس تفوق ما أنجزته الطبيعة حتى الآن.

الممر إلى التقانة النانوية الراديكالية

ستلعب التقانة النانوية بالتأكيد دوراً متنامياً ومفيداً في حياتنا خلال نصف القرن القادم حتى ولو لم تتحقق الرؤى المتطرفة للمبشرين بالتقانة النانوية بظهور ماكنات مبنيّة بمقاييس نانوية تقوم بأعمال مهمّة ومفيدة ويصعب التكهُّن بما ستحدثه هذه التقانة الجديدة من تأثير تطوُّري. وغالباً ما يكون تقدير العلماء مغالىً فيه بما يمكن إنجازه خلال عشر سنوات، إلا أن تقديراتهم تكون أقل مغالاة إن كانت حول ما سيحدث خلال خمسين سنة قادمة.

يكون التباين في بعض الأحيان بين الرؤى العظيمة للتقانة النانوية (مثل الغواصات النانوية الروبوتية وهي تجوب أبداننا فتصلح الخلل فيها) وبين ما يتحقق على أرض الواقع (مثل مستحضرات الاستحمام الشاملة) تبايناً شاسعاً جليّاً. ولكن الخبرة التي نكتسبها في مناولة مادة ما على المستوى النانوي وبكميات صناعية ستكون مفيدة للغاية ولا تُقدَّر بثمن. وبالمثل، لا مبرر لإهمال حقيقة مفادها أن العديد من التطبيقات المبكرة للتقانة النانوية كان مجرد ألعاب – للأطفال والبالغين على السواء – شأنها في ذلك شأن تقانة تخزين البيانات data-storage التي تدفع بها إلى الأمام الحاجة إلى مسجلات التلفاز الرقمية وآلات العزف الموسيقية المحمولة مثل (Apple's iPod). إن هذه التطبيقات التي تبدو تافهة ستعطي حافزاً وذريعة لدفع التقانة النانوية إلى الأمام أكثر فأكثر.

ولكن أي فلسفة تصميم ستسود التقانة النانوية الراديكالية؟ – هل ستسود رؤى دريكسلر الأساسية التي تعتمد الألماس أم يسود تصوُّر آخر أقرب إلى الوسائل الخارقة التي تعتمدها البيولوجيا الخلوية؟ إن إحدى الطرائق لإيجاد جواب عن هذا التساؤل ستكون ببساطة في أن نطوِّر التقانات الحالية التي قادت إلى تصغير (نمنمة) الإلكترونيات المجهرية تصغيراً لا حدود له. إن هذا النهج التنازلي top-down approach (الذي يستخدم تقنيات مثل فن الطباعة الحجرية التصويرية photolithography والحفر أو التنميش etching) سبق أن استُخدم في صنع منظومات ميكانيكية كهربائية مجهرية القدّ تُدعى ميمز MEMS (اختصاراً من عبارة MicroElectroMechanical Systems). ولقد أضحت هذه المنظومات متوافرة تجارياً، وهي تتألف من مكوِّنات لا تتجاوز مقاييسها الطولية بضعة مكرونات (نذكر منها على سبيل المثال محسّات التسارع acceleration sensors التي

* إن أبعاد سرعة التدفق هي $L3/T$ وكذلك هي واحدة اللزوجة التي تدعى البواز poise. (المترجم)

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

تُزرع في الأكياس الهوائية air bags لحماية السائقين ضد حوادث السير. فكل ما يجب علينا فعله الآن هو تصغير هذه المنظومات أكثر فأكثر حتى نصنع منظومات ميكانيكية كهربائية نانوية يُرمز لها اختصاراً بـ NEMS.

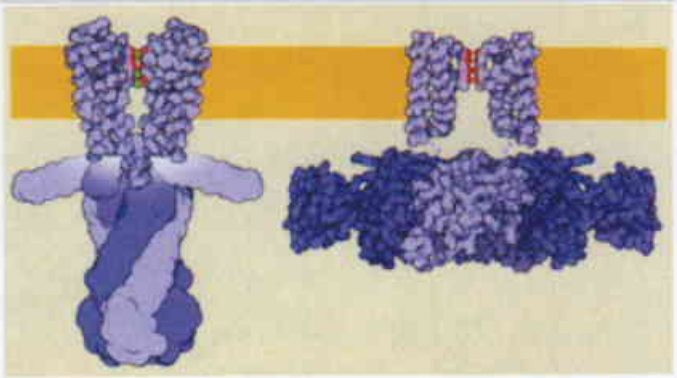
تكمن ميزة هذا النهج التنازلي في أن قدراً كبيراً من التقانة والمعرفة يتوافر الآن. ثم إن المبالغ المستثمرة في المنشآت والبحوث والتطوير هي مبالغ هائلة، توجبها القوة الاقتصادية للصناعات الإلكترونية والحاسوبية. ولكن كما أشرنا، فإن العائق يكمن في وجود قيود فيزيائية واقتصادية تواجه الشوط الذي يمكن أن تقطعه هذه التقانة. فمع أن الصناعة أظهرت عبقرية استثنائية في التغلّب على حواجز تبدو قاهرة – فإن المنابع الضوئية فوق البنفسجية الجديدة وأقنعة إزاحة الطور phase-shifting masks قد حقّقت من الناحية التجارية أبعاداً تقع دون المئة نانومتر – وربما ستلقى هذه المنابع رواجاً عما قريب. وثمّة مشكلة أعمق وأهم في العالم النانوي ألا وهي مشكلة الحركة البراونية وقوى التوتر السطحي. فقد تجعل القوى السطحية الشديدة الأجزاء المتحركة من النيمات NEMS تلتصق ببعضها وتتوقف.

الاقتداء بالطبيعة

فكيف نحذو حذو المثال البيولوجي ونعمل مع "حُبَيْبة grain" العالم النانوي؟ واضح أن أفضل طريق يتمثل في استثمار المكوّنات الراهنة التي تقدمها لنا الطبيعة. ويمكن أن تكون إحدى هذه الطرق انتزاع بعض المكوّنات عمداً من وسطها الذي تعيش فيه، مثل المحركات الجزيئية molecular motors، وتضمينها في بنى صنعية نانوية. فقد بيَّن نادريان سيمان N. Seeman، وآخرون من جامعة نيويورك، على سبيل المثال، كيف يمكن تسخير خواص التجمّع الذاتي للدنا DNA لتكوين بنى معقدة ونبائط نانوية المقياس كتلك المبيَّنة في الشكل 4. وثمّة نهج آخر يقضي بالبدء بمتعضية حيّة كاملة (ربما تكون بكتيرة bacterium بسيطة) ثم هندسة نسخة منه جينياً بحيث لا تحتوي إلا على المكوّنات التي تهمنا.

يمكن للمرء أن يفكر بهذا النهج – الذي يُدعى غالباً باسم "التقانة النانوية البيولوجية" bionanotechnology – وهو منهج Mad Max و Scrap Heap Challenge للهندسة النانوية. وبهذا فإننا نعرّي ثم نجمّع بشكل جزئي منظومة مجتزأة معقدة جداً ندرك سلوكها بهدف الحصول على شيء آخر يقوم بعمل. ويستثمر هذا النهج حقيقة كون التطوُّر الذي يُعدُّ أداة استمثال رائعة قد أنتجت ماكنات نانوية ذات مردود عالٍ ومقدرة فائقة. إننا نعرف حالياً ما يكفي عن البيولوجيا بحيث يمكننا فصل مكوّنات الخلية واستخدام هذه المكوّنات إلى حدٍّ ما خارج سياق الخلية الحيّة – وهو ما أوضحه العمل الذي تقدَّم به كارلو مونتيماغنو C. Montemagno من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجيلوس وهارولد كريغهيد H. Craighead من جامعة كورنيل والذي يمثله الشكل 5. إن هذا النهج سريع وهو الأرجح لتحقيق التقانة

الشكل 3- الآلات النانوية في الطبيعة



تقدّم لنا بيولوجيا الخلية أمثلة لا حصر لها عن ماكنات معقدة نانوية المقياس. إن هذه الماكنة النانوية البيولوجية، على سبيل المثال، يمكن أن تتشغل activated بواسطة الفولطية الغشائية أو جزيئة ما تأشيرية تفتح قنيوة أيونية خاصة بالبوتاسيوم. وهكذا تستطيع أيونات البوتاسيوم أن تمرّ دون غيرها عبر الغشاء (وهي تظهر في هذا الرسم بصورة قضيب أصفر اللون).

النانوية الراديكالية في القريب العاجل.

وكلما تعلمنا المزيد حول كيفية عمل التقانة النانوية الحيوية، فسيكون بالإمكان استخدام بعض موديلات التصميم البيولوجية وتطبيقها على مواد اصطناعية. وعلى غرار التقانة البيولوجية الحيوية ستصلح "التقانة النانوية الحيوية المحاكية biomimetic nanotechnology" من خلال حبيبات الفيزياء الخاصة في العالم النانوي. وبالطبع فإن نَسْخَ copying أبسط آليات الحياة سيكون أمراً صعباً إلى حدٍّ مفزع. فالبروتينات على سبيل المثال تؤدي عمل إنزيمات enzymes بصورة جيدة لأن تتالي الحموض الأمينية الخاصة قد تمَّ انتقائياً عبر التطور وذلك من بين عدد غير محدود ولا يحصى من الإمكانات. ولذا فإن علينا عند تصميم الجزيئات الاصطناعية أن نأخذ بالحسبان كيفية قيام التطور بتحقيق ذلك.

ولكن بالرغم من الصعوبات، فإن التقانة النانوية الحيوية المحاكية ستسمح لنا بإنجاز أشياء مفيدة وإن كانت فجّة. فقد قامت، على سبيل المثال، شركة ALZA – وهي فرع من شركة جونسون وجونسون – بتغليف جزيئة دواء في وعاء نانوي (وأخذ الغلاف في هذه الحالة شكل قشرة كروية مصنوعة من طبقتين من جزيئات فسفوليبيدية) وحملتها إلى حيث ينبغي في داخل الجسم حيث يتم بعدئذ فتح الوعاء وإطلاق ما يجود به.

لا أظن أن نهج دريكسلر البديل (المبني على نبائط ميكانيكية مصنوعة من مواد صلبة) يتناقض بشكل صارخ مع أي من قوانين الفيزياء. إلا أنني أخشى أن يقلّل مناصروه من أهمية المشاكل التي سوف تطرحها خصوصيات معينة في العالم النانوي. فالتساهلات الوثيقة التي نُسلِّم بها في الهندسة الماكروسكوبية ستكون صعبة المنال عندما نتعامل بالمقياس النانوي، لأن هذه الماكنات ستتعرض للاهتزاز بفعل الحركة البراونية. ثم إن إيجاد طرائق لتزليق السطوح بعضها عبر بعض بدون التصاقها معاً أو تعرُّضها لاحتكاك مفرط سيكون أمراً صعباً. وخلافاً للمسلك التنازلي باستخدام السليكون، فإننا لا نمتلك الخبرة والتجربة للبناء عليها، كما أنه لا توجد ضغوط

الشكل 1- البناء على الأسس البيولوجية

ثمّة نهج للتقانة النانوية - يُدعى عادة التقانة النانوية الحيوية - يتضمن التعرية ثم إعادة التجميع الجزيئي لأحد معقدات منظومة بيولوجية. لا نفهمها إلا بشكل جزئي وصولاً إلى بنية نانوية صنعية تنجز عملاً. لقد صنع هذه البنية نادريان سيمان من جامعة نيويورك باستخدام جزيئات DNA التي تتجمّع ذاتيا بتتال ذي تصميم خاص.

اقتصادية كبيرة تدفع بالبحوث إلى الأمام. وخلافاً لنهجي التقانة النانوية الحيوية والمحاكية، فإن نهج دريكسلر يعمل باتجاه مضاد لحُبيْبَة الفيزياء الخاصة بالعالم النانوي. وبمعنى آخر، فإن نهج دريكسلر هو الأقل احتمالاً في تحقيق نتائج مرجوّة.

هموم ومخاوف

بافتراض أن ضرباً من ضروب التقانة النانوية الراديكالية ممكن ومعقول، فإن السؤال يكمن في ما إذا كنا نرغب في أن ترى هذه الوقائع النور. لقد كان من المسلّم به خلال السنوات الخمسين المنصرمة أن التقدُّم العلمي مفيد للمجتمع، ولكن الأمر ليس بالتأكيد هكذا الآن. فثمّة في بعض الأوساط دعوات للحذر من سلوك نهج التقانة النانوية، بل إن هناك دعوات لإيقاف تطوير هذه التقانة إيقافاً كاملاً. وفي ضوء هذه الهموم، طالبت الحكومة البريطانية في عام 2003 الجمعية الملكية والأكاديمية الملكية للهندسة بإجراء مسح دقيق لفوائد التقانة النانوية وأضرارها المحتملة. ولقد نُشر للتوّ التقرير الذي اعتمد على تعاون موسّع مع الجمهور.

هناك أمران رئيسان يهمّان الجمهور. أما أولهما فيرتبط بنوع التقانة النانوية التزايدية المطروحة في الأسواق أو التي هي قيد الطرح فيها، وبخاصة كون تلك المواد الفائقة النعومة يمكن أن تكون بطبيعتها أشد سميَّة من المواد التي نتعامل بها عادة بأشكالها العادية. فإذا كانت خواص المادة تتأثر إلى حدٍّ مثير بالحجم فإن هذه الجدلية تنسحب على المواد غير الضارّة عندما تكون بكميات كبيرة قد تكون أكثر سميَّة وفاعلية إذا تمكنت من دخول أجسادنا وهي على هيئة جسيمات ذات أبعاد نانوية.

إننا نعرف أن الشكل الفيزيائي للمادة يمكن أن يؤثر على درجة سميَّتها إلى حدٍّ مثير. وكمثال واقعي على ذلك نذكر الأسبستوس asbestos الذي يوجد في صيغتين كيميائيتين متطابقتين - أسبستوس أفعواني serpentine وأسبستوس زبرجدي chrysotile. ففي حين يكون الصنف الأول غير ضار بالصحة ويتألف من ذرّات مصطفة في صفائح مستوية، فإن الصنف الثاني يحتوي على أنابيب من الذرّات نانوية المقياس. ولقد أدّى التعرض لهذا الصنف الأنبوبي إلى هلاك أعداد هائلة من البشر بمرض سرطان الرئة وأمراض أخرى. وكذلك فإن الأنابيب النانوية الكربونية، مثل الزبرجد، ليست سوى نسخة ملفوفة من فلزٍّ صفيحيٍّ غير سامة بذاتها (مثال الغرافيت في هذه الحالة). وبالرغم من أنه لا يتوافر لدينا دليل حتمي على أن الأنابيب النانوية الكربونية سامة بشكل خطر، فإننا يجب بالتأكيد أن نتناولها بحذر. وبالإجمال، فإن كل مادة جديدة لا تخلو من احتمال كونها سامة.

إن التنظيمات التي تحكم إدخال مواد جديدة إلى مواقع العمل والبيئة، هي في الوقت الحاضر أشد صرامة مما مضى، وعلينا أن ندرك أن خواصّ المادة ترتبط بمظهرها الفيزيائي إضافة إلى محتواها الكيميائي. ولكننا لا ينبغي أن نفترض أن كلّ المواد النانوية المقياس تكون خطرة بالضرورة. وسيكون فرض حظر صارم عليها ضرباً من الغباء وغير قابل للتطبيق، لأننا ببساطة نملك خبرة كافية عن عدة أشكال من جسيمات نانوية نعرف أنها آمنة. وإذا أردنا تجنب الجسيمات النانوية بشكل كامل، فإن علينا أن نتوقف عن شرب الحليب، المليء بجسيمات الكازين (أو الجبنين) casein المستخدمة في صناعة الجبن.

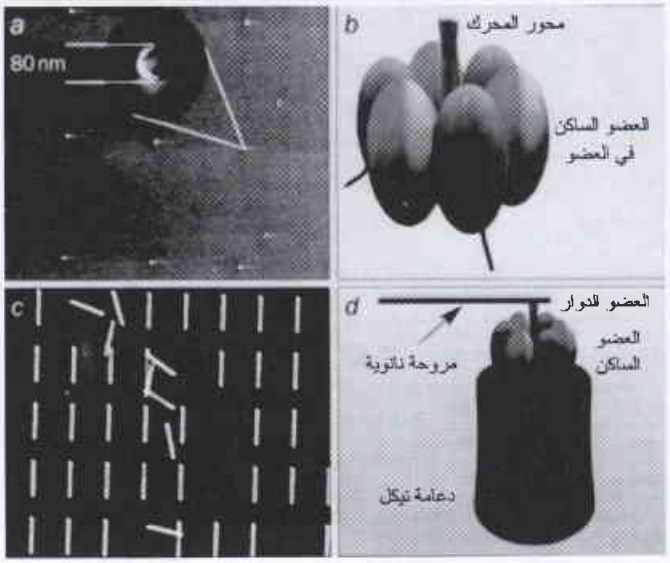
من المؤكد أن التقانة النانوية التطوُّرية ستقود المجتمع إلى تغيُّرات بعيدة المدى يجب أن نعيها الآن. فهي ستفضي إلى حواسيب رخيصة الثمن وقوية المقدرة بحيث تغدو كل نبيطة أو منتجة - مهما كان ثمنها - قادرة على استشعار المعلومات وإرسالها كذلك. فالشيبات chips القادرة على تمييز تواترات الراديو والتي أضحت شائعة الانتشار ما هي إلا بداية. إلا أن الأمل في حوسبة computing قوية ورخيصة الثمن (إذا ما ربُطت بذاكرة هائلة ومعالجة مؤتمتة للصورة) يُعدُّ حلم الدكتاتوريين وكابوس الليبراليين في مجال المكتبات.

إن الخوف الأكبر الذي يخشاه العموم فيما يتعلق بالتقانة النانوية (خارج هذه العوامل البيئية والاقتصادية والاجتماعية البحتة) إنما يتعلق بالعلاقة الخصوصية بين الإنسان والطبيعة. فهل يجوز أن نأخذ متعضيات حيّة من الطبيعة ثم نقوم بإعادة تجميعها وإعادة بناء أكثر البنى أصالة فيها، ربما باستبدال بعض المكوِّنات الصنعية من صنع الإنسان محل أجزاء من الجسم من صنع الحياة؟ وبكلمات أخرى، هل نجعل الفاصل بين الإنسان والآلة زائغاً؟ إن هذه المخاوف تقع في جذور أبعد الهموم شوطاً فيما يخص التقانة النانوية (أي مسألة الغشاوة الكئيبة أو grey-goo). وبالطبع، فإن الخوف من فقدان السيطرة على الأحداث هو خوف يلازم أية تقانة. والسؤال هو ما إذا كنّا على حق بأن نقلق إلى هذا الحدّ.

علينا أن نكون واضحين حول ما يعنيه هذا الاقتراح بأننا نستطيع تجاوز هندسة التطوُّر بابتكار شكل صنعي من الحياة كلّياً،

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

الشكل 2. نبائط تقانة نانوية حيوية هجينة



تستثمر التقانة النانوية الحيوية حقيقة مفادها أن التطوُّر evolution قد قاد إلى ماكنات نانوية ذات مردود عال ومقدرة فائقة. ويمكننا الآن، على سبيل المثال، فصل مكونات الخلية الحية وتسخيرها إلى حدّ ما لأداء عمل ما خارج إطار الخلية الحية. إن هذه النبيطة الهجينة التي طورها كارلو مونتيماغنو من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجيلوس وهارلد كريغهيد من جامعة كورنيل، تتألف من صفيف أعمدة من النيكل (a) طول كل منها 200 نانومتر وقطرها 80 نانومترا، وقد رُكب على كل عمود محرك بيولوجي جزيئي دوار (b) وقد ربط بدوّار كل محرك نافثة نانوية (c) يتراوح طولها بين 750 و1400 نانومتر وبلغ قطرها 150 نانومترا. إن إضافة وقود الـ ATP إلى النبيطة الكاملة (d) يجعل المروحة تدور.

يكون أكثر تلاؤماً مع البيئة الأرضية مما هي حال الحياة نفسها. إن عملاً فذّاً كهذا يبدو غير قابل للتحقيق خلال السنوات العشرين القادمة – وربما لوقت أطول. فالأمر ببساطة يكمن في أننا لا نملك المعرفة التفصيلية الكافية حول آلية عمل الحياة نفسها. صحيح أننا نملك "قائمة الأجزاء parts list"، إلا أن معرفتنا شحيحة عن كيفية تجمّع هذه الأجزاء بعضها مع بعض لتعمل كمنظومة معقدة. ومع هذا، فإن إدراكنا لكيفية هندسة الطبيعة بالمقياس النانوي سيتنامى سريعاً، كما أن محاولات تقليد بعض وظائف الحياة ستساعدنا على تقدير الكيفية التي تعمل بها البيولوجيا.

ولكن هل من الممكن من حيث المبدأ إنشاء شكل آخر من أشكال الحياة، شكل يعمل على نحو أفضل من الحياة القائمة حالياً؟ ولكي نجيب على ذلك، نحتاج أن ننظر إلى مدى كمال تلاؤم الحياة مع بيئتها. علينا أن نعرف كم مرة بدأت الحياة، وما هو عدد الخطط البديلة التي تمَّ تجريبها وإخفاقها. علينا أن نعرف إن كان هناك من هذه المخطّطات (التي تمَّ استبعادها بالصدفة أو بحادث مفاجئ)، ما يُقيِّض لها أن تعمل بشكل أفضل. إن تتبُّع نظرية التطوّر يُعدُّ طريقاً ناجعاً لإيجاد الحلّ الأمثل لمسألة الحياة. فهل تجد الحياة دائماً أفضل الحلول؟ ربما لا يكون الأمر كذلك، ولكنني سأكون شديد الذهول لو استطعنا فعل ما هو أفضل.

أخبار علمية

1- نظرة حديثة إلى إماهة الإلكترون*

يؤدي إدخال إلكترون إضافي إلى الماء، إلى تشكل إلكترون مميّه hydrated electron. لقد تمّ هذا الاكتشاف المثير لأول مرة عام 1962 [1]، وهو يتصف بأهمية جوهرية في الكيمياء الإشعاعية وفي عمليات نقل الإلكترون في الماء، وبناء عليه فقد اتسعت دراساته [2, 3]. ولكن ما بقي غامضاً هو كيفية تحرك الإلكترون المميّه عبر الماء وكيف تترتّب الجزيئات المائية في جواره القريب. وقد ظهرت ثلاثة تقارير في هذا الصدد تُوصّف دراسات تجريبية لعناقيد مائية سالبة الشحنة وتُسلّط الضوء على هذه التساؤلات.

ففي الماء بالجملة bulk water، يعتقد أن الإلكترون المميّه مُحبوسٌ في تجويف كروي قطره مابين 0.22 و0.24 نانومتر (1 نانو = 10^{-9} م)، وأنه يَشغُل حالة إلكترونية دنيا من النمط S. وتتميّز حالة الإلكترون المميّه هذه بامتصاص إلكتروني عريض قرب 1.7 eV، الأمر الذي يمكن اعتباره كعبور من الحالة S إلى الحالة p [1-3]. ولقد أظهرت الدراسات الطيفية للإلكترونات المميّهة امتصاصاً عابراً بمقاييس زمنية من مرتبة 50 فمتوثانية (fs)، (1 fs=10^{-15} s) مابين 200 و 300 فمتوثانية، ومن مرتبة 1 بيكوثانية (ps)* (1 ps=10^{3} fs) بعد الإثارة إلى الحالة p [4, 5]. وتعتبر هذه المقاييس الزمنية نمطية بالنسبة للحركات الجزيئية. ولقد عزا بعض الباحثين العملية 50-fs إلى الحركة الدورانية الموقوفة لجزيئات الماء في الحالة المثارة كما عزوا العملية 200 - 300-fs إلى انحدار غير إشعاعي من الحالة p إلى الحالة s [4]. وهناك آخرون نسبوا العملية 50-fs إلى انحدار من s←p والعملية 300-fs - 200 إلى استرخاء لاحق للمُذيب solvent في الحالة s [5]. وفي هذه السيناريوهات، يقابل المقياس الزمني 1 بيكوثانية الاسترخاء الطويل الأمد في الحالة S.

يستخدم كل من براغ Bragg ومن معه وبيك Paik ومن معه مطيافية الإلكترون الضوئي ذات المجس الضخّي pump-probe photoelectron spectroscopy لتقصّي ديناميات عناقيد مثارة ضوئياً تحتوي على ما بين 15 و 50 جزيئة ماء وإلكترون واحد إضافيّ [6, 7]. أما هامر Hammer ومن معه فيستخدمون مطيافية الانفكاك الاهتزازي القَبْلي vibrational predissociation spectroscopy لتوضيح بنى العناقيد الصغيرة المقتصرة على ما بين (4 و6) جزيئات ماء وإلكترون مَزيد واحد one excess electron [8]. وتحفز هذه الدراسات الثلاث جميعها حقيقة كون قياسات العناقيد يمكن أن توفر سوية من التفاصيل يصعب تحقيقها في دراسات الماء بالجملة.

قدّم كل من براغ [6] و بيك [7] ومن معهما أدلّة على ديناميات سريعة (130 إلى 250 فمتوثانية) مترافقة مع الانحدار من الحالة p إلى الحالة s لعناقيدهم. ولقد ذُكرت سابقاً أعمار قصيرة جداً للحالات المثارة لمثل هذه العناقيد [9]. إذ وجد براغ ومن معه أن أعمار الحالة المثارة تتناقص كلّما تزايد حجم العنقود. وقد استقرؤوا قيمة 50 فمتوثانية للماء بالجملة واستنتجوا أن العملية (50-fs) الملاحظة في الماء بالجملة المحتوي على إلكترونات مميّهة تعود إلى التحوُّل غير الإشعاعي من الحالة p إلى s، كما كان قد اقتُرح في السابق في المرجع [5].

اهتم بيك ومن معه بدراسة مصير الحالة S بعد الانحدار s←p من خلال انتقاء طاقة الإلكترون المقذوف نتيجة للإثارة الضوئية. وتوفر تجاربهم هذه تبصرات بخصوص ديناميات المُذيب في عناقيد ذات حجوم مختلفة. فوجد أن ديناميات الإذابة تُحدث في مقياس زمني ما بين 300 و 450 فمتوثانية، وذلك بحسب حجم العنقود. ونظراً لكون هذا المقياس الزمني مشابهاً للمقياس الزمني لديناميات الإذابة في الماء الجملي، فقد استنتج بيك ومن معه أن بنية المذيب الموضعية تكون حاسمة لإذابة الإلكترون. وهم يلاحظون كذلك ديناميات بمقياس زمني أطول بكثير من 2 إلى 10 بيكوثانية، الأمر الذي يعزونه إلى تكسُّر في روابط هدروجينية يتبعه تبخر قُسيم موجود للماء water monomer.

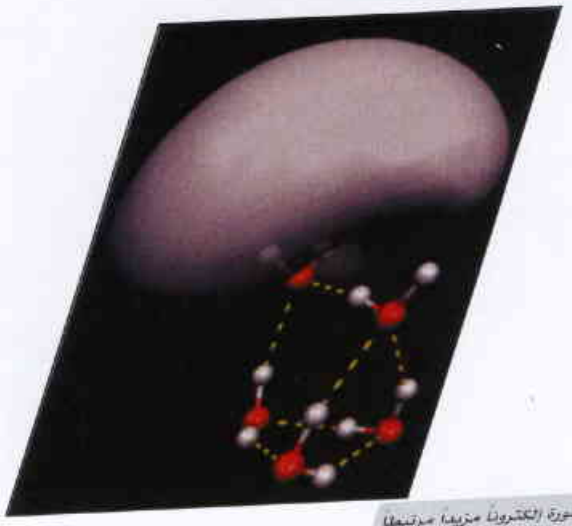
توفر هذه القياسات [6, 7] تبصرات جديدة حول ديناميات إلكترون مزيد يتأثر مع شبكات هدروجينية الترابط. ولكن علاقة المعطيات الجديدة بديناميات الإلكترون المميّه في الماء بالجملة يعتمد على ما إذا كان الإلكترون المزيد متاخماً لسطح العنقود أم أنه يقبع بداخله [10]. ولم يتوصل بيك ومن معه إلى استنتاج حول هذا الموضوع، في حين يجادل براغ ومن معه بأنهم يسبرون إلكتروناً داخليّ الارتباط. فإذا صح ذلك، فربما يسبر بيك ومن معه كذلك الكتروناً داخليّ الارتباط. وعندها تكون الدراستان متعلقتين بديناميات الإلكترونات المميّهة مباشرة.

وعلاوة على موضوع الربط السطحي إزاء الربط الداخلي، يبرز السؤال عن كيفية ترتيب جزيئات الماء في جوار الإلكترون المزيد. وقد تصدى لهذه المسألة هامر ومن معه [8].

فباستثناء ثنائي قُسيم الماء water dimer السالب الشحنة، ثَبُت أن البنية الهندسية للعناقيد المائية السالبة الشحنة تكتنفها المراوغة. ويمثل تقرير هامر ومن معه تقدُّماً رئيساً في إقرار بعض هذه البنى [8]. فعبر استخدام ذكي لمعقدات مختلطة من الماء والأرغون، تمكن هؤلاء الباحثون من اصطناع رباعي القسيم المراوغ، إما باستخدام الماء العادي أو الماء الثقيل، كما تمكنوا من اصطناع خماسي وسداسي القُسيم. وتبدي أطيافها الاهتزازية بشكل نهائي أنه في العناقيد الثلاثة جميعها، يرتبط الإلكترون المزيد بجوار جزيئة الماء التي تقبل رابطتين هدروجينيتين من

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Science*, 22 October, Vol 306, 2004، وتمّت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

* (1 ps =10^{3} fs)، حيث ورد في النص الأصلي أن (1 ps =10^{3} fs).



تظهر الصورة إلكتروناً مزيداً مرتبطاً بعنقود مائي خماسي القسيم. أما جزيئة الماء الأقرب إلى الإلكترون المزيد المُضاف (اللون الرمادي) فهو في وسط رابط الهيدروجين مزدوج المستقبل. أخذت المعطيات من حسابات شبكة الكترونية جاء ذكرها في المرجع [8].

جزيئات مجاورة ولكنه لا يمنح بذاته أية روابط هدروجينية إلى شبكة الترابط الهدروجيني (انظر الشكل). ويُعَدُّ هذا الترتيب غير مؤات من الناحية الطاقية في العناقيد المتعادلة كهربائياً. كما أن غَلَبَةَ العناقيد السالبة الشحنة في هذا الترتيب تظهر كيف أن الإلكترون المزيد يمزّق شبكة الترابط الهدروجيني.

كان لي Lee ومن معه [11] أول من اقترح أهمية الهندسات ذات المياه المزدوجة المستقبل double-acceptor water بالنسبة لربط الإلكترونات المزيدة بعناقيد الماء استناداً إلى حسابات بنيوية إلكترونية تخص سداسي قُسيم سالب الشحنة. وعلاوة على ذلك، وجد هامر ومن معه أن الإثارة الاهتزازية للاستطالة OH المرافقة لجزيئة الماء المزدوج المستقبل في رباعي قُسيم أو خماسي قُسيم سالب الشحنة إنما تُفضي إلى قذف سريع (من رتبة 50 إلى 300 فمتوثانية) للإلكترون المزيد.

وفي العناقيد الصغيرة التي درسها هامر ومن معه يكون الإلكترون المزيد مرتبطاً بالسطح. أما في داخل العناقيد الكبيرة وفي ماء الجملة، قد لا يكون الإلكترون المميّه مرتبطاً بجوار جزيئات الماء المزدوجة المستقبل. بيد أن هذا النمط من الترتيب قد يحصل تماماً على سطوح الجليد أو على سطح عناقيد الماء الكبيرة. إن تطبيق تقنية هامر للانفكاك المسبق الاهتزازي على عناقيد كبيرة يمكن أن يوضح الموقع (السطحي أو الداخلي) للإلكترون المزيد.

تعتبر هذه النتائج التجريبية الجديدة بخصوص عناقيد الماء السالبة الشحنة علامة إسناد مهمة للدراسات النظرية حول بنية وديناميات الإلكترونات المزيدة في الوسط المائي. وقد أظهرت الدراسات النظرية الحديثة أن تأثرات البَعثرة بين الإلكترون المزيد والإلكترونات جزيئات الماء تُسهم إسهاماً مهماً في طاقة ارتباط الإلكترون المزيد [12]. ويمكن لهذه التأثرات أن تلعب دوراً في تحديد ما إذا كان الإلكترون المزيد مرتبطاً بالسطح أو مرتبطاً بالداخل وتستطيع كذلك أن تؤثر على دينامياته.

المراجع REFERENCES

1. E. J. Hart, J. W. Boag, J. Am. Chem. Soc. 84, 4090 (1962).
2. P. J. Rossky, J. Schnitker, J. Phys. Chem. 92, 4277 (1988).
3. L. Turi, D. Borgis, J. Chem Phys. 117, 6186 (2002).
4. K. Yokoyama, C. Silva, D. H. Son, P. K. Walhout, P. F. Barbara, J. Phys. Chem. A 102, 6957 (1998).
5. M. S. Pshenichnikov, A. Baltuska, D. A. Wiersma, Chem. Phys. Lett. 389, 171 (2004).
6. A. E. Bragg, J. R. R. Verlet, A. Kammrath, O. Chechnovsky, D. M. Neumark, Science 306, 669 (2004); Published online 16 September 2004 (10.1126/science. 1103527).
7. D. H. Paik, I.-R. Lee, D.-S. Yang, J. S. Baskin, A. H. Zewail, Science 306, 672 (2004); Published online 16 September 2004 (10.1126/science. 1102827).
8. N. I. Hammer et al., Science 306, 675 (2004); published online 16 September 2004 (10.1126/science. 1102792).
9. J. M. Weber et al., Chem. Phys. Lett. 339, 337 (2001).
10. J. V. Coe et al., J. Chem. Phys. 107, 6023 (1997).
11. H. M. Lee, S. Lee, K. S. Kim, J. Chem. Phys. 119, 187 (2003).
12. F. Wang, K. D. Jordan, Annu. Rev. Phys. Chem. 54, 367 (2003). ❐

2- علماء الفيزياء النووية يدعمون المشروع الألماني*

يعدُّ إنشاء مجمَّع لمُسرِّع جديد في مخبر GSI في درمشتد بألمانيا، الأولوية العلَيا في خطة جديدة طويلة الأمد أعدَّتها لجنة التعاون الأوربي للفيزياء النووية (NuPECC). وتعتقد هذه اللجنة أن منشأة بحوث مضاد البروتون والأيون (FAIR) في GSI هي واحدة من عدد من المنشآت الجديدة التي لا بد لأوربا أن تقوم ببنائها إذا أرادت أن تحتفظ بمركزها القيادي في الفيزياء النووية.

لقد دعمت لجنة NuPECC منشأة FAIR لأنها سوف تساند البحث العلمي في مجال واسع من المواضيع بما في ذلك البنية النووية، والفيزياء الفلكية النووية والتحريك اللوني الكمومي والبحث في المواد النووية العالية الانضغاط. ولمّا كان المجمَّع الجديد سيكتمل في بدايات العقد القادم، فإنه سوف يدشّن سنكروترونا

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, September 2004، وتمّت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مزدوج الحلقة، ذا محيط يبلغ 1100 متر. وسوف تزيد هذه النبيطة شدة الحزم الأيونية الأولية الصادرة عن المسرِّعات المخبريّة القائمة بقدر يساوي 1000 ضعف، كما تزيد طاقتها بما يقارب 20 ضعفاً. ونشير هنا إلى أن منشأة FAIR هذه سوف تسرِّع حزم كلٍّ من النوى المستقرة وغير المستقرة، وكذلك البروتونات المضادة.

