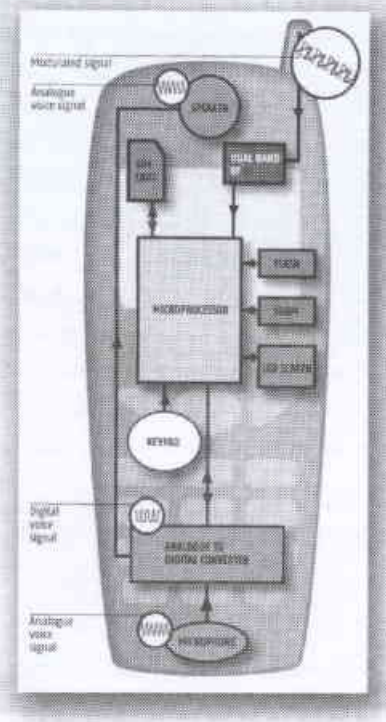
عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية



المدير المسؤول

الدكتور ابراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور عادل الحرفوش

الدكتور زياد القطب

92

السنة التاسعة عشرة / تموز - آب /

2004

مجلة دورية تصدر ستّ 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 المؤلَّف 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 (★, +, X, O, ...) 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

المقـــالات

■ النسبية الخاصة المضاعفة	د. هاريس ..... ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية	7
■ فوتونات مفردة عند الطلب	ف. غرانجيِر، إ. أبرام ..... ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية	11
■ هل تريد أن تتحدث	إ.سامبل ..... ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية	18
■ تنوير الطب بالليزرات	م. دُرّاني ..... ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية	24
■ مراقبة الدماغ أثناء العمل.....	ب. غولاند وآخرون ..... ترجمة هيئة الطاقة الذرّية السورية	28

أخبار علمية

■ الدليل للتطبيقات المتريّة 37

■ أيام غريبة 39

■ فيزياء الاندماج النووي الحراري ومشروع المفاعل ITER 41

■ تسريع النبضات في البحث عن الاندماج 42

■ في البُعْد الخامس 44

■ كيف يمكن أن يكون لفيزياء الجسيمات فعل علاجي 46

■ سلك فائق الناقلية يتحول إلى قدرة كهربائية 49

■ من المختبر إلى المريض 50

■ اليورانيوم 52

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

■ تعديل خواص التحسُّس للثيالوسينين ــ المعدني بواسطة بلازما ECR	د. منذر نداف ..... س. شاكان وآخرون	57
■ تأثير إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني على وسطاء الخلية الشمسية	د. معين سعد، د. عمار قسيس	62
■ فصل الذهب انتقائياً من عينات فلزات الحديد باستخدام المبادلات الأيونية	رفعت المرعي وآخرون	68

- تباين الفوعة المرضية بين عزلات الفطر pyrenophora teres ..... د. عماد الدين عرابي وآخرون 74
  والعامل المسبب لمرض التلطخ الشبكي لدى نبات الشعير
- التعددية الشكلية للغلياديين والتحليل العنقودي لأصناف القمح ..... د. نزار مير علي 82
  القاسية المزروعة في سورية

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- دراسة حاسوبية لنموذج معدّل من خمسة أطوار لجهاز البلازما المحرقية ..... د. شريف الحواط، د. صقر سلوم 90
- تحضير نظير السترونسيوم المشع Sr-85 ..... د. توفيق ياسين، نعمان سلمان 90
- دراسة التعرضات المهنية في سورية في الفترة ..... د. محمد حسان خريطة 91
  من عام 1990حتى عام 1999 وحساب الجرعة التجميعية في كل ممارسة عاطف البزال
- تحضير متراكبات من البولي إستر مع كبريتات الكالسيوم بواسطة الإشعاع ..... د. زكي عجي 91
- دراسة بيئة نهر العاصي في سورية ولبنان ..... د. محمد العودات وآخرون 92
- دراسة التبدّلات الصبغية المسبِّبة للعقم لدى ثيران مركز الإلقاح ..... د. وليد الأشقر وآخرون 92
  الاصطناعي في سوريا
- معالجة إحصائية لنتائج برنامج المقارنة الخارجية لتحليل عنصرَي ..... د. عادل باكير وآخرون 93
  الزنك والسيلينيوم في الدم بتقانة INAA.
- تركيز هرمون التستوستيرون في الدم والعوامل المؤثرة عليه ..... د. معتز زرقاوي، د.سليمان ديب 93
  في ذكور حملان العواس السوري
- دراسة مظاهر التكتونيك الحديث في التوضعات البليوسينية والرباعية ..... د. سليمان رمّاح 94
  على امتداد الساحل السوري

كتب حديثة مختارة

- المادة الكثيفة اللّينة..... (تأليف: ر. أ. ل. جونز) 97
  (عرض وتحليل: د. فايتس)
- الفيزياء المتقدّمة للحالة الصلبة..... (تأليف: ف. فيليبس) 98
  (عرض وتحليل: س. ساشديف)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد 108

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

المقالات

النسبية الخاصة المضاعفة*

د. هاريس

رئيس علاقات وسائل الإعلام في الجمعية الفيزيائية الأمريكية

ملخص

إن أفضل وصف أو تصوّر لنا عن الزمكان يتداعى. وبينما تتداعى النسبية الخاصة، هنالك نظرية أخرى مثيرة للجدل يجري تحضيرها للحلول مكانها.

الكلمات المفتاحية: النسبية الخاصة المضاعفة، انتفاخ، سرعة الضوء، عتبة.

في شهر أيار من عام 2001 بدأ جيوفاني أملينو-كاميليا G. Amelino-Camelia ثورة هادئة. لم تكن تبدو أنها شيء هام: فهي مجرد ثماني صفحات نشرت في مجلة Physics Letters B. ولكنها كانت ديناميتاً أو ثورة علمية.

انتقلت النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، التي تصف سلوك المكان والزمان وتربطهما معاً في "الزمكان"، عبر الأجيال وكأنها حقيقة ثابتة لا ريب فيها. وقد دُعّمت بوفرة من الدلائل التجريبية. ولكن أملينو-كاميليا يقول: من الممكن أن يكون أينشتاين قد ملك نصف القصة فقط.

لابد من القول إنه ادّعاء مثير للجدل جداً. ومع ذلك، ومنذ نشر مقالته، فإن أملينو-كاميليا أصبح أكثر ثقة بها. يقول "تُقدِّم النظرية والتجربة تلميحات مغرية بأنه قد يكون من اللازم إعادة النظر في نظرية أينشتاين. وأملينو-كاميليا ليس وحيداً، فهنالك فيزيائيون آخرون يسيرون وراء لوائه، ويشتركون بالحملة ضد القبول الذي لا يقبل الجدل للنسبية الخاصة. يصرّح أملينو-كاميليا بالقول "لقد مات دين النسبية الخاصة".

يدرس أملينو-كاميليا، وهو يعمل في جامعة La Sapienza في روما، الثقالة الكمومية – وهي محاولة سبك النسبية مع النظرية الكمومية للحصول على وصف واحد منسجم للكون. بدأ الباحثون في هذا المجال يشعرون منذ أمد بعيد بعدم الارتياح فيما يتعلق بالنسبية بوضعها الحالي: فقد ثبت أنه من الصعب جداً ربطها بالميكانيك الكمومي. يأتي الدليل التجريبي الذي ينتهكها من شكل الأشعة الكونية التي اكتشفت في اليابان والحاملة مثل هذه الطاقات العالية التي تقول النسبية الخاصة بأنها لا ينبغي أن توجد. لقد كانت خطوة بعيدة جداً بالنسبة لأملينو-كاميليا الذي يقول: "أظن أن بيانات الأشعة الكونية وضعتني في موقع تساؤل حول مدى صحة عقيدة النسبية الخاصة".

كان اتّباع هذا المسار خطراً، ولكنه أدّى به إلى شكل جديد من النسبية. لا يقدم هذا سبيلاً جديداً لتوحيد قوانين الفيزياء فحسب، لكنه ينسجم أيضاً مع جميع المشاهدات المتوفرة ويمكن اختباره بشكل مباشر في المستقبل القريب.

إنه يبدأ بفكرة واحدة فقط. وهي أنه يجب أن يكون هنالك مقياس ما لا يعود فيه المكان والزمان يوصفان وفق القواعد التقليدية المعروفة، بل يبدأان التصرف بسلوك كمومي. يضع هذا الانتقال حدّاً يغيّر قواعد اللعبة، ويستطيع أن يَظهر ككمية معينة من الطاقة أو طول محدد. الطول والطاقة بالنسبة للفيزيائيين مرتبطان، فطاقة الفوتون مثلاً تُملي طول موجة ضوئه.

لا يبدو هذا مرضياً كثيراً. ولكن هذه الفكرة الحميدة تقف متعارضة مباشرة مع النسبية الخاصة. فمثلاً خذ فكرة عتبة الطول. فوفق نظرية أينشتاين، إن طول شيءٍ ما يعتمد على من يقوم بقياسه. فإذا كان عليك أن تقف ساكناً وتقيس طول جسيم يقترب منك ويتجاوزك بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فستجد طوله أقصر بكثير مما لو كان ماراً بتراخٍ وخمول. يُطلق على هذا تقلص لورنتز Lorentz، ويعتمد على كيفية تحرك الراصد بالنسبة للجسم: وإذا تجاوزك أحدهم راصد آخر، عندما كان الجسيم يقترب منك ويتجاوزك فإنه سيقيس طولاً مختلفاً أيضاً.

يصبح التعارض واضحاً عندما تتصور أن الجسيم قيد الرصد يكون أطول قليلاً من طول العتبة. فوفقاً لأينشتاين، سيراه الراصدون المتحركون باتجاه ما متقلصاً إلى ما دون طول العتبة، بينما بالنسبة للآخرين المتحركين باتجاه مغاير، فإن طوله سيبقى فوق العتبة. وإذا ما قام الراصدون باستنتاج كيفية سلوك الجسيم، فإنهم سيصلون إلى إجابات مختلفة لأن بعضهم سيرى أن الجسيم يتحرك في زمكان تقليدي، بينما سيراه آخرون متحركاً بطريقة كمومية. وبكلام آخر، ستظهر قوانين الفيزياء مختلفة لأناس مختلفين. وإذا ما أردنا أن يكون لدينا وصف حقيقي للطريقة التي يسلك حسبها الكون، فإن ذلك يكون ببساطة غير ممكن.

---

* نشر هذا المقال في مجلة New Scientist، 8 February 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

هنالك مشكلة أخرى وهي: في أي إطار مرجعي يُحدَّد طول العتبة في المقام الأول؟ فإذا قال شخص ما "إنها بهذا الطول المعين" وأشار إلى طول معطى، فتقول النسبية الخاصة إن ذلك الطول سيبدو مختلفاً لراصدين في أطر متحركة من المراجع.

إن الحل الذي قدّمه أملينو-كاميليا لكل هذا هو في جعل طول العتبة أو الطاقة "لا متغيراً" أي تبدو نفسها لجميع الراصدين. وبتلك الطريقة، سيتفق جميع الراصدين فيما إذا كانت طاقة وطول جسيم ما فوق أو تحت العتبة.

ثوابت الدمج

فأين يمكن أن تقع هذه العتبة؟ إن المقياس الأكثر وضوحاً للتحرّي، بالنسبة للفيزيائيين، هو الذي يعيّن بضم الثوابت الأساسية للنسبية والنظرية الكمومية: ثابت بلانك h وثابت الثقالة G وسرعة الضوء c. فإذا جمعناها بطريقة ما سنصل إلى طول: هو طول بلانك. وإذا عولجت بطريقة أخرى فستحصل على طاقة بلانك. هذه المقاييس هي المكان الطبيعي لتوقع تشابك النسبية والنظرية الكمومية.

بيّنت مقالة أملينو-كاميليا في مجلة Physics Letters B vol 510, p 255 أنه يمكن تطوير هذا الأسلوب إلى نظرية جديدة منسجمة مع جميع متطلبات الثقالة الكمومية. أُطلق على هذه الثورة اسم "النسبية الخاصة المضاعفة" doubly special relativity (DSR). وبينما تكون لنظرية أينشتاين عتبة وحيدة غير قابلة للاجتياز - لا يمكن للجسيمات التي لها كتلة أن تتجاوز سرعة الضوء - يوجد لأملينو كاميليا عتبتان: سرعة الضوء والعتبة الجديدة للطول أو الطاقة التي لا يمكن اجتيازها.

وبعد ظهور هذه المقالة بقليل، أدرك اثنان من الباحثين الآخرين أنه يمكن لمقالة أملينو- كاميليا بدون قصد أن تبدأ بحلّ مشكلتهما أيضاً. كان ج. ماغويجو J. Magueijo، وهو فيزيائي نظري في الكلية الملكية في لندن، يصوغ تفسيراً لنشوء الكون. وهو التفسير البديل "للانتفاخ"، أي الفكرة التي تقول إن الكون خضع لفترة توسّع سريع جداً بعد حدوث الانفجار العظيم بقليل. ولكن هنالك نتائج خطيرة يجب مواجهتها لهذا التفسير. ترتكز فكرة ماغويجو على أن سرعة الضوء متغيرة، وهذا يتناقض مباشرة مع نظرية أينشتاين، وكان اقتراحه هو أن سرعة الضوء كانت تتجه دوماً نحو التباطؤ منذ حدوث الانفجار العظيم.

يسلّم ماغويجو أنه على الرغم من أن هذا كان ينسجم منذ طرحه مع بعض البيانات الفلكية المتعذر تفسيرها، إلا أن هذا التغيّر في سرعة الضوء استدعي من الهواء الرقيق. ولحسن الحظ فإن النسبية الخاصة المضاعفة لأملينو-كاميليا قدّمت توضيحاً لذلك.

ينتج من إدخال طاقة العتبة إلى النسبية تحريف غريب: تعتمد سرعة الضوء في النسبية الخاصة المضاعفة (DSR) على طاقة الفوتونات المدروسة. كانت للجسيمات في بداية الكون طاقات عالية جداً، لذلك ووفقاً للنسبية الخاصة المضاعفة، فإن سرعة الضوء النموذجية كانت إلى حدٍّ ما أعلى من السرعة التي نرصدها في تجاربنا الحالية.

كان هذا هو ما يبحث عنه ماغويجو بالضبط. وبالصدفة، كان زميل له يعمل في نفس البناء قد أثارته كذلك أفكار أملينو-كاميليا. لقد صرف لي سمولين L. Smolin، الذي يعمل حالياً في معهد Perimeter Institute for Theoretical Physics في واترلو، في كندا، عشر سنوات في تطوير نظرية "الثقالة الكمومية العروية" loop quantum gravity حيث يتألف نسيج الزمكان نفسه من رزم دقيقة (أو كموم) مرتبطة بعضها مع بعض بنوع من الرغوة. كانت النظرية تتقدم بشكل جيد، ولكن بقيت هنالك بعض المشاكل تعترض سمولين، فقد كانت النتائج المستخلصة من بعض حساباته تتعارض مباشرة مع متطلبات النظرية النسبية الخاصة. يقول: "بقيت مشوشاً نحو عشر سنوات".