لقد أعلنت الحكومة الألمانية في العام المنصرم أنها سوف تتكفّل بـ 75% من تكاليف بناء منشأة FAIR (التي ستبلغ في مجموعها 750 مليون يورو وفق أسعار عام 2000) شريطة أن تسدِّد الدول الأخرى باقي الفاتورة (انظر مجلة Physics World لشهر آذار/مارس 2003). هذا ويثق السيد وولتر هننغ مدير GSI، بأن نسبة الـ 25% المتبقية سوف تسدّدها الدول الاثنتا عشرة الأخرى التي تساعد حالياً في تعريف المشروع. وهو يقول أن الإنشاء يمكن أن يبدأ بحلول عام 2007.

أما الأولوية الثانية في خطة لجنة NuPECC فهي إقامة منشأة جيل تالٍ من الحزم الأيونية الإشعاعية تدعى باسم المنشأة الأوربية لفصل النظائر بشكل مباشر من الحزم الأيونية المشعّة (EURISOL). ولسوف تولِد هذه المنشأة بتكلفة تساوي بضع مئات من ملايين اليورو حزماً أقل عُلوّاً في القيمة ولكن أكثر قوة مما تولده FAIR، على الرغم من أنها لن تدخل خط الإنتاج إلاّ بعد عام 2013.

وكخطوة باتجاه EURISOL، تدعم NuPECC كذلك عدداً من المشاريع الصغيرة للحزم الأيونية المشعّة يمكن أن تُستكمَل في غضون السنوات القليلة القادمة. وتتضمّن هذه المشاريع مشروع SIPRAL2 في مختبر GANIL بالقرب من باريس، ومشروع (SPES) في مختبر Legrano في إيطاليا ومشروع تحديث لمنشأة REX-ISOLDE في CERN ومشروع منشأة MAFF في منبع نترونات FRMII في ميونخ. وبالإضافة إلى إعطاء نتائج علمية، ستطور هذه المنشآت تقانات لصالح EURISOL. وتتضمن توصيات أخرى مسرّع 5MV المزمع بناؤه في مخبر جران ساسو Gran Sasso في إيطاليا لقياس تفاعلات نووية وثيقة الصلة بالفيزياء الفلكية.

ويعرب رئيس NuPECC، السيد محسن حراكه من معهد KVI في هولندا، عن تفاؤله بمباشرة العمل وفقاً لتوصيات التقرير. ويقول: *" لقد استلمنا إشارات إيجابية جداً من وكالات التمويل الأوربية ونحن نرتّب لاجتماع معهم في الخريف كي نناقش توصياتنا"* .

ويعتقد بيل جيلتلي B. Gelletly (وهو فيزيائي نووي في جامعة سوراي Surrey) أن المملكة المتحدة يجب أن تنضم إلى لجنة FAIR ولكنه غير مقتنع بأن هذا سيحدث. ويقول: *"أعتقد أن بعض الدول الأخرى قامت بالفعل بتخصيص أموال للمشروع، ولكن كما هو الحال دائماً، فإن من الصعب جداً معرفة ما ستفعله المملكة المتحدة، وإذا لم تدعم المملكة المتحدة لجنة FAIR، فإن برنامجها الفيزيائي النووي سيبقى متلكئاً"* .□

3- هل يُؤمِّن مفاعل نووي وقود الكرة الأرضية؟*

سؤال مهم - فيزيائيون ألمان يريدون أن يبنوا مكشافاً لرؤية ما إذا كانت الأرض تحتوي على مفاعل انشطاري.

قام الجيوفيزيائيون في هولندا برسم خطط لهوائي تحت أرضي مضاد للنترينو قد يبرهن ما إذا كان هناك مفاعل نووي موجود بشكلٍ طبيعي في مركز الكرة الأرضية. وقد كانت الفكرة الخلافيّة بأن الكرة الأرضية تحتوي على "مفاعل أرضي" قد اقتُرحت للمرة الأولى في عام 1993 على يد مارفن هرندون M. Herndon، وهو عالم جيوفيزيائي مستقل يقيم في كاليفورنيا. ويعتقد هذا العالم بوجود مفاعل انشطاري ذي قطر يساوي 8 كيلومترات يوفّر ما يكفي من الطاقة لتوليد واستدامة الحقل المغنطيسي للأرض. ويمكن لمثل هذا المفاعل أيضاً أن يُفسّر لماذا يَصْدُر من الطاقة عند سطح الأرض مقدارٌ يفوق ما يمكن حسابه عبر النظريات التقليدية.

روب دو ميير R. de Meijer وزملاؤه العاملون في معهد الفيزياء النووية في خرونغن يريدون اختبار فكرة هرندون Herndon هذه من خلال البحث عن مضادات النترينو الإلكترونية التي يتم صدورها حينما يُعاني اليورانيوم والثوريوم انشطاراً نوويّاً (Nuclear Physics News 14(2)20). وتكمن خطتهم في حفر ممرٍّ رأسيٍّ قطره يساوي 30-40 سم وارتفاعه 500 متر تحت سطح جزيرة كوراساو (Curacao) في البحر الكاريبي. وتتشعَّب من نهاية هذا الممر الرئيسي ممرات فرعية صغيرة يصل عددها حتى الثلاثين ويتزوّد كل منها بمكشافٍ مضاد للنترينو يحتوي على سائل أو مادة صلبة مناسبة.

إن مضادات النترينو سوف تتصادم مع البروتونات في كل مكشاف لتولِّد بوزتروناً ونترونا. إن البوزترون يُصدِر ومضة من الضوء حين يتفاعل مع جزيئات المكشاف. وفي الوقت ذاته، تأسر النواة النترون وتُطلقُ جسيم ألفا الذي يُولِد بدوره ومضة أخرى بعد مرور بضع مئات من الميكروثانية. وبقياس الومضات عن طريق استخدام أنابيب مضاعفات ضوئية أو ديودات ضوئية، قد يكون بالإمكان تتبُّع طاقة ومنشأ مضادات النترينو.

يقول السيد دو ميير "سوف يمكننا أن نقول ما إذا كانت مضادات النترينو تتولّد بواسطة مفاعل أرضي أو إذا كانت تتولّد في مكان آخر من كوكب الأرض". ويضيف قائلاً: "يمكن لمضادات

* نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World, September 2004، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

النترينو، على سبيل المثال، أن تُصدر بواسطة نوى يورانيوم وثوريوم في الغلاف السفلي أو الحدّ الكائن ما بين اللّب core الداخلي الصلب والسائل". لحسن الحظ بالنسبة لدو مبير، فإن مكشافات مضادات النترينو موجودة أصلاً. فعلى سبيل المثال ادعى علماء من مكشاف كاملاند KamLAND في اليابان، في العام الماضي بأنهم رأوا تسعة مضادات النترينو تستخدم 1000 طن من السائل العضوي.

يريد دو مبير أن يبني أوّل هوائي لمضادات النترينو في جزيرة كواراساو لأن صخور الجزيرة تحتوي نسبياً على نكليدات مشعة طبيعية قليلة تستطيع حجب الإشارة الصادرة عن لبّ الأرض. وحيث إن هذه الجزيرة تقع على مبعدة 1000 كم من ساحل فلوريدا، فإن البحر يحجبها جيّداً عن مضادات النترينو التي تُصدرها محطات الطاقة النووية في الولايات المتحدة. يقدر دو مبير أن الهوائي قد يكلف حوالي 50 مليون يورو وهو يود في النهاية أن يبني شبكة من 10 نبائط كهذه حول العالم لكي يصور الكوكب بأكمله.

ومع أن هذا المشروع ما يزال في مرحلة مبكرة جداً، فإن الفريق الهولندي يعمل حالياً مع باحثين من جامعة كيب تاون ومختبرات إيثمبال iThembaLABS في جنوب إفريقيا، على تحديد المادة المثلى للمكشافات. ويأمل دو مبير أن يكون خلال ثلاث سنوات قد بنى واختبر مكشافاً أوّليّ النمط، وأن يكون قد صمّم "شبّة" chip تجري إلكترونيات تحليل البيانات وأن يكون قد تصدى لتحديات حفر ممرٍّ رئيسي في كواراساو. ومن الممكن أن يكون قد تجهّز بحلول منتصف العقد القادم هوائيٌّ تام الوظيفة.

إن فكرة مفاعل هرندون الأرضي هي فكرة خلافيّة: فقد وصفها جيوفيزيائي لم يشأ أن يذكر اسمه، باسم "قمامة" و "هراء مثير". ولكن إذا صحّت، فإنها قد تُفسِّر لغز سببية الاتجاه العكسي المفاجئ في الحقل المغنطيسي للأرض في مراحل متعددة من تاريخ الكوكب. إنه من المعلوم جيّداً أن هذا الحقل يتولد بواسطة حركة الحديد السائل الموجود في اللب الخارجي الذي يُقاد بواسطة شكل ما من أشكال المصادر الحرارية. ولكن إذا كانت منتجات الانشطار تتكون على نحو أسرع من تناثرها بفعل الجاذبية، فإن المفاعل الأرضي سوف ينطفئ وتهبط قيمة الحقل الأرضي إلى الصفر. ولكن في نهاية المطاف لابد أن تتناثر منتجات الانشطار ويبدأ المفاعل في العمل من جديد ويعيد تأسيس حقل الأرض في نفس الاتجاه أو بعكسه.□

4- القوة الشديدة تستحق جائزة نوبل*

بحثٌ في سلوك الكوارك يفوز بجائزة نوبل لهذا العام

ثلاثة نظريين من الولايات المتحدة فازوا بجائزة نوبل للفيزياء لهذا العام عن عملهم حول فهم القوة الشديدة، التي تربط الكواركات بعضها مع بعض داخل البروتونات والنترونات وجسيمات أخرى تحت ذرية subatomic. فقد فاز بالجائزة دافيد غروس David Gross من جامعة كاليفورنيا في سانتا بربارا، ودافيد بوليتزار David Politzer من معهد كاليفورنيا للتقانة، وفرانك ولتشيك Frank Wilczek من معهد ماساتشوستس للتقانة "لاكتشاف الحرية التقاربية asymptotic freedom في نظرية التفاعل الشديد". وتصف الحرية التقاربية حقيقة أن القوة بين الكواركات تصبح أشد وليس أضعف حينما تتباعد. وقد أرسى هذا الاكتشاف أسس الدينامية اللونية الكمومية (QCD) – وهي نظرية تصف القوة الشديدة في النموذج المعياري للفيزياء الجسيمية.

حقق الفيزيائيون الثلاثة اكتشافهم في عام 1973، حين كان ولتشيك طالباً في السنة الأخيرة عند غروس في جامعة برنستون في حين كان بوليتزار (الذي كان يعمل مستقلاً) يُعِدّ لدرجة الدكتوراه بالفلسفة في جامعة هارفارد تحت إشراف سدني كولمان Sidney Coleman. وكانت أبحاثهم حول الحرية التقاربية قد صدرت متلاحقة في مجلة Physical Review Letters (العدد 25 حزيران من ذلك العام).

كان ولتشيك (53 عاماً) يستحمّ في الساعة الخامسة من بعد الظهر بالتوقيت المحلي حينما تلقّى مكالمة من أكاديمية رويال السويدية للعلوم في استوكهولم. حيث رنّ الهاتف بدون توقف تقريباً، وحسبما أخبر ولتشيك مجلة Physics World، فقد "كان هنالك سيل هائل من التهاني". إذ قال: "كنت أتحدث بلا انقطاع طيلة الأيام القليلة الأولى عقب الإعلان عن الجائزة، وأنا سعيد جداً وإن كنت مرتبكاً بعض الشيء".

وختاماً في كاليفورنيا، شبّه غروس التجاوب مع الجائزة وكأن انهياراً ثلجياً قد طمره. إذ ما إن تم إخباره بالجائزة في حوالي الساعة الثانية والنصف صباحاً حتى تلقّى تقريباً حوالي 300 تهنئة بالبريد الإلكتروني حتى الثامنة صباحاً، وبضمنها طلبات وفيرة للتوقيع من قناصة التواقيع.

أما بوليتزار فقد احتجب عن أية دعاية وأبى الظهور في مؤتمر صحفي في شركة كالتيك قائلاً أنه يفضل الاحتفال على نطاق ضيق مع الأسرة والأصدقاء. ولكنه سوف ينضم إلى غروس وولتشيك في مراسم احتفال نوبل في استوكهولم في كانون الأول/ديسمبر 2004.

ومع أن بوليتزار توقف عن النشر في منتصف التسعينيات من القرن المنصرم، فإنه يستمر في تعليم الطلاب. ويقول عنه رئيس شركة كالتيك، دافيد بالتيمور D. Baltimore: "إنه متفانٍ بشكل خاص في تعليم الطلاب الأغرار في الفيزياء" وفي الواقع فإن بوليتزار (الذي تألق مرة مثلما تألق الفيزيائي روبرت سيربر R. Serber في فلم حول مشروع منهاتن يدعى Fat man and Little boy)، اشتهر بعزفه على غيتاره الكهربائي أثناء المحاضرات.

* نشر هذا الخبر في مجلة Physics World, November 2004، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

قصة القوة الشديدة

تعود محاولات فهم القوة الشديدة إلى عام 1935 عندما اقترح هيديكي يوكاوا H. Yukawa أن التآثر interaction بين بروتونين في نواة ما تتوسطه جسيمات تدعى ميزونات π-mesons، تماماً مثلما تتضمن القوة الكهرطيسية تبادل الفوتونات. ومع أن ميزونات π– شوهدت فيما بعد في التجارب، فإن نظريته واجهت صعوبات بالغة. وعلى وجه التخصيص، فقد كشفت التجارب في الخمسينيات من القرن المنصرم جسيمات أخرى كثيرة تحت ذرية تتآثر بشدة. وكان من الواضح أن نظريةً تتضمن بروتونات وميزونات π– ونترونات فقط لابد أن تكون ناقصة.

غير أن النظريين كانوا يحققون تقدماً أفضل بكثير في فهم القوة الكهرطيسية التي وصفتها نظرية علم التحريك الكهربائي الكمومي (QED). فقد وجدوا أن (التآثر) الكهرطيسي يمكن أن يكتب بدلالة توسّع متسلسل لثابت الاقتران a series expansion of the coupling constant $\alpha_{em} = 1/137$، الذي يعتبر مقياساً لشدة القوة الكهرطيسية. ومع أن معظم هذه الدلالات (الحدود) لانهائية فقد ثبت أنه يمكن حذف اللانهايات باستخدام عملية "التطبيع" renormalization.

ولسوء الحظ أثبتت محاولات لوضع نظرية نظيرة للقوة الشديدة صعوبة ذلك. وتتمثل إحدى المشكلات بأن ثابت الاقتران بالنسبة للقوة الشديدة أكبر بكثير من الواحد، مما يعني أن كل حدّ (دلالة) متتالٍ في التوسّع يكون أكبر من الذي سبقه بالتالي لا ينجح التطبيع. علاوةً على ذلك، إذا ازداد هذا الثابت بازدياد الطاقة (تماماً كما يفعل α_{em} في QED) عندئذ تصبح الحسابات أكثر صعوبة.

أدرك غروس وبوليتزار وولتشيك أن الحل الوحيد هو افتراض أن ثابت الاقتران للقوة الشديدة يصغر عند الطاقات العالية أو عند المسافات القصيرة. وقد ارتكزت نظريتهم على الكواركات التي كان قد اقترحها موراي جيل مان M. Gell-Mann في عام 1964 لكنها لم تكن قد شوهدت تجريبياً. ففي QED يصبح التفاعل الكهرطيسي بين جسيمين مشحونين أضعف في المسافات الأطول لأن الشحنات يتم "حجبها" بواسطة أزواج افتراضية قصيرة العمر من الإلكترونات والبوزترونات. بيد أن ذلك لا يحدث في حال التآثر القوي لأن الجسيمات التي تحمل القوة الشديدة – الغلوونات gluons – لاتتآثر فقط مع الكواركات بل وكذلك يتآثر كل واحد منها مع الآخر. وهذا ما يقود إلى "حجب مضاد antiscreening" تقوم بواسطته الغلوونات التي تصدرها الكواركات وتعيد امتصاصها على نحوٍ مستمر بإضعاف التآثر القوي عند المسافات القصيرة. وبمعنى آخر، يكون التآثر بين الكواركات ضعيفاً حينما يقترب بعضها من بعض لكنه يصبح أقوى حينما تتباعد. وتفسّر هذه "الحرية التقاربية" سبب عدم مشاهدة الكواركات الحرة مطلقاً – فهي "محصورة" داخل البروتونات والنترونات والهَدرونات الأخرى ولا يمكن نزعها.

إثبات الحرية التقاربية

لم يفكر ولتشيك أن الدليل على الحرية التقاربية كان مهيمناً في عام 1973. إذ يقول: "كان هنالك الكثير جداً من الشك وكذلك بعض المعارضة لنتائج بحثنا لأننا لم نقم [بعد] بتحديد [مضامين] احتجاز الكوارك والغلوون".

وثمة مشكلة أخرى تتمثل في عدم اعتقاد العديد من الفيزيائيين بوجود الكواركات. ويقول غروس: "مع أنه كان هنالك دليل على وجود الكواركات من الناحية الرياضياتية، فما من أحد أخذ الأمر على محمل الجد، فإذا سحقتَ الهَدرونات فإنك لن ترى إلاّ هَدرونات ولايمكنك رؤية كوارك بسبب الاحتجاز".

لحسن الحظ أثبت اكتشاف J/Ψ في تشرين الثاني 1974 وبشكل نهائي وجود الكواركات. إذ شوهدت الغلوونات فيما بعد في تصادمات الإلكترون والبوزترون في مركز ديزي DESY للأبحاث في هامبورغ وتم اختبار QCD بأكبر دقة ممكنة منذ ذلك الحين.

أما جيرارد هوفت G. Hooft من جامعة أوترخت الذي تقاسم مع مارتينوس فيلتمان M. Veltman جائزة نوبل لعام 2000 عن عمله في التآثر الكهرضعيف electroweak interaction، فقد فرح جداً بجائزة نوبل لهذا العام إذ يقول: "أنا سعيد جداً لأن نظريات الثقالة والكهرطيسية والقوة الضعيفة قد حظيت باهتمام شعبي واسع، لكن نظرية القوة الشديدة لم يجر توضيحها بالقدر اللازم". □

5- الميكانيك الكمومي للنباتات*

إلى أي مدى تستخدم المتعضيات الحية ذات الاصطناع (التركيب) الضوئي الميكانيك الكمومي لغرض استمثال التقاط الضوء وتوزيعه؟ لقد أخذت الأجوبة تبرز من فحص نقل الطاقة في المقياس تحت الجزيئي submolecular scale.

ينصُّ القانون الأول لاقتصاد الاصطناع الضوئي على أن "توفير فوتون يُمثّل كسب فوتون". إن البحث في العوامل التي يرتكز عليها هذا المبدأ كانت تكثر إلى أن تمكن يانغ Yang وآخرون معه من جمعها في نشرة علمية في مجلة Physical Review Letters تفحّصوا فيها نقل طاقة الاصطناع الضوئي على المستوى الكمومي.

تستخدم النباتات مستشعرات شمسية solar antennae لالتقاط الفوتونات الواردة ونقل طاقة الاستثارة إلى مراكز التفاعل حيث تستخدم لاستهلال تفاعلات نقل الإلكترون الأولية في عملية الاصطناع الضوئي. وما هذه المستشعرات إلاّ واحدة من الأمثلة السامية للهندسة النانوية المقياس في الطبيعة، وقد بُنيت من معقّدات لاستثمار الضوء تتألف من بروتينات تثبّت إليها الكلوروفيلات والكاروتينات. ونشير هنا إلى أن المجموعة الفوتونية تشتمل على ما يصل إلى بضع مئات

* نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, Vol 431, 16 September 2004، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

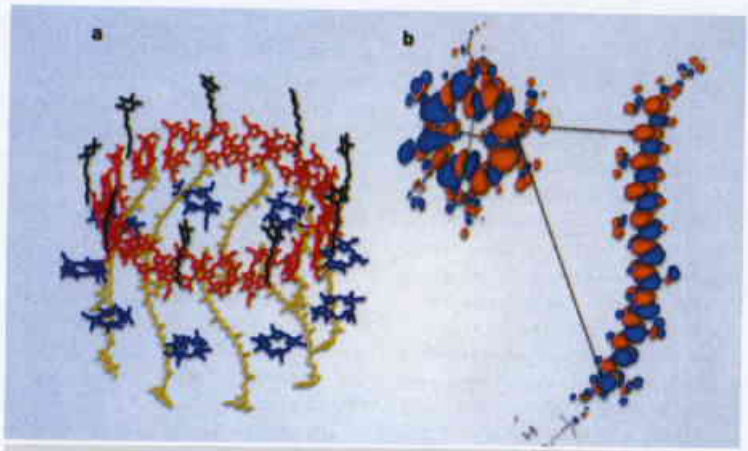
من جزيئات تمتص الضوء وتعرف باسم الحاملات الملوَّنة chromophores. ويتطلب جمع واصطياد الطاقة الشمسية مئات من خطوات نقل الطاقة في تراتبية hierarchy محددة للزمان والمسافات تتم في فعالية قريبة من الكمال.

منذ ما ينوف عن 50 عاماً وصف تيودور فورستر T. Forster طريقة لحساب سرعة نقل الطاقة بين الجزيئات وذلك من التداخل بين طيف فلورة جزيئات المانح donor وطيف امتصاص جزيئات المستقبل acceptor [4.3]. وكان لهذه النظرية وقع هائل على البيولوجيا والكيمياء والفيزياء. وقد ساعد مجموع الموديلات البنيوية العالية المَيْز والدراسة الطيفية الفائقة السرعة والحسابات الكيميائية الكمومية في تبيان العلاقات المعقّدة (والهشّة في بعض الأحيان) بين البنية والتقاط الضوء في منظومات الاصطناع الضوئي. وفي الواقع، تبيّن أن ثمّة حالات قليلة فقط يستطيع فيها نقل الطاقة داخل معقّدات التقاط الضوء في الاصطناع الضوئي أن يحظى بالتوصيف الصحيح من قِبَل نظرية فورستر التقليدية. وعلاوة على ذلك، فإن ما تبيّن من أن المفاهيم التي توضحت أثناء دراسة البروتينات الملتقطة للضوء ما هي إلاّ مبادئ عامة تنطبق على المجاميع الجزيئية قد استحثّ تغيُّراً في التفكير بخصوص نقل الطاقة في البنيانات الهندسية المحدودة.

لقد كشفت دراسات مختلفة [6.2-8] أن أبعاد معقّدات الاصطناع الضوئي النانوية المقياس تكون حاسمة فيما يخص التقاط الضوء. فعلى نقيض معظم نظم الموديلات model systems التي تكون فيها الحاملات الملونة chromophores متباعدة المسافات بقدر يُعدُّ كبيراً بالنسبة لحجومها، فإن الحاملات الملونة في المنظومات الملتقطة للضوء تكون متراصّة بكثافة. وهذا يعني أن التأثرات interactions الإلكترونية بين المكوّنات المتصّة للضوء تختلف من الناحية الكمية والكيفية عن معظم نظم الموديلات الأخرى. وقد استنهض هذا الإدراك إيجاد طرق نظرية جديدة (بما في ذلك بحث يانغ وزملائه) تمدُّنا بوصفة prescription مفصَّلة لحساب نقل الطاقة في تجمُّعات الحاملات الملوَّنة المتعددة.

ولفهم ديناميكية التقاط الضوء واصطياده في عملية الاصطناع الضوئي يجب أن تؤخذ بالحسبان معالم تصميم معينة، فعلى سبيل المثال، غالباً ما تكون المسافات بين الجزيئات أصغر من الحجم الإجمالي لكل جزيئة. وفي هذا البنيان الهندسي المقيّد يكون ما يحكم نقل الطاقة هو كيفية رؤية المانح donor للمستقبل acceptor

بالمقياس تحت الجزيئي حيث تصبح الفوارق الدقيقة في شكل الدالاّت الموجية wavefunctions بين الحالتين الأساسية والمستثارة عند ملتقى المانح والمستقبل ذات مغزى (الشكل 1). فعند هذا المستوى من الحدود الحيّزية (المكانية) spatial فإن التحوّلات ومستويات الطاقة

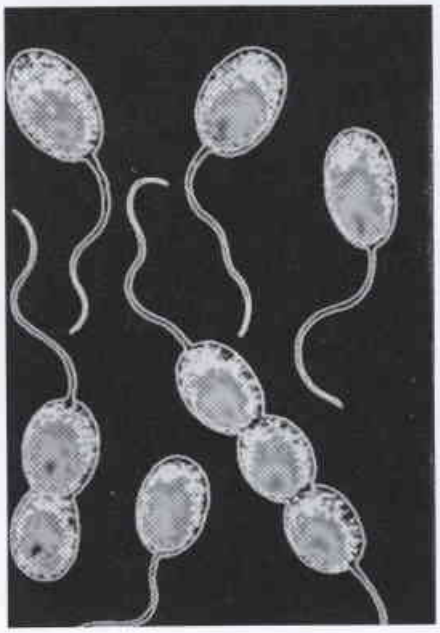


الشكل 1- تصميمات لنقل الطاقة. الشكل (a) حاملات ملونة في موديل لمعقد ملتقط للضوء (2) مأخوذ من بكتيرة Rhodopseudomonas acidophila (الشكل 2) بقطر 3.4 نانومتر. إن جزيئات الكلوروفيل البكتيري B800 (باللون الأزرق) متباعدة بشكل واسع وتؤلف مانحات بسيطة أما الجزيئات B850 (باللون الأحمر) فتتآثر بقوة وتؤلف مستقبلاً معقداً في بنيان هندسي مقيّد. وعبر مثل هذه التآثرات بين الجزيئات توظّف متعضيات الاصطناع الضوئي الميكانيك الكمومي لتوجيه الفوتونات المتصّة نحو مركز التفاعل. وفي المقاييس الزمنية التي تقل عن بيكوثانية واحدة، تتدفق الطاقة من الجزيئات B800 المتصة لـ 800nm نحو الجزيئات B850 المتصّة لـ 850nm ومن الكاروتينيات (باللون الأصفر) إلى B800 و B850 كليهما. وأما الشكل (b) فهو صورة حقيقية الفراغية للتآثرات بين جزيئات بمقياس تحت جزيئي (متلما يُشاهد في كثافات تحوّل جزيئات الكلوروفيل البكتيري 1.1Hz (يساراً) وجزيئات الكاروينويئيد (يميناً) محسوبة من الدالاّت الموجية للحالتين الأساسية والمستثارة. وتمثّل الألوان المختلفة علامة الكثافة الإلكترونية، وعوضاً عن فصل separation متوسط واحد بين المانح والمستقبل تحدّد سرعة نقل الطاقة كما في نظرية فورستر. توجد بوضوح عدة مقاييس للطول (الأمثلة ذات السهام) تتآثر على طولها الأجزاء المختلفة من الكثافات الإلكترونية للمانح والمستقبل.

التي تكون غير مجدية (أو حتى غير عاملة) في المنظومات ذات الحاملات الملونة المتباعدة بشكل واسع، يمكن أن تكون حاسمة في زيادة فعالية النقل الطاقي.

ومن الناحية النموذجية، فإن منظومة الحاملات الملونة المتعددة المقيّدة تسمح بانتقال الطاقة بسرعة وفعالية أكبر عبر استخدام نافذة عريضة من حالات المستقبل. وكنتيجة لذلك، فإننا بحاجة إلى تعاريف جديدة لتوصيف المانح والمستقبل، ومن الناحية الفيزيائية، فإن كليهما يتألف من حاملات ملونة متعددة، ومن الناحية الطيفية يسلك كلاهما كحالتين مزحولتين delocalized إلكترونياً. وتتحوّر خواص هاتين الحالتين بشدة بواسطة التآثرات مع بيئات (أوساط) الحاملات الملونة بحيث تجعل كلَّ زوجين من المانح والمستقبل في التشكيلة وحدة متفرّدة. إن تلك الفكرة مألوفة في تجارب الجزيئة الوحيدة (a) حيث تتأثر مطيافية الجزيئة الفردية بوسطها المحلّي. ويستتبع ذلك نتيجة تتمثل في أن قياسات الامتصاص والفلورة لايمكن استخدامها لتسجيل قياس هادف لسرعة نقل الطاقة، كما في التداخلات الطيفية التي تؤلف صلب نظرية فورستر.

أدت هذه الإدراكات إلى إيجاد نظرية فورستر معمَّمة ساعدت على حل بضعة ألغاز طالما بقيت قائمة في موضوع الاصطناع الضوئي. فمن باب المفارقات، على سبيل المثال، ظهر أن التآثرات interactions ذاتها التي تولِّد نقلاً فعّالاً للطاقة بشكل كامل، تتيح لمتعضيّات الاصطناع الضوئي أن تُنشئ صمامات أمان لولاها لكانت سبَّبت تلفاً لاعكوسياً [11.10]. وأكثر من ذلك، فقد بيّن هذا العمل الكيفية التي تَسْتغلُّ بها منظومات الاصطناع الضوئي



الشكل 2
الرودوبسودوموناس: بكتيرة توظّف الضوء عملاً.

اضطراب الطاقة لتحسين التغطية الطيفية ولتقليل اللاتوافق الطاقي وصولاً إلى زيادة تماسك المنظومة إزاء التغيرات البنيوية والحرارية.

وكذلك تقصّى يانغ ومن معه [1] سيماء المانح والمستقبل المتعدد المكوّنات multi-component donor-acceptor للمستشعرات الطبيعية وذكروا طريقة محسَّنة لحساب عوامل التداخل الطيفي في نظرية فورستر المعممة وصولاً إلى التنبؤ بسرعة نقل الطاقة في المنظومات المعقّدة للحاملات الملونة المتعددة. وهم يأخذون بالحسبان مقوِّماً إضافياً يتمثّل في نوع من العلاقة بين حاملات اللون interchromophore term يُفسّر التماسك الميكانيكي بين الحاملات الملونة التي تمنح أو تستقبل بمجموعها طاقة الاستثارة (التهيُّج) excitation energy. ويمكن لمثل هذا التأثير، إذا لم تبطله التذبذبات البيئية في أزمان أقصر من زمن حدوث النقل الطاقي، أن تزيد سرعات تدفق الطاقة. ولكن، مازال يُفترض بأن مثل هذا التأثير (المفعول) الكمومي غير مُهمٍّ في التآثر بين المانح والمستقبل.

في سياق هذه النظرية، نستطيع الآن تحديد ما إذا كان يمكن استخدام التذبذبات النووية المتلاحمة coherent nuclear fluctuations عبر أرجاء البروتين أو البنية الاصطناعية في تسريع معدّل نقل الطاقة. وثمّة بصمةٌ لتأثيرات (مفاعيل) التماسك هذه تتمثل في أن الكينونة entity المؤثّرة كمانح أو كمستقبل سوف يتغيَّر حجمها حين تتغيَّر سعة amplitude تذبذبات الوسط بتغيُّر درجة الحرارة. هذا ولا تستخدم تأثيرات (مفاعيل) التماسك في الشُّغل العادي لأحسن مستشعر للاصطناع الضوئي توصيفاً، وهو المعقّد (2) الملتقط للضوء لدى البكتيرة التي تحمل اسم Rhodopseudomonas acidophila. ولكن هذه المفاعيل قد تلعب دوراً في منظومة ذات انزحالات واسعة بين الحاملات الملونة أو في درجة حرارة منخفضة جداً.

وبالطبع يخلِّف عمل يانغ ومن معه [1] فسحة كبيرة لمزيد من التحرِّيات. فعلى سبيل المثال، نتساءل عن ماهية التفاعل بين مقاييس الطول والزمن التي تُستبقى فيها التذبذبات النووية المتلاحمة للحاملات الملونة وبروتيناتها المحيطة. هل يمكن تصميم تجارب للكشف عن هذه المفاعيل الكمومية؟ وعلى الصعيد العملي، كيف يمكن لهذه العوامل أن تُفضي إلى استراتيجيات تصميم لملتقطات ضوء اصطناعية تكون ذات سرعات نقل طاقية وفعاليات مُحسّنة؟

المراجع REFERENCES

[1] Jang, S., Newton, M. D. & Silbey, R. J. Phys. Rev. Lett.92, 218301 (2004).

[2] Sundstrom, V., Pullerits, T. & van GRondelle, R. J. Phys. Chem.B 103, 2327-2346 (1999)

[3] Forster, Th, Ann. Phys. 2, 55-75 (1948).

[4] Van Der Meer, B. W., Coker, G. & Chen, S.-Y. S. Resonance Energy Transfer: Theory and Data (VCH, New York, 1994)

[5] Scholes, G. D., Jordanides, X. J. & Fleming, G. R. J. Phys. Chem. B 105, 1640-1651 (2001).

[6] van Amerongen, H., Valkunas, L. & van Grondelle, R. Photosynthetic Excitons (World Scientific, Singapore, 2000).

[7] Sumi, H. J. J. Phys. Chem. B103, 252-260 (1999).

[8] Scholes, G. D. & Fleming, G. R. J. Phys. Chem.B104, 1853-1868(2000).

[9] Ambrose, W. P. & Moerner, W. E. Nature 349, 225-227 (1991).

[10] Holt, N. E., Fleming , G. R. & Niyogi, K. K. Biochemistry 43, 8281-8289 (2004).

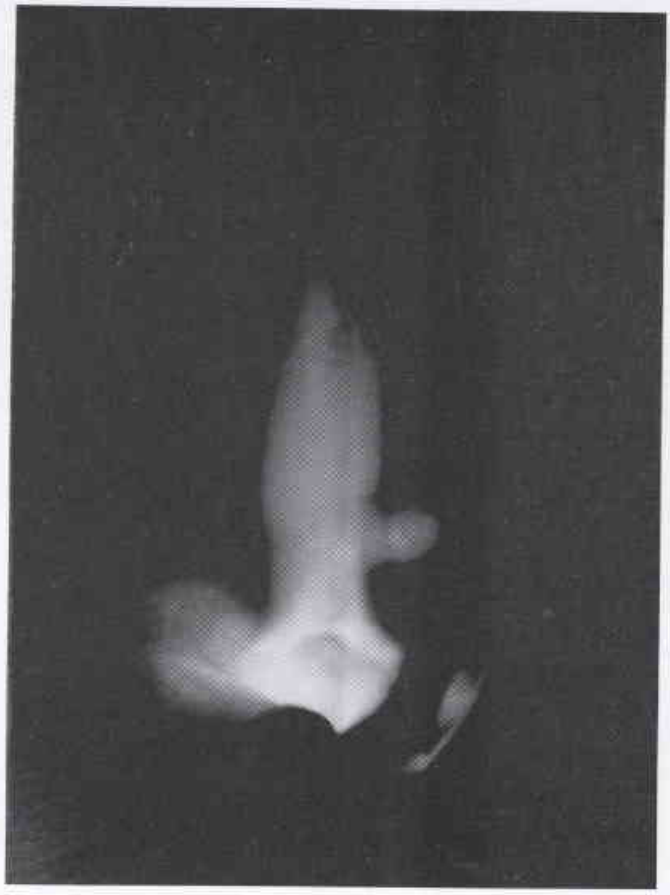
[11] Jordanides, X. J., Scholes, G. D., Shapley, W. A., Reimers, J. R. & Fleming G. R. J. Phys. Chem. B 108, 1753-1765 (2004). ❐

6- لماذا تعتبر اللهبات الباردة احتمالاً ساخناً *

ليس من الضروري أن تكون النيران جحيماً مستعراً. فهناك لهبة أكثر لطفاً يمكنها أن تخفض نسبة التلوث وأن تغير طريقة حرقنا الوقود. هذا ما يشرحه خبير الاحتراق جون غريفيز.

فَكِّرْ بسراب يتماوج أو لهبة زرقاء ضعيفة تتراقص فوق فطيرتك من الحلوى المشرَّبة بالبراندي. وتخيل الآن لهبةً أبهت منها، لهبةً واهيةً بحيث يمكنك بالكاد أن تراها أو تحس بها – إنها أقل من أن تكون لهبة ويغلب عليها أنها تفاعل كيميائي نَشِط نادر. إن هذه اللهبة الباردة هي ظاهرة لافتة للنظر يُسبِّبها تأكسد خفيف وليس احتراق مكتمل. وقد تمَّ التعرُّف على هذه الظاهرة للمرة الأولى قبل

* نُشر هذا الخبر في مجلة NewScientist, 5 June 2004، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.



قرنين تقريباً. ولوقت طويل كانت اللهبات الباردة تعتبر صفة غريبة، ولكن في السنوات الأخيرة أصبحت واحدة من أسخن المواضيع في أبحاث الاحتراق.

يستخدم المهندسون الآن اللهبات الباردة لإحداث ثورة في أنظمة التسخين والمراجل boilers بمعنى تحسين كفاءة الوقود على نحو يسمح بتشغيلها بواسطة تشكيلة من أنواع الوقود والمساعدة في صفاء انبعاثاتها. كما يمكن استخدام اللهبات الباردة أيضاً كمفعِّلات processors كيميائية لإنتاج الهيدروجين من أجل استخدامه في خلايا الوقود. ويُنتظر حتى الاستفادة منها في محركات المركبات من حيث إمكان تحويلها إلى ماكينات أكثر نظافة ومحافظة على البيئة.

كان همفري ديفي H. Davy أول من لاحظ اللهبات الباردة في عام 1805 حينما اكتشف أن بإمكانه أكسدة الايتير دایاتیل diethyl ether باستخدام البلاتينيوم الساخن كحفّاز. وبعد حوالي سبعين عاماً حقق ويليام بيركين W. Perkin في مخبره في ليدز بالمملكة المتحدة التأثير ذاته بواسطة إسقاط الايتير على طبقة من رمل ساخن. وعندما منع جميع منابع الضوء الأخرى تمكّن من إحداث توهج أزرق باهت. وباستخدام أصابعه أولاً ومن ثم الورق، أظهر أن اللهبات لم تكن تُحرِق، مما جعله يستقر على وصفها بـ "اللهبة الباردة".

يمكن تمييز اللهبة الباردة عن اللهبة التقليدية بسيروريتُها الكيميائية إذ يولد الاحتراق حرارة عبر تحرير الطاقة المقيّدة بالروابط الكيميائية للمادة. وفور استهلالها تستديم بشكل ذاتي إذ إنّ بعضاً من الطاقة المحررة يُسخّن المادة الموجودة حول منطقة الاحتراق مستهلاً بذلك مزيداً من التفاعلات. وكذلك فإن الكيمياويات المتفاعلة المستحدثة في اللهب تزيد الاحتراق عبر عملية تسمى التشعيب المتسلسل chain branching. فعلى سبيل المثال، يمكن لذرة هيدروجين واحدة عالية الطاقة أن تتفاعل مع جزيئة أوكسجين لتشكيل نوعين متفاعلين هما: جذر هيدروكسيل (OH) وذرة أوكسجين (O). ويمكن لهذين أن يتفاعلا بعد ذلك مع جزيئات أخرى الأمر الذي سرعان ما يُسبّب مكرّاً avalanche من هذه الجذور.

لكن اللهبة الباردة أمر مختلف، إذ يمكنها أن تنشأ في معظم أبخرة المواد الكيميائية العضوية، بما في ذلك الإلدهيدات والإيتيرات والأغوال، وتتشكّل تلقائياً عندما تصل درجة حرارة مزيج الهواء وبخار الوقود إلى درجة 250 مئوية. وبشكل مشابه للاحتراق التقليدي، تُطلق العمليات الكيميائية في اللهبة الباردة بعض الحرارة وتتضمن عملية التشعيب. وأكثر من ذلك يمكن لهذا التفاعل أن يتسارع ليعطي لهبة طبيعية في عملية تسمى الاشتعال التلقائي. وفي أغلب الأحيان، تنطفئ تدريجياً تفاعلات التشعيب عندما ترتفع الحرارة وتحلّ محلها عمليات أبطأ مثل تلك التي تدعى الانتشار المتسلسل والتي يتولّد فيها نوع متفاعل وحيد. هذا وتتوقف سرعة تزايد التفاعل ويتوقف ارتفاع درجة الحرارة وتستقر اللهبة الباردة عند درجة حرارة تقارب 500 مئوية.

إذاً، لماذا لم يحرق بيركين نفسه؟ فاللهبات الطبيعية تصل إلى درجات حرارة تبلغ 1000 مئوية على الأقل ويتشعّع الكثير من الحرارة التي تطلقها عبر جسيمات سخام دقيقة ولكنها شديدة الحرارة. وعلى كل حال، فإن كيمياء اللهبات الباردة تدل على أنها لا تشكل سخاماً وبذلك يكون نقل الحرارة عديم الكفاءة بشكل كبير. وبالنسبة لليد التي تمر عبر اللهبة الباردة لا يختلف الأمر عن تعرضها لحظة لهواء موقد حار جداً.

إنّ قدرة اللهبات الباردة على الاستقرار بدرجة حرارة منخفضة نسبياً يدفع المهندسين إلى استخدامها في جيل جديد من المراجل التي تشتعل بالزيت. ففي الأجهزة التقليدية يحقن الوقود داخل غرفة الاحتراق كقطرات نفط مبخوخة ويتم ضبط التدفق لتحقيق الاحتراق الأمثل. وهذا يجعل من الصعب ضبط خرج output طاقة المرجل لأن الاحتراق يصبح غير مستقر وبالتالي أقل فاعلية عند تغيير معدل التدفق. ويمكنك تنظيم خرج المرجل فقط بواسطة إشعاله وإطفائه، ولكن هذا أيضاً عديم الكفاءة.

وهكذا خرج علينا مشروع بحث يسمى بيوفلام (اللهبة الحيوية) "Bioflam" ويموله الاتحاد الأوربي بجهاز يتم فيه تبخير زيت الوقود عوضاً عن ترذيذه قبل عملية الاحتراق. وهنا يُبخ الزيت داخل غرفة

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

معزولة سبق أن جرى تدفئتها حتى درجة الحرارة 250 مئوية ثم يُمْزَج بالهواء. فتنشأ اللهبة الباردة وتستقر درجة حرارة الغرفة حول درجة الحرارة 500 مئوية وهي درجة حرارة كافية لتبخير نقاط الزيت الداخلة قبل مرورها إلى الحراق وذلك عبر كيميائية اللهبة الباردة وبفضل النسبة الصغيرة من الهواء ومزيج بخار الوقود الذي يعاد دورانه.

أما الحراق burner فهو تصميم جديد مصنوع من بنية خزفية كثيرة المسامية. وقام المهندسون في جامعة إيرالنغن نوريمبرغ في ألمانيا بإجراء تطوير على الحراق عبر تخريمه بثقوب بالغة الصغر مما يحقق البيئة المثالية لحرق الوقود بشكل نظيف نظراً لأنه يقلل من اختلافات درجة الحرارة التي تولد الملوثات. ومن خلال تأمين تدفق مستقر للوقود المبخّر يمكن للحراق أن يعمل كوحدة تعمل على نار الغاز وليس على نار حرق. أي أنه سيعمل بكفاءة عالية على امتداد مجال واسع من خرج الطاقة. وقد ثبت ذلك بالاختبارات التي أنتجت خروجاً (جمع خرج) تراوحت من 3 إلى 30 كيلو واط.

"يمكن وضع الأصابع فيها وتبقى الأصابع مصونة. وكذلك فهي لن تفحم الورق. كما أن وضع عود ثقاب فيها يجعله في أول الأمر مصفراً phosphorescent فقط ويمر بعض الوقت قبل أن يشتعل" ويليام بيركين، 1882.

وبفضل اللهبة الباردة والحراق الجديد تُولِّد هذه الوحدة نصف انبعاثات أوكسيد النتروجين التي تولدّها المراجل التقليدية التي تشتعل بنار الزيت ولكن كفاءتها تكون أكبر بنسبة 10%. وتدل عملية التبخير أيضاً على أن هذا التصميم يمكن أن يشتغل على امتداد سلسلة واسعة من الوقود بدءاً من زيت الطبخ المكرر ووصولاً إلى أنواع الوقود الحيوي المصنوعة من الصويا وبزر اللفت. ومن أجل إثبات هذه الفكرة سيتم اختبار وحدات بيوفلام "Bioflam" في المنازل الأوربية هذه السنة.

هذا وقد قام الباحثون أيضاً بضم مبخِّر vaporizer لهبة باردة ذي حفاز ساخن بغية خلق مقوِّمة reformer للوقود. وتقوم هذه الوحدة بتحويل أنواع وقود مثل المازوت إلى منبع هيدروجين يعتبر نقياً بما يكفي لإدخاله مباشرة إلى خلية الوقود من أجل تزويد المركبات الكهربائية بالطاقة. ومع أن هذه التَّبيطة ما تزال قيد الإنشاء، فهناك اعتقاد بأنها يمكن في نهاية المطاف أن تعمل كبديل مؤقت إلى أن يصبح الهيدروجين متاحاً بشكل واسع في محطات التزويد بالوقود.

يعرف المهندسون سلفاً أن اللهبات الباردة هي سمة مميزة لكل من محركات الديزل والبنزين. لكن فهم كيفية اشتعال اللهبات الباردة وتحقيق الاحتراق الكامل أمرٌ يبدل طريقة تفكيرهم بخصوص محركات الاحتراق الداخلي.

ففي أسطوانة محرك الديزل على سبيل المثال يتم مزج الوقود مع الهواء المسخّن بواسطة الضغط. وهذا يولد لهبة باردة تتحول تلقائياً إلى احتراق كامل. ومن جهة أخرى، تستخدم محركات البنزين شرارة لإحداث احتراق كامل، ولكن تحت شروط معينة يمكن أن تتشكّل لهبة باردة. وهذا يشعل المزيج قبل الأوان، وهي مشكلة تسمى القرقعة knock - ويتم منع ذلك بإضافة كيماويات مضادة للقرقعة مثل التولوين إلى الوقود.

على أية حال، فإن الباحثين يصممون الآن محركات مزدوجة النموذج تستخدم ميزات من كل من النظامين. ويعمل محرك الاشتعال الذاتي المنضبط controlled auto-ignition (CAI) (مثل محرك الديزل) حين تكاسل المركبة، ولكن حين يدوس السائق على دعسة البنزين تبدأ شمعة الإشعال (بوجي) في كل أسطوانة (سلندر) عملها مما يسمح للمحرك بتوليد طاقة أكبر، سامحة بذلك للمحرك أن يولِّد مزيداً من القدرة.

تتمتع محركات الاشتعال الذاتي المنضبط (CAI) بعدد من المزايا. أولاً: تعمل بنسب ضئيلة من الوقود للهواء، وهذا يتضمن توفيراً ملحوظاً في الوقود يماثل أو يرقى فوق أفضل محركات الديزل وهذا يُطلِق من السخام الشيء القليل. وبالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام اللهبة الباردة من أجل إحداث احتراق لطيف يسهم في إطلاق درجات حرارة أدنى في الأسطوانة وبالتالي يولد أكاسيد نتروجين بنسبة أقل. ويمكن أيضاً للمحرك (CAI) أن يعمل باستخدام تشكيلة منوعة واسعة من الوقود.

هناك مشاكل فنية رئيسة ينبغي التغلب عليها. إذ يجب على المحرك (CAI) أن يكون قادراً على العمل تحت تشكيلة منوعة من الشروط ويجب ضبط درجة الحرارة والضغط في الأسطوانة من أجل إحداث لهبة باردة في لحظة صحيحة معينة. وهناك أسلوب قيد التطوير يهدف إلى إعادة استخدام غازات العادم exhaust الدافئة ولكن الحل النهائي هو مزيج من التوقيت الدقيق وأجهزة التحكُّم بالصمامات التي تستطيع قياس درجة الحرارة المحيطة وتعديل مزيج الوقود والهواء وغاز العادم بسرعة.

وهناك مشكلة أخرى تتمثل في أن أنواع الوقود المستخدمة في مركبات اليوم تتكوَّن من مزيج معقد من الهيدروكربونات التي لم نفهم بعد كيمياء لهبتها الباردة بشكل كامل. ويقوم الكيميائيون حالياً بتقييم أنواع مختلفة من المزيج من أجل معرفة أي منها هو الأفضل لمحركات (CAI).

لازال الباحثون على علم غير دقيق بكيفية تطوُّر اللهبات الباردة إلى احتراق كامل. وثمَّة طريقة مهمة لدراستها تكمن في الثقالة المكرويّة microgravity لأن هذا يزيل تيارات الحمل الحراري ويبسِّط عمليات التسخين ونقل الكتلة mass transfer مما يسهِّل حلول الفيزياء والكيمياء للموضوع. وقد شرع علماء من ناسا (NASA) بإجراء هذه التجارب ويأملون بإجراء بحث حاسم في محطة الفضاء الدولية خلال السنوات الست القادمة.

وبغض النظر عن هذه العوائق، تقوم شركة صناعة السيارات اليابانية (نيسان) بتسويق محرك يستخدم عناصر من التصميم

(CAI). وبالنسبة للمركبات التي تتزود بالقدرة من خلايا الوقود فما يزال أمامها عقد من الزمن قبل أن يشيع انتشارها. كما لايزال هناك الكثير من الوقت قبل أن تتمكن شركة "بارتي تريك - party trick" الكيميائية لبركين Perkin من تقديم مساهمة حيوية للتقانة الخضراء.□

7- تسخين تسببه الهدروكربونيات *

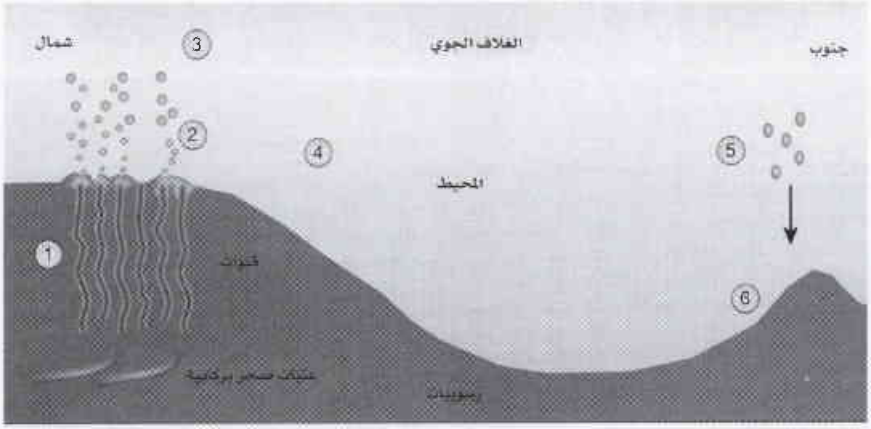
ثمة حدث تاريخي مذهل للاحترار الشامل سبّبه على ما يبدو انطلاق كميات هائلة من المواد الهدروكربونية. وثمة دليل جديد لما يمكن أن يكون قد حدث يأتي من قاع البحر في النرويج.

إن الأمثلة البارزة للاحترار العالمي الشديد والانبعاثات الهائلة لغاز الدفيئة حدثت خلال حقبة وجيزة تدعى "الحدّ الأعظمي الحراري الأيوسيني الأوّلي" (IETM)، وذلك قبل 55 مليون سنة تقريباً. وقد زاد على المناخات الحارة حينئذ أن ارتفعت درجات حرارة سطح الأرض بمقدار 5- 10 درجات مئوية خلال لحظة جيولوجية. وفي الوقت ذاته فإن كمية ضخمة من ثاني أكسيد الكربون، يظهر أنها تولّدت عبر أكسدة الهدروكربونات، دخلت على نحو سريع دورة الكربون العالمية. ولكن لم يتخذ العلماء IETM كنظير لفحص مستقبل كوكبنا إلا كرهاً، لأن الدليل المباشر للانطلاق الفعلي للمواد الهدروكربونية والآلية المسبِّبة بقي مراوغاً. وهذا سيتغير إذا أثبتت صحة مراقبات وأفكار سفينسن وزملائه.

وهنالك على مايبدو دليل غير قابل للجدال على أن كميات كبيرة جداً من ثاني أكسيد الكربون المشتق عضوياً قد تم حقنها أثناء فترة IETM. وقد أظهرت سجلات عديدة نظائرية بنيت باستخدام بيانات مأخوذة من الكربونات الأساسية أو المادة العضوية، انخفاضاً غير عادي في نسبة ^{13}C إلى ^{12}C في ذلك الوقت، مما يشير بشكل واضح إلى اضطراب في جملة الكربون الكلية على سطح الأرض. وإذا أخذنا بعين الاعتبار الانحلال المعاصر للكربونات البحرية العميقة، والفترة الزمنية القصيرة لرحلة النظير (< 20000 سنة)، فإن هنالك على الأقل 1500 جيغا طن من الكربون على شكل CO_2 لابد أن تكون قد حُقنت فجأة في المحيط أو في الغلاف الجوي من مصدر منقوص الـ ^{13}C. والتفسير الوحيد المقنع لهذا يتمثل في انطلاق وأكسدة الكربون من مكمن كبير للمادة العضوية (ويدمج التوليد البيولوجي للمركبات العضوية بشكل تفضيلي الكربون ^{12}C).

في عدة مقاطع رسوبية مأخوذة من شمال وأوسط المحيط الأطلنطي، يتميز IETM برواسب مطبقة بدقة وخالية من الكربونات. ويضم معلومات النظائر، فإن ذلك يوحي بإضافة كميات كبيرة من الميتان إلى حوض المحيط هذا وأكسدته (الشكل 1)، لأن أكسدة الميتان تستهلك الأكسجين المنحل (الذي يعيق حيوانات هذه المنطقة من أن تقلب الرسوبيات مرة أخرى) وتنتج CO_2 (الذي يذيب الكربونات). إن الاكتشافات المزدوجة للوجود الظاهري للمياه العميقة والحارة في IETM، والكميات الكبيرة من الهدرات الغازية المحتوية على الميتان – وهي عبارة عن بلورات تشبه الجليد من الغاز والماء – على طول المنحدرات القارية، قادت بالتالي إلى الافتراض التالي: إن الهدرات الغازية في الرسوبيات البحرية، على غرار تلك الموجودة اليوم، اشتملت على كميات كبيرة من الميتان الحيوي الذي استنفذ منه ^{13}C، وأدى بعض التغيير في الشروط في بداية IETM إلى غور المياه الحارة نسبياً في المحيطات، وهذا الاحترار أدى إلى تفكك الهدرات الغازية، وبالتالي إطلاق الميتان منفلتاً من قاع البحر، ليتأكسد بعدئذ ويتحول إلى CO_2 في المحيط أو في الغلاف الجوي.

إن مثل هذا الإطلاق الضخم للميتان لابد أن يكون قد خلّف



1, تواليد الميتان $2\,^{12}CH_2O \rightarrow {}^{12}CH_4 + CO_2$. 2, أكسدة الميتان $^{12}CH_4 + 2O_2 \rightarrow {}^{12}CO_2 + 2H_2O$.
3, أكسدة الميتان $^{12}CH_4 + OH^- \rightarrow {}^{12}CH_3^- + H_2O$.
4, تفكك حمض الكربون $^{12}CO_2 + H_2O \rightarrow H^+ + H^{12}CO_3^-$; $H^{12}CO_3^- \rightarrow H^+ + {}^{12}CO_3^{2-}$.
5, ترسيب الكربونات $^{12}CO_3^{2-} + Ca^{2+} \rightarrow Ca^{12}CO_3$.
6, انحلال الكربونات $^{12}CO_2 + H_2O + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$.

الشكل 1: إطلاق الميتان أثناء فترة الحد الأعظمي الحراري الأيوسيني الأولي (IETM) قبل 55 مليون سنة تقريباً. ويدمج هذا المخطط بيانات اللب الرسوبي والمراقبات الزلزالية الجديدة التي قام بها سفينسن وزملاؤه. فلقد اخترقت ممرات حارة كتل الرسوبيات التي تحوي كميات وافرة من الكربون العضوي المجرد من ^{13}C ($^{12}CH_2O$) قادت إلى إطلاق كميات ضخمة من الميتان المجرد من ^{13}C (المتشكل حيوياً أو المتولد سابقاً $^{12}CH_4$). إذ أوصلت الممرات مزيج السائل والغاز إلى قاع البحر ومن ثم تأكسد غاز الميتان إلى ثاني أكسيد كربون منقوص ^{13}C ($^{12}CO_2$) في المحيط والغلاف الجوي، مع احترار شديد حاصل. ومثل هذه الأكسدة سبّبت طبقات دقيقة التوضع ومحرومة من الكربونات في شمال الأطلنطي. كما سببت عدم انتظام سالب في نظير الكربون، ويشاهد هذه الظاهرات في اللبوب الرسوبية عند مستهل فترة IETM. أما التتالي المرقم فإنه يبيّن سلسلة التفاعلات العمومية المصاحبة.

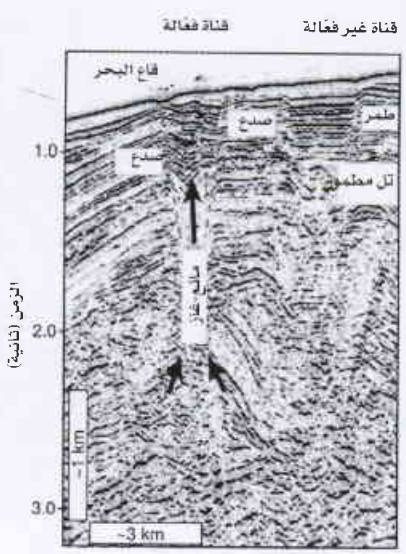
* نُشر هذا الخبر في مجلة Nature Vol 429, 3 June 2004، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

آثاراً فيزيائية لاسيما في الرسوبيات الأطلسية الشمالية حيث يكون الدليل الكيميائي على حادثة كهذه هو الأقوى. ولكن لايتوفر مثل هذا الدليل لغير الرسوبيات التي انهارت على طول الحافة الأمريكية الشمالية، والتي يمكن أن تفسّرها عمليات غير إطلاق الغاز. وهنالك أيضاً مشكلات فيما يخص تحديد مسبّب بيئي مباشر معقول لإطلاق الهدروكربون من الرسوبيات البحرية. وقد تضمنت تفسيرات بديلة ولكنها غير مقنعة أيضاً، فيما يخص وارد الكربون اصطدام مذنب غني بالمواد المتطايرة أو احتراق رواسب خثّة (نصف متفحّمة) وسيعة.

قام سفينسن وآخرون بدراسة البيانات المأخوذة من صفيفة زلزالية كبيرة تبيّن التضاريس الموجودة تحت قاع البحر في حوضين رسوبيين كبيرين غرب النرويج. وثمة اكتشاف بارز حقاً يتمثل بتحديدهم ممرات هروب للموائع بمقياس بضع مئات من الكيلومترات تنتهي في طبقات بحرية توضعت قبل 55 مليون سنة تقريباً. وكان قد تم في السابق تحديد قليل من مثل هذه البنى في الجوار وفُسّرت على أنها براكين نارية تحت بحرية. لكن هذه الممرات التي تعلوها فوهات وتلال تشبه إلى حد أكبر البنى التي تشاهد في الأحواض الرسوبية الحديثة حيث يهاجر الماء والغاز من الأعماق ليطعّم البراكين الطينية ويتسرّب الهدروكربون إلى قاع البحر (الشكل 2). وتبدو هذه البنى القديمة متصلة بعتبات صخر بركانية (sills) بركانية كانت قد ألقت ماغما حارة داخل الرسوبيات الغنية بالمواد العضوية في شمال الأطلنطي قبل حوالي 55 مليون سنة. لذلك يجادل المؤلفون بأن عتبات الصخر البركانية هذه ولّدت خلال فترة IETM كميات هائلة من الميتان المولد للحرارة وموائع ذات ضغط عال انصرفت إلى المحيط عبر هذه الممرات وأحدثت اضطراباً في الدورة الكربونية العالمية (الشكل 1).

وهذا كلّه يقدّم سنداً مغرياً لفكرة تفريغ المواد الهدروكربونية الضخمة من قاع البحر أثناء IETM. إن تركيب الموائع المرحّلة وتوقيت إطلاقها بحاجة مع ذلك إلى تحديد أفضل. وتتطلب الصلة المقنعة بين الممرات والتغيرات البيئية في فترة IETM دليلاً بأن كميات كبيرة من الكربون المجرد من الكربون ^{13}C أنتجت بالفعل داخل الرسوبيات وانطلقت منها وليس من التضاريس البركانية وأن هذا حدث أثناء مستهلّ الـ 20000 سنة من عدم انتظامية النظير الكربوني carbon isotope anomaly.

إن التوليد المتزامن للميتان وانبعاثه بفعل عتبات الصخر البركانية



الشكل 2: بروفيل زلزالي لممرات تهريب للموائع فعالة وغير فعالة على المنحدر القاري العلوي جنوب غرب دلتا نهر النيجر الحديثة. هذه التضاريس تنجم عن هجرة الماء والغاز والرسوبيات من الأعماق، وتشبه البنى التي عمرها 55 مليون سنة كما حددها سيفنسن وزملاؤه وفي شمال شرق الأطلسي. لاحظ انهيار الرسوبيات على طول الصدوع فوق الممرات وانطمار التلال بالرسوبيات عند الممر الخامل. ويمثل المحور الشاقولي زمن الارتحال ذي المسارين للأمواج الصوتية بالثواني.

في فترة IETM يحل مشكلة التسبب المباشر ولكنه يطرح قضية مثيرة للخلاف على حد سواء. فالميتان المولّد للحرارة الناجم عن تسخين الكربون العضوي الرسوبي يحتوي على نسبة من ^{13}C أكبر مما يحتويه الميتان الحيوي. وهكذا لابد لتفسير عدم انتظامية النظير الكربوني أن تكون قد فلتت كمية من الكربون أكبر مما كان يُعتَقد سابقاً (أكثر من 3000 جيغا طن). إن المكامن العادية في العالم بأكملها من نفط وغاز تبلغ اليوم مايقارب 5000 جيغا طن من الكربون. ولذلك فإن الآلية التي افترضها سفينسن وزملاؤه تتطلب توليداً وإطلاقاً فورياً لكمية ضخمة حقاً من الهدروكربونيات. وثمة احتمال بديل يتمثل في أن تكون عتبات الصخر البركانية قد أطلقت الميتان الحيوي الذي تراكم سابقاً في الطبقات شمال الأطلسية ومن ثم (عبر التغيرات البيئية اللاحقة) أطلق الكربون من مصادر أخرى كالميتان هدرات غازية متبعثرة على نطاق واسع.

ويتطلب الفهم الأفضل للعلاقة بين عتبات الصخر البركانية والممرات واضطرابات الدورة الكربونية في فترة IETM مزيداً من البحث. ولكن إذا كانت تلك العلاقة علاقة سبب ونتيجة فإن أهمية IETM ستزداد ازدياداً مذهلاً. ففي سيناريو انفكاك الهدرات، حفّز تسخين المحيط العميق إطلاق الكربون بشكل كبير جاعلاً من الأحداث في IETM نظيراً ضالعاً لكنه ناقصٌ في الانبعاثات الحالية من الوقود الأحفوري. إن القادح البركاني لإطلاق الميتان من قاع البحر، سواء أكان ذلك الميتان حيوي المنشأ أم حراري المنشأ، يتضمن بدلاً من ذلك أن وارداً هدروكربونياً مفاجئاً قد سبب الاحترار الزائد، وهذا الرأي ينسجم مع تحاليل درجات الحرارة في فترة IETM. إذا أخذنا بعين الاعتبار التقديرات المقارنة لإطلاق الكربون في فترة IETM (1500 إلى 3000 جيغا طن)، والإطلاق البشري المنشأ من الكربون إلى الغلاف الجوي خلال القرون القادمة (3000 إلى 4000 جيغا طن)، فإن التغير البيئي خلال IETM ينبغي أن يصبح موضوع استجواب عام. □

الزنك *

ما هو؟

الرمز:	Zn
العدد الذري: (بروتونٌ في النواة)	30
الوزن الذري:	65

الزنك واحد من أكثر العناصر شيوعاً في القشرة الأرضية، وهو أيضاً عنصر أساسي لكل ما هو حي. الزنك الخالص معدن أبيض

* نُشر هذا الخبر في مجلة ANL ، November 2001، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

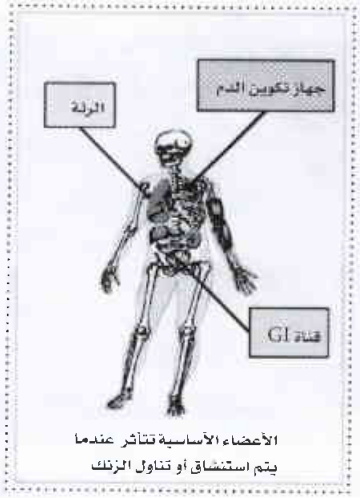
مائل للزرقة، ومسحوق الزنك قابل للانفجار وقد ينفجر متحولاً إلى ألسنة من اللهب إذا خُزِّن في مناطق رطبة. و لكونه عنصراً، فالزنك لا يتحلَّل ولا يمكن تخريبه.

كيف يتم استخدامه؟

للزنك العديد من الاستخدامات الصناعية والتجارية. يُستخدَم الزنك المعدني لطلاء الحديد والمعادن الأخرى لمنع الصدأ، وكذلك فهو يُستخدَم في خلايا البطاريات الجافة، كما يُمزج الزنك مع معادن أخرى لتشكيل سبائك مثل النحاس الأصفر والبرونز، تصنع العملات المعدنية من سبيكة الزنك والنحاس. وكذلك يتم خلط (الزنك) مع عناصر أخرى كالكلور والأكسجين والكبريت لتشكيل مركَّبات الزنك لصنع الدهانات البيضاء، والخزف والمطاط والمواد الحافظة للأخشاب والأصبغة والأسمدة. تستخدم مركَّبات الزنك كذلك في صناعة الدواء كمكوِّنات من منتجات معروفة مثل المواد الواقية من الشمس، ومراهم طفح الحفاض (فوط الأطفال)، ومزيلات رائحة العرق، ومستحضرات مرض قدم الرياضي، وحب الشباب ومستحضرات نبات اللبلاب السام، وغسولات الشعر المضادة للقشرة (الشامبو).

ماذا في البيئة؟

يوجد الزنك في أنحاء البيئة في الهواء والتربة والماء، وهو موجود كذلك في كل الأطعمة. ويمكن أن ينطلق الزنك إلى البيئة عن طريق عمليات طبيعية، ولكن معظمه ينطلق من خلال الأنشطة البشرية. إن انطلاق الزنك إلى الجو والماء والتربة شائع في المناطق التي يتم فيها التنقيب عن المعادن الخام ثم تعالج وتنقى من أجل الزنك. ونظراً لأن الرصاص والكادميوم موجودان بشكل عام في الخامات المحتوية على الزنك، فهما أيضاً يتحرّران بشكل نظامي خلال هذه العمليات ولذلك غالباً ما ترافقهما إشابة بالزنك. يمكن لكميات الزنك المنبعثة في الجو أن تظهر خلال عملية إنتاج الفولاذ واحتراق الفحم والنفايات. أما الكميات المنبعثة في المياه السطحية فيمكن أن تنشأ عن تفريغ نفايات الصناعة الكيميائية ونفايات تصنيع المعادن في مياه الصرف المهدورة المحلية. هذا ويمكن للكميات المنبعثة في المياه السطحية أن تنشأ عن ماء المطر الجاري بعد أن تسقط الرواسب على الترب الغنية بالزنك إما بطريقة طبيعية أو بطريقة ناشئة عن الاستعمال البشري، إذ توجد مركبات الزنك في الأسمدة المستخدمة في الترب الزراعية.



الأعضاء الأساسية تتأثر عندما يتم استنشاق أو تناول الزنك

إن التركيز الوسطي للزنك في الجو (على شكل جسيمات غبار ناعم) يكون من الناحية المثالية أقل من 1 ميكرو غرام لكل متر مكعب (ملغم/م^3) بالرغم من أن تراكيز تعادل 5 ملغم/م^3 قد تمَّ قياسها قرب مصادر صناعية. أما في البحيرات والأنهار، فيبقى بعض الزنك ذائباً في المياه أو على شكل جسيمات صغيرة عالقة، بينما تستقر بقية الزنك في القاع مرتبطةً بجسيمات أكثر ثقلاً. وتتراوح التراكيز الوسطية من 0.02 إلى 0.05 ملغم لكل لتر (ملغم/لتر) في المياه السطحية ومن 0.01 إلى 0.1 ملغم/لتر في مياه الشرب. وتتراوح مستويات الزنك في الترب الأمريكية بشكلها المثالي بين 10 إلى 300 ملغم/كيلو غرام (بتركيز وسطي يعادل حوالي 50 ملغم/كيلو غرام). ويبقى الزنك عادةً في الطبقات العليا مرتبطاً بجسيمات التربة، ولكن يمكنه أن يرشح إلى المياه الجوفية معتمداً على خواص التربة، ومتحركاً بشكل أسرع خلال التربة الرملية. إن تراكيز الزنك في جزيئات التربة الرملية أعلى بحوالي 200 مرة مما هي عليه في الماء الذي يتخلّل ما بين دقائق التربة، وحتى نسب التراكيز تكون كذلك أعلى (أكثر من 1.000) في كلٍ من التربتين الطينية والطينية الرملية.

يمكن لبعض الأسماك أن تراكم الزنك في أجسامها، لكنه لا ينشأ في النباتات. وتقدَّر النسبة المثالية لتركيزه في النباتات إلى تلك التي في التربة بـ 0.9 (أو90%). وقد تمَّ قياس الزنك في الأطعمة بتراكيز تتراوح ما بين جزئين لكل مليون (ppm) في الخضراوات الورقية الخضراء إلى 29 جزءاً لكل مليون في اللحم والسمك والدجاج. ويستهلك البشر وسطياً من 7 إلى 163 ملغم من الزنك يومياً.

ماذا يحصل له في الجسم؟

الزنك هو أحد العناصر الأكثر وفرة في الجسم البشري. إنه يدخل الجسم نمطيّاً عبر استهلاك الطعام والماء بالرغم من أنه يمكن أن يدخل إلى الرئتين عبر استنشاق الهواء بما في ذلك الهواء الملوث بغبار الزنك أو أبخرة ناجمة من أعمال صهر أو لحام المعادن. أما كمية الزنك التي تستطيع أن تمر مباشرة من خلال الجلد فإنها قليلة جداً.

يجري عادة امتصاص الزنك إلى مجرى الدم بعد ابتلاعه بواسطة آليات الاستتباب homeostatis وذلك بهدف مراقبة ميزان استهلاك الزنك وطرحه.

يبلغ الامتصاص من 20% إلى 30% لدى الأشخاص الذين يتبعون أنظمة غذائية (حمية) تحتوي على مستويات كافية من الزنك، لكنها يمكن أن تصل إلى 80% لدى أولئك الذين لديهم مستويات منخفضة من الزنك في قوتهم أو في خلايا أجسامهم. ويغادر الزنك الجسم عادة في البول والغائط. وبالرغم من وجوده في كل الأنسجة، فان 90% تقريباً من الزنك المختزن في الجسم يكون في العضلات والعظام.