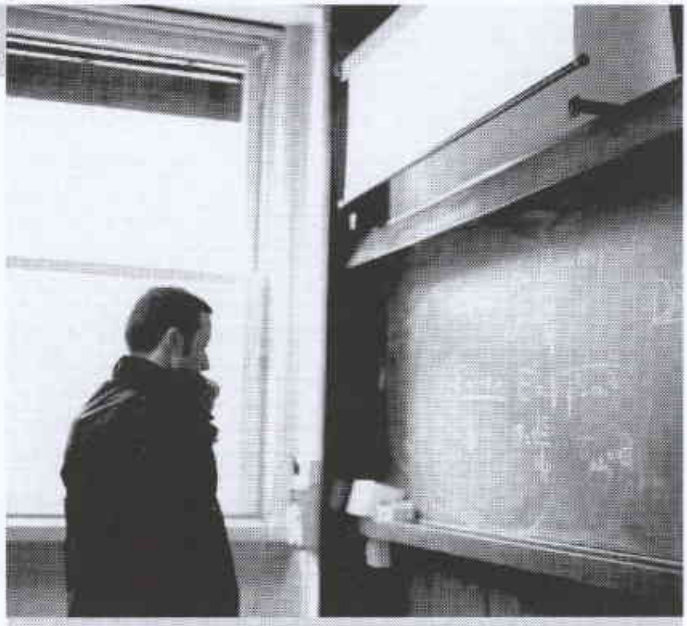
تغيير النظرة

تصوّر سمولين أن الجواب يمكن أن يكون بافتراض أن طول بلانك يبدو نفسه لجميع الراصدين، ولكنه يسلّم أنه لم يكن يعرف كيف ينشئ نظرية نسبية تتعامل مع هذا الأمر. كان ماغويجو هو الذي حثّه على أن من الممكن - بل من الضروري - تحقيق ذلك. يقول سمولين: "لم أكن أملك الفكرة أو الشجاعة، لتجريب صياغة ذلك بشكل دقيق قبل عملي مع ماغويجو".

طوّر سمولين وماغويجو بعد ذلك بقليل نظرية DSR لوحدهما - لقد بيّنا بالفعل أن من الممكن بناء عدة أنواع من نظريات DSR (مجلة Physical Review Letters, vol 88, p 190403). هنالك الآن عدد من الأنواع المتباينة لنظرية DSR، يُعدّل كل منها عمل أينشتاين، حتى أنه يقدم شكلاً معدلاً لعلاقة أينشتاين الشهيرة $E=mc^2$. يعمل سمولين وأملينو-كاميليا حالياً معاً على هذه المقاربة الثورية.

ماذا تقول إذاً هذه النظرية الحديثة الولادة عن كوننا؟ يبقى مبدأ أينشتاين الأساس الذي نبقي فيه على سرعة ثابتة كما هو. ولكن جميع التجارب المتاحة لأينشتاين كانت تتعلق بضوء ذي طول موجة كبير وطاقة منخفضة. وهكذا فإن السرعة الثابتة، التي اعتبر أينشتاين أنها، بصورة عامة، "سرعة الضوء"، هي حسب DSR سرعة جسيمات الضوء المنخفضة الطاقة. يُسمح لجسيمات الضوء العالية الطاقة أن تنتقل أسرع قليلاً. وكما أن للأجسام في النسبية الخاصة سرعات مختلفة بالنسبة لراصدين مختلفين، فإن أي شيء يسير بسرعة أقل من السرعة الثابتة في النظرية DSR يمكن أن يبدو أنه يغير سرعته.

وأيضاً، في الوقت الذي تسمح فيه النسبية الخاصة للفوتونات المتحركة بسرعة الضوء بأن تبدو بألوان مختلفة لراصدين مختلفين،



"كانت السرعة المتغيرة للضوء قد استدعيت من الهواء الرقيق. وقدمت نظرية اماينو كاميليا توضيحا لذلك"

فإن DSR تذهب إلى أبعد من ذلك بقليل. فالألوان المختلفة تنتقل بسرعات مختلفة، وذلك لأن الأطوال الموجية المختلفة تقابل طاقات مختلفة، وفي DSR يؤثر هذا على سرعة الضوء.

يمكن لهذه المظاهر وحدها أن تغير وجه الكوسمولوجيا المعيارية. فمنذ ما يزيد عن العشرين عاماً، دأب الكوسمولوجيون (علماء الكون) على بناء نموذج الانتفاخ لتاريخ الكون. لقد قُدّم هذا النموذج لتوضيح سبب الانتظام إلى حدٍّ كبير في درجة حرارة الكون وكثافته. فبوجود سرعة محدودة للضوء، هنالك حدٌّ للسرعة التي تستطيع فيها الجسيمات والإشعاع أن ينتشرا في شيء ما له حجم الكون، وهكذا كيف أمكن للكون أن يصل إلى التوازن النسبي الذي نرصده؟ فإذا كان كله متراصاً (أي في تماس فيزيائي) قبل توسعه فجأة، فالانتظام ليس مشكلة.

ولكن على الرغم من أن الانتفاخ يوضح بعض ملامح وتاريخ الكون، فإنه لا يذهب إلاّ إلى هذا الحد. توضّح DSR، من ناحية أخرى، كل شيء يحدثه الانتفاخ، وأكثر من ذلك. لقد عَنت الطاقات العالية في بداية الكون حسب نظرية DSR، أن سرعة الضوء في المتوسط كانت أكبر مما هي عليه الآن. وربما كانت أجزاء من الكون، التي لا تتماس الآن بعضها مع بعض، قادرة على الاتصال لأن سرعة الضوء كانت أكبر وقتئذٍ.

تعلّل DSR أيضاً التمدد المتسارع للكون، الأمر الذي لا يستطيع الانتفاخ تفسيره. يعزو الفيزيائيون أحياناً هذا التمدد إلى "الطاقة الخفية"، ولكن لا يعرف أحد ما هي ولا كيف تعمل. اقتُرحت آليات مختلفة لذلك. إحدى الطرق لتصور الطاقة الخفية هي القول بأنها تكافئ الفضاء المنحني قليلاً بدلاً من أن يكون منبسطاً: يقيم هذا نوعاً من التوتر المرن يجبر الفضاء على أن يتمدد إلى الخارج.

يوجد حالياً عدد من الأشكال المختلفة للنسبية الخاصة المضاعفة. كل واحدة تعدل عمل اينشتاين بل و تقدم تصورا خاصا بها لعلاقته الشهيرة $E=mc^2$

وقد بيّن مؤخراً كل من لورا مرسيني L. Mersini وماريا باسترو – جيل M. B-Gil وباناجيوتا كانتي P. Kanti من مدرسة المعلمين العليا في بيزا والمعهد الوطني الإيطالي للفيزياء النووية في روما أن التعديلات على علاقة أينشتاين $E=mc^2$ تقود بالضبط إلى مثل هذا التقوس في الفراغ (Physical Review D, vol 64, p 043508). وبكلام آخر، تجعل تعديلات DSR النسبية تفسر أيضاً "الطاقة الخفية".

وربما الأكثر أهمية أن DSR توضح ما هو متعذّر تفسيره بدونها: مثل بيانات الأشعة الكونية من اليابان. فمنذ أكثر من عقد من الزمان يرى الفيزيائيون العاملون في جامعة Akeno Giant Air Shower Array في طوكيو أشعة كونية تقول نظرية النسبية الخاصة بعدم وجودها.

الأشعة الكونية هي جسيمات ناتجة من حوادث عنيفة مثل انفجارات مُستَعَر فائق، ترحل بعدها بسرعات هائلة خلال الفضاء، فإذا كانت طاقة هذه الجسيمات عالية بشكلٍ كافٍ، فإن النظرية النسبية تُملي أن أي تصادم مع الفوتونات المنخفضة الطاقة الموجودة بكثرة في الكون سيحطمها. وبمرور الزمن الذي ستصل فيه إلى مكاشيفنا على الأرض فلن تبقى أية أشعة كونية طاقتها أعلى من 5×10^{19} إلكترون فولط. يدعى هذا بحد غرايزن–زاتسبين – كوزمين Greisen – Zatsepin – Kuzmin أو (GZK). وعلى أية حال، اكتشف العاملون في Akeno Giant Air Shower Array على مدى العقد الماضي عدة أشعة كونية فوق الحد GZK، مما يبدو أنه انتهاك لنظرية النسبية الخاصة.

رفع الحد

على أية حال، لا توجد مشكلة في DSR، حيث تعدّل النظرية الطاقات التي ولدت فيها الجسيمات وتحطمت. يقول أمليو–كاميليا إننا إذا تبنينا النسبية الخاصة بدون تساؤل ربما نكون قد قدّرنا الحد GZK بأقل مما هو. وبيّن أن هنالك صنفاً من نظريات DSR يمكنها أن تحل لغز الأشعة الكونية، ولكن ليس من الواضح حتى الآن أية نظرية من ذلك الصنف هي الأفضل.

وفي تلك المسألة يكمن موطن ضعف النظريات DSR – لا يوجد حتى الآن أي برهان إيجابي. فكل ما ذهبت إليه DSR هو أنها لا تناقض الدليل الذي بدأ ينشأ من رصد الأشعة الكونية.

ليس هذا كافياً بالنسبة للبعض. فلا يعتقد جون إلّيس J. Ellis، الفيزيائي النظري الذي يعمل في CERN في جنيف أن بيانات الأشعة الكونية تشكل سبباً جيداً لتعديل معادلة أينشتاين. ويقرّ شيلدون غلاشو S. Glashow العالم الكوسمولوجي في هارفارد والحائز على جائزة نوبل بأنه لا يرى أي دليل تجريبي أو نظري يجعله يفكر بأن النسبية الخاصة بحاجة إلى تعديل.

لقد أسرع مؤيدو DSR في قبول أن دليل الأشعة الكونية يمكن أن يكون فيه نقص. إن عدد أحداث الأشعة الكونية التي تناقض الحد GZK صغير واقترح بعض الفيزيائيين، بمن فيهم أمليو – كاميليا، أن سوء فهم البيانات يمكن أن يفسر الشذوذات. فهل هذا مجرد بدعة عابرة؟ يقول غلاشو: "بل هو أقل من ذلك".

ومهما كانت الانتقادات لا تستحق الاهتمام فإن ماغويجو يعتقد أن هنالك مقاربة حاسمة. فباعتبار أن إطار DSR قادر على أن يجيب على أي سؤال وضع أمام النسبية الخاصة – ويعطي في حالات عديدة جواباً مختلفاً اختلافاً مرهفاً – فإنه يشعر أنه ستأتي مرحلة سيواجه فيها الناس الاحتمال بأن نظرية أينشتاين تحتاج إلى تعديل. ويقول: "إن حقيقة كون الإجابات عادة مختلفة قليلاً يعني أن أمامك طريقاً لوضع النسبية في قاعة محكمة التجارب".

يبدو أن كثيراً من المقتضيات التجريبية لـ DSR محددة بمقاييس لا تستطيع تجاربنا أن تسبرها بعد. فمثلاً يجب أن يكون الفرق بين السرعة الأعظمية في الكون وسرعة الضوء صغيراً إلى حدٍّ كبير يقع خارج دقة أي جهاز نمتلكه. ويصبح من الممكن تقدير الفرق فقط عندما تملك الجسيمات طاقات عالية إلى حدٍّ كبير، وهي الطاقات التي تقترب من الطاقة الثابتة لـ DSR.

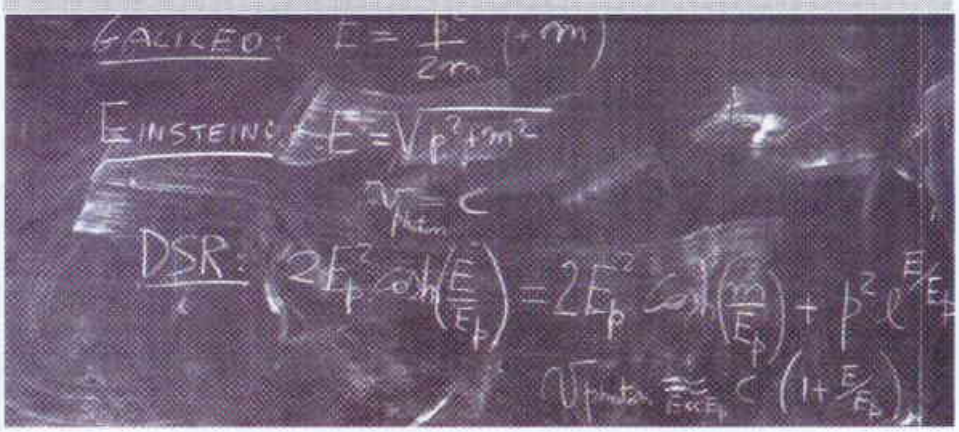
وبينما تغير DSR أيضاً الطريق فإن الأطوال تتغير مع حركة الراصد، تماماً كما في النسبية الخاصة. والفرق بين DSR والنسبية الخاصة يظهر بوضوح فقط عند أطوال قريبة من طول بلانك: أي عند 10^{-35} متراً. وهذا يعادل 10^{20} مرة من مقاس البروتون. إن هذا الطول والطاقة المقابلة له، ليسا حتى قريبين مما هو متاح في مسرّعات الجسيمات العالمية الأكثر قدرة.

يمكن أن نحصل على دليل تجريبي آخر من إطلاق تلسكوب أشعة غاما الواسع المساحة Gamma Ray Large Area Telescope (GLAST) عام 2006، وهو ساتل (قمر صنعي) NASA صُمِّمَ لكشف دفقات أشعة غاما الفائقة الطاقة من المجرّات البعيدة. ستقيس التجارب، التي ستجري بواسطة هذا التلسكوب، طريقة تحرك الجسيمات، بحساسية تستطيع أن تفرق بين تنبؤات DSR والنسبية الخاصة. وحتى ذلك الحين سيتوفر مزيد من بيانات الأشعة الكونية من مرصد بيير أوغر P. Auger الذي هو قيد البناء في الأرجنتين.

ولما كان عمر DSR لا يتجاوز سنتين فقط، فمن المحتمل أن ينشأ عدد أكثر من المقتضيات. فحسب أمليو–كاميليا يمكن للفيزيائيين أن يجدوا اختبارات سهلة المنال ونهائية فيما يخصّ النظرية الجديدة في أي وقت، ويقول: "لم يتم تحليل سوى عدد قليل نسبياً من القرائن بتفاصيلها الضرورية".

ماغويجو واثق من أن نظرية DSR ستنتشر أخيراً إلى مدى أبعد وأوسع؛ فجميع ما في علم الفيزياء يتفق مع إطار DSR، ويقول: "ويمكن أن يكون أسهل مما نعتقد". ويمكن أن يتكشف ذلك عن عدم ارتياح كبير. يحذّر أمليو–كاميليا قائلاً: "ستتطلب منّا النسبية الخاصة المضاعفة قطعاً أن نتخلى عن بعض المفاهيم الأخرى التي نعتقد حالياً أنها صحيحة بشكل جلي. وإذا كان هؤلاء الفيزيائيون محقين، فإن سلطان أينشتاين قادم إلى نهاية. وعندما يبدأ صرح فيزياء القرن العشرين ينهار على مسمع منك، فلا تقل أنه لم يتم تحذيرك.

"منذ ما يزيد عن عقد من الزمن، كان الفيزيائيون يرون أشعة كونية تقول النسبية الخاصة بعدم وجودها"



* * *

فوتونات مفردة عند الطلب*

ف. غرانجير
مختبر شارل فابري - معهد الضوئيات - أورسي- فرنسا
إ. أبرام
مختبر الفوتونيات والبنى النانوية - ماركوسيس- فرنسا

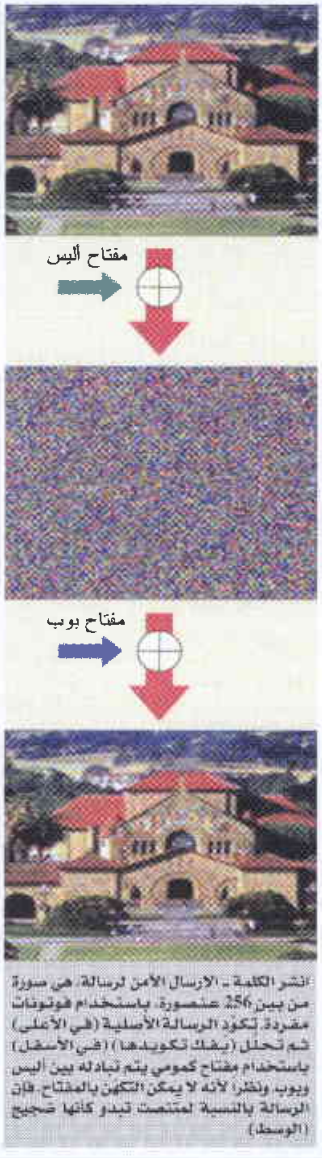
ملخص

لقد استفادت التعمية الكمومية ومعالجة المعلومات كمومياً من التطورات التي طرأت على منابع الضوء الجديدة والتي تستطيع أن تُصدر الفوتونات واحداً تلو الآخر.

الكلمات المفتاحية: تعمية كمومية، مفاتيح كمومية، توزع المفاتيح الكمومية، فوتونات مندمجة، فوتونات مفردة.

لقد اكتسب ميكانيك الكم سمعته من طرحه توقعات مضادة للبديهة. ولكن نادراً ما تتاح لنا فرصة مشاهدة هذه الآثار مباشرة، والسبب في ذلك يرجع ببساطة إلى ضخامتنا لأننا بشر. لنأخذ الضوء على سبيل المثال. فالمنابع الضوئية المألوفة بالنسبة لنا، كتلك التي تستخدم في الإضاءة والتصوير أو في مشغِّلات الأقراص المتراصة ومشغِّلات الأقراص التلفزيونية الرقمية، ضخمة لدرجة أنها تصدر بلايين وبلايين الفوتونات. ولكن ماذا لو وجد منبع ضوئي يصدر فوتوناً واحداً في كل مرة ؟

لقد حملت إلينا السنوات القليلة الماضية أنواعاً جديدة من المنابع الضوئية قادرة على أن تصدر فوتونات واحداً تلو الآخر أنتجتها مختبرات في أرجاء مختلفة من العالم. إن النبضات الضوئية المكونة من فوتون مفرد تعني تدفقاً للقدرة في مدى الفمتو واط – أي أقل بمليون بليون مرة من القدرة الضوئية لمصباح طاولة. القوة الدافعة التي تقف خلف نشوء وتطور منابع الفوتونات المفردة هذه هي مجال من التطبيقات الجديدة التي تستفيد من الطبيعة الكمومية للضوء. فالحالات الكمومية للفوتونات المتراكبة والمتشابكة entangled يمكنها أن تقود الطريق إلى اتصالات آمنة مضمونة، وإلى معالجة معلومات بسرعات وكفايات غير مسبوقة، وإلى تقنيات جديدة في النقل الكمومي من بعد quantum teleporation.



انشر الكلمة ـ الإرسال الآمن لرسالة، هي صورة من بين 256 صنصورة، باستخدام فوتونات مفردة. لتكود الرسالة الأصلية (في الأعلى) ثم تحلل (يفك تكويدها) (في الأسفل) باستخدام مفتاح كمومي يتم تبادله بين أليس وبوب. ونظراً لأنه لا يمكن التكهن بالمفتاح، فإن الرسالة بالنسبة لمتنصت تبدو كأنها ضجيج (الوسط).

الضوء المجزَّء

ربما يكون الفوتون هو الجسم الكمومي الأقدم والأكثر شهرة. ونظراً لظهوره كنتيجة للطبيعة الحبيبية في امتصاص وإصدار الضوء كما افترض ذلك ماكس بلانك في عام 1900، فقد أشعل الفوتون الشرارة لثورة عميقة في تصور الفيزياء ومفاهيمها – أي ميكانيك الكم (راجع مجلة Physics World–كانون الأول/ ديسمبر 2000). وعلى كل حال لم يكن الفيزيائيون قادرين على إنتاج الفوتونات ومشاهدتها إلا منذ وقت قريب نسبياً.

جاء الدليل الأكثر قوة على وجود الفوتونات من الأثر الكهرضوئي، الذي فسره ألبرت آينشتاين في عام 1905. أوضحت التجربة أن حزمة من الضوء تستطيع أن تضرب إلكترونات من معدن ما كما لو أن الضوء مكون من سلسلة من كرات البلياردو. وتبين بعد ذلك أن عدد الإلكترونات التي تقذفها حزمة مستقرة من الضوء تترجَّح بالطريقة نفسها التي تقوم بها قطرات المطر الساقطة على سطح سقيفة. إن الترجحات في كلتا الظاهرتين أظهرت أنها تخضع لإحصاء بواسون وتعرف الآن باسم "الضجيج الطلقي shot noise"، وهو مفهوم مألوف لدى كل من تعامل مع المكاشيف الكهرضوئية photoelectric detectors. ولكن يمكن لشَكوكيٍّ ما أن يقول بأن هذه الظاهرة هي نتيجة استكمام المكشاف، وليست من الضوء. إن الطريقة الوحيدة الناجحة للتخلص من هذا الغموض هو أن نعزل فوتوناً واحداً – ولكن هذا يؤدي إلى مشكلة جديدة هي معرفة ما إذا كانت حزمة الضوء تحتوي على فوتون واحد فقط أم لا.

* نشر هذا المقال في مجلة Physics World - February 2003. وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية

ومع ظهور الضوئيات الكمومية في أواخر سبعينيات وأوائل ثمانينيات القرن العشرين، استنبطت حيلة ذكية لمواجهة هذه المشكلة. إذا وجّهنا عيِّنة من ضوءٍ غير معلوم إلى مرآة نصف مفضضة ندعوها شاطر الحزمة، فإنه ينبغي أن ينعكس نصف شدتها وأن ينفذ النصف الآخر (الشكل 1a). ولما كان لا يمكن للفوتون المفرد أن ينشطر إلى نصفين، فإنه إما أن ينعكس أو أن ينفذ باحتمالين متساويين ولا يمكن له أبداً أن يسلك الطريقين في وقت واحد. وعليه، إذا وضع مكشاف ضوئي حساس في كل من خرجي شاطر الحزمة، فهناك احتمال أن يولد المكشافان نبضة كهربائية أصغرية في آن واحد. وبعبارة أخرى، لايمكن للنبضتين أن تجتمعا معاً أبداً.

لوحظ أثر "عدم الجمع" هذا لأول مرة من قبل لونارد ماندل L. Mandel ورفاقه في جامعة روشستر في عام 1976. وقد بدا جلياً أنها ظاهرة ترجع إلى الطبيعة الكمومية للضوء، لأن الميكانيك الكمومي هو الوحيد القادر على تقديم تفسير متساوق للنتائج المرصودة.

بعد ذلك بدأ الفيزيائيون يتعاملون مع هذه التجربة الأساسية ويتحققون من كل الأشياء الغريبة التي كانوا قد تعلموها في دروس ميكانيك الكم الأولية في الجامعة ولكنها بقيت مقالات موثوقة عقوداً من الزمن دون أن يجري اختبارها. وعلى وجه التحديد، شرع فريق من المركز الوطني للبحوث العلمية CNRS في أورسي، من بينهم أحد كاتبي هذا المقال، بتوضيح مثنوية (الموجة – الجسيم) الخاصة بميكانيك الكم. لقد فكرنا بأن الفوتون بدأ يسلك سلوكاً يشبه سلوك الجسيم لأننا عندما حاولنا أن نحدد أي المكشافين الضوئيين قد تنشّط، كنا بالفعل نسأل سؤالاً خاصاً بالسلوك الجسيمي وهو: "أي طريق سلك الفوتون عندما وقع على شاطر الحزمة؟" لكننا عندما أضفنا شاطراً آخر للحزمة لتشكيل مقياس تداخل ماخ– زيهندر Mach-Zehnder interferometer (الشكل 1b)، أصبح التداخل بين المسارين اللذين يمكن للفوتون الفرد أن يسلكهما مرئياً، مما يوضح الطبيعة الموجية للفوتون. وبعبارة أخرى، بدون طرح السؤال "أي طريق سلك الفوتون؟"، كان باستطاعة الفوتون أن يسلك كلا الطريقين في آن واحد وأن يشكل نموذج التداخل تماماً مثلما تفعل الموجة.

المفاتيح الكمومية

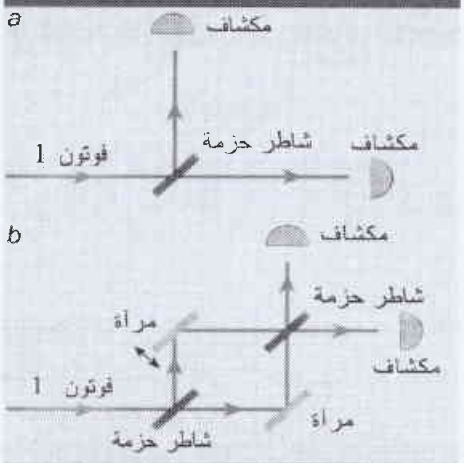
بدأ الفيزيائيون كذلك بالتفكير في الطرق التي يستغلون بها الخواص الكمومية للفوتون من أجل تقانات الاتصال. إن بث المعلومة عبر رتل من الفوتونات المفردة ليس شديد الفعالية لأن الفقد في وسط الإرسال يؤدي إلى حذف عشوائي للفوتونات. وهذا الفقد يمكن أن يصنع أي رسالة مسبقة التعيين غير واضحة بالنسبة للمستقبل. على كل حال، لا يعاني العدد العشوائي من هذا الفقد في الفوتونات لأنه يبقى عدداً عشوائياً – بيد أنه عدد مختلف – بعد حذف عشوائي لبعض أرقامه. تفيد الأعداد العشوائية بشكل خاص في الإرسال الآمن للمعلومة لأنه لايمكن تخمينها أو حزرها. لذا يمكن استخدامها كمفاتيح تعموية cryptographic keys لتكويد (ترميز) الرسائل.

في عام 1984 اقترح تشارلز بِنت Ch. Bennett من IBM وجِلز براسارد G. Brassard من جامعة مونتريال بروتوكولاً (يعرف الآن باسم BB84) لإرسال عدد عشوائي باستخدام رتل من الفوتونات المفردة. وقد آل هذا الأمر فكرة خصبة جداً أدت إلى ولادة حقل جديد للبحث يدعى التعمية الكمومية quantum cryptography وإذا أردنا التعبير بصورة أكثر تقنية قلنا: توزع المفاتيح الكمومية (QKD). ومنذ ذلك الحين درست عدةُ مجموعات النواحي النظرية والعملية لـ QKD.

البروتوكول BB84 المخصص لإرسال تسلسل عشوائي من البتات (الأرقام الثنائية) يسمح للمرسل والمستقبل المخوَّل (أليس وبوب) بكشف أي هجوم يقوم به متنصِّت ما (مثل إيف). فعلى سبيل المثال، تستطيع إيف أن تقوم بعملية اعتراض وذلك بأن تقيس كل فوتون ثم تسمح له بالدخول ثانية كيلا تقطع الإرسال. لكن مهما يكن ما يمكن أن تفعله إيف، فإن أمن (سرّية) الإرسال من أليس إلى بوب مضمون بلا شروط وفق استراتيجية مبنية على مبدأين هما: النظرية الكمومية للقياس و استخدام حالات الانضمام.

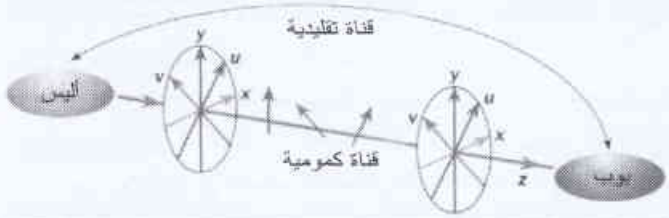
يتم في البدء تكويد (ترميز) بتّات المعلومة بإقامة تقابل بين قيمة بتّة ما – والتي هي 0 أو 1– وإحدى حالتي استقطاب متعامدتين للفوتون، وهو ما يشكل مجموعة أساس. وعلى سبيل المثال، إن أول مجموعة أساس يمكن أن تعرَّف بصورة تمثل فيها قيمة البتة 0 بفوتون مستقطب بزاوية 0°، وتمثل قيمة البتة 1 بفوتون مستقطب بزاوية 90° (الشكل 2). ويمكن الحصول بعدئذٍ على مجموعة أساس ثانية بتدوير الأولى بزاوية 45°، وبذلك تقابل قيمة البتة 0 الآن استقطاباً بزاوية 45° كما تقابل قيمة البتة 1 استقطاباً بزاوية 135°. إن حالات الاستقطاب في هذه المجموعة الثانية تتمتع بالصفة الخاصة المتمثلة في كونها انضمامات كمومية للحالات

الشكل 1 - مثنوية الموجة - جسيم



يمكن لتوضيح مثنوية الموجة- جسيم لفوتون بإرسال حالة فوتون مفرد نحو شاطر حزمة في (a) يبدي الفوتون المفرد سلوكاً يشبه سلوك الجسيم: فهو إما أن يكشف بأحد المكشافين أو بالآخر، ولكنه لا يكشف مطلقاً بكليهما معاً. من الوجهة التقليدية يبدو الأمر كما لو أن الفوتون "يختار" طريقه عندما يصطدم على شاطر الحزمة. في (b) تنصب حزم الخرج لتشكل مقياس تداخل ماخ- زيهندر Mach-Zehnder وهذا يسمح بالتحكم بقناة خرج الفوتون عن طريق ضبط المرايا لتغيير فرق المسير الضوئي بين ذراعي مقياس التداخل. من الناحية التقليدية، يمكن للمرء أن يستنتج بأنه ينبغي لكل فوتون أن ينتقل على كلا المسارين كموجة؛ ولكن هذا الاستنتاج يتناقض مع الوضع في (a). والنظرية الكمومية للضوء هي وحدها القادرة على أن تعطي وصفاً متساوقاً لكلتا التجربتين.