ما هي التأثيرات الصحية الأساسية؟

يُعَدُّ الزنك عنصراً أساسياً في قُوتنا diet، ولكن قلته أو كثرته بشكل كبير تكونان مؤذيتين. وبدون زنكٍ كافٍ في القوت، قد يعاني

المرء من فقد للشهية وانخفاض الإحساس بالتذوق والشم وانخفاض الوظيفة المناعية وبطء التئام الجروح وقروح في الجلد، كما أن نقص الزنك قد يتسبب بنقص في نمو الأعضاء التناسلية وإعاقة النمو عند الشباب. وإذا لم تحصل المرأة الحامل على كفايتها من الزنك، فقد يصاب الأطفال بتأخر في النمو. تبدأ التأثيرات الضارّة بسبب الإكثار من الزنك عادة عند مستويات أعلى بـ 10 إلى 15 مرة من الحصص الغذائية الموصى بها والبالغة 5 و10 و15 ملغراماً في اليوم للرضَّع والنساء ثم الرجال على التوالي. إن تناول كمية كبيرة من الزنك قد يسبِّب التشنجات المعدية والغثيان والإقياء. ونشير إلى أن تناول الزنك لمدة طويلة من الزمن وبكميات كبيرة، قد يسبب فقر الدم، ويخرب البنكرياس (المعثكلة) ويخفض من مستويات ليبوبروتين الكولسترول ذي الكثافة العالية (وهو الشكل الحسن المفيد من الكولسترول). إن استنشاق الغبار أو الأبخرة المحتوية على كميات كبيرة من الزنك يمكن أن يسبِّب مرضاً قصير الأمد يُدعى حمى دخان المعادن. هذا المرض هو استجابة مناعية تؤثر على الرئتين وعلى حرارة الجسم. وليس من المعروف إذا كانت هناك آثار صحية مزمنة جرّاء تنشق نسب عالية من الزنك. ولا نعلم أيضاً ما إذا كانت المستويات العالية من الزنك تؤثر على التناسل البشري أو تسبِّب العيوب الولادية الخلقية. وعلى أية حال، فقد لوحظت حالات من العقم ونقص الوزن الولادي وتهيج الجلد في حيوانات المختبر كالجرذان وخنازير غينيا والغزلان والأرانب التي جرى تزويدها بجرعات عالية من الزنك. لقد أفادت وكالة حماية البيئة EPA بأن المعلومات الوافية لتقييم احتمالية أن يكون الزنك مسرطناً غير متاحة. ولكن لا توجد دراسات تشير إلى أن الزنك قد يسبب السرطان لدى البشر.

ما مدى الخطورة؟

لقد وضعت EPA قيمة للسمّية (المؤطر بالأسفل) من أجل تقدير مدى خطورة الآثار الصحية الضارة نتيجة تناول الزنك. وتُدعى قيمة السمّية لتقدير التأثير اللاسرطاني بالجرعة المرجعية reference dose (RfD). إن الجرعة المرجعية هي تقدير لأعلى جرعة يمكن أن يتم تناولها يومياً من دون التسبُّب بتأثير ضارّ لا سرطاني. وقد تم أخذ هذه القيمة السمّية من دراسات سريرية على أناس طلب إليهم تناول إضافات من الزنك في قوتهم. ولتوضيح كيفية تطبيق الجرعة المرجعية (RfD)، نقول إن شخصاً يزن 150 باوناً يمكنه أن يتناول بأمان 21 ملغم من الزنك يومياً من دون أن يتوقع أي تأثيرات مضادة (2.2 باوند =1 كغم، أو 1000 غرام أو 1 مليون ملغم).

مقدار السمية الكيميائي
الأثر اللاسرطاني: الجرعة المرجعية الفموية
0.3 ملغم/كغم - اليوم

ما هي الحدود الحالية للمواد المنطلقة بيئياً وحدود التعرُّض البشري؟

وللمساعدة في تتبُّع أثر المواد المنطلقة من المنشآت إلى البيئة، فإن تعديلات صندوق Superfund الذي يستهدف التخطيط للطوارئ وكذلك حق المجتمع بأخذ العلم right-to-know يتطلبان الإبلاغ الفوري عن انبعاث 1000 باوند (454 كغ) أو أكثر لأيٍّ من مركّبات الزنك التي تظهر خلال مدة 24 ساعة، وأن يتم إعداد التقارير سنوياً وإدخالها إلى قائمة جرْد وطني للمواد السامة المنبعثة. وبخصوص مياه الشرب، فقد أقرَّت EPA مستوى أعظمياً للزنك ومركّبات الزنك يعادل 5 أجزاء لكل مليون (5 ppm) اعتماداً على الطَّعم (وليس على السمّية). ولقد أقرّت إدارة الصحة والسلامة المهنية (OSHA) مقداراً وقائياً يساوي 1 ملغم لكل متر مكعب لأبخرة كلوريد الزنك ومستوى يعادل 5 ملغم لكل متر مكعب لأبخرة أكسيد الزنك خلال يوم عمل مكوَّن من 8 ساعات خلال أسبوع عمل مدته 40 ساعة. كما أقرّ المعهد الوطني للصحة والسلامة المهنية (NIOSH) المعايير نفسها للزنك وأبخرة كلوريد الزنك بالنسبة ليوم عمل مدته 10 ساعات خلال أسبوع عمل يستغرق 40 ساعة. ❐

ورقات البحوث

التنوع الوراثي لأصناف الفستق الحلبي Pistacia vera L المزروعة في سورية باستخدام طريقة RAPD*

د. نزار مير علي، عماد نابلسي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، هيئة الطاقة الذرّية، ص.ب 6091، دمشق، سوريا

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى الحصول على معلومات حول القاعدة الوراثية ودرجة القرابة بين 12 صنف فستق حلبي مزروع في مجمع أكساد الوراثي في جلين جنوب سوريا باستخدام تقانة الدنا المضخم عشوائياً RAPD. استخدمت 41 مرئسة (primer)، لم تعط اثنتان منها فقط (OP-A04 و OP-N16) أية نواتج تضخيم وتراوح عدد نواتج التضخيم المتغايرة في الـ 39 مرئسة الأخرى بين1 (OP-N18) و 12 (OP-R17). قسمت الأصناف المدروسة استناداً إلى نتائج التحاليل (درجات التماثل وشجرة القرابة) إلى عنقودين رئيسين وإلى صنف واحد مستقل عنهما.

أظهرت التحاليل باستخدام اختبار Mantel درجة مواءمة جيدة عند استخدام 20 و30 و39 مرئسة عشوائية عندما طبقت على كافة الأصناف المدروسة. لكن استخدام 10 مرئسات عشوائية لم يكن كافياً للتمييز بين هذه الأصناف. و تبين أن أقل عدد لازم من المرئسات لتحديد درجة قرابة صحيحة بين الأصناف هو إما 20 مرئسة عشوائية أو العشر مرئسات الأكثر إنتاجاً لشدف متغايرة شكلياً (7 تغايرات أو أكثر). توافقت نتائج العناقيد المنتجة بتقانة RAPD مع البيانات المتوفرة المستندة إلى البيانات الشكلية والزراعية على الأقل بالنسبة للأصناف المذكرة. و لم يكن لنمط حمل الثمار ووزنها أي ارتباط مع عناقيد RAPD.

الكلمات المفتاحية: تنوع وراثي، فستق حلبي، RAPD.

مقدمة

تنتمي شجرة الفستق الحلبي (Pistacia vera L.) إلى الفصيلة البطمية Anacardiacea وهي شجرة ثنائية المسكن يتم فيها التلقيح بواسطة الريح. توفرت باستخدام وسائل وراثية جزيئية أدلة على انتقال الجنس من منشئه في وسط آسيا إلى منطقة المتوسط وفيما بعد إلى الشرق الأقصى ومن ثم إلى أمريكا الشمالية [1]. علاوة على ذلك فقد حدد هذان الباحثان أن P. vera هو الأقدم بين عشرة أنواع مدروسة من الجنس Pistacia. كما دُرست مؤخراً درجات القرابة بين أنواع الجنس Pistacia في تركيا استناداً إلى مؤشرات شكلية وجزيئية باستخدام تقانة الدنا المضخم عشوائياً RAPD [2]. استخدم هذان الباحثان عشر مرئسات متغايرة لتبصيم وتوصيف 42 طرازاً وراثياً، ووجدا 128 شدفة متغايرة بين الأنواع أو ضمن طرز الصنف الواحد، وذلك من بين 138 شدفة. استنتج هذان الباحثان أن تقانة الـ RAPD فعالة في تصنيف أنواع الجنس Pistacia وفي تحديد التنوع الوراثي في المجاميع الوراثية.

كما استُخدمت تقانة الدنا المضخم عشوائياً (RAPD) في دراسة التنوع الوراثي بين أصناف فستق من أصول متنوعة [3]. وأشارت النتائج إلى أن الأصناف الموجودة في منطقة المتوسط لها أساس مشترك. وهذا يتوافق مع السجلات التاريخية التي تشير إلى أن الفستق قد استورد إلى إيطاليا من سوريا في زمن الإمبراطورية الرومانية ومنها توزع إلى كل أقطار المتوسط [4]. أنتجت سوريا في العام 2000 حوالي 33000 طن بترتيب عالمي رابع بعد كل من إيران والولايات المتحدة والصين [5]. وتزداد أهمية هذه الشجرة في سوريا نظراً لتأقلمها مع ظروف المنطقة شبه الجافة وللقيمة الغذائية العالية لثمارها ولتوسع أسواقها.

إن عدد الأصناف الموصوفة من الفستق الحلبي قد لا يتجاوز المائة صنف [6]. أما أصناف الفستق الحلبي السوريّة فقد درست استناداً إلى الخصائص الشكلية والزراعية [7]. ولكن لا يتوفر أي توصيف جزيئي لهذه الأصناف. وتعتبر الحاجة لمثل هذه المعلومات أساسية في أية دراسة وراثية خاصة بالتنوع الوراثي. وقد سبق التنويه بأهمية تحاليل RAPD في الإدارة الفعالة للأصول الوراثية ولتجنب التكرار وأخطاء التسميات [8].

هدفت هذه الدراسة إلى:

1- الحصول على معلومات حول الخلفية الوراثية لأهم أصناف الفستق الحلبي السوريّة باستخدام تقانة RAPD.

2- دراسة العلاقات بين هذه الأصناف وثلاثة أصناف تونسية.

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Advances in Horticultural Science,2003.

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

3- تحديد العدد الأدنى من المرئسات والشدف المتغايرة شكلياً التي تعطي معلومات كافية حول العلاقات بين الأصناف المدروسة.

المواد والطرائق

المادة النباتية

استخدم 12 صنفاً في هذه الدراسة (جدول 1). تم الحصول على عينات ورقية غضة من مجمع الفستق الحلبي التابع للمركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد)، و الواقع في ازرع جنوب سوريا. في هذا المجمع يتمثل كل طرز وراثي بـ10-15 شجرة. جمعت العينات الممثلة لكل صنف من ثلاث شجرات. غسلت العينات الورقية ثلاث مرات في ماء مقطر ومعقم ثم وضعت في أسطوانة آزوت سائل ومن بعدها حفظت في درجة - 60 مئوية حتى الاستخدام.

الجدول 1: قائمة بأسماء ومواصفات أصناف الفستق الحلبي المستخدمة في هذه الدراسة

رقم المسار بالهلامات	اسم الصنف	الجنس	المنشأ	الوصف	نسبة تفتح	طريقة حمل	وزن الثمرة (غ)	
					الثمار %	الثمار	وزن رطب	وزن جاف
1	عاشوري	أنثى	سوري	صنف (Red Aleppo)	90	عنقودي	2.00	0.85
2	باتوري	أنثى	سوري	صنف	75	منتشر	2.20	1.17
3	باتوري ازرع	أنثى	سوري	طفرة منتخبة من باتوري	85	منتشر	2.10	1.10
4	عجمي	أنثى	سوري/إيراني	صنف	50	عنقودي	2.50	1.15
5	عليمي	أنثى	سوري	صنف	50	منتشر	2.20	1.10
6	بندقي	أنثى	سوري	صنف	75	عنقودي	1.53	0.68
7	ماطر	أنثى	تونسي	صنف منتخب من Aigina	80	عنقودي	1.70	0.80
8	الغيثار	أنثى	تونسي	صنف	90	منتشر	1.30	0.62
9	مذكر A	ذكر	سوري	انتخاب بذري	–	–	–	–
10	مذكر E	ذكر	سوري	انتخاب بذري	–	–	–	–
11	مذكر C	ذكر	سوري	انتخاب بذري	–	–	–	–
12	مكناسي	أنثى	تونسي	صنف	80	عنقودي	1.00	0.70

استخلاص الدنا

تم عزل الـDNA بطريقة CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide) كما هو مذكور في [9]. حيث سحقت الأوراق (حوالي 5 غ) في الهاون الخزفي وبوجود النتروجين السائل واستمر الطحن حتى الحصول على مسحوق ناعم جرى نقله إلى دورق معقم سعة 50 مل وأضيف له 20 مل 2 X CTAB المسخن مسبقاً لحرارة 65° درجة مئوية والمحتوي على 2% CTAB 20mM EDTA و1.4 M NaCl و100 mM Tris- HCl (pH =8.0) و1% (حجم/وزن) PVP (Polyvinyl pyrroliodone 40000) و1% ميركبتو إيتانول. وضعت الدوارق في حمام مائي على حرارة 65 درجة مئوية ولمدة 30 دقيقة ثم أضيف 20 مل من مزيج من كلوروفورم و الكحول أيزوأميل (1:24)، ثم نقلت لأنابيب تثفيل بلاستيكية سعة 50 مل وقلبت الأنابيب بلطف لعدة مرات وثفلت على سرعة 4500 دورة/د ولمدة 30 دقيقة ثم كررت إضافة مزيج كلوروفورم والكحول أيزوأميل (1:24) وكُرِّر الترسيب بنفس شروط التثفيل السابقة مرة أخرى. نقلت الرشاحة إلى أنبوب تثفيل آخر وأضيف الإيزو بروبانول المبرد بمقدار 0.6 من الحجم، ومزجت محتويات الأنبوب بالتقليب بلطف لعدة مرات، ثم التثفيل بسرعة دورة 2500 دورة/د لمدة 5 دقائق. استُبعد الطور الأعلى وغسل الدنا الراسب بالكحول المبرد 70 % وجفف وأضيف له محلول دارئ TE 0.1 X محتوٍ على (1mM Tris-HCl ،0.1mM EDTA، pH: 8.0). تم التخلص من الرنا (RNA) بإضافة أنزيم RNAase (من شركة Fluka). ثم قيست كمية الدنا بواسطة مقياس الطيف Cintr 5 UV- Vis Double- Beam Spectrometer (من شركة GBC). وحسب تلك القراءة تم التمديد بالماء المقطر للوصول لتركيز 10 نانوغرام /ميكرولتر المستخدم في تفاعلات التضخيم.

تضخيم الدنا

استخدمت 41 مرئسة (من شركة Operon Technologies Inc CA, USA) للتضخيم في تفاعل بوليمراز المسلسل PCR. اختيرت هذه المرئسات بشكل عشوائي و كانت على الشكل الآتي: 9 من كل من OPA و8، OPN من كل من OPI و OPZ، و7 من OPR. تم القيام بتفاعلات تضخيم الدنا استناداً إلى [10] مع بعض التعديلات. برمج جهاز التدوير الحراري من نوع Hybaid Thermal Cycler Genius من شركة (Techne, Cambridge, England) على الشكل الآتي: دورة واحدة لمدة دقيقة في درجة 94 مئوية تلتها 45 دورة تألفت كل دورة منها من (10 ثوان في درجة 94 مئوية، 10 ثوان في درجة 35 مئوية، و70 ثانية في درجة 72 مئوية) وأتبعت الدورة الأخيرة بفترة حضن لمدة دقيقتين في درجة 72 مئوية. كان حجم

التفاعل النهائي 25 مكرولتراً متضمناً: 24 mM Tris-HCl و8.4 pH (في حرارة 25 درجة مئوية) و60 mM KCl و3.4 mM $MgCl_2$ و0.001% gelatin و0.11 mM لكل واحد من الأسس (dCTP, dGTP, dTTP, dATP) و1.5 وحدة من Taq Polymerase و50 ng من الدنا حسبت كميتها على جهاز Cintra 5 UV- Vis Double-Beam Spectrometer و50 ng من كل مرئسة.

تم بعد ذلك فصل نواتج تفاعل بوليمراز التسلسلي بهلامة أغاروز 1.2% من شركة (Bio-Rad) ضمن محلول دارئ 0.5X TBE أضيف إليها إثيديوم بروماید من شركة Fluka لكشف شدف الـDNA من خلال أشعة UV واستعمل سلم دنا 1Kb Ladder من شركة Gibco BRL Chemicals (Life Technologies) تقدير الوزن الجزيئي التقريبي لمنتجات التضخيم.

تحليل البيانات

تم مسح وتصوير العصابات الناتجة تحت الأشعة فوق البنفسجية. اعتبرت العصابة (الشدفة) ذات نفس الوزن الجزيئي (في المدى بين 500bp و2.1kb) على نفس الهلامة أنها متغايرة عندما وجدت في بعض الطرز وغابت عن بعضها الآخر عند تطبيق مرئسة محددة على جميع الطرز. أدخلت في التحاليل فقط العصابات الواضحة التي اتصفت بالتكرارية (reproducibility) وأعطيت قيمة 1 بينما أعطيت قيمة 0 لتلك التي لم تحقق هذه المعايير، واختبرت التكرارية بإجراء بعض التفاعلات مرتين. استخدمت "معاملات تشابه المواءمة البسيطة" simple matching similarity coefficients لوضع الأصناف في عناقيد باستخدام طريقة التحليل العنقودي الشبكي المراتبي التكتلي التسلسلي Sequential Agglomerative Hierarchical Nested cluster analysis (SAHN) من برنامج NTSYS-PC حسب [11] والتي تستخدم المتوسط الحسابي للمجموعة الزوجية غير المزانة Unweighted Pair Group Method with Arithmetic averages (UPGMA).

النتائج والمناقشة

مرئستان فقط OPA-4 وOPN-16 لم تنتجا أية شدف تضخيم متغايرة شكلياً في أي من أصناف الفستق الحلبي الـ 12 المدروسة. تراوح عدد شدف التضخيم المتغايرة شكلياً في المرئسات الـ 39 المتبقية بين شدفة واحدة (المرئسة OPN-18) و12 شدفة (المرئستان OPR-17 وOPZ-18) وكان متوسط عدد الشدف المتغايرة بالمرئسة الواحدة 5.4. يظهر الجدول 2 رموز وتسلسلات المرئسات المستخدمة وكذلك عدد العصابات (الشدف) الكلية والمتغايرة الناجمة عن كل الأصناف المدروسة. واعتماداً على خوارزمية المواءمة البسيطة simple matching algorithm التي ذكرها [12] تمكنا

الجدول 2: المجموعات الأربع المستخدمة من المرئسات مع تسلسلاتها، عدد الحزم الكلي وعدد الحزم المتغايرة الناجمة عن جميع أصناف الفستق الحلبي الداخلة في هذه الدراسة.

الرقم التسلسلي للمرئسات العشوائية	المرئسة	التسلسل	عدد الحزم (الشدف) المضخمة	
			الكلية	المتغايرة
1	OPN-13	AGCGTCACTC	42	5
2	OPR-13	GGACGACAAG	77	6
3	OPA-18	AGGTGACCGT	46	5
4	OPA-06	GGTCCCTGAC	38	6
5	OPA-03	AGTCAGCCAC	33	2
6	OPZ-18	AGGGTCTGTG	67	12
7	OPZ-15	CAGGGCTTTC	45	4
8	OPI-20	AAAGTGCGGG	54	4
9	OPI-17	GGTGGTGATG	35	4
10	OPI-14	TGACGGCGGT	71	9
11	OPN-19	GTCCGTACTG	54	6
12	OPN-02	ACCAGGGGCA	43	4
13	OPR-16	CTCTGCGCGT	41	6
14	OPN-14	TCGTGCGGGT	43	4
15	OPR-14	CAGGATTCCC	36	4
16	OPA-19	CAAACGTCGG	40	4
17	OPA-13	CAGCACCCAC	65	4
18	OPZ-14	TCGGAGGTTC	40	8
19	OPZ-19	GTGCGAGCAA	58	3
20	OPZ-16	TCCCCATCAC	32	3
21	OPZ-13	GACTAAGCCC	68	3
22	OPI-18	TGCCCAGCCT	34	3
23	OPI-15	TCATCCGAGG	35	9
24	OPN-20	GGTGCTCCGT	34	2
25	OPN-17	CATTGGGGAG	32	5
26	OPR-17	CCGTACGTAG	51	12
27	OPN-15	CAGCGACTGT	35	5
28	OPR-15	GGACAACGAG	64	3
29	OPA-20	GTTGCGATCC	33	6
30	OPA-17	GACCGCTTGT	53	7
31	OPA-05	AGGGGTCTTG	36	9
32	OPZ-20	ACTTTGGCGG	50	7
33	OPZ-17	CCTTCCCACT	66	10
34	OPI-19	AATGCGGGAG	19	3
35	OPI-16	TCTCCGCCCT	34	8
36	OPI-13	CTGGGGCTGA	47	3
37	OPN-18	GGTGAGGTCA	32	1
38	OPR-19	CCTCCTCATC	58	6
39	OPR-20	ACGGCAAGGA	49	3

من وضع مصفوفة تشابه similarity matrix للـ39 مرئسة باستخدام برنامج NTSYS-PC. تعامل عصابات RAPD في هذه الطريقة كصفات ظاهرية phenotypic وليس كصفات وراثية genetic وبالتالي فإن الأصناف التي تمتلك أو التي تنقصها عصابة مشتركة تعتبر في التحليل "متشابهة وراثياً". تظهر مصفوفة التشابه لكل المرئسات المتغايرة شكلياً (جدول 3) أن الصنف "باتوري ازرع" هو الأقل تشابهاً حيث تراوحت درجة التشابه لديه بين 63.4% (مع العاشوري) و72% (مع كل من العجمي ومذكر E). ذكر في الكتيب الصادر عن أكساد عام 1998 [7] أن الصنف باتوري ازرع انتخب أساساً من الصنف باتوري استناداً إلى الخصائص الشكلية للشجرة التي امتازت بحجم أصغر من أشجار الصنف باتوري وإلى فروقات أخرى في شكل الشجرة وفي إنتاجية الثمار. أظهرت نتائج دراستنا هذه (الشكل 1) بأن باتوري ازرع لا يشكل أي عنقود مع أي صنف آخر وهو يتميز عن الجميع بسهولة مما يؤكد بأنه مختلف وراثياً بشكل كبير عن الصنف باتوري وعن كل الأصناف الأخرى. عندما أخبرْنا أكساد بهذه النتيجة، أقر بأن هذه الشجرة موجودة في تلك المنطقة (ازرع) من أربعينيات القرن الماضي ولهذا أعطيت اسم باتوري ازرع. إضافة إلى ذلك أقرّ بأنه لا يتوفر لديه أي دليل فيما إذا كان هذا الطرز منتخباً من الصنف باتوري كما ذكر سابقاً. واعتماداً على هذا فقد أعيدت تسمية هذا الصنف ليصبح أكساد1 (اتصال شخصي مع ع. جودة).

الأول على خمسة أصناف: الأصناف التونسية الثلاثة ماطر وغيتار ومكناسي (كان الاثنان الأولان متشابهين بـ83.5% وكان الثالث على درجة تشابه 74.2 و73.5% معهما على التوالي). كان الصنفان الآخران في هذا العنقود على درجة تشابه 83.2% ويعتبران أهم الأصناف السورية وهما العاشوري (المعروف عالمياً بـ Red Aleppo) والباتوري. احتوى العنقود الثاني الرئيسي على ستة أصناف كان ثلاثة منها أصنافاً مذكرة (Selected A وC وD) انتخبت استناداً إلى اختلاف مواعيد إزهارها. كانت الأصناف المذكرة على درجة قرابة أقل مع الصنف بندقي (تراوحت درجة التشابه بين 73.1% و74.6%). كان الصنفان الآخران في هذا العنقود العجمي والعليمي بدرجة تشابه 77.9%.

استخدمت 1000 مرئسة لتحديد الجنس في طرز وراثية تابعة لـ P. vera ووجد مؤشر واحد فقط غائباً في الطرز المذكرة وموجوداً في الطرز المؤنثة [13]. وقد اقترح هذا الباحث استناداً إلى هذه التكرارية القليلة للعصابات المرتبطة بالجنس أن شدف الدنا ذات العلاقة بتحديد الجنس قليلة جداً وربما تشمل مورثة واحدة أو عدداً قليلاً جداً من المورثات. بالتالي فمن غير المرجح أن تكون الأصناف المذكرة في دراستنا قريبة وراثياً من بعضها اعتماداً على الجنس فقط. والتفسير الأكثر منطقية أن هذه الأصناف المذكرة تشترك بخصائص زراعية وشكلية عديدة مثل دورة الحياة الأطول والبراعم الزهرية الأكبر والجذوع الأقوى و فروع حمراء ناعمة أكثر من الأصناف المؤنثة [7].

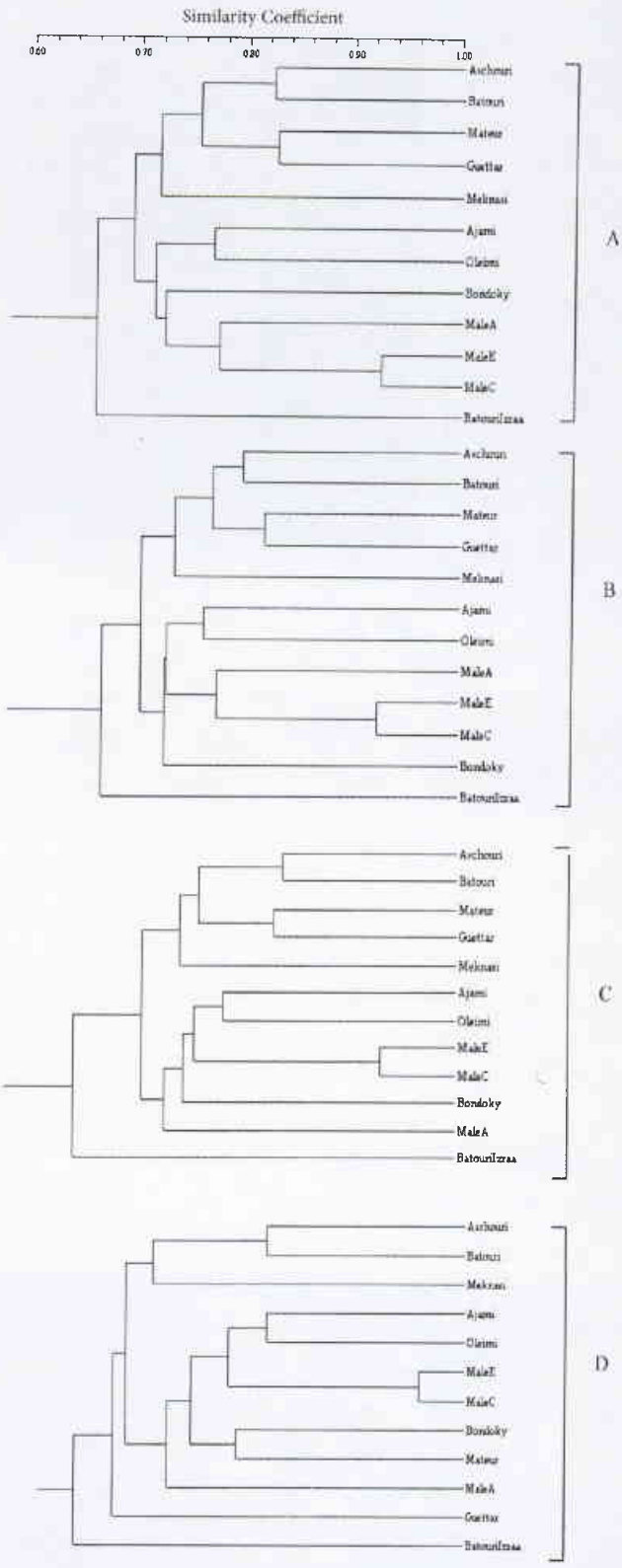
الجدول 3: معاملات قيم التشابه لطرز الفستق استناداً إلى نسبة الحزم (الشدف) المشتركة والناجمة عن استخدام 39 مرئسة باستخدام لوغاريتمية التشابه البسيطة في برنامج NTSYS.

رقم المسار	الصنف	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	عاشوري	1											
2	باتوري	0.832	1.000										
3	باتوري ازرع	0.634	0.667	1.000									
4	عجمي	0.712	0.738	0.720	1.000								
5	عليمي	0.746	0.750	0.671	0.779	1.000							
6	بندقي	0.724	0.694	0.667	0.731	0.720	1.000						
7	ماطر	0.805	0.764	0.671	0.697	0.746	0.735	1.000					
8	الغيتار	0.761	0.735	0.671	0.638	0.686	0.623	0.835	1.000				
9	مذكر A	0.690	0.686	0.667	0.731	0.690	0.731	0.742	0.660	1.000			
10	مذكر E	0.757	0.716	0.720	0.738	0.727	0.746	0.742	0.720	0.791	1.000		
11	مذكر C	0.746	0.720	0.679	0.742	0.746	0.735	0.716	0.686	0.779	0.929	1.000	
12	مكناسي	0.727	0.723	0.675	0.701	0.675	0.649	0.742	0.735	0.656	0.768	0.750	1.000

أظهرت البيانات في الشكل 1A أيضاً أن الصنفين المذكرين C وE على درجة كبيرة من التشابه (92.9%) بينما لم يكن الصنف المذكر الثالث A على نفس الدرجة من التشابه معهما (79.1 % و77.9 %) مع كل من E وC على التوالي.

استطاعت كافة المرئسات الـ39 التمييز بسهولة بين الأصناف الاثني عشر المدروسة (الشكل 1A)، ونتج عنقودان رئيسان احتوى

توافقت بيانات التشابه المتحصل عليها في هذه الدراسة مع التصنيفات المستندة إلى الخصائص الشكلية و الزراعية على الأقل فيما يخص الأصناف المذكرة [7]. لكن اتضح أن شكل حمل الثمار ووزن الثمار غير مرتبطين إطلاقاً مع العناقيد الناجمة عن RAPD. أظهرت نتائجنا أن الصنف ماطر المنتخب من الصنف اليوناني Aegina كان على درجة تشابه 80.5% مع الصنف عاشوري. كما



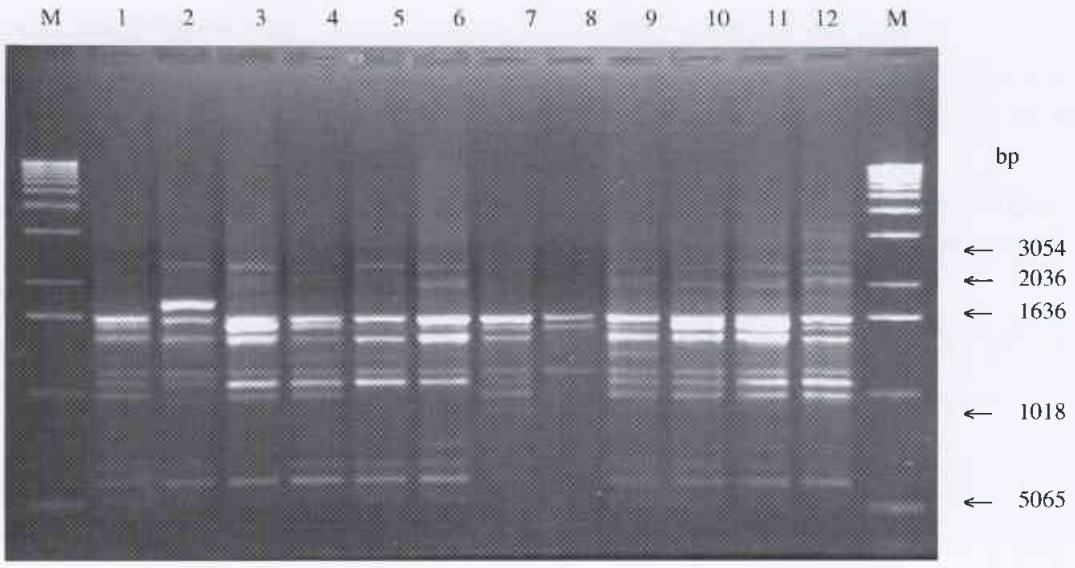
الشكل 1– مقارنة التحاليل العنقودية اعتماداً على قيم معامل تشابه المصفوفات باستخدام أعداد مختلفة من المرئسات العشوائية A:39 مرئسة، B:30 مرئسة، C:20 مرئسة، D:10 مرئسة، مرئسات في أصناف الفستق الحلبي المدروسة.

وردت درجة تشابه مماثلة (79%) بين الصنف Aegina والعاشوري في دراسة عن أصناف فستق حلبي من مناطق عديدة من العالم [14]. وفي هذا السياق أورد عديد من الباحثين توافقاً بين بيانات RAPD وعديد من أشجار الفاكهة مثل الخوخ [15] واللوز [16] والتفاح[17] والعنب[18]. لكننا وجدنا في دراسة حديثة عن اللوز باستخدام نفس التقانة أن طبيعة النمو فقط كان لها بعض التوافق مع شجرة القرابة [19].

ذكرت أيضاً درجة تغاير قليلة في معلمات RAPD بين أصناف الفستق الحلبي المزروعة في منطقة المتوسط [14] (تراوحت درجة التشابه بين 62% و81%). تعكس درجة التشابه الأعلى المستحصل عليها في دراستنا هذه القاعدة الوراثية الضيقة للأصناف المدروسة. وتجدر الإشارة إلى أننا حصلنا على عدد أكبر من الشدف المتغايرة شكلياً في أصنافنا من تلك التي ذكرها[14]. وقد تصادف وجود 6 مرئسات مشتركة في الدراستين و كان عدد الشدف المتغايرة شكليا الناجمة عن استخدام هذه المرئسات 8 في دراسة [14] مقارنة مع 24 في دراستنا هذه. يوضح الشكل 2 التغايرات الشكلية الناجمة عن استخدام المرئسة OP-R19 التي وَجَدَ فيها [14] تغايراً واحداً بينما وجدنا فيها 6 شدف متغايرة شكلياً. ومن المتفق عليه أن لتحاليل RAPD محددات عديدة وربما يكون أهمها صعوبة مقارنة النتائج بين المخابر، ويعود ذلك إلى أن أي تغيير في المراحل العديدة للاختبار سيؤدي إلى اختلاف في النتائج. ولكن ضمن المخبر الواحد وعندما تتم أمثلة الطريقة بشكل جيد فإنها تعطي تكرارية جيدة [20]. لقد اختبرنا التكرارية على دنا من استخلاصين مختلفين وأعيدت معظم تفاعلات التضخيم مرتين وبالنتيجة استخدمنا فقط العصابات الواضحة والمتكررة في تحليل النتائج. إن طبيعة التلقيح الخلطي في الفستق الحلبي قد تكون مسؤولة عن المستويات العالية من التغيرات الملحوظة في تحاليل RAPD، وفي هذا المجال ذكر وجود مستويات عالية مشابهة من التغيرات في أشجار الزيتون خلطية التلقيح أيضاً[21].

لقد دعانا هذا لتحديد العدد الأقل الممكن استخدامه من المرئسات والذي يعطي صورة معبرة عن التنوع الوراثي في مادتنا النباتية. استخدمنا أربع مجموعات عشوائية من المرئسات (ثلاث منها احتوت على عشر مرئسات والرابعة على تسع) (الجدول 2). أنشأت مصفوفات التشابه لهذه المجموعات (البيانات غير معروضة) واستخدم معيار Mantel الإحصائي [11] لمقارنة مصفوفات التشابه هذه (الجدول 4). من هذا الجدول يتبين أن مؤشر Mantel بين مصفوفتي الـ10 والـ39 مرئسة يدل على مواءمة ضعيفة (poor fit r=0.79)، بينما أعطت مصفوفتا الـ20 والـ30 مرئسة مواءمة أفضل بكثير مع مصفوفة الـ39 مرئسة (r=0.87 و r=0.96 على التوالي). تؤكد نتائج شجرة القرابة Dendogram في الشكل 1 هذه البيانات، فالشجرتان B و C لهما بشكل عام نفس المنحى المذكور أعلاه لكل المرئسات (الشجرة

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



الشكل 2– التعددية الشكلية الناجمة عن استخدام المرشة OP-R19 على 12 صنفاً من الفستق الحلبي 1. 12 انظر الجدول 1. M سلم دنا 1Kb.