الشكل 2- توزع المفاتيح الكمومية.



باستخدام القناة الكمومية، ترسل أليس تيارا من الفوتونات إلى بوب وكل فوتون منها مستقطب بصورة منفصلة وفق أحد الاتجاهات الأربعة u ،v ،x، و y. إن زوجا متعامدا من هذه الاتجاهات يشكل مجموعة أساس. يمكن تعريف الـ "0" والـ "1" كفوتونين مستقطبين وفق الاتجاهين x و y في إحدى المجموعات الأساس، ووفق الاتجاهين u و v في مجموعة أساس أخرى بالموافقة على مجموعة القياس الأساس. بعد أن يكون بوب قد استلم الفوتونين، وبمقارنة مجموعة فرعية من المعطيات المتبادلة عبر القناة التقليدية، تستطيع أليس وبوب أن يستخلصا مفتاحا سريا آمنا كليا.

في المجموعة الأولى. وهذا يعني أنه لا يمكن لمجموعتي أساس أن تعرَّفا تعريفاً جيداً على قدم المساواة و بآن واحد معاً.

يجري التبادل بصورة عشوائية بين مجموعتي الأساس أثناء الإرسال، بحيث يتلقى بوب مزيجاً عشوائياً تماماً من الأصفار والآحاد، إذا لم يكن يستخدم مجموعة الأساس نفسها التي تستخدمها أليس، وبذلك يحصل على نتائج خاطئة نصف الوقت.

وبمجرد أن ينتهي الإرسال، تستطيع أليس وبوب مقارنة مجموعات الأساس المستخدمة في كل من الإصدار والاستقبال ثم إغفال الأحداث التي لا يكون فيها تطابق بين مجموعات الأساس.

وعلى كل حال، عندما تستخدم إيف مجموعة الأساس الخطأ خلال عملية الإرسال – التي ستحدث لنصف البتات وسطياً – فلن يكون لديها وسيلة لمقارنتها بمجموعات الأساس المستخدمة في الإصدار. لذا فإن الأخطاء في استقبالها تعني أنها تعيد إرسال معطيات خاطئة بمقدار 25% من الوقت. يستطيع المستخدمون الشرعيون بعدئذٍ كشف وجود المتنصت ببساطة بمقارنة عينة عشوائية من البتات المستَقبَلة للحصول على معدل الخطأ في الإرسال .

في التطبيق العملي توجد دائماً أخطاء إرسال، وإن مجرّد اعتراض ومقاطعة الإرسال حالما يزداد معدّل الخطأ (ربما يكون ذلك عائداً لـ إيف، وربما لا) لن يكون ذا فائدة كبيرة لـ أليس وبوب. لكن النقطة الحاسمة في الأمر هي أنه ما دام معدل الخطأ ليس كبيراً جداً، فالفرقاء المخوّلون هم دائماً قادرون على استخلاص مفتاح سرّي من المعطيات الكمومية المتبادلة التي هي آمنة بصورة مطلقة. ويتم الحصول على هذا باستخدام خوارزميات "تضخيم سري" privacy amplification تقليدية معروفة بأنها آمنة. ونتيجة لذلك فإن مفعول زيادة ما في معدل خطأ الإرسال ينبغي أن يخفِّض معدل الإرسال للمفتاح السرّي من غير تقليل أمنه. ويبقى هذا ساري المفعول إلى حدّ معين، ولكن إذا كان معدل الخطأ أكثر من 11% فإن معدل الإرسال بالنسبة للمفتاح السري يهبط إلى الصفر.

لقد حققت مختبرات عديدة الإرسال الكمومي ذا المفتاح المعمّى، مستخدمة أليافاً ضوئية على مدى مسافات تصل إلى 70 كيلومتر بمعدلات إرسال تبلغ بضعة كيلوبتات في الثانية. إن بعضاً من هذه المنظومات متوفر تجارياً، تؤمنه شركات مثل Id Quantique الموجودة في جنيف، للزبائن الذين يطلبون سرّية مطلقة في المناطق المحلية. ولقد تحقق تقدم أيضاً في الإرسال المعمّى ذي الفضاء الحر free-space cryptographic transmission، بهدف الوصول في النهاية إلى تحقيق توزع مفاتيح كمومية (QKD) محمولة على ساتل. لقد قام مؤخراً جون راريتي J. Rarity من Qinetiq وهارالد فاينفورتر H.Weinfurter من جامعة ميونيخ والعاملون معه بإرسال مفتاح سرّي بين جبلين تفصل بينهما مسافة 20km في جنوب ألمانيا (انظر مجلة Physics World تشرين الثاني /نوفمبر 2002 صفحة 3).

الفوتونات المفردة

تعدّ القضية المحورية في البحث الجاري عن توزع المفاتيح الكمومية التطور التقاني الأحدث والأكثر تقدماً في مجال المنابع الفوتونية المفردة والمكاشيف. فالثنائيات الضوئية التيهورية من السليكون silicon avalanche photodiodes (APDs) والتي تعد حساسة بقدر كاف لكشف فوتونات مفردة أضحت متاحة تجارياً منذ أكثر من عقدٍ من الزمن. وهذا النوع من المكاشيف فعّال بشكل خاص في المجال المرئي ومجال تحت الأحمر القريب وقد استخدم لكشف الجزيئات المفردة single-molecule detection في التطبيقات البيولوجية. أما بشأن الإرسال بالاتصالات من بُعد telecoms transmission ذات المدى البعيد فالعملية تحتاج إلى أطوال موجية يكون تخامدها أصغرياً لدى انتقالها في الألياف الضوئية؛ وهذا يتحقق تقريباً عند طول موجي 1550nm. لقد دَفعت إلى الأمام تطبيقات توزع مفاتيح كمومية تطوير ثنائية ضوئية تيهورية (APDs) من زرنيخيد الإنديوم والغاليوم، وبالرغم من أن أداءها مع أداء نظرائها السليكونية من APDs، فإنه تتوافر الآن وعلى نطاق تجاري نبائط كاملة لعدّ الفوتونات photon-counting.

على كل حال، لقد كان تطوير منابع الضوء الجديدة لإنتاج فوتونات مفردة هو الذي أعطى، لـ QKD التأثير الأكثر أهمية. وحتى وقت قريب، اعتمدت معظم الإنجازات العملية لـ QKD على نبضات ليزرية موَهَّنة بقوة. فهذه النبضات تحتوي وسطياً على أقل من فوتون واحد، ولكن هذا له عاقبتان غير مرغوب فيهما. فجزء من النبضات يحتوي على فوتونين أو أكثر، الأمر الذي يشكل باباً مفتوحاً لتسرّب المعلومات إلى المتنصّت، وعلى العكس من ذلك، لا تحتوي معظم نبضات الليزر الموَهَّنة بالفعل على أي فوتون على الإطلاق، فتنتج منها معدلات إرسال منخفضة وغير عملية.

ينبغي أن تحتوي كل نبضة ضوء على فوتون واحد فقط من الناحية المثالية. إن هذا سيحسِّن أداء منظومات QKD بصورة ملحوظة، وبخاصة في حالات الفَقْد العالي كما في حال الاتصالات عن طريق السواتل satellite communications. إن الحاجة إلى منابع

فوتونات مفردة في QKD، بالإضافة إلى الفائدة الأساسية في تعميق فهمنا الأساسي للضوئيات الكمومية قد كانتا الشرارة للوصول إلى العديد من الطرق لتطوير منابع قادرة على إصدار فوتونات مفردة "حسب الطلب".

البحث عن الأفضل

في قلب كل منبع من منابع الفوتونات المفردة يقبع جسم مفرد نانوي المظهر single nanoscopic يؤدي الانتقال بين حالاته الإلكترونية إلى إصدار ضوء من ثنائي قطب كمومي مفرد. إذا استثير ثنائي قطب مُصدر كهذا، فإنه سيصدر فوتوناً واحداً فقط لا غير. لكن يمكن لهذا الإصدار الفوتوني التلقائي أن يحدث في أي اتجاه، جاعلاً المصدر غير فعَّال. ولزيادة فعالية المصدر، يمكن طمر المصدر النانوي في جوف ضوئي عالي الدقة بحيث تكون أبعاده من مرتبة الطول الموجي الضوئي (بضع مئات نانومتر).

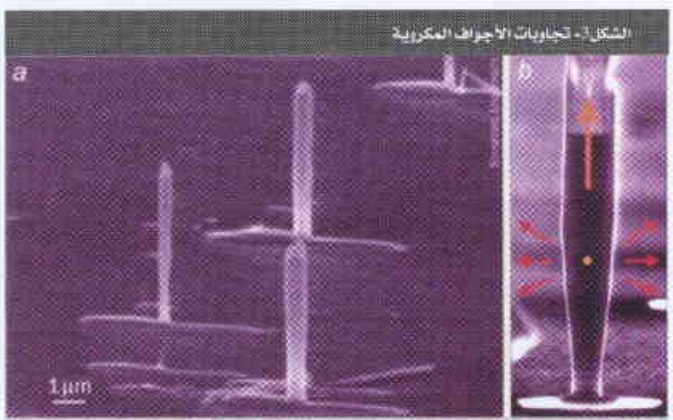
تكون الأجواف الضوئية المجهرية (المكْروسكوبية) معرَّضة لآثار "التحريك الكهربائي الكمومي الجوفي" التي تعدِّل إصدار الفوتونات التلقائي وبنية الحقل الكهرمغنطيسي. وهناك على وجه الخصوص ظاهرة –تعرف باسم "أثر بُرْسِل" Purcell effect– يمكن تسخيرها لمصلحتنا لأنها تعزّز بشدة إصداراً تلقائياً في الاتجاه والتواتر اللذين يكونان تجاوبيين في الجوف. وهذا يعني أن معظم الفوتونات الصادرة تجري متجمّعة في اتجاه خاص وتواتر خاص، يعرفان باسم نمط الجوف cavity mode، مشكِّلة حزمة خرج عالية التوجه (الشكل 3). وبالإضافة إلى الاتجاهية، ينبغي لمنبع الفوتونات المفردة المرغوب به لدى المستخدم أن يعمل عند درجة حرارة الغرفة بصورة مفضّلة وأن يكون ذا كفاية كمومية عالية. كما ينبغي له أن يحقق معدلاً عالياً في تكرار النبضات من دون رجفان أو احتراق.

بعد قيام فرانسيسكو دو مارتيني F. De Martini ومن معه بعمل تمهيدي في جامعة روما، أنجزت تجارب مقنعة تنتج أرتال نبضات من فوتونات مفردة وذلك باستخدام جزيئات عضوية إفرادية. ولقد تم تحقيق ذلك في درجات حرارة قرّية، قامت بها مجموعة ميشيل أوريت M. Orritt في جامعة بوردو، ثم في درجة حرارة الغرفة من قبل وُلتر موئرنر W. Moerner والعاملين معه في جامعة ستانفورد. وقد استخدمت هاتان التجربتان جزيئاً يدعى تيريلين terylene مطموراً في بلورة من بارا– تيرفينيل para-terphenyl، لكن موادّ أخرى أيضاً رُشِّحت لذلك مثل الروداميينات rhodamines أو السيانينات cyanines. هناك عائق لا يستهان به لهذه الجزيئات عند درجة حرارة الغرفة، ألا وهو أنها تتبدّل (تقوم بعملية الفصل أو الوصل) switch off بصورة غير عكوسة بعد زمن تشعيع معين. أما الآلية الحقيقية المسؤولة عن هذا التبييض الضوئي photobleaching لا تزال في طور البحث والدراسة.

هناك منبع فوتونات مفردة آخر تمت دراسته بشكل ويتمثّل في النقطة الكمومية نصف الناقلة المجمَّعة ذاتياً المفردة single self-assembled semiconductor quantum dot.

تمت دراسة هذه المنظومة، المؤلفة من نقطة كمومية من زرنيخيد الإنديوم بُعدها الإجمالي نانو متر مطمورة في زرنيخيد الغاليوم، من قبل يوشيهيسا ياماموتو Y. Yamamoto في ستانفورد ومن قِبَل جين– ميشيل جِرارد J. M. Gerard وأحد كاتبي هذا المقال في أورسي. فحينما يحقن زوج من الإلكترونات والثقوب في نقطة كمومية، يصدر فوتون مفرد وله طول موجي مميز. إن الفائدة المرجوّة من استخدام نقاط كمومية من زرنيخيد الإنديوم تتمثل في إمكانية رفع كفاية تجميع الفوتون المفرد الصادر إلى حدّها الأعلى. ويتم تحقيق ذلك باستخدام تقانات معالجة معيارية لدمج النقاط في جوف مكروي مصنوع من نصف ناقل (الشكل3). لقد لوحظ أثر بُرْسِل في هذه المنظومات وتبين أنه أسرع بحوالي عشرين ضعفاً مما هو عليه في الفضاء الحر. ومع ذلك فإن هذا لا يزال أخفض بكثير من القيمة العظمى النظرية التي يمكن تحقيقها بزيادة عامل جودة الجوف. وفي الوقت الراهن، يتطلب تشغيل النقاط الكمومية درجات حرارة الهليوم السائل، لكن هذا سيتحسن مستقبلاً من دون شك.

من المحتمل أن يكون أبسط منبع فوتونات مفردة تم تطويره حتى الآن، يستعمل مراكز لونية من شوائب النتروجين المستقلة nitrogen-vacancy (NV) color centers في الألماس. إن مراكز شوائب النتروجين (NV) تشترك مع الجزيئات العضوية المستقلة بتشابهات عديدة لكنها مستقرة ضوئياً إلى أبعد الحدود، حتى عند درجة حرارة الغرفة. وهناك ميزة أخرى وهي سهولة تنقيلها أو تداولها لأنها تظهر في شكلي الألماس الكتلي والبلّوري النانوي. لقد حقق حديثاً أليكسيوس بيفيراتوس A. Beveratos وزملاؤه لدى CNRS في أورسي وبضمنهم أحد كاتبي هذا المقال، منبعاً مستقراً يصدر رتلاً من النبضات الفوتونية المفردة عن طريق إثارة مركز NV في

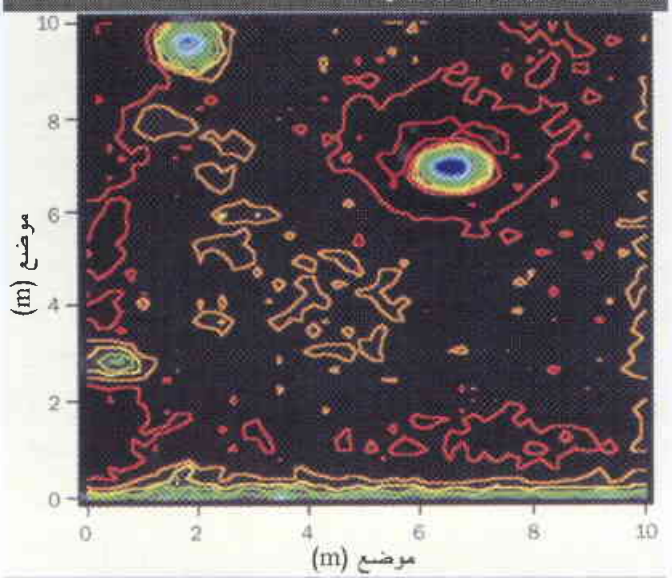


الشكل1- تجاويات الأجواف المكروية

(a) صورة من مجهر إلكتروني ماسح لسلسة من الأجواف القائمة المكروية.
(b) تصدر نقطة كمومية InAs فوتونات (مرسومة بدائرة صفراء)، وهي محطورة في مركز الجوف المكروي حيث إنها تتجاوب مع النمط الأساسي للجوف. ستتوزع هذه الفوتونات في قنوات بسورة متميزة وفقاً لذلك النمط- تبعاً لأثر بورسل - وتولد حزمة عالية التوجه (السهم البرتقالي).

بلّورة نانوية من الألماس بواسطة ليزر حالة صلبة صغير (الشكل4). والمنظومة ككل هي نبيطة من الحالة الصلبة المتراصّة بصورة معقولة والتي تعمل عند درجة حرارة الغرفة. وبهذه النبيطة تمكن بيفيراتوس وزملاؤه من عرض خطة كاملة لتوزع مفاتيح كمومية كان فيها عدد النبضات التي تحتوي على فوتونين أقل بـ14 مرة من تلك التي فيها منبع ليزر موهون. و هذا الأمر يجعل الاعتراض بواسطة الهجمات "بفوتونين" مستحيلاً من الناحية العملية. لذا فإن الهاتف المعمّى (المشفّر) cryptographic exchange متين ويعمل

الشكل 4- مراكز شواغر النتروجين في الماسة.



يمثل هذا المسح المجهري ثنائي البعد بلورتين نانويتين من الألماس معتدتين على مرآة كهرثاقذية dielectric تبين مركز شاغر نتروجيني (NV) مفرد. الصورة ملونة تلوينا كاذبا وقد تم الحصول عليها بمسح العينة بليزر. تم تسجيل سوية الفلورة عند كل نقطة باستخدام ثنائي ضوئي ليهوري (APD). بعد الفوتونات. الذروة الأساسية هي الفلورة (باللون الأزرق الغامق) هي البلورة النانوية الألماسية التي تحتوي على المركز NV المستخدم في تجربة QKD لكاتبي هذا المقال.

بشكل جيد بالنسبة لفقد الإرسال، وينبغي أن تؤمن التحسينات المستقبلية منبعاً أحادي الفوتون فعّالاً وموثوقاً وسهل الاستعمال، وسيشكل هذا قطعة أساسية من عتاد حاسوبي hardware لمفتاح توزيع كمومي عملي.

الطريقة البديلة لتجنب هجمات الفوتونين tow-photon attacks هي استخدام حيلة الفوتونات المفردة "الرائدة" heralded single photons التي طبقها لأول مرة في عام 1986 ماندل Mandel وأحد مؤلفي هذا المقال بصورة مستقلة. تم في هذه الطريقة توليد أزواج من فوتونات مزدوجة twin photons بعملية ضوئية لا خطية تدعى التبديل الوسيطي الخافض للتواتر parametric down-conversion التي يؤدي فيها كشف فرد واحد من زوج الفوتونات إلى تعيين حالة توْمه. إن هذا "التشابك" الميكانيكي الكمومي بين الفوتونات التوءمية (المزدوجة) قد تم استثماره من قبل نيكولاس جيزين N. Gisin من جامعة جنيف ومن قبل أنتون زايلنجر A. Zeilinger والعاملين معه في جامعة فيينا. ورغم أن هذه النبائط تولد فوتونات على فترات غير منتظمة، وبمعدلات تتحكم بها قيود تقنية عديدة، إلا أنها تؤمن خططاً ممتعة لمفاتيح توزيع كمومية QKD.

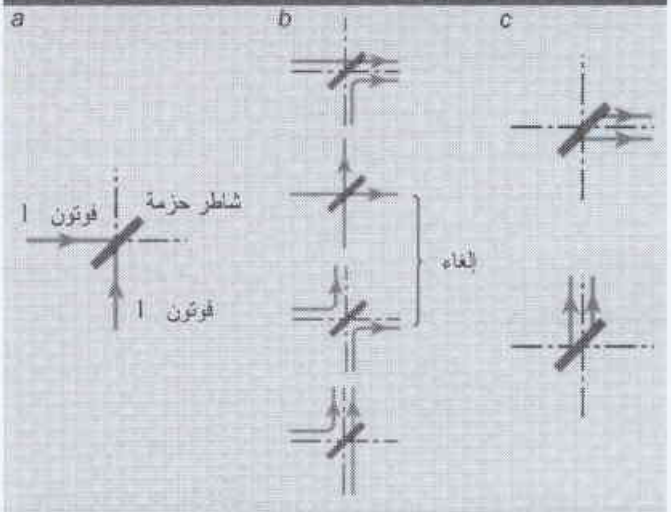
يمكن إنتاج الفوتونات المفردة أيضاً من ذرات مأسورة مفردة أو أيونات في أجواف ذات دقة عالية، وهذه أكثر تعقيداً عند تطبيقها من النقطة الكمومية أو تقنيات المراكز NV ولكنها تستطيع أن تنتج فوتونات مفردة لها مجال من الخصائص الطيفية. وقد تمكن أكْسل كوهن A. Kuhn وجرهارد رِمْب G. Rempe من معهد ماكس بلانك للضوئيات الكمومية في ألمانيا من تحقيق ذلك بإسقاط ذرات باردة في جوف ذي دقة عالية. ولدى سقوط هذه الذرّات، تصدر كل ذرّة نفثة من نبضات أحادية الفوتون بعد إضاءتها بسلسلة من نبضات ليزر موجهة بعناية.

الفوتونات المندمجة

لقد شهدت مقترحاتٌ عديدة بشبكات فوتونية كمومية ضوئية بالكامل تحسينات حديثة. إن هذه الشبكات قائمة على فوتونات أحادية لا متمايزة تلعب دور "بتات كمومية qubits" طائرة تحمل معلومة من عقدة إلى عقدة. ويمكن لهذه الأفكار أن تتوسع باتجاه حاسوب كمومي مكتمل كلياً، باستخدام خطة كان قد اقترحها حديثاً إيمانَويل كنيل E. Knill وريموند لافلام R. Laflamme من مختبر لوس ألاموس وجيرالد ميلبورن G. Milburn من جامعة كوينزلاند. ولكي تعمل مثل هذه الخطط يجب أن تكون الفوتونات لا متمايزة أي أنها يجب أن تكون في النمط الأحادي نفسه للحقل الكهرمغنطيسي. إن معظم منابع الفوتونات المفردة التي ذكرت هنا تُنتج فوتونات تنتشر بصورة غير مترابطة في العديد من أنماط حقل الإشعاع. ورغم أن هذه ليست مشكلة في QKD، إلا أن هذه الفوتونات لا تمتلك الخصائص الصحيحة للقيام بالحوسبة الكمومية.

إذاً، كيف نفهم حقيقة أمر الفوتونات اللامتمايزة؟ يكمن الجواب في أثر تداخل كمومي مذهل كان قد تنبأ به لأول مرة عام 1987 ماندل والعاملون معه. يقضي هذا الأثر بإرسال فوتونين إلى شاطر حزمة (الشكل 5a) حيث إنه عندما ينفذ أحد الفوتونين، فإنه ينتهي بالضبط في النمط نفسه كما في الفوتون الآخر المنعكس، يبين الشكل 5b التركيبات الأربعة الممكنة للفوتونين النافذين أو المنعكسين. تُلحق، في ميكانيك الكم، سَعة احتمال بكل تركيب من التركيبات الأربعة وينبغي أن تضاف هذه السعات كي تعطي الحالة النهائية للمنظومة. وعلى كل حال، وبسبب كون الرسمان البيانيان الأوسطان متماثلين وكون سعتاهما متعاكستين في الإشارة، فإنهما يفنيان بعضهما بعضاً. وتكون النتيجة الفورية للتركيبين الباقيين هي أنه ينبغي للفوتونين أن يذهبا في حزمة خرج واحدة. فهما "يندمجان coalesce" لدى التقائهما عند شاطر الحزمة ليشكلا حالة فوتونين أي حالة الطاقة المثارة الثانية للنمط الموافق للحقل الكهرمغنطيسي المكمّى.

الشكل 5- فوتونات متدمجة



(a) عندما يدخل فوتونان أحاديا النمط شاطر حزمة 50-50، تكون النتيجة أنهما إما أن ينفذا من الشاطر أو ينعكسا عليه. ويمثل الجزء (b) من الشكل مختلف السيناريوهات المختلفة المحتملة يمكن للفوتونين أن ينفذا معاً أو ينعكسا معاً. لكن هذين السيناريوهين يلغي أحدهما الآخر في الحساب الكمومي. والسيناريو الوحيد المسموح به هو السيناريو المبين في الجزء (c) من الشكل- على الفوتونين أن يذهبا إلى حزمة الخرج ذاتها.

لكن ثمّة توضيح بسيط. فلقد استخدمت في تجربة ماندل أزواج من فوتونات مضاعفة، كان قد تم توليدها آنياً باستخدام تبديل وسيطي خافض للتواتر. لذا فمن الممكن أن نناقش بأن الفوتونين قد "عرفا" بعضهما قبل أن يلتقيا عند شاطر الحزمة، لأنهما كانا توءمين إذ إنهما تولّدا في حادثة واحدة. والسؤال بعدئذ هو هل من الممكن أم من غير الممكن أن نحصل على الأثر الاندماجي نفسه باستخدام فوتونات صادرة بصورة مستقلة بالفعل؟ الجواب من وجهة نظر ميكانيك الكم على هذا السؤال هو نعم، الأمر الذي يعدّ خبراً طيباً بالنسبة لـ كنيل، ولافلام وميلبورن لأن التداخل بين فوتونات صادرة بصورة مستقلة هو بالضبط ما تتطلبه خطتهم لمعالجة المعلومات كمومياً.

إنها تبدو أيضاً مشجعة من الناحية التجريبية. وحديثاً جداً استخدم تشارلز سانتوري Ch. Santoi وزملاؤه في ستانفورد منبعاً فوتونياً من نقطة كمومية مفردة في جوف مكروي نصف ناقل للتدليل على اندماج (التحام) الفوتونين اللامتمايزين ولكن المتولدين بصورة مستقلة. يمكن النظر إلى هذه التجربة كما لو أنها خطوة أولى نحو تحقيق البوابات المنطقية الكمومية الشرطية التي نحتاج إليها في الحوسبة الكمومية القائمة على الفوتونات. لكن ينبغي أن لا يُقلّل من قيمة الصعوبات. إن معدلات الخطأ في النبائط الراهنة ستكون أكبر من أن تلعب الكودات الكمومية المصححة للخطأ دوراً فعّالاً. وبالإضافة إلى ذلك فإن عدد الفوتونات المتداخلة واللازمة لتحقيق حوسبة مفيدة هو عدد ضخم، وإن استكمال النبائط سيتطلب مقدرات تقانية تقع خارج نطاق تلك المتوفرة حالياً.

فوتونات متشابكة تحت الطلب

كما رأينا من قبل، توجد لأزواج الفوتونات الصادرة في عملية تبديل وسيطي خافض للتواتر تطبيقات عديدة في الضوئيات الكمومية نذكر منها: تحضير مشروط لحالات فوتونية مفردة، ومفاتيح توزيع كمومية، وتحضيرها في حالة متشابكة. وآخر هذه التطبيقات تَعِد بتطبيقات بعيدة النطاق، ولكن علينا أولاً أن نكون قادرين على إنتاج فوتونات متشابكة تحت الطلب وليس مجرد فوتونات مفردة فقط.

عندما يكون فوتونان اثنان متشابكين فإن حالتيهما تكونان دوماً متعالقتين بغض النظر عن كيف نقرر أن نقيسهما، إذ إن الفوتونين يشكلان جسماً كمومياً مفرداً. وعلى سبيل المثال، سيبدي زوج من الفوتونات المتشابكة بالاستقطاب تعالقات في كل عنصر استقطاب أساسي ممكن. هذه التعالقات بين الفوتونات التي تفصلها مسافات بعيدة تكون قوية جداً يصعب تفسيرها بأي نموذج تقليدي، ويقال بأنها تنتهك "متراجحات بِل Bell`s inequalities". وتبين هذه المتراجحات بأن ميكانيك الكم لا يمكن ترويضه مع مفهوم "الواقعية المحلية"، الذي يبقى صحيحاً دائماً في الفيزياء التقليدية.

في معالجة المعلومات كمومياً، يُعد التشابك الكمومي مورداً لأنه لا يمكن أن يُخلق بأفعال محلية على فوتونين بعيدين. يسمح لنا التشابك أن ننجز مهام محددة كالنقل من بُعْد لحالة الاستقطاب (غير المعلومة) لفوتون ثالث. إن أزواج الفوتونات المتشابكة تؤمن أيضاً طريقة لما يسمى مكرّرات كمومية quantum repeaters، ستسمح بتطوير الخطط من أجل توزع مفاتيح كمومية على مسافات طويلة عشوائية. وفي الوقت الراهن، فإن المنبع الرئيس لأزواج الفوتونات المتشابكة هو حوادث فلورة وسيطية parametric-fluorescence events، ولكن هذه عملية عشوائية بصورة رئيسية، وبالطريقة نفسها. ولما كان توليد الفوتونات المفردة الحتمي deterministic single photon generation مفيداً، فإن إنتاج زوج الفوتونات الحتمي deterministic photon-pair production سيسمح بتطوير بروتوكولات اتصالات كمومية جديدة.