A)؛ عنقودان رئيسان والصنف باتوري ازرع مستقل عنهما. لكن تغير نمط التجمع aggregation بين الأصناف المدروسة بشكل كبير عند استخدام عشر مرشات عشوائية (الشجرة D) حيث تباعدت الأصناف التونسية عن بعضها وتباعد المذكر A عن المذكرين E وC بالرغم من أن الأخيرين حافظا على قرابتهما الشديدة وأن باتوري ازرع بقي متميزاً عن المجموع.

اقترح آخرون في دراستهم على الكرمة [22]، استخدام المرشات التي تعطي أكثر تغايرات شكلية من الحزم (الشدف) وبالتالي يتم توفير الوقت والمال بالإقلال من عدد التحاليل اللازمة من RAPD. لاختبار مشروعية هذه الفرضية على أصناف الفستق، قسمنا المرشات المدروسة إلى قسمين استناداً إلى عدد نواتج الشدف المتغايرة: تألف القسم الأول من المرشات التي أنتجت 7 شدف متغايرة أو أكثر والثاني من تلك التي أنتجت أقل من 7 شدف متغايرة. احتوت المجموعة الأولى على عشر مرشات وأنتجت 91 شدفة (عصابة) متغايرة، بينما احتوت المجموعة الثانية على 29 مرشة أنتجت 117 شدفة متغايرة. نتج عن تحليل قيم مصفوفات التشابه لهاتين المجموعتين (البيانات غير معروضة) مواءمة ضعيفة جداً (r=0.61) ولكن على عكس مجموعة العشر مرشات العشوائية (التي أعطت مواءمة ضعيفة r=0.79)، فإن العشرَ مرشات الأكثر تغايرا كان لها درجة مواءمة جيدة مع المجموعة الكاملة من المرشات (r=0.87) وكانت مشابهة لعينة العشرين مرشة العشوائية. من ناحية أخرى، كان لمجموعة الـ29 مرشة الأقل تغايراً درجة مواءمة جيدة جداً(r=0.92) مع المجموعة الكاملة مقارنة مع القيمة الأفضل (r=0.96) التي كانت بين الـ30 مرشة عشوائية والمجموعة الكاملة من المرشات. تؤكد هذه النتيجة نتائج سابقة فيما يتعلق بالنتيجة الأفضل للمرشات الأكثر تغايراً ولكن نتائجنا تشير إلى أن العدد القليل من الشدف المتغايرة (91 في حالة العشر مرشات الأكثر تغايراً، أو 103 في حالة العشرين مرشة العشوائية) قد يكفي للتمييز بين الأصناف المدروسة هنا من الفستق الحلبي المتغايرة بما فيه الكفاية بالرغم من درجة قرابتها الكبيرة من بعضها [22]. في هذا السياق، ذكر أن سبع مرشات فقط قد تكفي لتمثيل علاقات القرابة بين أصول أصناف من اللوزيات[23].

الجدول 4: مقارنة مصفوفات التشابه باستخدام معامل الارتباط اللحظي r، واختبار مانتل التقريبي بين مصفوفات التشابه باستخدام مختلف حالات مجموعات المرشات.

مقارنة مصفوفات التشابه	اختبار مانتل التقريبي t-test	منتج الارتباط اللحظي r	درجة المواءمة ****
10 P* versus 20 P	4.869	0.902	جيدة جدا
10 P versus 30 P	4.759	0.838	جيدة
10 P versus 39 P	4.881	0.798	ضعيفة
20 P versus 30 P	5.228	0.929	جيدة جدا
20 P versus 39 P	5.295	0.872	جيدة
30 P versus 39 P	6.033	0.955	جيدة جدا
10 hp P** versus 29 lp P***	4.017	0.605	ضعيفة
10 P versus 30 P	5.767	0.865	جيدة
10 P versus 39 P	6.142	0.923	جيدة جدا

*مجموعات عشوائية من عشر مرشات، ** مرشات ذات درجة عالية من المتغايرات الشكلية، *** مرشات ذات درجة منخفضة من المتغايرات الشكلية، **** ضعيفة جداً 0.6-0.7، ضعيفة 0.7-0.8، جيدة 0.8-0.9، جيد جداً 0.9-1.

REFERENCES المراجع

[1] Parfitt D N., Badenes M L., 1998. Molecular phylogenetic analysis of the genus Pistacia. Acta Horticulturae, 470: 143-151.

[2] Kafkas S.,Perl-Treves R. 2001. Morphological and molecular phylogeny of Pistacia species in Turkey. Theoretical and Applied Genetics 102: 908-915.

[3] Hormaza J. I, Dollo L. Polito V. S., 1994. Determination of relatedness and geographical movements of Pistacia vera Pistachio; Anacardiaceae) germplasm by RAPD analysis. Economic Botany 48: 349-358.

[4] Lemaistre J., 1959. Le pistachier (?etude bibliographique). Fruits 14: 57-77.

[5] FAOSTAT Database Collections 2000. http://apps.fao.org/page/collections?Subset = agriculture.

[6] Maggs D.H., 1973. Genetic resources in pistachio. -Plant Genetic Resources Newsletter 29: 7-15.

[7] ACSAD. 1998. Pistachio tree and its various technologies. The Arab Center for the Studies of Arid and Dry lands, Directorate of plant studies, serial no. 59, Damascus, Syria (in Arabic). pp162.

[8] Bretting P. K., Widriechner M. P., 1995. Genetic markers and plant genetic resource management. Plant Breeding Reviews 13: 11-86.

[9] Nabulsi I., Al-Safadi B., MirAli N., Arabi M. I. E. 2001. Evaluation of some garlic (Allium sativum L.) mutants resistant to white rot disease by RAPD analysis. Annals of Applied Biology 138: 197-202.

[10] Williams J. G. K, Kubelik A. R, Levak K. J, Rafalski J. A, Tingey S. V. 1990. DNA polymorphism amplification by arbitrary primers are useful as genetic markers. Nucleic Acids Research 18: 6531-6535.

[11] Rohlf F. J. 1995. NTSYS-PC numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 1.8 Exeter Software, Setauket, NY.

[12] Sneath P. H.A, Sokal R. R. 1973. The principles and Practice of numerical classification. In Numerical Taxonomy. W.H. Freeman and Co., San Francisco, USA pp 573.

[13] Hormaza J. I., 1994. An analysis of sex expression, geographic distribution and genetic relatedness among clones and cultivars of pistachio (Pistachia vera L.). Ph.D Thesis, University of California, Davis.

[14] Hormaza J. I, Pinney K, Polito V. S. 1998. Genetic diversity of pistachio (Pistacia vera, Anacariaceae) germplasm based on randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. Economic Botany 52: 78-87.

[15] Shimada T., Hayama H, Haji T., Yamaguchi M, Yoshida M. 1999. Genetic diversity of plums characterized by random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. Euphytica 109: 143-147.

[16] Bartolozzi F., Warburton M. L, Arulsekar S., Gradziel T. M., 1998. Genetic characterization and relatedness among California almond cultivars and breeding lines detected by randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. Journal of the American Society for Horticulture Science 123(3): 381-387.

[17] Landry B.S, Li R..Q, Cheung W. Y, Granger R. L., 1994. Phylogeny analysis of 25 apple rootstocks using RAPD markers and tactical gene tagging. Theoretical and Applied Genetics 89: 847-852.

[18] Vidal J.R, Coarer M, Defontain A., 1999. Genetic relationships among grapevine varieties grown in different French and Spanish regions based on RAPD markers. Euphytica 109: 161-172.

[19] MirAli N., Nabulsi I. 2002. Genetic diversity of almonds (Prunus dulcis) using RAPD technique. Scientia Horticulturae.

[20] Bachmann K., 1994. Tansley Review No.63. Molecular markers in plant ecology. New Phytologist 126: 403-418.

[21] Fabbri A., Hormaza J. I, Polito V. S., 1995. Random amplified polymorphic DNA analysis of olive (Olea europaea L.) cultivars. Journal of the American Society for Horticulture Science 120: 538-542.

[22] Fanizza G., Colonna G., Resta P., Ferrara G. 1999. The effect of the number of RAPD markers on the evaluation of genotypic distances in Vitis vinifera. Euphytica 107: 45-50.

[23] Casas A. M., Igartua E., Balaguer G., Moreno M. A., 1999. Genetic diversity of Prunus rootstocks analyzed by RAPD markers. Euphytica 110: 139-149. 2002.

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

الحسابات العددية لتوزّع درجة الحرارة في طبقات معدنية مضاعفة معالجة بالحزم الليزرية*

د. محمد سوقية، د. بشار عبد الغني، مصطفى حمادي
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق – سوريا

ملخص

جرى إعداد نموذج رياضي لوصف أثر معالجة طبقات معدنية مضاعفة (Cr/Fe، Ni/Fe، Al/Fe) بحزم ليزرية، يؤخذ بالحسبان تأثير الحزمة الليزرية على الوسطاء الفيزيائية والهندسية المختلفة للطبقات المعدنية المطلية. يمكن أن تقدر الحلول العددية لمعادلة النقل الحراري التفاضلية وغير المتجانسة درجات حرارة المنطقة المعالجة. يسمح النموذج المقترح بدراسة توزّع درجات الحرارة كتابع للسطح المعالج ولوسطاء الليزر. أخذت الوسطاء الفيزيائية للمواد المعالجة كتابع لدرجة الحرارة نظراً للتغيير في درجة حرارة مواد الطبقة المضاعفة المُعالجة.

الكلمات المفتاحية: توزّع درجات الحرارة، سطح معدني، حزم ليزرية.

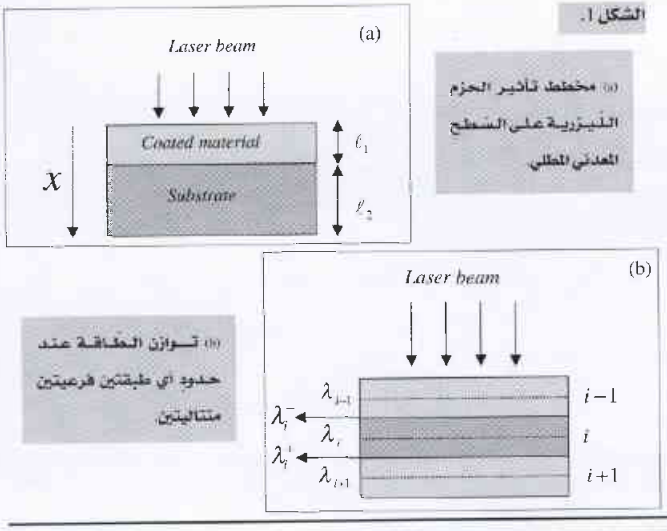
المقدمة

مازال تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لسطوح السبائك المعدنية من المواضيع العلمية والتقنية المهمة. توجد طرائق مختلفة لتعديل السطوح المعدنية تعتمد على زيادة معدلي التسخين والتبريد، مثل البلازما والحزم الأيونية والليزر والحزم الإلكترونية وغيرها [1,2].

يتمتع الليزر بمميزات فريدة لتسخين السطوح، حيث يمتص حقل الإشعاع الكهرومغنطيسي لشعاع ليزر ضمن طبقات سطح المواد المعالجة (الشكل 1a). ويمكن استخدام الليزر في معالجة المعادن في الحالات التي لا يمكن معالجتها بالطرائق التقليدية. تتميز المعالجة السطحية بالليزر مقارنة بالعمليات الأخرى بأنها أكثر نظافة وأقل تشويهاً لأبعاد القطعة المعالجة، وبالإمكان التحكم بطيف التوزع الحراري وشكل منطقة التأثر الحراري، وسرعتها وسهولة أتمتتها. عملياً تستخدم نبضات ليزرية بكثافات استطاعة في المجال 10^8 -10^9 W/cm^2 وزمن نبضات في المجال 10^{-3}-10^{-9}s وتكون أبعاد بقعة التأثير في المجال 10^{-2} -10^0 cm. يمكن أن يؤدي تأثير الليزر على السطوح المعدنية إلى حدوث تحولات طورية – بنيوية كنتيجة للعمليات الفيزيائية والكيميائية. مؤخراً، طُوِّرت تقنية جديدة تدعى "الزرع الليزري"، لمعالجة جمل متعددة الطبقات بهدف تشكيل أطوار جديدة بين الركيزة ومادة الطلاء. تعتمد معالجة السطوح المعدنية بالليزر على وسطاء الحزمة الليزرية (مثل: كثافة الاستطاعة، الشدة، طول الموجة، تباعد الحزمة، قطر الحزمة، زاوية الورود، وزمن المعالجة) وعلى وسطاء المادة (مثل البنية، التركيب الكيميائي والطوري، وامتصاصية السطح لحزمة الليزر والناقلية الحرارية) [3].

يكون تدفق التسخين داخل مناطق المعالجة المحدودة ذات الكثافات الطاقية العالية، التي يمكن أن تقود إلى تسخين السطح موضعياً (حوالي mm2~) بمعدل 10^{10} K/s مقارنة بطرائق التسخين الأخرى (10^4 K/s) يمكن أن تكون درجة حرارة المواد المعالجة موضعياً أعلى من درجة حرارة التحول الطوري AC_1 (في حال السبائك الحديدية)، ولكن أقل من درجة حرارة الانصهار T_m [4]. يعتمد معدل تبريد السطح المعالج على ناقليته الحرارية. إن القياس المباشر لدرجة حرارة التسخين وتوزعها ضمن المواد المعالجة بالليزر صعب جداً، لذا يقدر عادة بحسابات عددية. لذلك يركز هذا العمل على إيجاد نموذج رياضي لوصف العمليات الفيزيائية، التي تحدث خلال المعالجة السطحية بالليزر لطبقات معدنية مضاعفة وتقدير درجات الحرارة للمواد المعالجة وتوزعها.

الشكل 1.



(a) مخطط تأثير الحزم الليزرية على السطح المعدني المطلي.

(b) توازن الطاقة عند حدود أي طبقتين فرعيتين متتاليتين.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Advances in Horticultural Science 2003.

النموذج الرياضي

عندما ترد حزمة ليزرية على سطح معدني، ينعكس جزء منه ويمتص جزء آخر ضمن ثخانة طبقة من رتبة 10^{-5}-10^{-6} cm (الشكل 1a). ولذلك، يمكن أن يؤدي تأثير الإشعاع الليزري إلى زيادة درجة حرارة الغاز الإلكتروني Te داخل الطبقات السطحية بشكل أسرع مقارنة بتسخين ذرات الشبكة البلورية بعدة مراتب، وذلك بسبب الفرق بين كتلة الإلكترون وكتل الذرّات. يُمكنُ التعبير عن تغيير درجة حرارة ذرات الشبكة البلورية Tc بالعلاقة:

$$\frac{dT_c}{dt}=\frac{T_e-T_c}{\tau_r}$$

حيث τ زمن الاسترخاء (10^{-11} -10^{-9}s) [1]. تبلغ فترة نبضة الخرج الليزري (في حالة نظام الإصدار الحر) مرتبة 10^{-9} -10^{-3}s. تتألف نبضة الخرج الليزري (في هذه الحالة) من عدة نبضات يمكن أن تصل فترة كل نبضة منها إلى حوالي 10^{-6}s، والتي هي أكبر بثلاث إلى خمس مراتب مقارنة بزمن الاسترخاء. سيكون الفرق في درجة الحرارة بعد زمن الاسترخاء: $\Delta T=Te-Tc$ في حدِّه الأدنى. لذلك يمكن أن يوصف تدرُّج التسخين وفقاً لقوانين الفيزياء التقليدية. ويمكن وصف تدرُّج التسخين في أوساط متجانسة ومتناحية وفق بعدٍ واحد باستخدام المعادلة التفاضلية الجزئية من الدرجة الثانية التالية [5. 6]:

$$\lambda(T)\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}+q(x,t)=\rho(T)c^*(T)\frac{\partial T(x,t)}{\partial t}, \qquad (1)$$

حيث T(x,t) التوزُّع المكاني والزماني لدرجات الحرارة، $q(x,t)=((1-r)/\ell)q_0(x,t)$ كثافة طاقة الحزمة الليزرية الممتصة، r معامل انعكاسية السطح المعالج، $q_0(x,t)$ التوزع المكاني لكثافة استطاعة الليزر في المنطقة المعرضة، ℓ ثخانة الطبقة المعالجة، $\lambda(T)$ معامل الناقلية الحرارية، $c^*(T)=c(T)+L_i^{F,v}\delta(T-T_i^{F,v})/(T-T_i^{F,v})$ الحرارة النوعية، $L_i^{F,v}$ الحرارة اللاطية، $\delta(T-T_i^{F,v})$ تابع ديراك، $T_i^{F,v}$ درجة حرارة التحول الطوري (الانصهار أو التبخر)، $\rho(T)$ كثافة المادة.

يمكن حل المعادلة (1) باعتماد مفهوم الشبكة المنتظمة في النظام الديكارتي، حيث الخطوة Δx.

تعطي العلاقة التالية تقريب المشتق الأول:

$$\frac{\partial T(x_i,t_j)}{\partial x}\cong\frac{1}{2\Delta x_i}[T(x_{i+1},t_j)-T(x_{i-1},t_j)]. \qquad (2)$$

يمكنُ أن يقرب المشتق الثاني وفق الشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 T(x_i,t_j)}{\partial x^2}\cong\frac{1}{\Delta x_i^{\,2}}[T(x_{i+1},t_j)-2T(x_i,t_j)-T(x_{i-1}\,t_j)],$$
$$i=2,3,4\ldots..,(m-1),\quad j=2,3,4\ldots..,(n-1). \qquad (3)$$

كما يمكن أن يعطى المشتق بالنسبة للزمن وفق الشكل التالي:

$$\frac{\partial T(x_i,t_j)}{\partial t}\cong\frac{1}{2\Delta t}[T(x_i,t_{j+1})-T(x_i,t_{j-1})]. \qquad (4)$$

الحل العددي للمعادلة (1) يمكن أن يعطي بالعلاقة التالية:

$$T(x_i,t_{j+1})=T(x_i,t_j)+\sum_{j=1}^{n-1}R\cdot T(x_{i-1},t_j)-2T(x_i,t_j)$$
$$+T(x_{i+1},t_j)+\frac{q^{abs}\;\;p(x_i,t_j)\,\Delta t}{c^*(T(x_i,t_j))\;\;\rho(T(x_i,t_j))\Delta x}, \qquad (5)$$

حيث

$$R=\frac{\lambda(T(x_i,t_j))\;\Delta t}{c^*(T(x_i,t_j))\;\;\rho(T(x_i,t_j))},$$

حيث $P(x_i,t_j)$ نسبة الاستطاعة المتحررة خلال الفترة Δt و q^{abs} الاستطاعة الممتصة، شروط البدء لهذه الحالة $0\le x\le\ell=\ell_1+\ell_2$ $T(x,0)=T0=T_{ambient}$ والشروط الحدّية:

$$-\lambda(T)(\frac{\partial T}{\partial x})_{x=0}=q_0(x,t)\,,\;-\lambda(T)(\frac{\partial T}{\partial x})_{x=\ell}=0$$

يمكن أن يعطى تغير كثافة المادة كتابع لدرجة الحرارة بالعلاقة الخطية التالية:

$$\rho(T)=\rho_0+\rho_1 T\,.$$

يمكن أن يعطى تغير معامل الناقلية الحرارية بالعلاقة التالية:

$$\lambda(T)=\lambda_0+\lambda_1 T+\lambda_2 T^2$$

كما يمكن أن يعبر عن تغير الحرارة النوعية كتابع لدرجة الحرارة بتقريب جيد بكثير حدود من الدرجة الثانية وفق الشكل التالي: $c(T)=c_0+c_1T+c_2T^2$ يبين الجدول (1) الوسطاء الفيزيائية لبعض المعادن [8. 9].

الحل العددي لمعادلة النقل الحراري

استخدم برنامج حاسوبي يعتمد على طريقة الفروق المنتهية لحل المعادلة (1) كمسألة وحيدة البعد لمعادن مختلفة مادة الطلاء.

افترض في النموذج المعتمد أن مادة الطلاء مقسَّمة إلى شرائح صغيرة ثخانة كل منها $\Delta\chi$ وكذلك قسم زمن المعالجة أيضاً إلى N فترة بخطوة $\Delta t=d/v$. حيث: d - قطر البقعة الليزرية، v - معدل مسح البقعة الليزرية. يمكن تقدير الاستطاعة الليزرية بالعلاقة التالية:

$$q0(x,t)=p/\pi(0.5d)^2$$

حيث: P- استطاعة الحزمة الليزرية. تنتشر الطاقة من الطبقة باتجاهين كما هو موضح في الشكل 1b؛ إن الاتجاه الأول نحو الطبقة الفرعية i-1، والثاني نحو الطبقات الفرعية i+1. تعطي العلاقات التالية الناقلية الحرارية $\lambda^{\pm}(T)i$ بين الطبقات (i-1), i و(i+1):

$$\lambda_i^{\pm}(T)=\frac{\lambda_i\,\lambda_{i+1}(\Delta x_i\pm\Delta x_{i+1})}{\lambda_i\Delta x_{i+1}+\lambda_{i-1}\Delta x_i}\,.$$

الجدول (1) الوسطاء الفيزيائية لبعض المعادن.

Fe	20°C<T<770°C	$\lambda(T) = 83.337 - 0.12205T + 1.2720e^{-4}T^2 - 7.5463e^{-8}T^3$
	910°C<T<155°C	$\lambda(T) = -24.318 + 0.11298T - 7.9225e^{-5}T^2 + 1.9954e^{-8}T^3$
	T>1557°C	$\lambda(T) = 11.423 + 2.8497e^{-2}T - 6.681e^{-6}T^2 + 3.2186e^{-10}T^3$
	20°C<T<770°C	$C(T) = 43.29 + 1.6166T - 5.3833e^{-3}T^2 + 6.3042e^{-6}T^3$
	770°C<T<910°C	$C(T) = 3.1729\ e^5 - 1088.4T + 1.2473\ T\ 2 - 4.7643e^{-4}T^3$
	900°C<T<<1400°C	$C(T) = 484.40 + 0.24771T - 1.1202e^{-4}T^2 + 3.2115e^{-8}T^3$
	1350°C<T<1550°C	$C(T) = 4699.3 + 11.15.T - 7.6589e^{-3}T^2 + 1.7738e^{-6}T^3$
		$\rho(T) = 7977 - 0.62T$
Ni	0°C<T<400°C	$\lambda(T) = 93.947 - 0.12933T + 1.7864e^{-4}T^2 - 1.4809e^{-7}T^3$
	400°C<T<1400°C	$\lambda(T) = 56.230 + 2.0794e^{-2}T + 1.1830e^{-6}T^2 - 5.5316e^{-10}T^3$
	100°C<T<358°C	$C(T) = 557.11 - 2.0988T + 1.3060e^{-2}T^2 - 2.0857e^{-5}T^3$
	358°C<T<1400°C	$C(T) = 422.12 + 0.32191T - 3.0126e^{-4}T^2 + 1.5894e^{-7}T^3$
		$\rho(T) = 8900 - 0.45T$
Cr	0°C<T<1200°C	$\lambda(T) = 86.497 + 3.8834e^{-2}T - 2.8969e^{-4}T^2 + 4.2469e^{-7}T^3$
	0°C<T<2000°C	$C(T) = 501.41 - 0.10168T + 2.8776e^{-4}T^2 + 1.654e^{-9}T^3$
		$\rho(T) = 8807.5 - 1.5271T$
Al	0°C<T<660°C	$\lambda(T) = 236.4 + 5.377\ e^{-2}T - 2.47e^{-4}T^2 + 1.94\ e^{-7}T^3$
	660°C<T	$\lambda(T) = 58.525 + 6.08e^{-2}T - 1.948e^{-5}T^2 + 1.638e^{-9}T^3$
	660°C<T	$C(T) = \lambda(T)/\alpha(T)/\rho(T)$
		$\rho(T) = 2699 - 0.178T$

وتعطي العلاقات التالية الاستطاعة (أوالطاقة) (الممتصة، المنتشرة) ودرجة الحرارة عند العمق x للمادة المعالجة:

$$q^{abs} = q_0(1-r)\Delta t,$$

$$q^{+}_{diff} = \lambda_i^{+}\ [T_i(x \pm 1, t-1) - T_i(x, t-1)]\Delta t$$

$$q_i^{diff} = q^{+}_{diff} + q^{-}_{diff},$$

$$T_i(x,t) = T_i(x,t-1) + \frac{q^{abs} + q_i^{diff}}{\rho_i\ c_i^{*} \cdot \Delta x_i}$$

تحسب في حالة الانصهار (التبخر) درجة حرارة المادة المعالجة عند العمق x كما يلي:

$$T_i(x,t) = T_i^{F,V}(x) + f\ L_i^{F,V} / c_i^{*}, \qquad f < 0,$$

$$T_i(x,t) = T_i^{F,V}(x), \qquad 0 \le f \le 1,$$

$$T_i(x,t) = T_i^{F,V}(x) + (f-1)\ L_i^{F,V} / c_i^{*}, \qquad f > 1,$$

$$f = \sum_i \frac{q^{abs} + q_i^{diff} - \rho_i\ c_i^{*}\ \Delta x_i\ [T_i^{F,V}(x,t) - T_i(x,t-1)]}{\rho_i\ \Delta x_i\ L_i^{F,V}}$$

حيث q^{ads}, q^{diff} الطاقة المنتشرة والممتصة عند مدخل ومخرج الطبقات الفرعية، f جزء المادة المنصهر (المتبخر) من الطبقة i. يُعطى معيار استقرار الحسابات العددية بالعلاقة:

$$(\lambda_i \Delta t_i / \rho_i c_i^{*} \Delta \chi_i) \le 1/2$$

يسمح البرنامج المستخدم بدراسة توزّع درجة الحرارة في الحديد المطلي بطبقات معدنية مختلفة والمعالج بحزم ليزرية، ويقدر تأثير وسطاء الدخل الليزري: مثل(P: 1000-4000 W), (d:0-2 mm), (υ: 5-10 mm/s) على درجة حرارة تسخين السطح المعالج. اختيرت انعاكسية الطبقات المطلية في المجال من 83-97 %.

النتائج والمناقشة

دُرِسَ توزّع درجة حرارة الحديد المطلي بمعادن مختلفة (حديد، نيكل، كروم، ألمنيوم) والمعالج ليزرياً من أجل وسطاء مختلفة للحزمة الليزرية (استطاعة، قطر، معدل المسح للبقعة الليزرية... الخ).

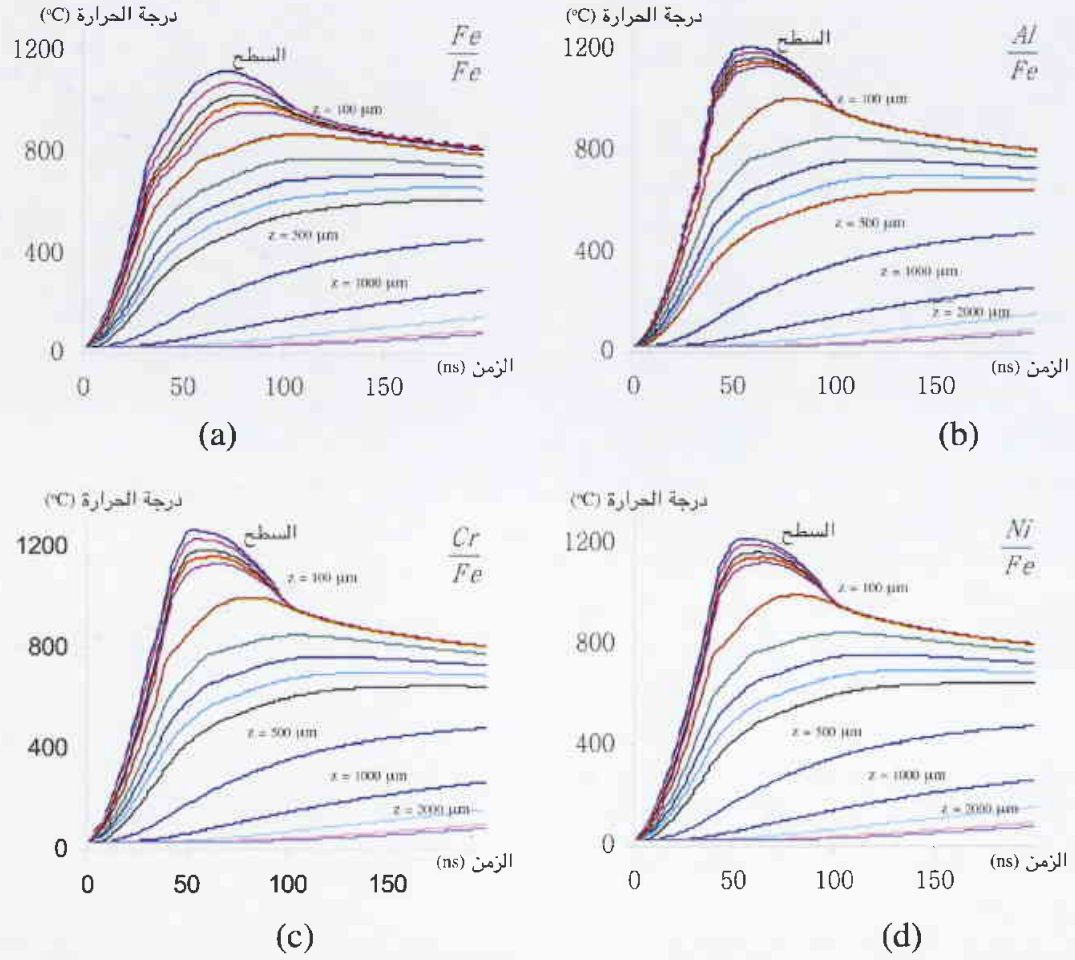
تقدر كمية الحرارة اللازمة لتبخر الطبقات السطحية للمواد بحوالي 10eV/at. لذلك تكون الطاقة الممتصة من قبل ذرّة واحدة نتيجة تأثير قمة واحدة من نبضات الليزر في الإصدار الحر أكبر بمرتبة واحدة تقريباً من الطاقة اللازمة لتبخير المنطقة المعالجة. لا تتحدد درجة الحرارة العظمى للتسخين فقط بكثافة الاستطاعة، بل أيضاً بامتصاص وخشونة السطوح المعالجة. تُمكّن الحلول العددية لمعادلة النقل الحراري التفاضلية الجزئية غير المتجانسة (5) من تقدير توزع درجة الحرارة خلال المعالجة بالليزر من أجل وسطاء مختلفة لمادة الطلاء (ثخانة، انعكاسية).

نظراً للتغير في درجة حرارة الطبقات المضاعفة المعالجة، فقد أخذت الوسطاء الفيزيائية ρ(T), λ (T), α(T), c(T) كتوابع لدرجة الحرارة، (الجدول 1). اعتمدت ثخانة الركيزة الحديدية حوالي 10mm مطلية بطبقات معدنية مختلفة وذات ثخانة 100μm.

يبين الشكل 2 تغيير درجة الحرارة المحسوبة للحديد المطلي بالألمنيوم، كروم، نيكل. يمكن أن يلاحظ من الشكل 2 في حالة الجمل Al/Fe, Cr/Fe, Ni/Fe أن درجة الحرارة العظمى تقع في المجال (1100 -1300 C)، وتتناقص مع زيادة المسافة عن مركز البقعة الليزرية. تظهر النتائج المحسوبة بأن درجة الحرارة في مركز البقعة الليزرية لا يمكن أن تذيب مواد الطلاء، في حين يمكن أن تودي عمليات التسخين إلى المزج الذرّي بين ذرات الطبقتين المعتبرتين وبالتالي يمكن أن تتشكل أطوار جديدة.

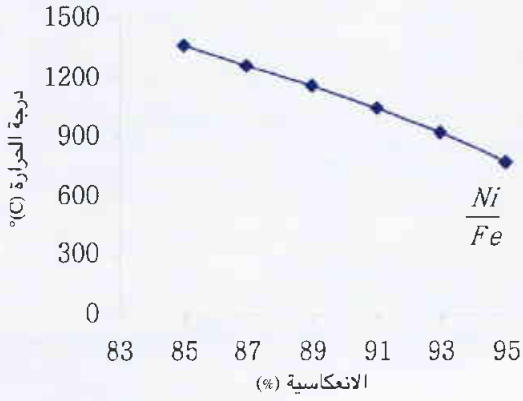
يمكن أن نرى أيضاً من الشكل 2 في حالة الحديد المطلي بطبقات الألمنيوم، أن درجة حرارة المادة المعالجة يمكن أن تكون أكبر من درجة الانصهار أو التبخُّر لطبقة الألمنيوم. لذلك، فإن عملية الانتشار بين ذرّات الركيزة ومادة الطلاء لا يمكن أن تحدث. أخيراً، تكون ثخانة المنطقة المعالجة حوالي 500μm.

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

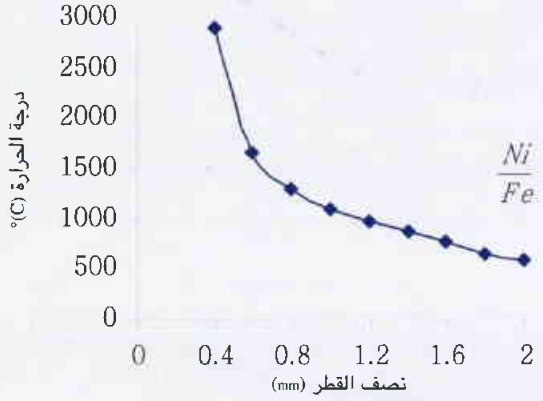


الشكل 2. توزُّع درجة الحرارة على سطح الحديد المطلي بثخانة 100µm لمعادن مختلفة معالجة بحزمة ليزرية (قطر 1mm؛ معدل مسح للبقعة الليزرية 10cm/s؛ واستطاعة 1000 W؛ وانعكاسية 90%).

تظهر الأشكال 3-6 تغييرات درجة الحرارة في الطبقات الفرعية لسطح الحديد المطلي بالنيكل (بثخانة 100µm) كتابع لوسطاء الحزمة الليزرية وسطاء مادة الطلاء (ثخانة، انعكاسية، مادة الطلاء). يبين الشكلان 3 و4 أن درجة حرارة السطح المعالج تزداد بازدياد كثافة الاستطاعة وبتناقص انعاكسية السطح، إضافة إلى أنه يمكن أن يلاحظ من الشكل 5 أن درجة حرارة الجملة Ni/Fe تتزايد بشكل لاخطي بازدياد استطاعة الحزمة الليزرية. يظهر الشكل 6 تناقص درجة الحرارة بازدياد معدل المسح للمنبع الليزري على سطح الحديد المطلي بالنيكل. يظهر الشكل7 تابعية درجة حرارة السطح العظمى لثخانة مادة الطلاء. يلاحظ من هذا الشكل تزايد درجة الحرارة العظمى مع زيادة ثخانة مادة الطلاء.

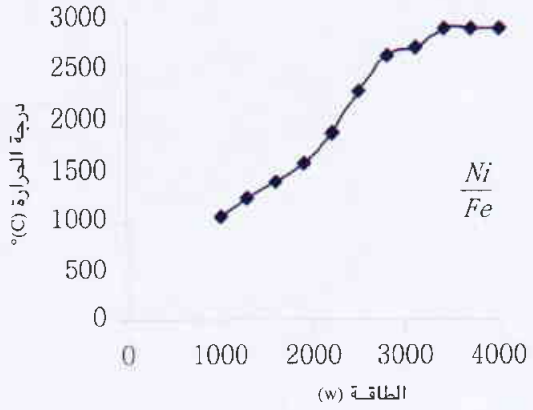


الشكل 3. درجة الحرارة السطحية كتابع للانعكاسية.