من الأفكار التي تبين كيفية الوصول إلى ذلك هي أن نستخدم نسخة مُحسَّنة من تقنية موطّدة بشكل جيد تعرف باسم شلال مشع radiative cascade– وهي إصدار الفوتونات عندما يهبط إلكترون بصورة متتالية من حالات ذرّية عالية إلى أخرى منخفضة. لقد استُخدِم الشلال المشع في السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين للقيام باختبارات تجريبية لمتراجحات بِل، إذ قام جون كلاوزر J. Clauser بذلك أول مرة في بِرْكلي ثم تبعه بعد ذلك أليف أسْبِكْت A. Aspect والعاملون معه في أورسي. وعلى كل حال، وبدلاً

من استخدام منبع مكون من ذرات عديدة، كما في التجربة الأصلية، فقد استخدم شلال مشع يعطي فوتونين ناتجين من مصدر مفرد.

لقد بينت المجموعات في ستانفورد وCNRS أن النقطة الكمومية تَعْرض بالفعل شلالاً كهذا من انتقالات مشعة بين حالاتها الإلكترونية. إن التجارب الأولية، على كل حال، لم تولّد النتائج التي كان يؤمل بها. فالفوتونات التي صدرت أبدت تعالقات في أساس واحد فقط للاستقطاب. وبعبارة أخرى، فقد اعتُبرت كما لو كانت أجساماً تقليدية ولم تكن متشابكة تشابكاً ميكانيكياً كمومياً. يبدو كما لو أن عمليات إزالة الترابط decoherence في النقطة الكمومية تخرّب التشابك وبسرعة. إن استثمار أثر بورسل لإنقاص العمر المشع إلى زمن أقل من الزمن الذي يستغرقه حدوث عدم الترابط ينبغي أن يسمح، من حيث المبدأ، بتوليد أزواج الفوتونات المتشابكة حسب الطلب.

* * *

في حين يبقى الهدف البعيد لبناء حاسوب كمومي أمراً بعيدَ المنال، فإن الهدف على المدى المتوسط لهذه التجارب هو أن نطور شبكات اتصال كمومية بعيدة المدى. وسيسمح هذا على وجه الخصوص بتحقيق منظومات QKD على مدى مسافات كبيرة كيفية. ويمكن للمرء أن يفكر أيضاً ببروتوكولات أكثر إتقاناً تكون قادرة على الإسهام بسرّ كمومي بين مستخدمين كثيرين بدلاً من اثنين. وفي الوقت الراهن فإن مثل هذه الأفكار بعيدة جداً عن التحقيق، لكنها واحدة من الجوانب الساحرة العديدة للمعلومات الكمومية: فهي تسمح لنا أن نتحرك بصورة مستمرة من العلم إلى الخيال العلمي، ونعود ثانية.

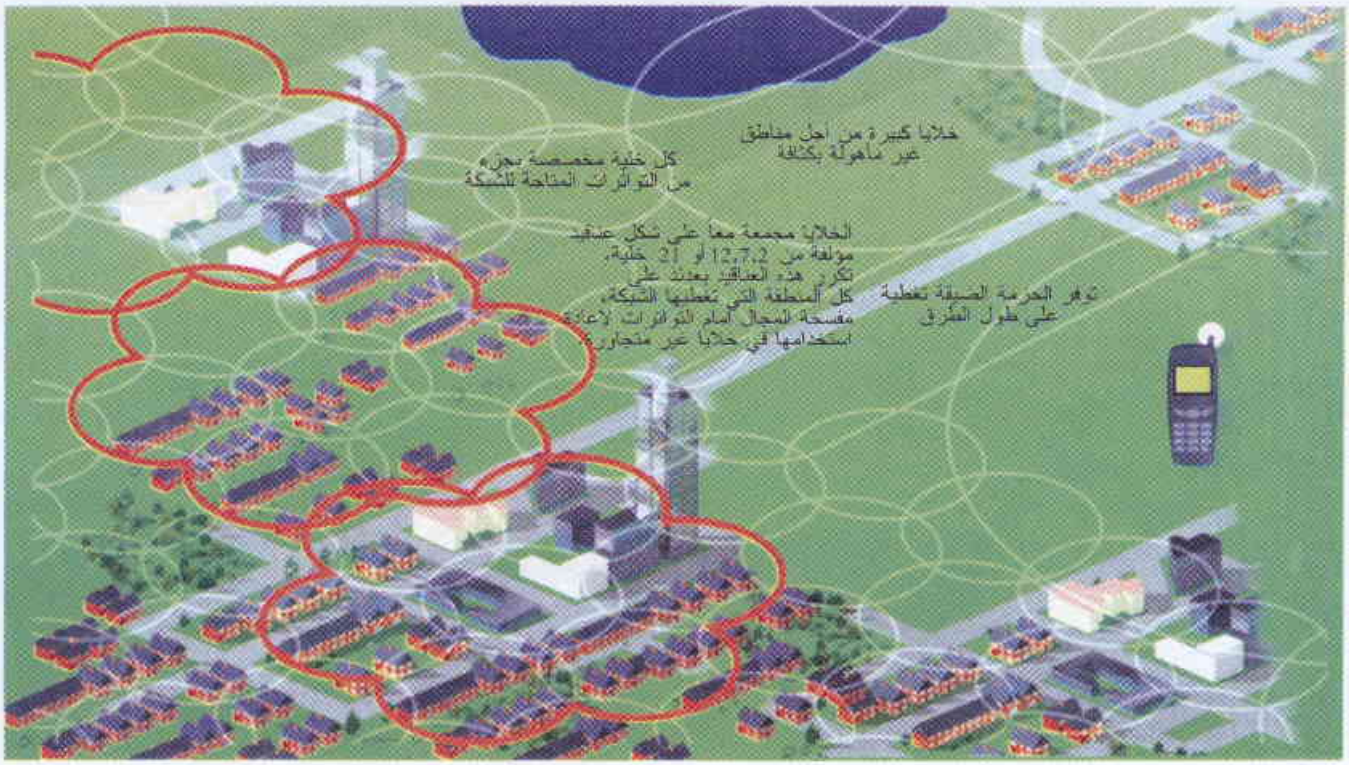
هل تريد أن تتحدث؟★

إ. سامبل

ملخص

إذا انقطعت بك السبل في منتصف الطريق أو إذا واتتك الرغبة في التحدث فقط، فإن الهاتف النقّال هو الصديق الأوفى. يوضّح هذا المقال كيف يقوم صندوق الحيل الصغير البارع بهذا العمل.

الكلمات المفتاحية: تماثلي، رقمي، هاتف نقّال، قنوات المرور، موجة حاملة، مفتاح تعمية، خلايا.



إذا كنت تملك هاتفاً نقّالاً، فكيف تعتقد أنك ستتصرّف بدونه؟ في دراسة حديثة، قامت جمعية المستهلكين الإيطالية بدراسة الأثر الناشىء من حرمان 300 متطوع من هواتفهم لمدة أسبوعين. أقرّ شخص واحد تقريباً من أصل ستة أنه فقد شهيته أو أصابه الإحباط، واعترف ربع المتطوعين أن عدم استخدامهم للهاتف كان صفعة بثقتهم بأنفسهم قادتهم إلى مشاكل جنسية مع أزواجهم أو زوجاتهم.

يبدو أن الهاتف الخلوي أصبح جزءاً لا مفرَّ منه في حياتنا اليومية. يمتلك في بريطانيا حوالي 70% من السكان هاتفاً نقالاً. وفي فنلندا يمتلك 98% ممن تتراوح أعمارهم بين 18 و 24 سنة هاتفاً نقالاً. في العام الماضي تجاوز عدد المستثمرين للهواتف النقّالة في العالم المليار وفاق بذلك عدد الخطوط الأرضية لأول مرة. وليست مبالغة القول بأن تأثيرهم يؤدي إلى نشوء سلوك اجتماعي جديد وإلى آداب تعايش اجتماعية جديدة. إن القدرة على الاتصال مع أي إنسان من أي مكان ساعدت العديد من المسافرين المقطوعي السبل وأنقذت أكثر من نفسٍ تنجرف بلا أمل نحو البحر أو مفقودة في سلسلة جبلية.

ليست هذه الثورة كلها إيجابية. فالهواتف النقّالة تغري المجرمين، وتُقدّر دائرة الشرطة البريطانية أنه في كل ثلاث دقائق في المعدّل تتم سرقة هاتف نقّال. وتتضمن حوالي ثلث السرقات في لندن سرقة هاتف نقّال. وما تزال هناك تساؤلات حول أثر الاستعمال الطويل الزمن الناتج من الضغط المنتظم للهاتف النقّال على الأذن وبخاصة بالنسبة للأطفال (انظر المؤطر1).

ربما كانت شعبية الهواتف النقّالة نتيجة مباشرة لقرار صناعي

★ نُشر هذا المقال في مجلة New Scientist, 15/7/2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

المؤطر 1 هل هناك مخاطر صحية؟

أنجز عدد كبير من التجارب لمعرفة ما إذا كان الإشعاع الكهرطيسي (EM) الصادر عن الهواتف النقّالة وعن المحطات الأساسية يستطيع أن يضر بصحتنا. وبينما لا يوجد هنالك دليل على المخاطر، إلا أن هنالك بعض الشكوك.

يستطيع الإشعاع الكهرطيسي قطعاً أن يؤذي النسيج الحيوي، ولكن كيف بالضبط، يتوقف ذلك على تواتر الإشعاع. يستطيع الإشعاع الكهرطيسي العالي التواتر مثل الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة غاما أو أشعة X أن يحطم الروابط الكيميائية في النسيج الحي. وأما الإشعاع الكهرطيسي المنخفض التواتر فهو ضعيف جداً ليسبب هذا النوع من الأذى ولكنه يبقى قادراً على إيذاء النسيج.

تبيّن أفران الأمواج المكروية (المكروويف) ماذا يفعل الإشعاع الكهرطيسي المنخفض التواتر والعالي الاستطاعة في اللحم النيئ، وهي التي تعمل عند استطاعة تصل حتى 900 واط وتستخدم أمواجاً كهرطيسية تواترها 2.45 غيغا هرتز. ومن ناحية أخرى، تستخدم الهواتف النقالة GSM تواترات أخفض وهي محدودة باستطاعة خرج وسطية أعظمية مقدارها 0.25 واط عند 900 ميغا هرتز و 0.125 واط عند 1800 ميغا هرتز. ولكنها في معظم الأوقات تبث عند عُشر هذا فقط.

يعود الأثر الحراري للتواترات الراديوية إلى امتصاص النسج للحقل المهتز للأمواج. تمارس الحقول الكهرطيسية قوة على الأيونات المشحونة وثنائيات القطب مثل جزيئات الماء في الأنسجة، مولّدة حرارة من المقاومة الكهربائية عندما تحاول تحريك أو إعادة تدوير نفسها. بيّنت النماذج الحاسوبية أن الإشعاع الصادر عن هاتف نقال نموذجي يستطيع أن يسبب ارتفاعاً أعظمياً في درجة الحرارة يبلغ حوالي 0.1 درجة مئوية في الدماغ.

تعطي محطات أساسية يرتفع هوائيها على صارية تعلو بين 10 و 30 متراً حزماً أكثر شدة من الإشعاع الكهرطيسي. ولكن استطاعة الحزم تهبط بسرعة مع المسافة. تضرب الحزمة الرئيسة من المحطة الأساسية الأرض على بعد 50 متراً تقريباً، وعند هذه المسافة تبلغ الاستطاعة الأعظمية الناتجة من هوائي نموذجي استطاعته 60 واط نحو 100 ملي واط في كل متر مربع. ويكون التأثير الحراري من هذا أقل بنحو 5000 مرة من ذلك الناتج من هوائي الهاتف النقال.

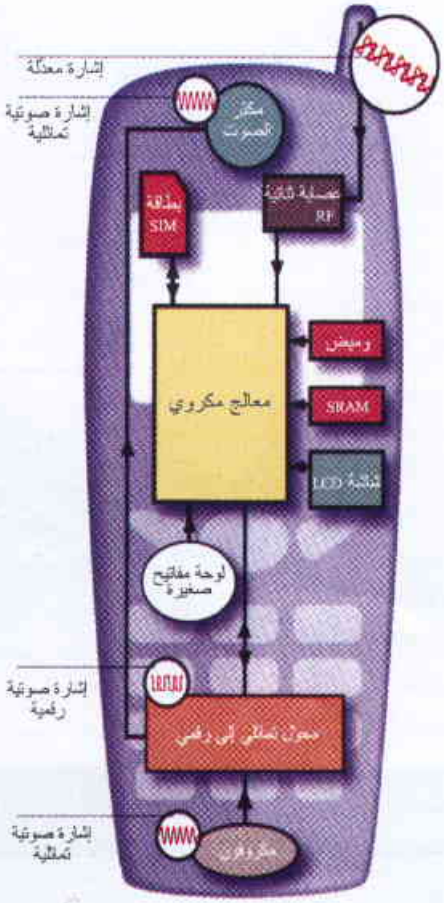
تمَّ في عام 1987 لدعم التقانة الرقمية الجديدة في أوربة. فحتى ذلك الحين كانت الهواتف النقالة – التي لم تكن تناسب سوى أكثر الجيوب سعة وقوة – تستخدم التقانة التماثلية. كانت هذه الهواتف، التي تعرف الآن بهواتف الجيل الأول، تشبه إلى حدٍّ كبير أجهزة الراديو التي يمكن توليفها على محطات الراديو التي تبث على تواتر معين، عدا أن بإمكانها أن تبث كما تستقبل. كان الحديث يحوَّل إلى إشارة كهربائية تماثلية (بخلاف الرقمية، تحمل بيانات كمجال قِيَم عوضاً عن كونها مجرد آحاد وأصفار). وكانت هذه الإشارة تستخدم بعد ذلك "لتعديل" موجة راديو يطلق عليها اسم الموجة الحاملة – وهي الموجة التي تنقل الإشارة بالفعل. يتضمن التعديل رفع أو خفض تواتر الموجة الحاملة بصورة متناسبة مع الإشارة التماثلية. ويمكن بعدئذ أن يُعاد بناء الإشارة من قِبَل المستقبل وذلك بالمراقبة المتكررة لمعرفة مدى التغيير الذي طرأ على تواتر الموجة الحاملة.