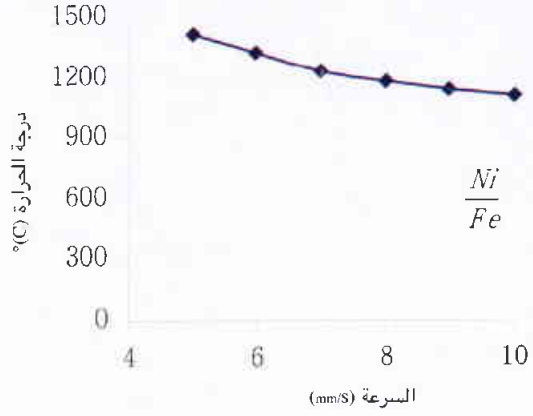


الشكل 4. درجة الحرارة السطحية كتابع لقطر البقعة الليزرية.

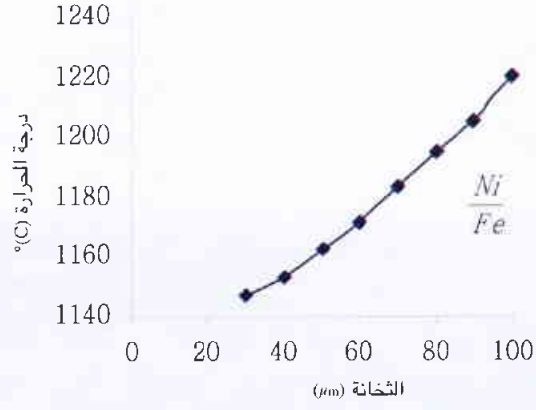
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل5. درجة الحرارة السطحية كتابع لاستطاعة الحزمة الليزرية.



الشكل 6. درجة الحرارة السطحية كتابع لمعدل مسح البقعة الليزرية.



الشكل 7. درجة الحرارة السطحية العظمى كتابع لثخانة مادة الطلاء.

أخيراً من المهم تقدير عتبة شدة الحزمة الليزرية المُخَرِّبة لبنية المادة المعالجة باستخدام العلاقة [10]:

$$I_{th} \approx [T_m(\rho_1 c_1 \ell_1 + \rho_2 c_2 \ell_2)] / A\tau_d$$

(اشتقت هذه العلاقة التقريبية من الحل التحليلي للمعادلة (1) [10])

حيث: T_m درجة حرارة انصهار مادة الطلاء، A معامل امتصاص السطح المعالج لليزر. قدرت عتبة شدة الحزمة الليزرية المخربة عددياً (من أجل فترة 10^{-6}s ومعامل امتصاص A = 0.05) للطبقة المضاعفة للجملتين: Al/Fe .Ni/Fe من أجل ركيزة ثخانتها 10mm وثخانة طبقة الطلاء 100μm بحوالي 6.8×10^{12} (W/cm²), 6.8×10^{14} (W/ cm²) على التوالي، في حين شدة الحزمة الليزرية المستخدمة كانت من رتبة 1.3×10^{5} (W/cm²)، مما يدل على أن شدة الحزمة الليزرية المعتمدة في حساباتنا لاتودي إلى تخريب طبقة الطلاء.

خاتمة

تعتبر معالجة السطوح من المواضيع الهامة حتى الآن، لأنها تؤمِّن الفرصة للمحافظة على المواد الاستراتيجية عن طريق تحسين الخواص السطحية لبعض مناطقها المميزة، تعد تقنية المعالجة بالليزر إحدى التقنيات المنافسة ويمكن أن تعطي تنويعاً واسعاً للمعالجة كالتقسية، والإحماء، والسبك السطحي لمواد مطلية. استخدم برنامج حاسوبي يعتمد على طريقة الفروق المنتهية لحل المعادلة (1) لحالة معادن طلاء مختلفة، بهدف تقدير درجة حرارة تسخين الطبقات المضاعفة للجمل (M/Fe, M=Al, Cr, Ni). تتنبأ الحلول العددية لمعادلة النقل الحراري بأن درجة حرارة التسخين يمكن أن تبلغ (1100-1300°C) لسطح المعدن المعالج بالحزم الليزرية. يُمكن هذا النموذج من تقدير تأثير وسطاء الليزر على درجة حرارة الجملة المطلية. أخذت الوسطاء الفيزيائية لمواد الطلاء تابعة لدرجة الحرارة (لزيادة دقة الحساب) نظراً لتغير درجة حرارة الطبقات المضاعفة المعالجة. أيضاً قدرت في هذا العمل عتبة كثافة الليزر المخرب لبنية المادة. يمكن تطبيق طريقة الحساب المستخدمة في هذا العمل من أجل جمل معدنية مطلية مختلفة.

المراجع REFERENCES

[1] Mirkin.L.I.Physical basic of laser beam material processing. Moscow, p. 124, 1975 (in Russian).

[2] Vykovski Yu A; Ion and laser implantation of metallic materials. Moscow, Energy-Atom, P.57,1991(in Russian).

[3] Ashby MF, Easterling KE. The transformation hardening of steel surfaces by laser beam. Acta Metall 1984; 32: 1935-48.

[4] Jain AK, Kulkani VN Sood DK; Pulsed laser heating calculation incorporating vaporization. J AppL phys 1981; 25-127-33.

[5] Grigorjants AG, Safonov AN. Methods of material surface processing using laser beams. 1987 (in Russian).

[6] Wddershoven FP. Simple analytical model for continuous wave-laser melting alloying for reflectivity change at the solid –liquid boundary. Jpn J Appl phy 1989, 28:1842-4.

[7] Steen W M. Laser material processing, Berlin; Springer, 1991. P. 164.

[8] Touloukian YS., Thermo-physical properties of matter, In: TPRC Data Series, Vol. 13; New York NY, Plenum press, 1972.

[9] Prigojac AG. Basic laser treatment of material. Moscow, 1989 (in Russian).

[10] Grigorov DZ. Heating of double layer structural by laser radiation, Phys chem process of Mater 1977; 4:14. (in Russian).

النمذجة الرياضية لليزر نيودميوم - زجاج مزود بمفتاح جودة ضمن المجاوب*

د. بشار عبد الغني، بسام عباس، محمد الشيخ خليل، مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية- هيئة الطاقة الذرية - ص.ب - 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تمت دراسة المميزات الزمنية لليزر نيودميوم - زجاج مزود بمفتاح جودة عددياً. تمت تهيئة نموذج رياضي يصف عملية الإصدار الديناميكي والعمليات الفيزيائية الأخرى. يسمح هذا النموذج بدراسة آثار الماص اللاخطي القابل للإشباع على مميزات النمط الليزري لليزر نيودميوم-زجاج، بالإضافة إلى دراسة تأثير وسطاء الدخل على مميزات نبضة الخرج الليزري.

تتنبأ الحلول العددية لجملة معادلات المعدل اللاخطية بتوليد نبضات ليزرية نانوية لليزر نيودميوم - زجاج مزود بمفتاح جودة. تقدر الحلول الناتجة كثافة الإشعاع الليزري الناتج والإسكان المعكوس النسبي للقضيب الليزري والماص القابل للإشباع من أجل أنظمة إصدار مختلفة. أظهرت النتائج الحسابية لمميزات خرج النبضة الليزرية توافقاً جيداً مع النتائج النظرية الأخرى ومع النتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، ليزر نيودميوم-زجاج، ماص قابل للإشباع.

مقدمة

يتميز الزجاج بعدد من الخصائص عن المواد الصلبة المضيفة الأخرى المستعملة في الليزرات الصلبة فهو وسط متماثل المناحي وقابل للتطعيم بتراكيز عالية ($2\text{-}6\times10^{20}$ ion/cm^3) بتجانس جيد، ويمكن تحضيره على شكل قطع كبيرة وحجوم وأشكال مختلفة. توفر مادتا SiO_2 و P_2O_5 فقط زجاجاً ليزرياً ذا خصائص ضوئية وميكانيكية وكيميائية مرضية [1]. يمتلك الزجاج المضيف تأثيراً قوياً على قدرة الأيونات الليزرية على امتصاص الضوء الوارد من منبع الضخ. تتمتع أيونات Nd^{+3} في الزجاج بمعامل كسب منخفض، وقدرة تخزين عالية للطاقة، بالإضافة إلى عرض عصابة كبير. وتمثل أيونات Nd^{+3} في الزجاج بجملة رباعية السويات (يظهر الشكل 1a مخططاً جزئياً للسويات الطاقية). تمثل السوية الليزرية العليا المركبة السفلية من زوج السوية $^4F_{3/2}$ ذات سوية للإصدار التلقائي مساوٍ لبضع مئات من المكروثانية. أما السوية الليزرية السفلى فتمثل بالسوية السفلى للزوج المضاعف $^4I_{11/2}$. ينجم هذا التشكيل الطاقي عن مركبة المدار-سبين والمتوضعة فوق السوية الأرضية بمقدار 1950 cm^{-1}. تخضع مجموعة السويات $^4I_{11/2}$ لانتقال فوتوني إلى السوية الأساسية $^4I_{9/2}$ بطول موجي قدره 5μm، والذي يمتصه الزجاج المضيف. وهذا هو أحد الأسباب المؤدية إلى ارتفاع درجة الحرارة الداخلية للوسط الليزري [3,2].

يتكون ليزر نيودميوم – زجاج من قضيب زجاجي حاوٍ لأيونات النيودميوم بنهايتين مسطحتين ومن مجاوب محاط من طرفيه بمرآتين عاكستين (الشكل 1b). تمتص أيونات Nd^{+3} الموجودة في السوية الأساسية E_1 جزءاً من طاقة الضخ، فتثار إلى سوية طاقية واقعة في العصابة E_4. وتنخرط هذه الأيونات المثارة في انتقال غير مشع وسريع جداً من السوية E_4 إلى السوية E_3. وعند حصول الإسكان المعكوس بين السوية الليزرية العليا E_3 والسوية الليزرية الدنيا E_2 يبدأ الإصدار الليزري (λ=1062 nm أو λ=1054 nm) إصداراً تلقائياً للفوتونات (التوليد الحر). ومن الممكن التحكم بهذا الإصدار الليزري عبر استخدام مفتاح جودة (مثل: IR26، IR5 (λ=1062، 1054 nm) Rhodamine 6G، Rhodamine 19 Phenoxazone 9 (λ=531، 527 nm) DTCI) ومركبات أخرى [4-6].

يمكن استخدام النبضات الليزرية الناتجة عن المهتز الليزري نيودميوم – زجاج لضخ المحاليل الصباغية، حيث يوضح الشكل 1C مخططاً لسويات الطاقة في جزيئة صباغية، وفيه أشير للسويات الأحادية بالرموز S_2, S_1, S_0 وللسويات الثلاثية بالرموز T_1 و T_2...إلخ. يسمح بالانتقال المشع فقط بين أي زوج من الأزواج المنتمية إلى النوع نفسه (أي سوية أحادي – أحادي، أو سوية ثلاثي– ثلاثي) ولا يسمح بالانتقال من سوية أحادية إلى سوية ثلاثية بسبب قواعد الاصطفاء السبيني. تشكل السويات الدورانية والاهتزازية من

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Optics and Laser Technology, 2004.

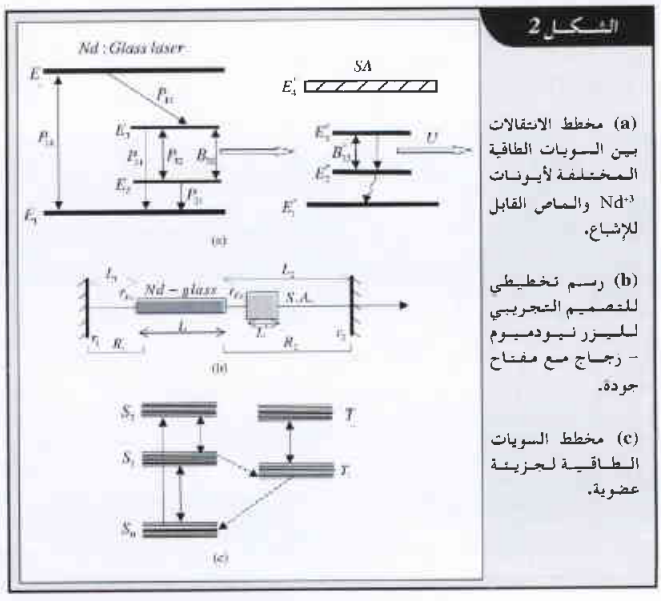
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الحالات الإلكترونية المختلفة في الطور السائل حالة شبه مستمرة [5.2]. وبشكل عام، تبقى معظم الجزيئات في أدنى سوية اهتزازية ضمن السوية الإلكترونية الدنيا S_0، وتنتقل إلى سويات أعلى S_1 أو S_2 لدى امتصاصها ضوء الضخ، وذلك بحسب تواتر موجة هذا الضوء. وفي حالة امتلاك الإشعاع الوارد طاقة كافية، يمكن أن تثار جزيئات الصباغ إلى سوية طاقية اهتزازية أعلى واقعة ضمن السوية الإلكترونية S_2، ومن ثمَّ تهبط، بشكل عام، إلى سوية طاقية اهتزازية واقعة ضمن السوية الإلكترونية S1 بشكل غير مشع خلال فترة زمنية من مرتبة 10^{-11} ثانية. وتبقى عادة جزيئات الصباغ المثارة في السوية S1 لفترة زمنية من مرتبة 10^{-8} ثانية، وخلال هذا الوقت يمكن لها أن تنتقل إلى السوية S_0 عبر تحول داخلي (internal conversion)، أو إصدار تلقائي (spontaneous emission)، أو إصدار محثوث (stimulated emission)، أو عبور داخل النظام (intersystem crossing) تنتقل فيه من السوية S1 إلى السوية T_1 [8.7.2].

يصبح المحلول الصباغي شفافاً عند الإشباع، وبزيادة التضخيم في المجاوب الليزري، تتمكن الفوتونات الصادرة من عبور المحلول الصباغي، وتنعكس عن المرآة الواقعة في نهاية المجاوب بشكل متلاحق. وكنتيجة لهذه الحالة، تتولد نبضة، أو عدة نبضات، أو قطار من النبضات الليزرية العملاقة.

لم تدرس بشكل جيد حتى الآن آلية الامتصاص اللاخطي في معظم المحاليل الصباغية المستخدمة كمفتاح جودة بشكل شامل.

سيبرهن هذا العمل صحة استخدام النموذج الرياضي الموحد الواصف لجملة ثلاث أو أربع سويات ليزرية. وسيركز أيضاً على تأثير وسطاء ليزر نيوديميوم - زجاج ووسطاء مجال واسع من الخلايا الصباغية المستخدمة كمفتاح جودة على مميزات خرج النبضات الليزرية العملاقة المتولدة.



الشكل 2

(a) مخطط الانتقالات بين السويات الطاقية المختلفة لأيونات Nd^{+3} والماص القابل للإشباع.

(b) رسم تخطيطي للتصميم التجريبي لليزر نيوديميوم - زجاج مع مفتاح جودة.

(c) مخطط السويات الطاقية لجزيئة عضوية.

النموذج الرياضي

تصف المعادلة التالية تغير الإسكان النسبي المعكوس بدلالة الزمن [9.5.4]:

$$\frac{dY}{dt} = G - DY - 2B_{32}(v)UY \qquad (1)$$

ويعطى التطور الزمني للكثافة الحجمية لشدة الحقل الليزري في المجاوب بالمعادلة التالية:

$$\frac{dU}{dt} = v\mu(\chi Y - K_{loss} - \frac{aK^*L^*}{L})U + \frac{v\mu U_0}{2L} \qquad (2)$$

يحدد التطور الزمني لمعامل امتصاص ماص قابل للإشباع بالمعادلة:

$$\frac{dK^*}{dt} = A^*_{32}(K^*_0 - K^*) - \sigma UK^* + B^*_{32}K^*U \qquad (3)$$

ملاحظة: تصف المعادلتان (1) و(2) ($K^*=0$) الإصدار الديناميكي لليزر نيوديميوم - زجاج فقط. حيث إن $B^*_{32}K^*U=0$ من أجل جمل ماص قابل للإشباع ثنائية وثلاثية السويات، أما في حالة الجمل رباعية السويات فإنَّ: $B^*_{32}K^*U\neq 0$.

تعطى شدة الحزمة الليزرية الناتجة بالعلاقة: $I(t) = cU(t)$ حيث:

$$D = \frac{2\psi(P_{21}+P_{32}) + 2P_{21}(P_{31}+P_{32})}{2\psi + P_{21} + P_{31}}, \quad G = \frac{2\psi(P_{21}-P_{32})}{2\psi + P_{21} + P_{31}}$$

(وبشكل عام، فمن أجل $P_{21} >> P_{31}$، يمكن إثبات أنَّ: $D=2(P_{31}+P_{32}+\psi)$, $G=2\psi$).

P_{31} معدل الضخ (احتمال انتقال أيونات Nd^{+3} من السوية المثارة E_3 إلى السوية الأساسية E_1)، P_{32} احتمال انتقال أيونات Nd^{+3} من السوية الليزرية العليا E_3 إلى السوية الليزرية الدنيا E_2 (الشكل 1a)، $Y=(N_2-N_2)/N_r$ الإسكان النسبي المعكوس، N_i (i=2, 3) كثافتا الإسكان في السويتين الليزريتين العليا والدنيا، N_r الكثافة الكلية لأيونات النيوديميوم، B_{32} معدل الاسترخاء لأيونات Nd^{+3} في حالة الإصدار المحثوث من السوية الليزرية العليا E_3 إلى السوية E_2، A^*_{32} معامل آينشتاين للإصدار التلقائي الصادر عن ماص الإشباع، U كثافة إشعاع الحزمة الليزرية في واحدة الحجوم، $v=c/\eta$ سرعة الضوء في القضيب الليزري، c سرعة الضوء في الخلاء، η قرينة انكسار القضيب الليزري، $\mu=(L\eta+L^*\eta^*)/L_1+L_2+L\eta+L^*\eta^*)$ معامل امتلاء المجاوب الليزري، L الطول الفعال للقضيب الليزري، L_1 و L_2 المسافتان الفاصلتان بين نهايتي القضيب الليزري ومرآتي الانعكاس، L^* طول الماص القابل للإشباع، η^* قرينة انكسار الماص القابل للإشباع، χ القيمة العظمى لمعامل التضخيم في القضيب الليزري (في حالة إثارة جميع أيونات Nd^{+3})،

$$K_{loss}=\rho+(1/2L)Ln(1/R_1R_2)+(\rho^*L^*/L)=\rho+\{1-\frac{\chi\psi}{p_{31}+p_{32}}\exp[(p_{31}+p_{32}+\psi)t_p]\}+(\rho^*L^*/L),$$

معامل الضياع الكلي بشكل عام في المجاوب الليزري، ρ معامل الضياع الناتج عن الامتصاص والتبعثر ...إلخ، $\psi=P_{32}$/ $(P_{32}+P_{31})B_{32}U^{max}$ معدل الضخ (احتمال الانتقال من 1 إلى 4 بتأثير نبضة الضخ)، σ معامل الامتصاص اللاخطي الماص القابل للإشباع، t_p زمن صعود نبضة الضخ، المجموع $P_{31}+P_{32}$ يعبر عن احتمال استرخاء السوية شبه المستقرة والذي يتناسب عكساً مع عمر السوية المثارة، R_1 و R_2 معاملا انعكاسية المرايا المركبة في المجاوب (والمؤلفة من المرآتين العاكستين ووجهي القضيب الليزري)، $\alpha=(1/K^*L^*)Ln(R_1R_2)_{K_0^*=0}/(R_1R_2)_{K_0^*\neq 0}$ مقدار ثابت، $c^*=c/\eta^*$ سرعة الضوء في الخلية الصباغية.

وتعطى القيمة الفعّالة لمعامل الانعكاسية المركبة R_i (i=1,2) بالعلاقة:

$$R_i = (r_{Fr} - 2\tau^2 r_{Fr} r_i + \tau^2 r_i)/(1-\tau^2 r_{Fr} r_i)$$

حيث إن: τ معامل نفوذية المادة المتوضعة بين السطحين العاكسين.

r_{Fr} معامل انعكاس فرينل عن وجه القضيب الليزري.

r_1 و r_2 معاملا انعكاس مرآتي المجاوب (الشكل 1b).

ومن جهة أخرى، تعطى استطاعة قمة نبضة الإصدار الوحيد بالعلاقة [5]:

$$P_{out} = -\frac{A}{2}\ln[R_2(1-K_{loss})]\frac{1-R_2-K_{loss}+R_2K_{loss}}{1-R_2(1-K_{loss})}I_v$$

حيث إن A المقطع العرضي للنمط الليزري TEM_{00}، والذي يمكن تحديده باستعمال قطر الفتحة المستخدم البالغ 1.5mm.

الحلول العددية لمعادلات المعدل

تمثل معادلات المعدل (1)-(3) جملة معادلات تفاضلية عادية لاخطية صلدة. تصف هذه المعادلات الإصدار الديناميكي في كلا الوسطين الليزريين؛ القضيب الليزري وخلية مفتاح الجودة. تم إعداد برنامج حاسوبي يعتمد على طريقة رونج – كوتا (Runge-Kutta) لحل هذه المعادلات. يسمح هذا البرنامج بدراسة تأثير ماص قابل للإشباع لاخطي على مميزات نمط ليزر نيوديميوم–زجاج. ويدرس كذلك تأثير وسطاء الدخل الليزرية على مميزات نبضة الخرج الليزري. يبين الجدول 1 الثوابت الفيزيائية لمعادلات المعدل (1)-(3) بالإضافة إلى الأبعاد الهندسية للتجويف الليزري [4, 5].

تم اختيار القيم البدائية لمعادلات المعدل كما يلي:

$$Y_0 = \frac{G}{D},\ U_0 = 1.02\ 10^{-7}\ J/cm^3,\ K_0^* = \frac{\chi}{L^*}\frac{L}{}(Y_0 - \frac{K_{loss}}{\chi})$$

تعتمد القيم الابتدائية لـ K^* على قيم المعامل K_{loss}، مما يعني أنه توجد قيم ابتدائية مختلفة للمعامل K^* من أجل قيم مختلفة للمعامل K_{loss}.

النتائج والمناقشة

يبين الشكلان 2 و3 كثافة الإشعاع الليزري والإسكان النسبي المعكوس كتابع للزمن. يتضح من الشكل 2 أن زمن النبضة قصير جداً (حوالي 35 نانو ثانية). ففي البداية تكون كثافة الفوتونات منخفضة أثناء عملية ضخ الليزر، وتكون ضياعات المجاوب أثناء ذلك أكبر من معامل التضخيم. ومن ثمَّ تتناقص الضياعات بشكل مفاجئ لأن كثافة الفوتونات تبلغ قيمة عظمى أعلى بعدة مراتب من القيمة الابتدائية. بالإضافة إلى ذلك، يلاحظ من الشكل 2 والجدول 2 أن كثافة الإشعاع الليزري تتزايد بزيادة كلٍّ من معامل التضخيم الأعظمي ومعدل الضخ، وتتناقص بتزايد معامل الضياع.

يتزايد كلٌ من عرض النبضة وزمن التأخير بتناقص كلٍّ من معامل التضخيم ومعدل الضخ، ويتناقصان بتزايد معامل الضياع.

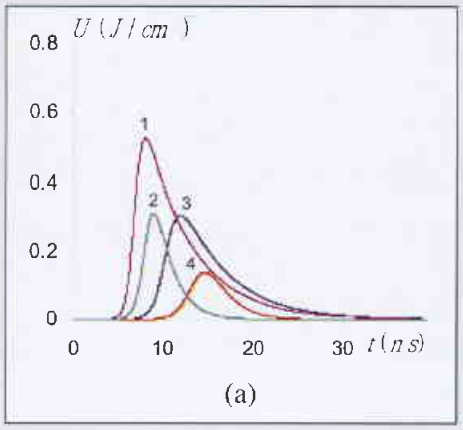
يظهر الشكل 3 أنَّ الإسكان النسبي المعكوس يتزايد بتزايد معدل الضخ. يتناقص الإسكان المعكوس عند إصدار نبضة وحيدة

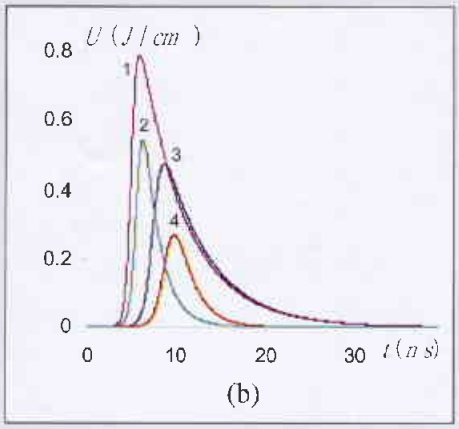
الثابتة	القيمة	الواحدة	الثابتة	القيمة	الواحدة
P_{21}	10^7	s^{-1}	K_{loss}	0.02-0.1	cm^{-1}
P_{31}	560	s^{-1}	L	12	cm
P_{32}	840	s^{-1}	σ	10^{10}-10^{14}	$cm^3/J.s$
B_{32}	175.10^7	$cm^3/J.s$	L^*	1	cm
χ	(5-15)	cm^{-1}	η	1.568	-
A_{32}	10^8	s^{-1}	h	$6.625.10^{-34}$	J.s
ν	$1.91.10^{10}$	cm/s	α	1	-
μ	0.5	-	r_1	100 %	-
ψ	(15-50)	s^{-1}	r_2	80 %	-
N_r	$(2\text{-}6)10^{20}$	cm^{-3}			

الجدول 1 وسطاء القضيب الليزري الماص القابل للإشباع.

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

الشكل 2





كثافة الحقل الليزري لليزر نيوديوم - زجاج كتابع للزمن:

(a)- $\psi=25\ (s^{-1})$ (b)- $\psi=35\ (s^{-1})$.

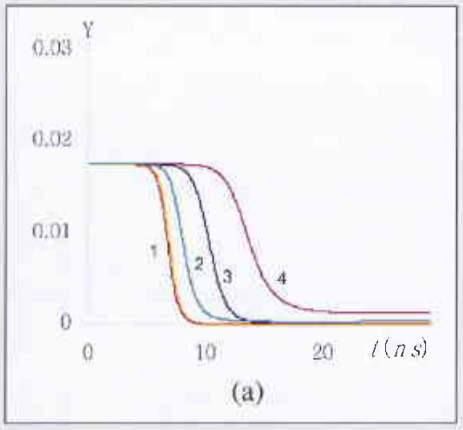
(المنحنيان 1، 2):

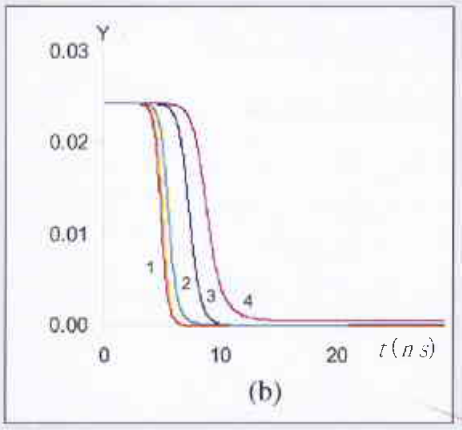
$\chi=15(cm^{-1})$ و $K_{loss}= 0.02, 0.06\ (cm^{-1})$

(المنحنيان 3، 4):

$\chi=10(cm^{-1})$ و $K_{loss}= 0.02, 0.06\ (cm^{-1})$

الشكل 3





الإسكان النسبي المعكوس في ليزر نيوديوم - زجاج كتابع للزمن:

(a)- $\psi=25\ (s^{-1})$ (b)- $\psi=35\ (s^{-1})$.

(المنحنيان 1، 2):

$\chi=15(cm^{-1})$ و $K_{loss}= 0.02, 0.06\ (cm^{-1})$

(المنحنيان 3، 4):

$\chi=10(cm^{-1})$ و $K_{loss}= 0.02, 0.06\ (cm^{-1})$

إلى أن يبلغ القيمة الدنيا المستقرة Y_{min} في نهاية فترة النبضة. تتزايد القيمة الدنيا المستقرة Y_{mm} بتزايد كل من معامل الضياع ومعدل الضخ.

تم الحصول على الشكلين 4 و5 باستخدام المعاملات التالية $\chi=10,15\ (cm^{-1})$ ،$\psi=25,35\ (s^{-1})$ ،$K_{loss}=0.02,0.06\ (cm^{-1})$، ومعامل اللاخطية للمحلول الصباغي $\sigma=10^{11},10^{14}\ (cm^3/J.s)$ و $t > 0$. يلاحظ من الشكل 4 والجدول 3 أن كثافة الإشعاع الليزري تزداد (ويتناقص عرض النبضة وزمن التأخير) بتزايد كل من معامل التضخيم الأعظمي ومعامل الامتصاص اللاخطي للماص القابل للإشباع ومعدل الضخ وذلك عند قيمة ثابتة لمعامل الضياع.

يوضح الشكلان 2 و4 والجدولان 2 و3 أن القيمة العظمى لكثافة الإشعاع الليزري للنبضة العملاقة لا تتغير من أجل القيمة $\sigma=10^{14}$ $cm^3/J.s$ لمعامل الامتصاص اللاخطي للمحلول الصباغي (وعند قيم محددة لمعامل التضخيم الأعظمي ومعدل الضخ).

الشكل	المنحني	$\chi\ (cm^{-1})$	$\psi\ (s^{-1})$	$K_{loss}\ (cm^{-1})$	FWHM (ns)	τ_{del}(ns)	$U^{max}\ (J/cm^3)$
2a	1	15	25	0.02	5.6	4	0.524
	2			0.06	3.2	4.7	0.313
	3	10		0.02	7	6.3	0.307
	4			0.06	4.8	8	0.140
2b	1	15	35	0.02	4.9	2.8	0.786
	2			0.06	2.6	3.2	0.540
	3	10		0.02	5.7	4.5	0.476
	4			0.06	3.6	5.5	0.273

الجدول 2

مميزات نبضة ليزر نيوديوم - زجاج

الشكل 4

كثافة الحقل الليزري في ليزر نيوديميوم - زجاج ذي مفتاح الجودة كتابع للزمن:

(a)- K_{loss}= 0.02 cm^{-1} و ψ=25 (s^{-1})

(b)- K_{loss}= 0.06 cm^{-1} و ψ=25 (s^{-1})

(c)- K_{loss}= 0.02 cm^{-1} و ψ=35 (s^{-1})

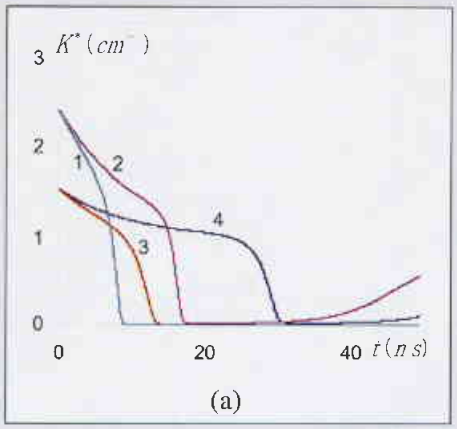
(d)- K_{loss}= 0.06 cm^{-1} و ψ=35 (s^{-1})

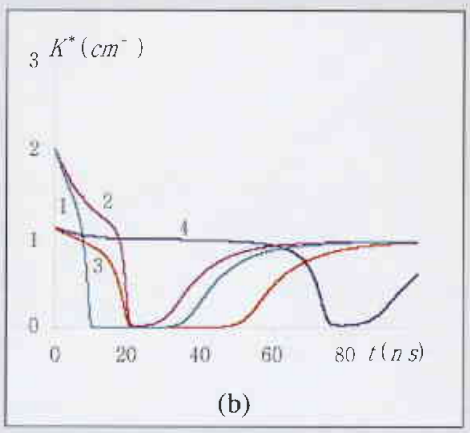
(المنحنيان 1، 2):

σ=10^{14},10^{11} cm^3/J.s و χ=15cm^{-1}

(المنحنيان 3، 4):

σ=10^{14},10^{11} cm^3/J.s و χ=10cm^{-1}





الشكل 5

معامل امتصاص الخلية الصباغية

كتابع للزمن:

(a)- K_{loss}= 0.02 cm^{-1} و ψ=25 (s^{-1})

(b)- K_{loss}= 0.06 cm^{-1} و ψ=25 (s^{-1})

(c)- K_{loss}= 0.02 cm^{-1} و ψ=35 (s^{-1})

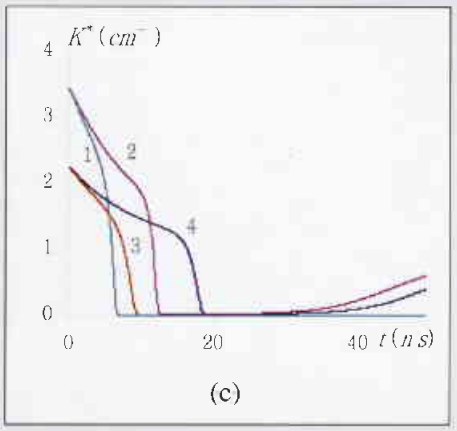
(d)- K_{loss}= 0.06 cm^{-1} و ψ=35 (s^{-1})

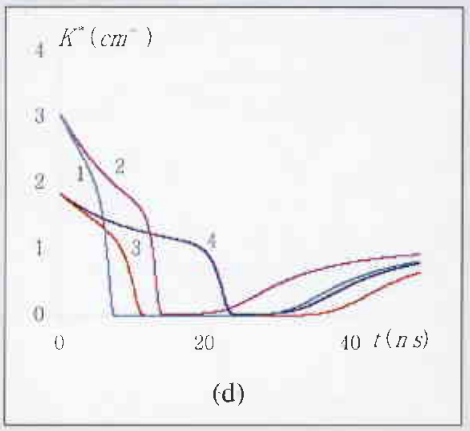
(المنحنيان 1، 2):

σ=10^{14},10^{11} cm^3/J.s و χ=15cm^{-1}

(المنحنيان 3، 4):

σ=10^{14},10^{11} cm^3/J.s و χ=10cm^{-1}



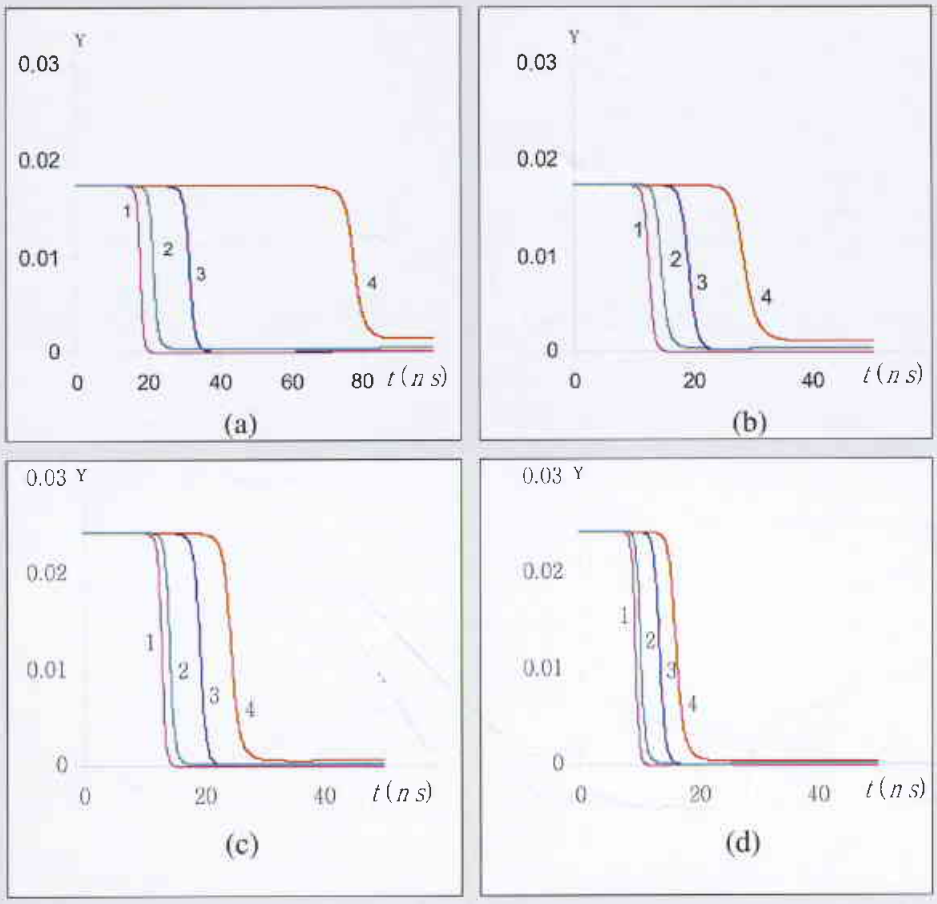


الشكل	المنحني	χ (cm^{-1})	ψ (s^{-1})	σ (cm^3/Js)	K_{loss} (cm^{-1})	FWHM (ns)	τ_{del}(ns)	U^{max} (J/cm^3)
4a	1	15	25	10^{14}	0.02	5.5	10	0.524
	2			10^{11}		5.2	14	0.497
	3	10		10^{14}		6.5	15	0.307
	4			10^{11}		5.9	26	0.283
4b	1	15		10^{14}	0.06	3.2	12	0.313
	2			10^{11}		3.1	17	0.293
	3	10		10^{14}		4.8	23	0.140
	4			10^{11}		5.5	69	0.121
4c	1	15	35	10^{14}	0.02	4.9	8	0.787
	2			10^{11}		4.6	11	0.754
	3	10		10^{14}		5.6	11	0.476
	4			10^{11}		5.3	16	0.449
4d	1	15		10^{14}	0.06	2.6	8	0.540
	2			10^{11}		2.6	12	0.515
	3	10		10^{14}		3.5	13	0.273
	4			10^{11}		3.5	21	0.253

الجدول 3 مميزات نبضة خرج ليزر نيوديميوم - زجاج مزود بمفتاح جودة.

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

الشكل 6



الإسكان النسبي المعكوس في ليزر نيوديوم – زجاج مزود بمفتاح جودة كتابع للزمن:

(a)- $\psi=25\ (s^{-1})$ و $\sigma=10^{11}\ cm^3/J.s$

(b)- $\psi=25\ (s^{-1})$ و $\sigma=10^{14}\ cm^3/J.s$

(c)- $\psi=35\ (s^{-1})$ و $\sigma=10^{11}\ cm^3/J.s$

(d)- $\psi=35\ (s^{-1})$ و $\sigma=10^{14}\ cm^3/J.s$

(المنحنيان 1، 2):

$K_{loss}= 0.02, 0.06\ cm^{-1}$ و $\chi=15 cm^{-1}$

(المنحنيان 3، 4):

$K_{loss}= 0.02, 0.06\ cm^{-1}$ و $\chi=10 cm^{-1}$

ويبدأ تأخر إصدار النبضة العملاقة بالتأخر بتناقص قيمة معامل الامتصاص اللاخطي للمحلول الصباغي، إلى أن يبلغ زمن التأخير القيمة $\tau_{del}\approx 80$ (ns) عند بلوغ معامل الامتصاص اللاخطي للمحلول الصباغي القيمة $\sigma=10^{11}\ cm^3/J.s$ (انظر الشكل 4b). وهذا التأخير ناتج عن تناقص شفافية المحلول الصباغي، مما يتطلب فترة أطول من الضخ الليزري للمحافظة على الشفافية اللازمة لمرور الحزمة الليزرية.

يلاحظ أيضاً من الشكل 4 والجدول 3 أنه من أجل قيمة ثابتة لكل من معامل الضياع ومعدل الضخ، يتناقص عرض نبضة الخرج الليزري بتناقص كل من معامل الامتصاص اللاخطي للمحلول الصباغي ومعامل التضخيم الأعظمي. ومن جهة أخرى، يتناقص عرض نبضة الخرج بتزايد معامل الضياع. يقود الازدياد الجزئي في معامل الامتصاص اللاخطي للمحلول الصباغي ومعدل الضخ إلى تقصير زمن التأخير. أما التناقص في معامل التضخيم فيقود إلى تزايد في عرض النبضة الناتجة (الجدول 3). أخيراً، يتناقص زمن التأخير بتزايد كل من معدل الضخ ومعامل التضخيم الأعظمي، وبتناقص معامل الضياع.

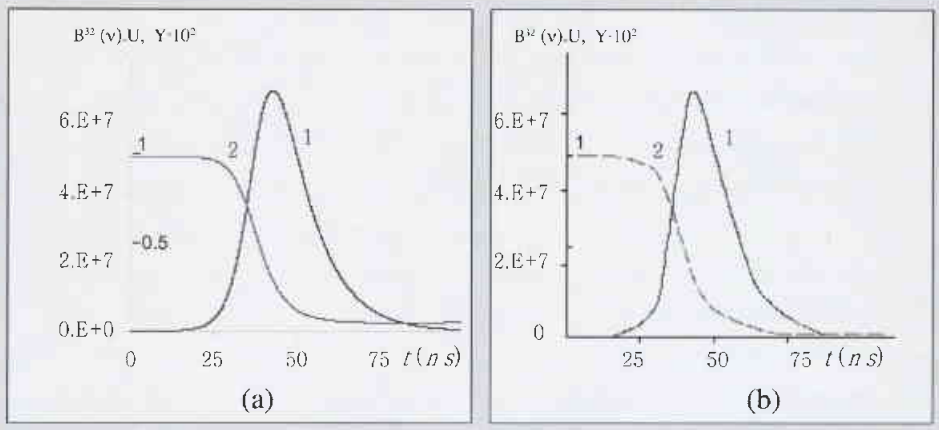
يلاحظ من الشكل 5 أن الماص القابل للإشباع يصبح شفافاً خلال 1 نانو ثانية تقريباً (وذلك عندما تكون قيمة معامل الامتصاص اللاخطي للماص قريبة من الصفر). بالإضافة إلى ذلك، يستعيد المحلول الصباغي خصائصه الضوئية بنهاية فترة النبضة العملاقة، وبخاصة في حالة القيم العليا للضياع.

يوضح الشكل 6 تناقص الإسكان النسبي المعكوس بشكل رتيب مع الزمن، والذي يبدأ عند القيم الابتدائية للإسكان المعكوس وينتهي عند الإسكان المعكوس النهائي. ومن جهة أخرى، فإن الإسكان النسبي المعكوس يزداد بتزايد معدل الضخ (في كلا حالتي $\sigma=10^{11},10^{14}\ (cm^3/J.s)$). وتتعرض عملية الإسكان المعكوس للتأخير بتناقص كل من معامل التضخيم الأعظمي، ومعدل الضخ، ومعامل الامتصاص اللاخطي، في حين يتزايد مع معامل الضياع.

يستنتج من الشكل 7 التوافق الجيد الكيفي والكمي بين النتائج التي تم الحصول عليها في هذا العمل، وتلك التي تم الحصول عليها نظرياً في المرجع [4]. فعلى سبيل المثال، تظهر نتائج هذا العمل أن عرض نبضة الخرج(FWHM) تبلغ 19.93 نانو ثانية، وتقابل 19.91 نانو ثانية، وذلك عند شروط متماثلة، منشورة في المرجع [4].

يظهر الشكل 8 التوافق الكيفي بين استطاعة نبضة الخرج المحسوبة كتابع للزمن من أجل ليزر نيوديوم–زجاج ذي مفتاح جودة صباغي، والنتائج التجريبية المنشورة في المرجع [10].

الشكل 7

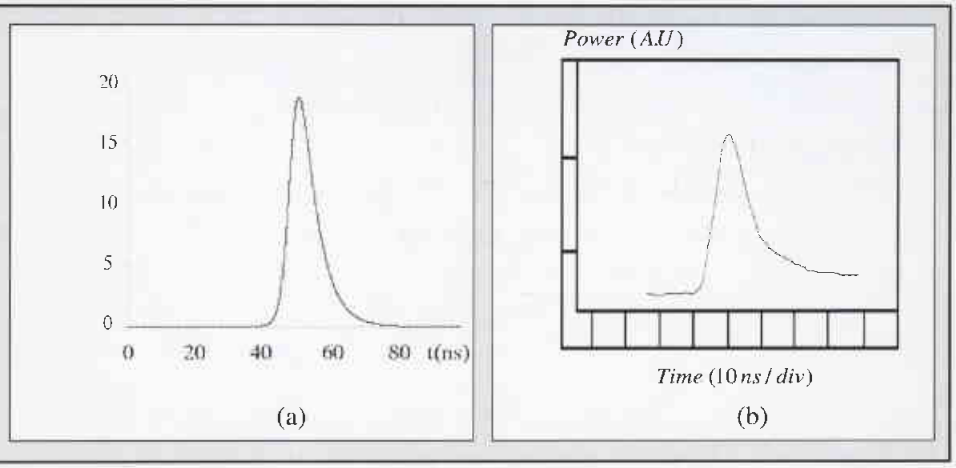


الإسكان النسبي المعكوس (المنحني 2) والكثافة الليزرية (المنحني 1) لليزر نيوديميوم - زجاج كتابع للزمن (من أجل $\psi=50\ s^{-1}$ و $\chi=10\ cm^{-1}$ و $K_{loss}=0.03\ cm^{-1}$):

(a)- النتائج المحسوبة في هذا العمل.

(b)- النتائج المحسوبة في المرجع [4].

الشكل 8



طاقة الخرج لليزر نيوديميوم - زجاج مزود بمفتاح جودة كتابع للزمن (من أجل $\psi=22\ s^{-1}$ و $\chi=8\ cm^{-1}$ و $K_{loss}=0.03\ cm^{-1}$):

(a)- النتائج المحسوبة في هذا العمل.

(b)- النتائج التجريبية في المرجع [10].

فعلى سبيل المثال، عند الأخذ بعين الاعتبار الشروط التجريبية الابتدائية وحساب عرض نبضة الخرج المتوقعة، حصلنا على القيمة 9,83 نانو ثانية وهي تقابل 10 نانو ثانية تجريبياً. يمكن الحصول على النتائج العددية المنجزة في هذا العمل عند تواتر وحيد. وإذا ضخت المادة الفعالة بطاقة أعلى من طاقة العتبة، يهبط الكسب بسرعة خلال زمن الانتقال القصير في المجاوب الليزري. كذلك تبين النتائج أنَّ التناقص في معامل الامتصاص اللاخطي للمحلول الصباغي يقود إلى ضياعات أعلى، وبالتالي يتطلب فترة ضخ أكبر لتعويض هذه الضياعات (كضياعات الترابط والتبعثر والانعراج والامتصاص، والضياعات الناتجة عن إدخال الماص القابل للإشباع في المجاوب الليزري). يؤدي هذا التزايد في الزمن الفاصل بين نبضات الخرج إلى قيم أعلى للإسكان المعكوس وللاستطاعة الأعظمية. ولذلك يتم إصدار الطاقة المختزنة في النبضة عبر نبضة أقصر. وكنتيجة لهذه الحالة، يمكن تشغيل الليزر بالأنماط العرضية من المرتبة الدنيا من خلال الاعتماد على حقيقة أنَّ الأنماط العرضية من المراتب الأعلى تتعرض لضياعات أكبر [11,5].

خاتمة

يقدم هذا العمل دراسة عددية لليزر نيوديميوم-زجاج رباعي السويات الطاقية حاو لماص قابل للإشباع داخل المجاوب. تم اعتماد نموذج رياضي لتقدير المميزات المختلفة لخرج هذا الليزر في حالتي عدم وجود الماص القابل للإشباع ووجوده. يسمح النموذج الرياضي المعتمد بتحري تأثير معامل الامتصاص اللاخطي للخلية الصباغية (الماص القابل للإشباع) المستخدمة كماص انتقائي من أجل الحصول على نبضة ليزرية عملاقة. كذلك يسمح هذا النموذج الرياضي بدراسة تأثير وسطاء الدخل على مميزات نبضة الخرج الليزري. علاوةً على ذلك، يمكّن هذا النموذج من الدراسة الحركية لأي ليزر صلب آخر، مثل ليزر Nd:YAG ، ليزر الياقوت ... الخ، بوجود مواد صباغية مختلفة. يمكن استخدام نتائج هذا العمل كدليل أولي في مختبرات منابع البلازما الليزرية، المطيافية، تطبيقات البصريات اللاخطية (كتبعثر رامان - ستوكس المضاد المترابط: anti-Stokes Raman)، بالإضافة إلى توليد المدروجات العليا.

REFERENCES المراجع

[1] Koechner W. Solid state laser engineering.Berlin: Springer; 1988.

[2] Ranganathan K. Design and studies on mode -locked Nd-glass laser oscillator and fabrication of Nd-glass amplifier, Ms.D thesis, Anna University Madras. January 1990.

[3] Vorobyev A.Y., Kokody N.G., Kuzmichev V.M. Energy release in processing of tantalum with nanosecond Nd:glass laser pulse. LFNM 2002, Kharkiv, Ukraine. P. 271-4 2002.

[4] Stepanov B.I. Calculation methods of optical quantum generators II. Minsk: Nayka, 1968 (in Russian).

[5] Soukieh M., Abdul Ghani B., Hammadi M. Numerical calculations of intracavity dye Q-switched ruby laser. Optics and Lasers in Engineering 2004.

[6] Brackmann U. Lambdachrome laser dyes. Lambda Physik GmbH, D-37079 Gottingen, Germany, 1994.

[7] Borjakov V.C, Jukovski V, Samson A.M. The paramters determination of neodymuim quantum generator J. Applied Spectroscopy 504-509,1967 ,V.2 ,N.6 (in Russian).

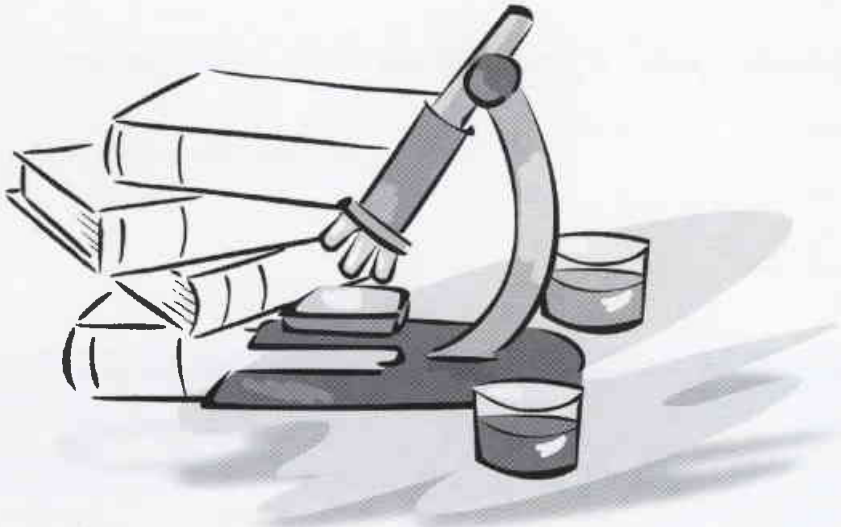
[8] Borjakov V.C, Jukovski V. The paramters determination of Nd-glass quantum generator J. Applied Spectroscopy 29-33,1967, V.7, N.1 (in Russian).

[9] Borjakov V.C, Bachanov V, Jukovski V, Zacharova I.C and Konrashov N.G.,Using temporal characteristic and nonlinear material absorption. Quantum Elect. N 6(18) 95-100,1973. (in Russian).

[10] Yanovsky V. P., Richardson M.C., and Miesak E.J. Compact, single-frequency, high-power ND:glass laser.IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 30, No: 4,884-886, 1994.

[11] Penzkofer A., Riediger M., Steinkellner O., and Lux B. Far infrared sub-nanosecond pulse generation in GaP with a time-synchronized mode-locked double-frequency Nd:glass laser system. Optical and Quantum Electronics, Vol. 34, 343-357, 2002.

التقارير العلمية



التلوث الضوضائي في مدينة دمشق القديمة★

د. يوسف مسلماني، د. محمد العودات
قسم الوقاية والأمان- هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

جرى تعيين مستويات الضجيج في 11 موقعاً في مدينة دمشق القديمة، واستُعمل في ذلك جهاز NC-10، الذي يقيس مستويات الضجيج ما بين 20 و 140 ديسيبل-A، وجرى قياس مستويات الضجيج في كل موقع من المواقع المدروسة بين الساعة 7 صباحاً والساعة 20 مساءً. أوضحت النتائج أن مستويات الضجيج كانت أعلى من الحدود المسموح بها تبعاً لمنظمة الصحة العالمية (WHO) بمعدّل 14 ديسيبل-A في المناطق السكنية - التجارية والمناطق التجارية الكثيفة حركة المرور، و بمعدّل 18 ديسيبل-A في ساحة الجامع الأموي، التي لا تعبرها وسائط النقل، وأما في الخانات التجارية، التي لا تعبرها وسائط النقل أيضاً، فكانت مستويات الضجيج ضمن الحدود المسموح بها. و بيّنت الدراسة ضرورة اتخاذ الإجراءات المناسبة لخفض مستويات الضجيج وذلك من خلال خفض و تنظيم حركة المرور في المدينة القديمة.

الكلمات المفتاحية: تلوث ضوضائي، ضجيج، دمشق القديمة، مستويات الضجيج الخارجي.

تأثير السبيرميدين على بُقيا خلايا خميرة الخبز المشعّة بجرعات مختلفة من أشعة غاما★★

معتصم شما، د. غسان عليا، د. نجم الدين شرابي، رائد أزروني
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

استُخدمت خلايا الخميرة الجعوية (المستخدمة في صناعة الخبز) لدراسة تأثير السبيرميدين $[H_3N(CH_2)_3NH_2(CH_2)_4NH_3]^{3+}$ في وقايتها من الإشعاع. وعند التركيز 10^{-5} مول/لتر، يلعب السبيرميدين دوراً مهمّاً في الحدّ من الأذيّة الإشعاعية، إما عن طريق التخلّص من الجذور الحرّة، أو عن طريق تخفيض تواتر الطفرات المحرَّضة إشعاعياً. ولوحظ أن إضافة السبيرميدين تقود إلى زيادة القيمة D_{10} value بشكل ملحوظ مقارنة مع زيادة في نسبة البقيا % survival بعد التشعيع. كما تبيّن أن تأثير السبيرميدين يكون أكثر أهمية عند إضافته قبل التشعيع مقارنة مع إضافته بعد التشعيع.

الكلمات المفتاحية: متعددات الأمين، سبيرميدين، تشعيع، بقيا خلوية.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

التعيين الكروماتوغرافي الانتقائي والحسّاس للفاناديوم في حمض الفسفور التجاري السوري بالتعقيد بأيون بروم باداب ★

د. محمد الخالد عبد الباقي، عبد الرحمن وحود، عبد المعطي شلب الشام
مكتب التعدين المائي - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

دُرس في هذه الطريقة الكروماتوغرافية تعيين الفاناديوم في حمض الفسفور الرطب. أُكسدت أولاً العيّنة بالماء الأكسجيني وأُضيف بروم باداب (Br-PADAP) كمادة تعقيد حسّاسة للفاناديوم الخماسي بوجود دوديسيل صوديوم سلفات، ثم حُقن المعقّد في عمود كروماتوغرافيا سائلة C18 وكُشف عند الطول الموجي 585 نانومتر. يمكن استخدام هذه الطريقة بشكل انتقائي وبحساسية عالية من أجل العيّنات المائية وعيّنات حمض الفسفور الرطب وذلك بدون استخدام كاشف حجب أو إجراء عملية فصل مسبق للأيونات المعدنية، وتمتاز هذه الطريقة بدقتها العالية.

الكلمات المفتاحية: فاناديوم، حمض الفسفور، كروماتوغرافيا، بروم باداب.

أمثلة التصميم الهندسي للمفاعل MNSR ★★

د. محمد البرهوم
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

يصف هذا التقرير مجمل المقترحات الهادفة إلى أمثلة التصميم الهندسي للمفاعل منسر، مبتدئاً بتوصيف النموذج الفيزيائي للمفاعل وبتوصيف مختلف مركّباته، والمقارنة بين نتائج الحسابات النظرية الناتجة عن تطبيق النموذج المقترح ونتائج التجارب التي جرت على المفاعل نفسه من خلال الوثائق المرفقة ، ثم ينتقل إلى دراسة كل توجه مقترح في أمثلة التصميم هذه وهي:

1- إطالة زمن تشغيل المفاعل: ويعرض هنا مجمل التعديلات في تصميم المفاعل المؤدية إلى إطالة زمن تشغيله الصغير نسبياً.

2- رفع التدفقات في أماكن التشعيع: وهنا يناقش مسألة رفع التدفقات في أماكن التشعيع لتقصير زمن التشعيع ويخلص إلى أنه لا يمكن رفع هذه التدفقات ما لم يتم رفع الاستطاعة.

3- الاستخدام الأمثل لكمّية الوقود المحمّلة في المفاعل: وتتم هنا مناقشة مختلف الحالات بالإغناء الحالي وبإغناءات أخرى أيضاً.

- أمثلة التصميم الهيدروحراري واعتبارات الأمان الناشئة عن الأمثلة.

بعد الانتهاء من دراسة مختلف التوجهات تتم مناقشة النتائج التي تمّ الحصول عليها. وبناءً عليه يتم اقتراح أكثر من حلٍّ للأمثلة حسب التوجه المراد. يتم عرض أبعاد المفاعل وبالتالي أبعاد الخلايا الواحدية المستخدمة في الكود WIMSD-4، إضافة إلى تركيب كلٍّ من المواد المستخدمة في الخلايا.

بعد ذلك يتم عرض المقاطع العرضية وثوابت المجموعة الناتجة لكل خلية من خلايا المفاعل.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في مكتب التعدين المائي- هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

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

تجدر الإشارة إلى أنه تمّت كتابة برنامج خاص بتحليل النتائج الصادرة عن الحسابات باستخدام الكود CITATION، حيث يقوم هذا البرنامج (CITOPP) بمعالجة ملف خرج الكود CITATION لتمكين المستخدم من رؤية نتائجه على الشاشة.
تمّت كتابة برنامج آخر لتمثيل نمذجة المفاعل بثلاثة أبعاد، البعد الشاقولي والبعدين القطري والشاقولي (CITMOD)، كما تمّ تعديل الكود CITATION وإنتاج نسخة معدّلة (MCIT). تصب هذه البرامج جميعها في اتجاه أتمتة الحسابات النترونية للمفاعل منسر.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، برنامج، أمثلة، تصميم، كود، مفاعل، MNSR، CITATION، WIMSD-4.

توليد سنة مناخية مرجعية لمنطقة دمشق باستخدام طريقة فيلكينشتاين-شافير الإحصائية ★

د. كمال سكيكر
قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

جرى في هذا العمل تطوير المنهجية المعمول بها عالمياً، والمقترحة من قِبَل هول وزملائه لتوليد البيانات الممثلة للسمات المناخية الخاصة بالمنطقة المدروسة، وتوليد قاعدة بيانات لسنة مناخية خاصة بمنطقة دمشق. وصف هول وزملاؤه هذه القاعدة بالسنة المناخية المرجعية. يتمثّل هذا التطوير بالاختيار النهائي للشهر المناخي النموذجي عن طريق تعيين العلامة المركّبة S محسوبة كمجموع موزون للعلامات الخاصة بالمحدّدات المناخية الأربعة المشمولة في الدراسة وهي: شدة الإشعاع الشمسي الكلّي، ودرجة حرارة الهواء الجاف، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح، واختيار الشهر ذي العلامة الأعلى. وقد تمّ توليد هذه السنة المناخية المرجعية انطلاقاً من البيانات المناخية الساعيّة المتوافرة والمقيسة من قِبَل مديرية الأرصاد الجوية خلال الفترة من عام 1981 إلى 1990 بعد أن - تدقيقها وترميمها، وذلك باستخدام طريقة فيلكينشتاين - شافير الإحصائية.
كما - إغناء المكتبة التقنية السورية بالبرنامج الحاسوبي TMY GENERATION الذي أُعدّ لتوليد مثل هذه القواعد وفقاً للمنهجية المذكورة آنفاً، ومقارنة بياناتها مع بيانات السنة الوسطية والسنة الأقل ملاءمة على شكل مخططات بيانية بسرعة كبيرة.

الكلمات المفتاحية: التدفئة / التبريد الانفعالي، محاكاة البناء، البيانات المناخية النموذجية.

★ تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إعداد برنامج حاسوبي تطبيقي قادر على التعامل مع نتائج طيوف التحليل بالتنشيط النتروني★

د. سامر الأيوبي، أحمد سرحيل، نزار الصمل
قسم الهندسة النووية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تمّ في هذا العمل تصميم وبناء برنامج حاسوبي قادر على إجراء الحسابات اللازمة لمخبر التحليل بالتنشيط النتروني بشكل سريع وآلي وصولاً إلى إيجاد تراكيز العناصر الموجودة ضمن العيّنات بدون الحاجة إلى التدخل الكبير من قِبَل المستثمر لإدخال الكثير من بيانات ونتائج التحاليل من تقارير القمم Peak reports، مما يؤدي إلى توفير كبير في الوقت وإلى تقليل احتمال الخطأ في النتائج نتيجة لإدخال يدوي خاطئ للبيانات. ويتلاءم هذا البرنامج مع تقارير القمم الناتجة عن البرنامج المتمِّم لعمل مطيافية غاما المستخدمة في المخبر وهو Gammaplus Software. وقد استُخدم الحاسوب الشخصي المزوّد ببرنامج Visual Basic 6.0 لبناء هذا البرنامج.

الكلمات المفتاحية: مفاعل منسر، التحليل بالتنشيط النتروني، Gammaplus software.

تقييم الري التسميدي الحيوي لفول الصويا بتقانة التخفيف النظيري للنتروجين★★

د. مصدق جانات، د. فواز كرد علي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

اختُبرت في هذه الدراسة أربعة معاملات تلقيح لبذور فول الصويا تمثّلت بتلقيح البذور والري بطريقة الري التسميدي، أو الري التسميدي الحيوي والري بطريقة الري السطحي وتلقيح البذور والري بالطريقة السطحية بدون تلقيح. أدّت طريقة الري بالتنقيط والري التسميدي الحيوي إلى زيادة نسبة وكمية الآزوت الجوي المثبت بواسطة فول الصويا مقارنة مع طريقة الري السطحي. أثّرت طريقة الري والتلقيح على توزع الآزوت الجوي المثبت حيوياً على الأنسجة النباتية المختلفة، إذ كان نصيب البذور حوالي 67% من هذا الآزوت لفول الصويا المروي بالتنقيط مع حقن الملقح، ووصلت هذه النسبة إلى 50% لمعاملة فول الصويا المروي والملقح بالطريقة التقليدية.

بيّنت النتائج أيضاً زيادة كبيرة في كفاءة مياه الري نتيجة توظيف تقنية الري بالتنقيط، إذ أدّت هذه الطريقة إلى زيادة في مردود مياه الري بما يعادل 40-70% لمحصول فول الصويا وما بين 77-90% لمحصول الذرة السورغوميّة.

الكلمات المفتاحية: تسميد حيوي، فول الصويا، ذرة السورغوم، ري بالتنقيط، تثبيت N_2.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُنجزت في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.
★★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أُنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

تراكيز هرموني البروجستيرون والأستراديول في مصل دم نعاج العواس السوري خلال الدورة المبيضية★

د. معتز زرقاوي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

أمكن ولأول مرة توصيف دورة الشبق هرمونياً وبدقة عند نعاج العواس السوري وتحديد التراكيز الطبيعية لهرموني البروجستيرون والأستراديول خلال الأطوار المختلفة منها. يُستنتج وجود النمط الدوري cyclic pattern في تراكيز هرموني البروجستيرون والأستراديول ووجود علاقة ارتباط معنوية وسلبية بين تراكيز الهرمونين المذكورين خلال دورة الشبق. كما تُستنتج إمكانية استخدام المقايسة المناعية الإشعاعية بنجاح لتحديد منحى وأطوار دورة الشبق عند نعاج العواس السوري.

الكلمات المفتاحية: طور الجسم الأصفر، طور جريبي، بروجستيرون، آستراديول، مقايسة مناعية إشعاعية.

دراسة الطابع النووي للخلايا الأمنيوسية★★

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

ملخص

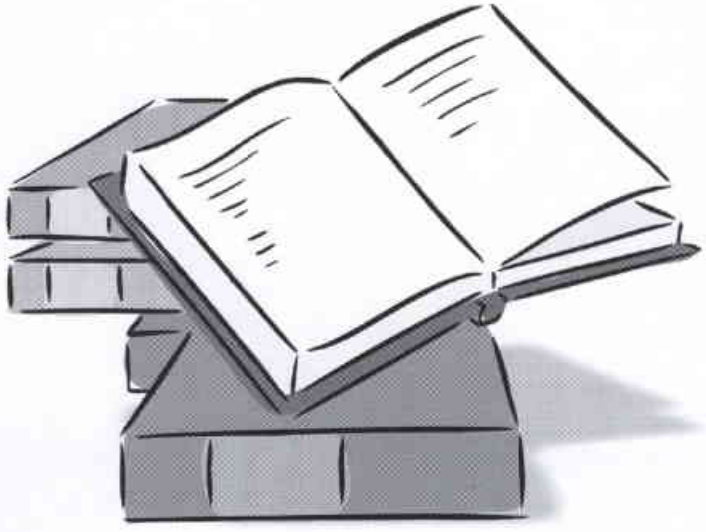
يعتبر السائل الأمنيوسي المصدر الأكثر شهرةً للخلايا الجنينية من أجل التشخيص المبكّر ودراسة الطابع النووي الجيني. يتم بذل هذا السائل من الكيس الأمنيوسي بمساعدة التصوير بالأمواج فوق الصوتية و يُسمّى هذا الإجراء ببذل السلى، ويتم بعد الأسبوع 14 إلى 16 من الحمل، حيث يُسحب من 20 إلى 30 مل من السائل الأمنيوسي. تعتمد إجراءات الوراثة الخلوية التقليدية على استنبات الخلايا الأمنيوسية لعدة أيام أو أسابيع (1-3 أسابيع) قبل أن يتم فحص الصبغيات لانقسامات الطور التالي وتعصيبها بعصائب G-.

الكلمات المفتاحية: السائل الأمنيوسي، التشخيص ما قبل الولادة، الطابع النووي، تشوهات خلقية (ولادية).

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.
★★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

كتب حديثة مختارة



1_ قصة إلنينو

The story of El Nino★

تأليف: س جورج فيلاندر
عرض وتحليل: ديفيد أندرسون

قضيتنا مع ظاهرة إلنينو: كيف قمنا بتحويل تيار ساحر في البيرو إلى خطر مناخي عالمي.

سيتذكّر الكثير من القرّاء ظاهرة إلنينو El Nino الكبيرة التي حدثت في عام 1997 والتي دأبت وسائل الإعلام بشكل يومي تقريباً على ربطها بالفيضانات والجفافات المأساوية التي تحدث في مكان ما عبر العالم. وقد قيل كلمات ملائمة قليلة جدًا عن هذه الظاهرة الغامضة التي تمثّل تعطيلاً دوريًا لمنظومة "المحيط والغلاف الجوي في المنطقة الاستوائية من المحيط الهادي. على كل حال، لم يكن يُنظر دائماً إلى ظاهرة إلنينو كنذير للموت واليأس.

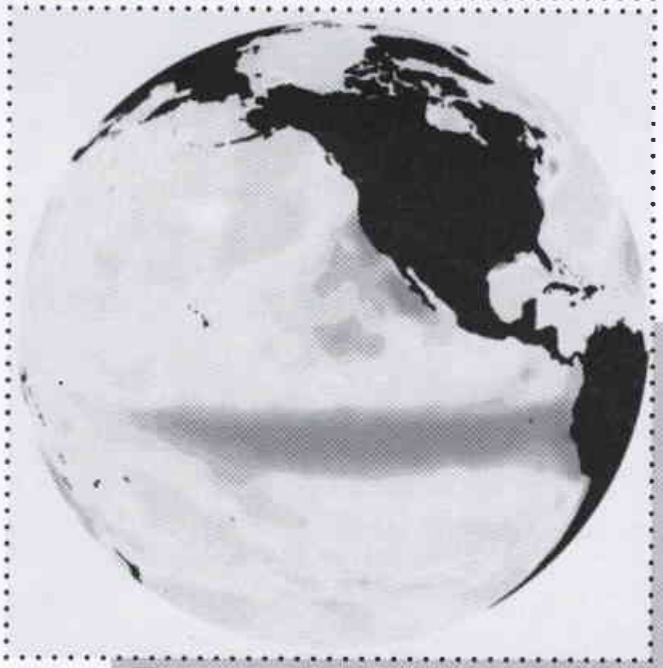
أُطلق هذا الاسم في الأصل على تيار كان يتدفق سنوياً في خليج غواياكيل على امتداد سواحل الإكوادور وشمال البيرو في فترة عيد الميلاد، ولم يكن هناك أي شيء مشؤوم بخصوص هذا التيار الذي سُمّي باسم المسيح الطفل. وفجأة تغيّر كل ذلك عندما بدأ الناس يتحققون من أنه يمكن الربط بشكل كبير بين اضطرابات التيار والعمليات التي تتم في الغلاف الجوي.

وبشكل دقيق، يرسم هذا الكتاب الجديد للمؤلف جورج فيلاندر G. Philander، العالم الجيولوجي في جامعة برينستون، تاريخ فهمنا لظاهرة إلنينو. ويشرح الكاتب كيف يمكن الربط بين هذا الاضطراب الذي يحدث في ذلك التيار الصغير في المحيط والتغيرات الكبيرة في كتلة الغلاف الجوي بين أندونيسيا وأمريكا الجنوبية، على الرغم من أن المسافة الفاصلة بينهما تصل إلى 15000 كم. وبالطبع ليس المهم هو التيار نفسه، بل المهم ربطه بشكل واسع مع الأحداث في المنطقة الاستوائية من المحيط الهادي. ويُقال أن إلنينو هو "ظاهرة مقترنة"، إذ يعتبر بمثابة تفاعل بين الجو والمحيط الذي يسبّب وجوده.

يتوفق فيلاندر في شرح آلية عمل ظاهرة إلنينو وكيفية تطوُّر تفكيرنا بها. وتتمثل نقطة الانعطاف في بحثنا العلمي الخاص بهذه الظاهرة في إلنينو الخاص بعام 1982. فقد ذُكر بشكل واضح آنذاك أن أحداث ظاهرة إلنينو في ذلك العام كانت الأقوى في ذلك القرن حتى حينه، ولكن لم يكن بالإمكان التنبؤ به ولا اكتشافه إلاّ حين بلوغه ذروته. وهذا ما أدّى في عام 1985 إلى إعداد تجربة دولية رئيسة دُعيت باسم "الجو العالمي للمحيط المداري (TOGA)"، وخُصِّصت لمراقبة إلنينو وفهمه والتنبؤ به وبعواقبه إذا كان ذلك ممكناً. وقد باشرت منظومة المراقبة الرئيسة للمحيطات برصد البحار الاستوائية.

تأثير غريب -

يقود تيار إلنينو إلى احترار صاف للبحار القريبة من خط الاستواء (المنطقة الحمراء).