لكن كان أمام الجيل الأول من الهواتف النقّالة مشاكل كبيرة. ففي بدايات الثمانينيات من القرن الماضي أنشأ العديد من الدول منظوماته الخاصة به وكانت هذه المنظومات في الغالب غير متوافقة بعضها مع البعض الآخر. ولم تكن التماثلية كفئاً كذلك فكما هو الحال في محطات بث الراديو على تواتر معين، لم يكن بالإمكان إجراء سوى محادثة واحدة على تواتر محدّد، وهذا ما حدّ بشكل قاطع من عدد الأشخاص الذين يستطيعون استخدام الشبكة مما أحدث تأثيراً قاتلاً حيث إن التكاليف لكل مستخدم كانت عالية نسبياً. كما كانت الهواتف التماثلية أيضاً عرضة للتداخل وكان من السهل استراق السمع فيما بينها، وأدّى ذلك ليس فقط إلى إفشاءات مربكة للمكالمات الخاصة بالشخصيات الحكومية المسؤولة بل وإلى "استنساخ" الهاتف. ترسل الهواتف التماثلية معلومة إلى الشبكة تخبرها من أنت (وهكذا تعرف من الذي سيدفع تكاليف المكالمة)، ولكن استراق السمع على المكالمة، يمكّن من اختلاس هويتك وبرمجة المكالمة إلى هاتف آخر، مما يستدعي تحميلك نفقات أي مكالمة من هذا الهاتف.

بدا من الواضح أنه إذا أريد للهواتف النقّالة أن تصبح شائعة يوماً ما، فإن التماثلية لا تصلح لأداء المهمة. وظهر أن

خلف الواجهة

المكونات الالكترونية للهاتف النقال



التحول إلى الرقمية هو الطريق الأفضل لتجاوز المشاكل، ولتدارك الموجة العارمة المتوقعة من المستخدمين ولتحقيق مرونة كافية للسماح بإرسال نصوص الرسائل والبيانات الأخرى.

في عام 1982، أنشأ المؤتمر الأوربي لإدارات الاتصال والبريد مجموعة الخاصة بالهاتف النقّال (Groupe Spécial Mobile GSM) لوضع معيار على نطاق أوربة من أجل الجيل الثاني من اتصالات النقّال. وقد صوَّتت المجموعة بعد خمس سنوات من الجدل والاختبار لمصلحة متابعة التقانة الرقمية، وبتبديل GSM بحيث تصبح "المنظومة العالمية من أجل اتصالات النقّال" Global System for Mobile Communications، اقترحت هذا المعيار وطلبت التبني العالمي لـــه.

وعلى الرغم من أن هنالك أنواعاً أخرى من الشبكات الرقمية في العالم، فإن شبكات GSM حالياً وإلى حدٍّ كبير هي الأكثر شيوعاً. وتقوم GSM بتزويد ما يزيد عن 70% من مجموع مستخدمي الهواتف النقّالة الرقمية، وهي المنظومة الوحيدة المستخدمة في جميع أنحاء أوربة وأستراليا والعالم العربي وما وراء الصحراء الإفريقية، كما إنها الشبكة السائدة في آسيا وتغطي أيضاً أمريكا وعدة بلدان من أمريكا الجنوبية.

ترسل وتستقبل شبكات وهواتف GSM في أوربة بيانات على أمواج الراديو عند التواترات 900 أو 1800 ميغا هرتز تقريباً. أما التواتر المستخدم في الولايات المتحدة فهو نحو 1900 ميغا هرتز. صُمِّم العديد من الهواتف النقّالة لتعمل في بلدان أخرى وهي إما "ثنائية العصابة" مما يعني أنها تعمل على شبكات 900 ميغا هرتز و 1800 ميغا هرتز، أو "ثلاثية العصابة" مما يعني أنها يمكن أن تعمل أيضاً على شبكات 1900 ميغا هرتز.

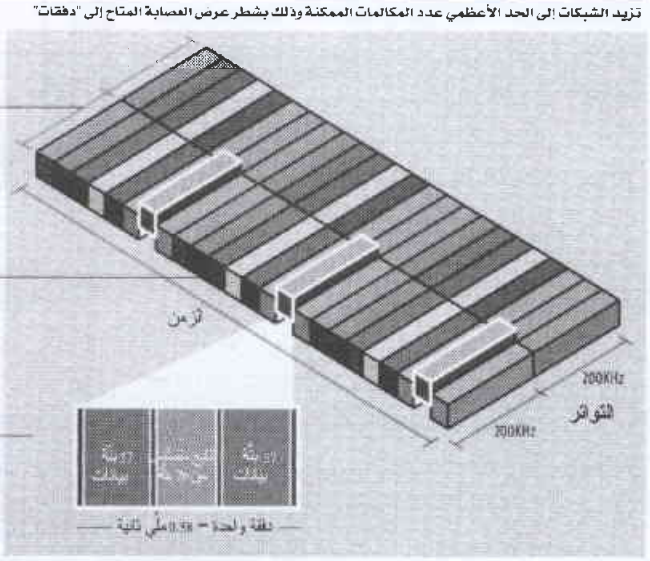
يُخصَّص في كل شبكة GSM مجالان للتواتر أو عصابتان تصل كل منهما حتى 25 ميغا هرتز. تَستخدم الهواتف إحدى العصابتين حتى تتصل مع الشبكة، وتُستخدم العصابة التالية من قِبَل الشبكة للاتصال مع الهواتف. تكون سعة كل عصابة محدودة، ولهذا إذا كان على كل شخص اكتتب مع شبكة في فرنسة مثلاً أن يستخدم تواتراً معيناً لكي يجري المكالمة فإن دفقتي 25 ميغا هرتز المخصَّصتين إلى فرنسة ستُستهلكان بسرعة عند الاستعمال. وهكذا استنبط مشغِّلو الشبكات طرق استخراجٍ تفوق ما يتيحه عرض العصابة القليل.

اقتُبست الحيلة الأولى من المنظومات التماثلية القديمة وتتضمن تقسيم جميع المنطقة التي تغطيها الشبكة إلى شبكة من الخلايا (انظر الشكل). يستطيع أناس في خلايا مختلفة أن يستخدموا التواترات نفسها بدون أن تتداخل مكالماتهم. لكل خلية محطة أساسية ترسل وتستقبل الإشارات على قسم ضئيل فقط من التواترات التي بإمكان مشغِّل الشبكة الدخول إليها. ولتجنّب التداخل يجب أن تستخدم الخلايا المجاورة تواترات مختلفة، ولهذا تمَّ تقسيم طيف الراديو المُتاح فعلاً بين تجمعات الخلايا، وبهذه الطريقة يمكن إعادة استخدام التواترات في تجمعات خلايا أخرى، مما يسمح لعدد أكبر بكثير من المستخدمين أن يكونوا على أمواج الهواء بدون أية مخاطرة من تداخل إشاراتهم.

تُحدد استطاعة المحطة الأساسية حجم خلاياها. ففي المناطق القليلة السكان تُستخدم المحطات الأساسية العالية الاستطاعة لإنتاج خلايا فائقة (hyper cells) يمكنها أن تؤمن تغطية دائرة نصف قطرها نحو 20 كيلومتراً. وأما في المناطق الكثيفة السكان كالمدن، فتُنتج المحطات الأساسية المنخفضة الاستطاعة خلايا مكروية تغطي عادة منطقة نصف قطرها من 50 إلى 300 متر. وبينما يُعتقد غالباً أن الخلايا دائرية فإنها يمكن أن تكون أيضاً طويلة وضيقة. يتم الحصول على هذه الخلايا الانتقائية أو الخلايا الموجهة بواسطة المحطات الأساسية التي ترسل حزماً ضيقة عند المداخل إلى الأنفاق أو على طول الطرقات في المناطق الريفية. ولاستخراج سعة تفوق الأمواج الهوائية المُتاحة، تُقسَّم كل عصابة إلى أمواج حاملة عرض كل منها 200 كيلوهرتز (انظر الشكل). يُطلق على تقسيم الطيف بهذا الشكل "المدخل المتعدد لتقسيم التواتر" Frequency Division Multiple Access(FDMA) وتنشطر كل موجة حاملة بعد ذلك مرة ثانية. ولكن بدلاً من أن تُقسّم حسب التواتر فإنها تُقسّم إلى ثمانية شقوق زمنية متساوية يُطلق عليها اسم دفقات bursts، حيث تدوم كل دفقة أقل من نصف ملّي ثانية. يُطلق على هذه المنظومة اسم المدخل المتعدد لتقسيم الزمن Time Division Multiple Access (TDMA). تمثل كل دفقة قناة جديدة، وهكذا يمكن أن تتم ثماني مكالمات في الوقت

تحصيص الأمواج الهوائية

تزيد الشبكات إلى الحد الأعظمي عدد المكالمات الممكنة وذلك بشطر عرض العصابة المتاح إلى "دفقات"



نفسه على تواتر موجة حاملة واحدة. يحتاج هاتفك النقّال فقط أن يعرف أي تواتر يجب توليفه عليه وأي رقم دفقة في الإطار المتكرر يُمثل القناة التي يمكن أن يستخدمها.

هنالك نوعان من القنوات مستخدمان في GSM، قنوات التحكّم control وقنوات المرور traffic. **قنوات التحكم** مسؤولة عن أعمال الإدارة وتأمين الخدمات مثل إشعار النقّال حين تصل المكالمة وأي تواتر يجب استخدامه. ففي أي حين يُشغّل هاتفك النقّال تسجل الشبكة في أية خلية أنت. وعندما تصل مكالمة ترسل الشبكة رسالة إلى هاتفك في الخلية التي سجّلت فيها آخر مرة وكأنك فيها، وعادة إلى مجاوراتها المباشرة. وإذا خرجت عن مجموعة الخلايا تلك، فإن شبكتك سوف تكون قد سجلت ذلك. وإن لزم الأمر، يمكن تحديد موقع هاتفك حتى بدقة أكبر، لا تتعدى عشرات الأمتار. وتقوم الشبكة بذلك بمقارنة الزمن اللازم لوصول إشارة من هاتفك إلى ثلاث محطات أساسية أو أكثر من المحطات الأقرب إليك.

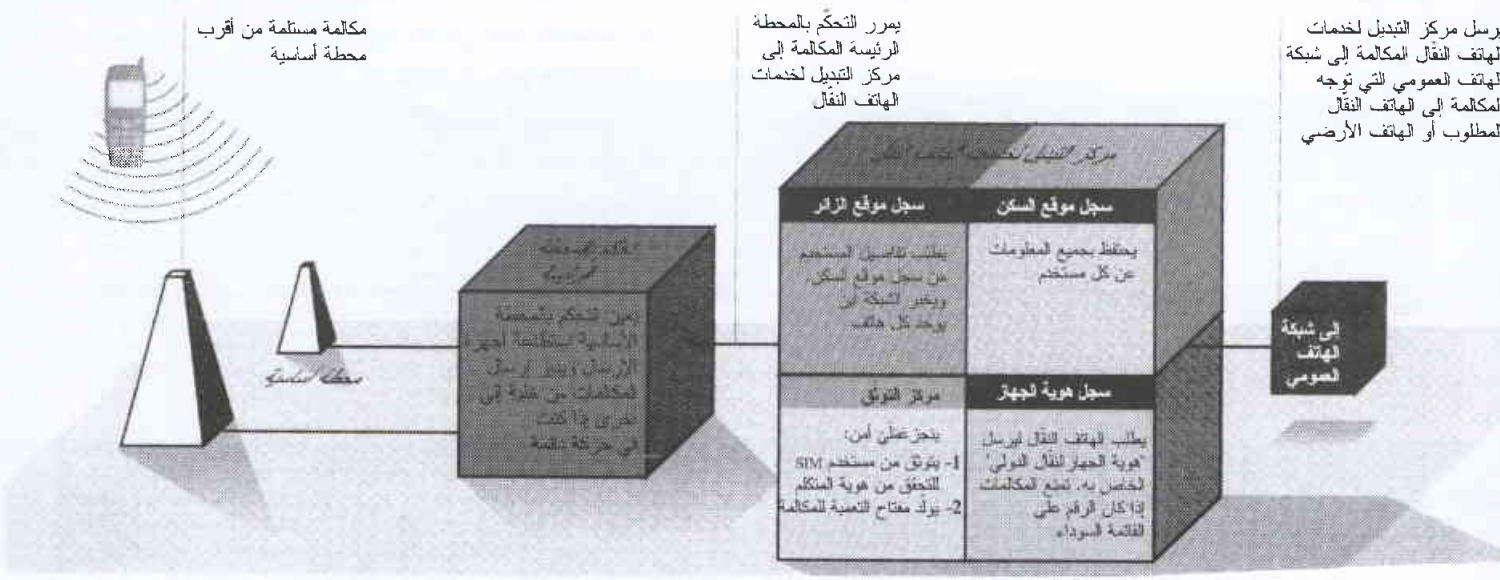
يجب أن تُسلّم المكالمة في الغالب إلى خلية مجاورة عندما يتجول مستخدم الجهاز، وبخاصة في المدن حيث تستخدم عادة مجموعات كبيرة من الخلايا المنخفضة الاستطاعة. ولتأمين أعمال التسليم هذه، يراقب الهاتف بشكل دائم قناة بث التحكّم من 16 خلية مجاورة. ويستنتج الهاتف النقّال أي الإشارات هي الأقوى، ويرسل قائمة بالإشارات الست الأولى إلى المحطة الأساسية المرتبط بها في الوقت الحاضر. وفي التشغيل العادي، تقوم الهواتف باستمرار بتعديل استطاعة أمواج الراديو التي ترسلها لتكون على الدرجة الأدنى اللازمة لاستلام المحطة الأساسية إشارةً واضحة. وإذا ما ابتعد الهاتف عن محطته الأساسية بحيث لا تعود تقوية الاستطاعة قادرة على تحسين الإشارة، فإن الشبكة تراجع القائمة وتبعث إلى أية خلية مجاورة تستطيع استلام أفضل إشارة. لكن المنظومة ليست معصومة عن الخطأ وهذا ما تكتشفه إذا ما قمت بإرسال مكالمة من قطار متحرك.

قنوات المرور ـ تمثّل النوع الثاني من القنوات ـ وتستخدم في حمل المكالمات أو البيانات الأخرى من الهاتف النقّال إلى المحطة الأساسية وبالعكس. يُحمل الصوت أو بيانات النص في قناة المرور على شكل دفقات، يحوي كل منها متواليتين متتابعتين من البتّات (سلسلة من الإشارات تُمثل الآحاد والأصفار)، يبلغ طول كل منها 57 بتّة. ولكن بين هذه المتواليات من البيانات تحمل الدفقة متوالية أخرى من البتّات يُطلق عليه اسم تتالي التعليمات training sequence التي تسمح للهواتف الرقمية تجاوز إحدى المشاكل التي هي مصدر إزعاج للهواتف التماثلية. تقفز أمواج الراديو فوق الأشياء مثل الأبنية والتلال، وهذا ما يمكن أن يسبب تداخلاً في الهواتف التماثلية لأن ذلك يعني أن الأمواج من المحطة الأساسية تتّبع مسارات مختلفة ذات أطوال مختلفة في طريقها إلى الهاتف، ولهذا يصل بعضها متأخراً عن الآخر. تتجنب الهواتف النقّالة هذه المشكلة بمقارنة تتالي التعليمات التي تستلمها مع نسخة من التتالي المخزون في ذاكرتها. وعندها يستطيع الهاتف أن يحل مسألة كيف أن التداخل قد أفسد الإشارة ويقوم بتصحيحها. وأما التداخل في بيانات الصوت فيُزال باستخدام التصحيحات نفسها.