ويتمثّل مفتاح فهم إلنينو في إدراك أن هناك نمطاً معيّناً من أمواج المحيط يُعرف باسم "أمواج كيلفين Kelvin" يمكنها الانتشار على طول خط الاستواء من الغرب إلى الشرق وليس العكس. وتعادل سرعة المجموعة الموجية هذه سرعة طورها phase speed، أي إنها غير متبعثرة وتوجد بشكل رئيسي تحت السطح حيث تبلغ أقصى شدّتها على عمق 100 متر تقريباً. ويمكنها هنا أن تحرك السطوح ذات الحرارة الثابتة لمسافة 100 متر. ومع أن هذه الأمواج كبيرة، فهي بطيئة نسبياً إذا ما قورنت بالعمليات الجوية. والأمر الحاسم لفهمنا هذه الظاهرة يتعلق بمقاييس الزمن المتفاوتة إلى جانب عدم التناظر في تدفق الطاقة.

بالطبع، يُسبِّب إلنينو انزياح واحدة من أهم مناطق المطر الكثيف في العالم عدة آلاف من الكيلومترات نحو الشرق، الأمر الذي يسبّب بالتالي كبتاً لهطول المطر في غرب المحيط الهادي ويزيد الهطل في أجزاء من أمريكا الجنوبية. وتزهر الصحارى في بعض الأماكن. وفي أماكن

★ S. G. Philander.

– ديفيد أندرسون هو رئيس قسم التنبؤ الموسمي لدى المركز الأوربي للتنبؤ المتوسط المدى للطقس، ريدنغ، المملكة المتحدة، البريد الإلكتروني: david.anderson@ecmwf.int

– العرض والتحليل عن مجلة *Physics World*, November 2004. وتمّت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

أخرى، يمكن أن تؤدي الفيضانات إلى عمليات انجراف للوحل وفقدان للحياة وأسباب الرزق. ويمكن للمرض أن يتربص في الزاوية.

ولكن حسبما يبيّن هذا الكتاب، فإن توخّي الحذر يكون بالاستعداد. إذ يمكن تحاشي الكثير من المشقة، إذا تمّ اتخاذ الإجراءات المناسبة في وقت مبكر بشكل كاف. لذلك، وبينما يمكن لـ (إلنينو) أن يؤدي إلى انخفاض في معدل صيد سمك الأنشوفة على مبعدة من سواحل البيرو والإكوادور، فإن المياه الدافئة هناك يمكن أن تستخدم لتربية أنواع أخرى عوضاً عن ذلك.

كذلك يتفحص الكتاب القضايا المعقدة حول كيفية ارتكاس الحكومات وحتى الأفراد تجاه الجفاف والمجاعة منوّهاً بمذاق الصعوبات في استخدام التنبؤات عن إلنينو.

وتتضمن المواضيع الأخرى كيف يمكن أن يؤثر الاحترار العالمي على ظاهرة إلنينو وما يمكننا تعلمه من السجل الجيولوجي بخصوص المناخ وإلنينو.

وعلى مدى الثلاثين سنة الأخيرة، كان فيلاندر لاعباً أساسياً في تطور هذا المجال. فخلال ذلك الوقت، تطوّر علم المحيطات الاستوائية من مجرد موضوع يثيره الفضول في أذهان أفراد إلى موضوع "عملياتي" تجري فيه المتابعات في أقصى أجزاء محيطات العالم بعداً وتكون نتائجها في متناول الجميع خلال ساعات قليلة. ولن نكون مرة ثانية غير مدركين لـ (إلنينو) أخذ بالتشكّل مثلما حدث في عام 1982. وإذا كان هناك من أحداث غريبة تنشط تحت الأمواج في المحيط الهادي الاستوائي الغربي فإننا نملك الوسائل اللازمة لاستطلاعها بالتفصيل عبر صفيف من العوّامات المثبتة.

يفلح هذا الكتاب في نقل الاهتمام والإثارة بهذا المجال إلى القارئ العام الذي يرغب في اكتساب إحاطة أفضل بإلنينو إلى حدٍّ كبير. ونصّ الكتاب "مفلفل" بأوهام وفنون ويحتوي على مقتطفات عديدة من الإنجيل وأبيات من الشعر. وبالرغم من أن عدداً من الفقرات لا تتصل بإلنينو بشكل محكم إلا أنها مشوّقة. فثمّة أمثلة تتضمن التطور في مجال التنبؤ بالطقس ونظرية الشواش chaos وأهمية سبوتنيك Sputnik في تحريك المشاعر نحو علم المحيطات بالولايات المتحدة الأمريكية.

ويجعل هذا الكتاب القارئ يفكر بالاحترار العالمي وبما يجب فعله حيال ذلك. وكما قال مؤخراً ديفيد كينغ D. King (كبير المستشارين العلميين لدى الحكومة البريطانية): "فإن تغيُّر المناخ يُعَدُّ أقسى مشكلة نواجهها اليوم، بل وأخطر من تهديد الإرهاب".

استمتعوا بقراءة هذا الكتاب الشيّق.

2 ـ حالة الكون

The state of the Universe★

تأليف: روجر بينروز
عرض وتحليل: جيفري فورشو

محاولة جريئة لفهم النسبية والنظرية الكمومية وعلم الكون
الطريق إلى الواقعية، دليل كامل عن قوانين الكون.

"إنه أهم أعمال العلوم لصالح الأجيال وأكثرها طموحاً".

ذاك هو ادعاء ناشري أحدث كتاب للمؤلف روجر بينروز. وهذا الادعاء فضفاض في التفاخر. لقد كتب بينروز بالتأكيد كتاباً رائعاً، فهو يقدم الكثير من المواضيع التي تحتل طليعة أعمال البحث العلمي في الطبيعة الأساسية للمكان والزمان والمادة. وبالرغم من أن الكتاب يهدف إلى مسح كامل لفيزياء الجسيمات الحديثة وعلم الكون، فإن اهتمامه الأساسي موجّه إلى التوتّر بين دعامتي فيزياء القرن العشرين وهما: النظرية النسبية العامة لأينشتاين والنظرية الكمومية. إنه توتر فتّان ويسعى بينروز إلى إيصاله بطريقة متصلبة حقاً.

وبالرغم من وصفه كعلم محبّب للجميع، فإن هذا الكتاب أبعد من أن يكون ميسوراً لمعظم من هم غير خبراء. وإنني أشك في أنه لم تقم أبداً محاولة جريئة كتلك لإيصال أفكار عن مثل هذا التعقيد الرياضيّاتي إلى جمهور العامة. إن أمل بينروز هو أن يتمكن غير الخبراء من مواكبة الركب وتذوّق متعة هذا الفرع من العلوم بدون متابعة التفاصيل.

ولسوء الحظ، فإن الكتاب محشو بالتفاصيل و بالغ الالتزام إلى حد أنه قد يترك حتى أكثر قرائه حماساً من غير الخبراء منهكين. وحتى الذين يحملون درجة الدكتوراه PhD في الرياضيات أو الفيزياء، من المحتمل أن يجدوه شاقاً للغاية.

وباعتبارنا قلنا ذلك، فإننا نقول أيضاً أن هذا الكتاب يعج بالمباهج. إن قدرة بينروز على عرض أفكار معقدة بطريقة منطقية مترابطة، مستخدماً علم الهندسة في الغالب، تعكس فهماً عميقاً يستأثر جدياً باهتمام قارئ أكثر تمرساً. وأكثر من ذلك ففي الكتاب تمارين توصف بأنها "هادفة جداً"، وهي "تحتاج إلى قدر من التفكير وليس الاستخفاف بها"، الأمر الذي يشجع القارئ على الخوض فيها. وبالتأكيد فقد وجدت اندراج هذا الباب الأخير ملائماً تماماً.

إن الفصل الافتتاحي، حول جذور العلم و فكرة الحقيقة الرياضيّاتية، يثير العجب حول مقدرة الرياضيات على تفسير الكثير من سلوكيات العالم بهكذا دقة رائعة لا تصدق. قد يصاب بعض العلماء بالإحباط

★ R. Penrose.

– جيفري فورشو ينتمي لقسم الفيزياء وعلوم الفضاء، جامعة مانشستر.
– العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, vol 431, 14 October 2004. وتمّت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

في مسائل علم الوجود ontology، مفضلين إحالتها إلى دنيا الميتافيزيقا (علم ما وراء الطبيعة)، ولكن لم تكن هذه هي طريقة بينروز. ففي تقييمه اللاحق لمسألة القياس في ميكانيك الكم، يجادل بقوة للحاجة إلى علم وجود موثوق.

هذا ويختتم الكتاب بأفكار حول المستقبل، مقيّماً بشكل نقدي الطريقة التي يتقدم بها الفيزيائيون في التماسهم فهماً أعمق للحقيقة (الواقع)، ومقدّماً بعض الآراء الشخصية حول سوسيولوجية البحوث المعاصرة. وفيما بين الفصلين الأول والأخير يوجد 32 فصلاً في الفيزياء الرياضيّاتية الرزينة مع فسحة قليلة لأفكار فلسفية.

يبدو بينروز جاداً في رغبته بتقديم العلم بطريقة وجيهة ينتظرها المرء بصبر [أو يجهد فيها بعناد] حتى يبلغ الفصل 17 الخاص بالفيزياء. إن رياضيات القسم الأول من الكتاب تعدُّ متعة للقراءة. ليست كلها لازمة اللاحقة، ويعكس انتقاء المادة وتقديمها بوضوح شغف بينروز بالقواعد الرياضية التي تشكل أساس الفيزياء.

يبدأ بينروز من نقطة الصفر مشجعاً القارئ على استقصاء الدور المهيمن للأعداد الحقيقية، أو مصداقية الهندسة الإقليدية في وصف العالم من حولنا. وقد تم تخصيص وقت طويل لموضوع الأعداد المعقدة و"سحرها". وبشكل نمطي، لا يخجل بينروز من تقديم سطوح ريمان Riemann surfaces والتتامية الشكلية holomorphicity والدوال المفرطة hyperfunctions. وبالتتالي المباشر بعدها، تأتي الكواترنيونات quaternions لتفضي بشكل تلقائي إلى نقاش بين جَبْر كليفورد Clifford وجَبْر جراسمان Grassman. تختتم فصول في الهندسة التفاضلية والتناظر هذا العرض للرياضيات الأساسية. وينتهي هذا القسم بفصل – ليس ذا صلة وثيقة بالموضوع ولكنه جذاب وآسر للغاية – حول فكرة اللانهاية، ليغطي عمل كانتور Cantor على الأعداد الأصلية cardinal numbers ومبرْهَنَة عدم الكمال لجودل Gödel's incompleteness theorem.

ثم تبدأ الفيزياء، بفصل عن الزمكان space-time. إن الفصل السابق عن الهندسة التفاضلية قد مهد الطريق وأصبح القارئ مهيأً لفهم مبدأ جاليليو في النسبية التي تنطوي على أن "المكان هو حزمة عبر الزمن". فكرة آينشتاين بأن المكان والزمان يؤلفان كلاً متوحداً هي حتى الآن إمكانية أولية معقولة تماماً.

أما الفصول اللاحقة فإنها تقدم نظرية المجال field والنظرية الكمومية. وإن أولئك الذين قرؤوا كتاب بينروز المبكر تحت عنوان العقل الجديد للإمبراطور سيستسيغون النقاش حول مسألة القياس في النظرية الكمومية. وفي كتاب "الطريق إلى الواقعية The Road to Reality" يتخلى بينروز عن جدليته بأن النظرية الكمومية، كما صيغت حالياً، لا بد أن تكون غير تامة، وهذه مقولة تتواتر في باقي الكتاب.

وهناك فصل خاطف حول الموديل المعياري لفيزياء الجسيمات يسبق – بشكل مربك نوعاً ما – الفصل الذي يتناول نظرية المجال الكمومي، ويخطئ في الإشارة إلى أن التأثرات interactions الضعيفة ترتبط فقط بالجسيمات المياسرة left handed. ولقد أشير أيضاً إلى أن الانتهاك المقيس الوحيد لتكافؤ الشحنة charge parity (وهو تناظر يساعد في نهاية المطاف في تفسير رجحان المادة على اللامادة antimatter في الكون) يكمن في دراسة ميزونات الكاؤون الحيادية، وهو تصريح لن يكون مقبولاً لهؤلاء العاملين في تجارب معينة تجرى في الولايات المتحدة واليابان.

إن الزخم الرئيسي للقسم الأخير من الكتاب يتمثل في استكشاف الفيزياء في الأماكن المستغربة الكثيرة التي يلعب فيها كلٌ من ميكانيك الكموم والثقالة دوراً ما، كما كان عند ولادة الكون أو في جوار الثقبة السوداء. وتستخدم كينونة القانون الثاني للتيرموديناميك بالذات في جدلية النقاش بأن الكون قد تشكّل حتماً في بنيان خاص غير اعتيادي [شيء ما مختلف سيكون مألوفاً لدى قراء كتاب "Emperor's New Mind"] الأمر الذي يعتبره بينروز تنويهاً بأن النظرية الكمومية تحتاج إلى مراجعة.

بعد نقاش أكثر تفصيلاً حول مفارقة القياس measurement paradox، غدا بينروز جاهزاً لتفسير اعتقاده بأن خفض (تخفيض) الحالة الكمومية هو عملية موضوعية تنشأ نتيجة للفرق في الطاقة التثاقلية ما بين هندستي الزمكان space-time المختلفتين اللتين تمتلكهما الحالات الكمومية في وضع التراكب. والآن يزداد بينروز تحيزاً بالرغم من حرصه على التصريح حين يحيد عن "الحكمة المقبولة". إنه قوي في الإعراب عن اعتراضاته على بضع أفكار سائدة تتمثل في: علم الكون التضخُّمي، والتناظرالفائق القليل الطاقة وتحوّل الطور الضعيف الكهربائية. وفي الحقيقة، فإن عرضه للنظرية الخيطية يمثل بشكل أساسي نقداً تقنياً، وأظن أنها ستكون ممتنعة بالنسبة لغير الخبراء. أحياناً قد تقود اعتراضاته إلى تعابير (عبارات) فظة ولاذعة النقد: كوصفه لرائد النظرية الخيطية إد ويتين Ed Witten في إحدى النقاط بأنه "دليل سياحي".

ولمّا كان بينروز لاذع النقد إلى هذا الحدّ، فإنه يعرض فكره حول الطريقة الممكنة للتقدُّم نحو نظرية متماسكة للثقالة الكمومية. ولسوء الحظ فإن هذين الفصلين هما أكثر الفصول تحدياً في مجموع الكتاب. فهو يستعرض فيهما: متغيرات العقدة loop variables وشبكات السبين spin networks ونظرية الأعصاب twistor theory الخاصة به، بالرغم من أنه يعترف بأن هذه الأفكار ما تزال لا تتواءم في نظرية فيزيائية صالحة للبقاء.

وبالإجمال، فإن هذا الكتاب لا يفي بالتأكيد بدَيْدَن الناشر فهو تقنيٌّ بحت لدرجة أنه صعب الفهم من قبل عامة القراء، ويركز فقط حول فرع واحد من العلم الحديث. ولكنه مصوغ بعناية وغني بتبصُّرات عميقة. وتساعد رسوم بينروز بخط يده في تذكير القارئ بالوصف الشخصي جداً الموجود في صفحاته. ويتوخّى بينروز بوضوح عند ضرب المثل أن يشجع هذا الكتاب العلماء ليكونوا أصلاء في بحوثهم. ولعله في هذا يكون قد نجح جيداً.

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

Key Words

biofertigation, soybean, sorghum, drip irrigation, N_2-fixation.

★ A short report on an exploratory laboratory experiment achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

SERUM CONCENTRATIONS OF PROGESTERONE AND OESTRADIOL DURING THE OVARIAN CYCLE OF SYRIAN AWASSI EWES★

M. ZARKAWI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

It was possible, for the first time, to characterise hormonally and precisely the oestrous cycle of the Syrian Awassi ewes, and to determine normal progesterone and oestradiol concentrations during the different phases of oestrous cycle. It is concluded that progesterone and oestradiol concentrations showed a cyclic pattern during the oestrous cycle, in addition, a negative and significant correlation between the concentrations of the two hormones was found.

Key Words

luteal phase, follicular phase, progesterone, oestradiol, radioimmunoassay.

★ A short report on a scientific study achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

STUDY THE KARYOTYPE OF AMNIOCYTES★

M. RATEB SHEIBAN, W. AL ACHKAR

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The amniotic fluid is considered the most common source of fetal cells for the prenatal diagnosis and the chromosomal rearrangements analysis.

It is drawn from amniotic sac with the ultra-sound aid. The procedure, called amniocentesis, is performed during the second trimester, after 15 to 16 weeks of gestation, and involves the withdrawal of 20 to 30 ml of amniotic fluid. The traditional cytogenetics procedures are performed by culturing the amniocytes for several days or weeks (1-3 weeks) before examining the banded metaphases chromosomes with G-bands.

Key Words

amniotic fluid, prenatal diagnosis, karyotypes, congenital malformations.

★ A short report on an exploratory laboratory experiment achieved in the *Department of Molecular Biology and Biotechnology*, Atomic Energy Commission of Syria.

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

Within the framework of the present study, an attempt is also made to enrich the Syrian technical library with the software tool TMY GENERATION for the creation of a typical meteorological year, mainly by following the above mentioned method, with relatively very short time. The software also, provides a visual (graphical) comparison between the typical meteorological year, average year and worst year composed of the worst months of the period.

Key Words

passive heating/cooling, building simulation, typical meteorological data.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Scientific Services*, Atomic Energy Commission of Syria.

CONSTRUCTION OF A DATA ANALYZER COMPUTER PROGRAM FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS★

S. AL-AYOUBI, A. SARHIL, N. AL-SOML

Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A new software for Neutron Activation Analysis was designed, built and implemented on a desktop computer using Visual Basic 6.0 program. The construction of this data analyzer computer program is described. The new software deals with peak reports resulting from Gammaplus software with minimum interference from the user in order to save time, manpower and minimize human errors. Its ability to find the concentrations of chemical elements within samples is proven to be fast, reliable and user friendly.

Key Words

MNSR, neutron activation analysis, Gammaplus software.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Nuclear Engineering*, Atomic Energy Commission of Syria.

ASSESSMENT OF BIOFERTIGATION OF SOYBEAN USING ^{15}N ISOTOPIC DILUTION TECHNIQUE★

M. JANAT & F. KURDALI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091 Damascus, Syria

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the biofertigation, traditional inoculation under drip Fertigation and surface irrigation of soybean. The distribution of nitrogen fixed varied according to irrigation and inoculation method, where soybean grains were the major pool for atmospheric nitrogen and about 67% of this nitrogen was accumulated in the seeds of the drip-fertigated and biofertigated soybean, still under surface irrigation soybean seeds accumulated about 50% of the biologically fixed nitrogen. The results also showed that water-use efficiencies of biofertigated and drip-fertigated soybean and sorghum were much higher than those of surface-irrigated soybean and sorghum. The increase in WUE ranged between 70-40% for soybean and 90-77% for sorghum.

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

Key Words

vanadium, phosphoric acid, chromatography, Br-PADAP.

★ A short report on a scientific laboratory study achieved in the *Division of Hydrometallurgy*, Atomic Energy Commission of Syria.

OPTIMIZATION OF MNSR DESIGN★

M. ALBARHOUM

Departmen oft Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The possibility of modifying the MNSR design is checked .

A 3-d model of the reactor including all physical components has been constructed. Once the model proved to satisfy all experimental requirements, it was an easy task to proceed to the the optimization of MNSR. The optimization of the design could be achieved through different conceptions, one of which may be the maximazation of the initial excess reactivity, others may be extending the maximum operable time of the reactor, while a third conception may be the minimization of the initial fuel load in the core that maitains the correct operation of the reactor.

Different solutions have been proposed for each conception. Some needs have induced to write two programs; CITOPP (for the purpose of processing the output file of the code CITATION and to enhance and improve the retievement of the calculation results) and CITMOD (for the purpose of representing the axial, radial, and angular models of the rector), and to modify the code CITATION to produce a new form of the code (MCIT).

Key Words

modelling, program, optimization, design, code, reactor, MNSR, CITATION, WIMSD-4.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Physics*, Atomic Energy Commission of Syria.

GENERATION OF A TYPICAL METEOROLOGICAL YEAR FOR DAMASCUS ZONE USING THE FILKENSTEIN-SCHAFER STATISTICAL METHOD★

KAMAL SKEIKER

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The present study is concerned with the improvement of the method for generating data sets representative of the climatological features of the concerned site, which has been proposed by Hall et al, and with the generation of such a representative data set for Damascus zone. This data set has been characterized by Hall as a "Typical Meteorological Year". Whereas, final selection of the typical meteorological month was suggested to be based on a composed score calculated as the weighted sum of the scores of the four meteorological parameters used, these are: global solar radiation, dry-bulb temperature, relative humidity and wind velocity. And the month with the highest score is selected. The Typical Meteorological Year was generated from the available scrutinized and reconditioned hourly meteorological data, recorded during the period 1981-1990, using the Filkenstein-Schafer statistical method.

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

old city, where there was no traffic. In commercial caravansaries "Khans" the noise levels were acceptable. The study showed that the authorities administration must take necessary procedures to reduce the noise levels in the old city of Damascus, through reducing and organizing the traffic flow in the old city.

Key Words

noise pollution, noise, old Damascus, outdoor sound levels.

★ A short report on a scientific study achieved in the *Department of protection and safety*, Atomic Energy Commission of Syria.

EFFECT OF SPERMIDINE ON THE SURVIVAL OF SACCHAROMYCES CEREVISIAE CELLS IRRADIATED WITH DIFFERENT DOSES OF GAMMA RAYS★

M. SHAMMA, G. ALYA, N. SHARABI, R. AZROONY

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus. Syria

ABSTRACT

Saccharomyces cerevisiae cells were used to test the radioprotective effect of added spermidine $[H_3N(CH_2)_3NH_2(CH_2)_4NH_3]^{3+}$. Spermidine plays an important role in suppressing radiation damages at certain concentration (10^{-5} mol.l^{-1}), either via scavenging free radicals or via the frequency of radiation – induced mutations. Spermidine increased noticeably the D_{10} value at concentration of 10^{-5} mol.l^{-1} Applying spermidine prior to irradiation was more effective than applying it post irradiation.

Key Words

spermidine, polyamines, irradiation, cell survival.

★ A short report on a scientific laboratory study achieved in the *Department of Molecular Biology and Biotechnology*, Atomic Energy Commission of Syria.

SENSITIVE AND SELECTIVE CHROMATOGRAPHIC METHOD TO DETERMINE VANADIUM IN WET PHOSPHORIC ACID AS CHELATE WITH BR-PADAP★

M. K. ABDULBAKE, A. WAHOUD, A. SHALABALSHAM

Division of Hydrometallurgy, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A chromatographic method to determine vanadium in wet phosphoric acid was studied. First, the sample was oxidized by hydrogen peroxide and (Br-PADAP) was added as highly sensitive complexing agent to Vanadium (V) in presence of sodium dodecyl sulphate. Then the chelate was injected into the C18 liquid chromatographic column and dedected at 585 nm. This method was founded highly sensitive and selective and was applied for wet phosphoric acid and aqueous samples without use of masking agent or prior separation of metal ions but the sample have to be filtrated from solid only. The results show a good accuracy and precision.

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

system has been adapted. The numerical solutions of the non-homogeneous heat-transport differential equation could estimate the temperature of the treated region.

The suggested model allows investigation of the temperature distribution as a function of treated surface and laser parameters. The physical parameters of the treated materials were taken as functions of temperature due to the change in the temperature of the treated double layer materials.

Key Words

temperature distribution; metallic surface; laser beam.

★ This paper appeared in *Advances in Horticultural Science*, (2003).

MATHEMATICAL MODELING OF THE INTRACAVITY Q-SWITCHED Nd-GLASS LASER★

B. ABDUL GHANI, B. ABBAS, M. SHEIKH-KHALIL, M. HAMMADI

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The temporal characteristics of the Q- switched Nd-glass laser have been numerically investigated. A mathematical model describing the dynamic emission and different physical processes has been adapted. This model allows the investigation of the nonlinear saturable absorber effects on the mode characteristics of the Nd-glass laser, and studying the affects of the laser input parameters on the output laser pulse characteristics.

Numerical solutions of a nonlinear rate equation system predict the generation of nanosecond pulses of Q- switched Nd-glass laser. The solutions estimate the laser density and relative population inversion of the Nd-glass laser rod and saturable absorber for different emission regimes. The estimated results of the laser output pulse characteristics are in a good agreement with the other calculated and experimental results.

Key Words

modeling, Nd-glass laser, saturable absorber.

★ This paper appeared in *Optics and Laser Technology*, (2003).

REPORTS

NOISE POLLUTION IN THE OLD CITY OF DAMASCUS★

Y. MESLMANI, M. AL-OUDAT

Department of protection and safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Outdoor noise levels were measured at 11 sites in the old city of Damascus. Sound level meter Model NC- 10 with a 20-140 dB selectable range was used in the current investigation. At each site noise data was collected during 07:00 to 20:00 O`clock. The results showed that the noise levels were higher than WHO (World Health Organization) standards by 14 dB, in the residential – commercial sites, and commercial sites with heavy traffic, and by 18 dB, in the square of Omayad Mosque in the center of the

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

ABSTRACT

Visions of self-replicating nanomachines that could devour the earth in a "grey goo" are probably wide of the mark, but "radical nanotchnology" could still deliver great benefits to society. The question is how best to achieve this goal.

Key Words

bionanotechnology, self-repliction, nano-scale machines nanorobot, cell biology.

★ This article appeared in *Physics World*, August 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

GENETIC DIVERSITY OF SYRIAN GROWN PISTACHIO CULTIVARS (PISTACIA VERA L.) USING RAPD TECHNIQUE★

N. MIRALI, I. NABULSI

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

This study aimed at obtaining information about the genetic background and relationships among 12 pistachio cultivars grown at a gene bank in southern Syria using random amplified polymorphic DNA (RAPD) technology. Forty-one decamer primes were used and only two of them (OP-A04 and OP-N16) did not produce any polymorphism. The remaining 39 primers ranged in their amplification fragments between one (OP-N18) and twelve (OP-R17). The generated similarity matrix and the resulting dendogram divided the cultivars into two clusters and one cultivar as an outliner. Mantel Test Statistic showed a good fit among 20, 30 and the 39 random primers when employed on all tested cultivars. The use of ten random primers, however, produced polymorphism that was not sufficient to discriminate among the used cultivars. The minimum number of primers needed to discriminate among studied pistachio cultivars was either 20 random primers or using the ten most polymorphic fragments (seven or more) primers. The similarity data obtained in this study agree with classification based on morphological and agronomical characteristics at least for the male cultivars. However, fruit bearing type and fruit weight appeared to be completely uncorrelated with the RAPD clustering.

Key Words

genetic diversity, pistachio, RAPD.

★ This paper appeared in *Advances in Horticultural Science*, (2003).

NUMERICAL CALCULATIONS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION OF DOUBLE LAYER METALLIC SURFACE TREATED BY LASER BEAMS★

M. SOUKIEH, B. ABDUL GHANI, M. HAMMADI

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A mathematical model of laser beam treatment of double layer alloys (Ni/Fe, Al/Fe and Cr/Fe systems) describing the effect of laser beam on different physical and geometrical parameters of coated layer

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

Crossing the critical point, one can then use "supercritical water", the obtained pressure and temperature allow a significant yield gains. In addition, the supercritical water offers important properties. Particularly there is no more possible coexistence between vapor and liquid. Therefore, we don't have more boiling problem, one of the phenomena which limits the specific power of PWR and BWR.

Since 1950s, the reactor of supercritical water was the subject of studies more or less detailed but neglected. From the early 1990s, this type of conception benefits of some additional interests. Therefore, in the international term "Generation IV", the supercritical water reactors had been considered as one of the big options for study as Generation IV reactors.

In the CEA, an active city has engaged from 1930 with the participation to a European program: the HPWR (High Performance Light Water Reactor). In this contest, the R&D studies are focused on the fields of neutrons, thermodynamic and materials. The CEA intends to pursue a limited effort of R&D in this field, in the framework of international cooperation, preferring the study of versions of rapid spectrum.

Key Words

reactors, thermodynamics, thermohydrolics, energy conversion, microgravity.

★ This article appeared in *RGN*, N° 4 July-August 2003. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

TELECSOPES BREAK NEW GROUND IN QUEST FOR COSMIC RAYS★

D. CLERY

ABSTRACT

To trace the origins of mysterious particles from space, researchers are building instruments that reap novel benefits from being planted on terra firma.

Key Words

astronomy, astrophysics, cosmic rays, telescope, supernovae, dark matter, particle physics.

★ This article appeared in *Science*, September 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

THE BIRTH OF THE NUCLEUS★

E. PENNISI

ABSTRACT

When and how did the command and control center of the eukaryotic cell arise?

Key Words

escherichia coli, eukaryotic cells, prokaryotic cells, archaea.

★ This article appeared in *Science*, August 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

THE FUTURE OF NANOTECHNOLOGY★

R. JONES

Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, Hicks Building, UK

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

ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

SUPERCONDUCTING DEVICES★

A. M CAMPBELL

ABSTRACT

Engineers are turning to superconducting materials to produce smaller and more efficient motors, turbines and bearings for a variety of applications.

Key Words

superconducting materials, critical temperature, magnesium diboride, flux vortices.

★ This article appeared in *Physics World*, August 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

METAMATERIALS AND NEGATIVE REFRACTIVE INDEX★

D. R. SMITH
Department of Physics, University of California, San Diego, USA

J. B. PENDRY
Department of Physics, Imperial College London, UK

M. C. K. WILTSHIRE
Imaging Sciences Department, Imperial College London, UK

ABSTRACT

Recently, artificially constructed metamaterials have become of considerable interest, because these materials can exhibit electromagnetic characteristics unlike those of any conventional materials. Artificial magnetism and negative refractive index are two specific types of behavior that have been demonstrated over the past few years, illustrating the new physics and new applications possible when we expand our view as to what constitutes a material. In this review, we describe recent advances in metamaterials research and discuss the potential that these materials may hold for realizing new and seemingly exotic electromagnetic phenomena.

Key Words

metamaterials, negative refraction, artificial magnetism, magnetic resonance imaging (MRI), response, split ring resonator, swiss roll, subwavelength resolution, negative space, photonic crystals.

★ This article appeared in *Science*, August 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

SUPER CRITICAL WATER REACTORS★

P. DUMAZ, O. ANTONI, P. ARNOUX, A. BERGERON, C. RENAULT, G. RIMPAULT
CEA, Directory of Nuclear Energy

ABSTRACT

Water is used as a calori-portor and moderator in the most major nuclear centers which are actually in function. In the pressurized water reactor (PWR) and boiling water reactor (BWR), water is maintained under critical point of water (21 bar, 374 °C) which limits the efficiency of thermodynamic cycle of energy conversion (yield gain of about 33%).

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

SENSITIVE AND SELECTIVE CHROMATOGRAPHIC METHOD TO DETERMINE VANADIUM IN WET PHOSPHORIC ACID AS CHELATE WITH BR-PADAP ..... M. K. ABDULBAKE, ET ALL 77

OPTIMIZATION OF MNSR DESIGN ..... M. ALBARHOUM 77

GENERATION OF A TYPICAL METEOROLOGICAL YEAR FOR DAMASCUS ZONE USING THE FILKENSTEIN-SCHAFER STATISTICAL METHOD ..... K. SKEIKER 78

CONSTRUCTION OF A DATA ANALYZER COMPUTER PROGRAM FOR NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS ..... S. AL-AYOUBI, ET ALL 79

ASSESSMENT OF BIOFERTIGATION OF SOYBEAN USING ^{15}N ISOTOPIC DILUTION TECHNIQUE ..... M. JANAT & F. KURDALI 79

SERUM CONCENTRATIONS OF PROGESTERONE AND OESTRADIOL DURING THE OVARIAN CYCLE OF SYRIAN AWASSI EWES ..... M. ZARKAWI 80

STUDY THE KARYOTYPE OF AMNIOCYTES ..... M. RATEB SHEIBAN, ET ALL 80

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

THE STORY OF EL NIÑO ..... BY: G. PHILANDER 82
OVERVIEW & ANALYSIS: D. ANDERSON

THE STATE OF THE UNIVERSE ..... BY: R. PENROSE 83
OVERVIEW & ANALYSIS: J. FORSHAW

ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 92

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

CONTENTS

ARTICLES

SUPERCONDUCTING DEVICES ..... A. M CAMPBELL 5

METAMATERIALS AND NEGATIVE REFRACTIVE INDEX ..... D. R. SMITH, ET ALL 10

SUPER CRITICAL WATER REACTORS ..... P. DUMAZ, ET ALL 17

TELECSOPES BREAK NEW GROUND IN QUEST FOR COSMIC RAYS ..... D. CLERY 26

THE BIRTH OF THE NUCLEUS ..... E. PENNISI 29

THE FUTURE OF NANOTECHNOLOGY ..... R. JONES 33

NEWS

A FRESH LOOK AT ELECTRON HYDRATION ..... *SCIENCE* 40

NUCLEAR PHYSICISTS BACK GERMAN PROJECT ..... *PHYSICS WORLD* 41

TELESCOPES BREAK NEW GROUND IN QUEST FOR COSMIC RAYS ..... *SCIENCE* 42

STRONG FORCE EARNS NOBEL PRIZE ..... *PHYSICS WORLD* 43

QUANTUM MECHANICS FOR PLANTS ..... *NATURE* 44

WHY COOL FLAMES ARE A HOT PROSPECT ..... *NEW SCIENTIST* 46

HEDROCARBON-DRIVEN WARMING ..... *NATURE* 49

ZINC ..... *ANL* 50

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

GENETIC DIVERSITY OF SYRIAN GROWN PISTACHIO CULTIVARS (PISTACIA VERA L.) USING RAPD TECHNIQUE ..... N. MIRALI, I. NABULSI 55

NUMERICAL CALCULATIONS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION OF DOUBLE LAYER METALLIC SURFACE TREATED BY LASER BEAMS ..... M. SOUKIEH, ET ALL 58

MATHEMATICAL MODELING OF THE INTRACAVITY Q- SWITCHED Nd-GLASS LASER ..... B. ABDUL GHANI, ET ALL 67

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

NOISE POLLUTION IN THE OLD CITY OF DAMASCUS ..... Y. MESLMANI, M. AL-OUDAT 76

EFFECT OF SPERMIDINE ON THE SURVIVAL OF SACCHAROMYCES CEREVISIAE CELLS IRRADIATED WITH DIFFERENT DOSES OF GAMMA RAYS ..... M. SHAMMA, ET ALL 76

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.

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

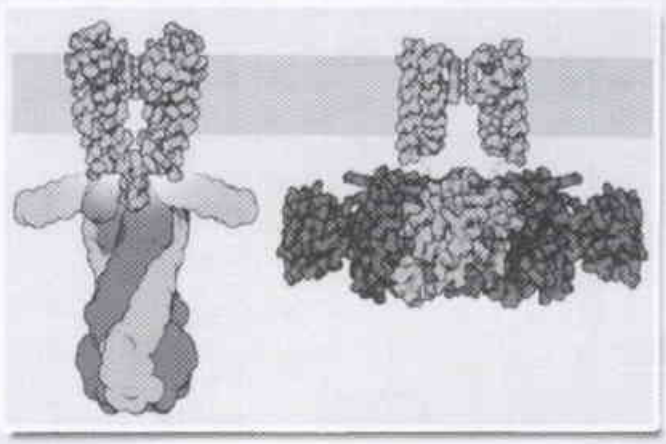
Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Adel Harfoush
Dr. Ziad Qutob



96

20 th Year / MARCH - APRIL /

2005

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of Atomic energy.

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