عند تصميم منظومة GSM، كان الأمن مسألة كبيرة. المهم هو أنه كلما استخدمت هاتفك، هناك سلسلة معقدة من التحقق يجب القيام بها للتأكد من أشياء ثلاثة: أولها أنك أنت الذي يقول من أنت، وثانيها أن مكالمتك أو البيانات الأخرى معماة تحول دون مختلسي السمع من التقاطها، وثالثها أنه عند سرقة هاتفك النقال أو فقده فإنه لن يفيد أي شخص آخر. وما يجعل الهاتف النقّال خاصاً بك وحدك هو بطاقة Subscriber Identity module SIM (وحدة هوية

إجراء مكالمة

كيف تعرف الشبكة من أنت وأين أنت عندما تجري مكالمة



المشترك) التي تكون بحجم الطابع البريدي والتي تُدخل في الجهاز. إن الحفاظ على هذه البطاقة شيء مهم جداً فأنت، بالنسبة للشبكة، بطاقتك SIM. إنها تحمل أرقاماً سرية تخبر الشبكة من أنت وتنفذ حسابات حيوية تؤكد هويتك وتعمّي مكالماتك.

عندما تستخدم الهاتف للمرة الأولى بالذات، فإنه يرسل رقماً محمولاً على بطاقتك SIM يسمى هوية مشترك الهاتف النقّال الدولي International Mobile Subscriber Identity(IMSI) إلى الشبكة التي تبحث عنه في قاعدة البيانات للتأكد من أن البطاقة مسجّلة. فإذا ما تمّ التعرّف على الهوية IMSI تشكّل الشبكة رقماً آخر يدعى هوية مشترك الهاتف النقّال المؤقتة (TMSI)، وهو رقم معمّى تعيده الشبكة إلى الهاتف. وفي جميع المكالمات اللاحقة، يعرّف الهاتف نفسه بإرسال الرقم TMSI. وهذا يضع على قدم وساق سلسلة من عمليات التوثّق المتقن والأمن (انظر الشكل).

وحالما يتم إرسال TMSI، تجد الشبكة الهوية IMSI المقابلة لهاتفك، التي تخبرها أي الخدمات اشتركت بها، مثل أخبار الساعة وما إلى ذلك. هنالك قسم من الشبكة يدعى مركز التوثّق يرسل بعد ذلك عدداً عشوائياً إلى هاتفك. يُدخَل هذا الرقم مع رقم توثّق سري يوجد على البطاقة SIM إلى خوارزمية (وهي توالي توابع رياضية) ولاستخراج رقم جديد. يعيد الهاتف هذه النتيجة إلى الشبكة. وفي غضون ذلك، تجري الشبكة الرقم العشوائي نفسه وكود توثّق المستخدم خلال الخوارزمية نفسها لتعطي نتيجتها الخاصة بها. فإذا ما تماشت النتيجتان، يفتح الطريق أمام الهاتف على مصراعيه. وباستخدام هذه المقاربة المتقنة "التحدي والجواب" يمكن التحقق من هوية المستخدم من دون أن يرسل الهاتف كود توثّقه السري أبداً. إذ لو أذيع هذا الكود في أي وقت، أو حتى إذا عرفه المستخدم، فمن الممكن استخدامه لإجراء مكالمات خادعة على الشبكة.

ولتوليد مفتاح تعمية من أجل تكويد أو حلّ كود البيانات المرسلة والمستلمة أثناء الاتصال اللاحق، تدخل بطاقة SIM العدد العشوائي من الشبكة ورقم التوثّق إلى خوارزمية أخرى.

وثمّة تحقق أمني آخر يضمن أن المستخدم لا يجري مكالمته من هاتف مسروق. فبصورة دورية، توجّه الشبكة إشارة إلى الهاتف تطلب منه أن يرسل رقم هوية الجهاز النقّال الدولي International Mobile Equipment Identity(IMSI) المحفوظ في ذاكرته. تقوم الشبكة بالتحقق من هذا في سجل هوية الجهاز. فإذا كان الهاتف في قائمة المسروقات، فإن الشبكة تقطع الاتصال. يستخدم جميع مزودي الشبكة في بريطانيا سجلاً عاماً، وهكذا يمكن حظر الهاتف المسروق من جميع المزودين في الحال. ويمثّل رقم IMEI الرقم الذي من المفروض أن تدونه لديك عندما تشتري هاتفك.

وفي حين أن شبكات GSM صُمِّمت مبدئياً لتداول الاتصالات الصوتية إلا أنها بشكل متزايد حملت أشكالاً أخرى من البيانات. فالرسائل النصّية، التي تسمح بإرسال مقاطع من النصوص يصل طولها إلى 160 رمزاً (حرفاً)، اعتبرت انتصاراً كبيراً حيث يجري إرسال 50 مليون نص كل يوم في بريطانية وحدها. وقد أدى استخدام النصوص إلى مسارد مبسطة من أجل الاتصالات، وإلى تجديدات مثل اختيار النص ونشرات الأخبار، إضافة إلى عدد لا بأس به من ضروب الحِيَل.

المؤطر 2 لا يمكن للأشياء إلا أن تصبح أسرع

مع قدوم إرسال الصور، أصبحت الدعوة من أجل معدلات نقل بيانات محسنة أعلى صوتاً. ترسل هواتف GSM الأساسية وتستقبل البيانات بشكل رديء 9.6 كيلوبتة في الثانية (kbps). وهذا ما دعا إلى تطوير منظومات جديدة.

أطلق على إحدى أوائل هذه المنظومات اسم البيانات المبدلة بالدارات العالية السرعة High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) ، التي سمحت للمستخدمين باستلام تقريباً ما يزيد عن خمسة أضعاف من البيانات وذلك بإعطائهم منافذ إلى أكثر من قناة. ولسوء الحظ، وبسبب أن القنوات المتعددة مخصصة لمستخدم واحد، فإن HSCSD تستنفد بسرعة عرض العصابة المتاحة لخلية واحدة.

ومن بين الطرق الأخيرة لبلوغ معدلات نقل بيانات أعلى هي منظومة تدعى الخدمة الراديوية الرزمية العامة General Packet Radio Service (GPRS) وهذه أيضاً تسمح لكل هاتف أن يستخدم عدة أقنية، ولكن هذه الأقنية تكون بمشاركة عدة مستخدمين. تقسّم البيانات ببساطة إلى حزم، ثم توسم بعنوان المرسل إليه وتبث عندما تكون القناة حرّة. ثم تتجمع البيانات معاً عند الطرف الآخر. ويمكن نظرياً أن تقدم سرعة حتى 171 كيلوبايت / الثانية.

وأما الجيل الثالث المتأخر جداً من الهواتف النقالة، أو 3G، التي يمكن أن تتوفر أخيراً في أواخر هذا العام، فإنها تعدُ حتى بمعدلات نقل بيانات أسرع. وستستخدم هذه إما منظومة اتصالات النقال العالمية Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) التي استنبطت من المنظومة الحالية GSM، أو منظومة أخرى تسمى CDMA2000 القائمة على أساس المعيار 95-15 الشائع في أمريكا الشمالية والجنوبية. ستكون كلتا المنظومتين ذات تبديل رزمي وترسل البيانات مستخدمة "المدخل المتعدد لتعتيم الكود" الذي يمكّن الدفقات من حمل عدة إشارات بوقت واحد. ويتوقع أن تصل معدلات النقل الأعظمية حتى 2 ميغابتة في الثانية من أجل UMTS و 70 كيلوبتة من أجل CDMA2000. وهذا يجعل الاتصال الهاتفي الفيديوي ممكناً من الناحية النظرية.

من الممكن أيضاً الدخول إلى صفحات شبكة الويب من بعض الهواتف النقالة على الرغم من أن شاشاتها صغيرة. كان أول نمط دخول تمّ تطويره هو بروتوكول تطبيقات اللاسلكي Wireless Application Protocol (WAP). ولكن لم يكن بالإمكان تحميل سوى الصفحات التي تمّ تحويلها إلى الشكل WAP. وهذا ما يحدّ بشكل كبير من الصفحات المتاحة، ويمكن في الوقت الحاضر عرض النص فقط. ونظراً لأن سرعة تحميل البيانات بطيئة، إذ يتطلب تحميل صفحة واحدة دقيقة، فإن "التصفح" بواسطة WAP مضيعة للوقت وغالي الثمن. (انظر المؤطر 2).

إن الهواتف I-mode التي لاقت نجاحاً باهراً في اليابان، والتي تصنعها شركة DoCoMo، تجنبت التأخيرات التي يعاني منها مستخدمو WAP وذلك بنقل البيانات بشكل مختلف. تتلقى وتستلم هواتف GSM العادية البيانات بالتبديل الداراتي، وهذا يعني وجوب تأسيس اتصال مخصوص بين الهاتف والمحطة الأساسية. ومن ناحية أخرى، تستخدم الهواتف I-mode منظومة مستقاة من الإنترنيت تدعى التبديل الرُّزمي . تقسم البيانات المنقولة إلى مقاطع تدعى رزمات، توسم كل منها بعنوان المكان النهائي المقصود. إن هذا يؤمن الاستفادة من عرض العصابة المتاحة برمته بدلاً من حجز قنوات لمستخدمين معينين. ونتيجة لذلك يكون التحميل أسرع ويقوم المستخدم بدفع المبلغ المستحق عن كمية البيانات التي يتسلمها بدلاً من أن يدفع عن الزمن الذي يستغرقه تحميلها.

ستستطيع جميع شبكات GSM عن قريب أن تحمل المكالمات المبدّلة رُزَمياً، ولكن التحسينات في التقانة لن تتوقف عند هذا الحد. إن صانعي الهواتف بحاجة لإيجاد وسائل جديدة يقدمونها لك لمتابعة التطور. تتركز آمالهم حالياً على الهواتف المزودة بكاميرا. ولكن من يعرف، بعد الفيديو، ما هو الشيء التالي؟

* * *

تنوير الطب بالليزرات*

م. دُرّاني

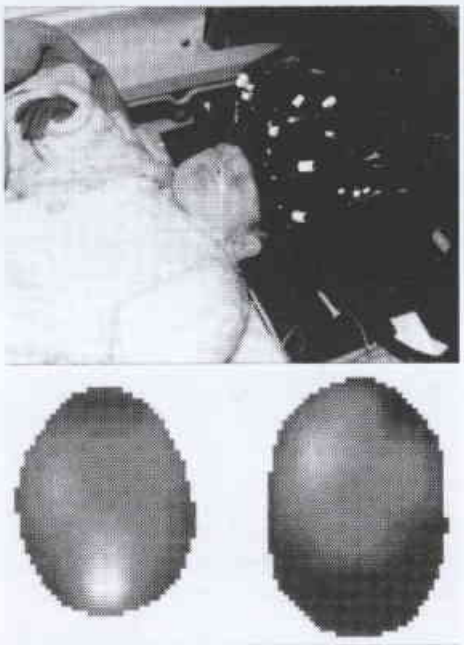
ملخص

يلعب الضوء دوراً مركزياً في الطب الحديث. ويُخبرنا متين دُرّاني M. Durrani عن أحدث التطورات في هذا الصدد.

الكلمات المفتاحية: ليزر، ضوئيات حيوية طبية، فحص مجهري ماسح، فحص مجهري بالفلورة، تصوير مقطعي

إذا حدث أن أَضَأْتَ مشعلاً على قفا يدك، فإنك سوف تدرك أن راحة يدك تتوهّج بلون أحمر. فالهيموغلوبين الموجود في الدم يكاد أن يمتص جميع الإشعاع المرئي ذي الأطوال الموجية دون 600 نانومتر تقريباً ويسمح بمرور الضوء الأحمر فقط. لكن المخيِّب للأمل أن العظام والبنى التشريحية الأخرى تستحيل رؤيتها، إذ تُبَعْثِر الأنسجة الرخوة الضوء بقوة إلى درجة أنه حتى الحزمة المتوازية تصبح منتشرة بعد اجتيازها مسافة ملّيمتر واحد فقط داخل الجلد.

وعلى الرغم من هذا العائق السطحي، فإن الضوء يُستخدم على نطاق واسع في الطب الحديث، حيث يمكن عكسه وكسره وامتصاصه وإصداره وتضخيمه. ويمكن استخدام الضوء في الكشف عن الأورام وفي تصوير المعدة، أو استخدامه بشكله الليزري، في إزالة الأنسجة السرطانية. هذا ويقدِّم الضوء في مجال الأطوال الموجية 700–1300 نانومتر، والمعروف باسم "النافذة العلاجية"، معلومات جُزَيْئيّة عن الدهن والماء والليبيدات، وكذلك عن أكسجة الهيموغلوبين. وبالنسبة للبعض، فإن الغاية المنشودة من الضوئيات الحيوية الطبية هي التوصل إلى نبيطة محمولة على شاكلة تلك التي في مسلسل الخيال العلمي التلفزيوني "Star Trek" والتي بإضاءتها وتمريرها فوق المرضى يستطيع الطبيب العصري، الدكتور McCoys، تقديم التشخيص والعلاج في آن معاً.



حلّ معكوس - يستطيع فيزيائيون من جامعة كوليج لندن تصوير ادمغة الأطفال الحديثي الولادة من خلال قياس الكيفية التي يبعثر فيها الدماغ نبضات فائقة القصر لضوء تحت الأحمر القريب. وتستطيع تقنيتهم هذه أن تعطي صوراً عبر الدماغ بشكل أفقي (يسارا) وبشكل شاقولي (يميناً)

عودة المجْهريّات إلى بؤرة الاهتمام

طوّر العلماء والمهندسون البصريّون مجالاً وسيعاً من تقنيّات معقدة مبنيّة على الضوء لغرض التطبيقات الطبيّة. ولكن يبقى المجهر الضوئي واحداً من أكثر أدوات البحث الحيوي الطبي شيوعاً، إذ يكاد أن يكون السبيل الوحيد لدراسة العمليات البيولوجية في النسيج الحي على المستوى الخلوي تحت المكروني sub-micron. ومع أن الفحص المجهري يمكن أن يبدو عتيق الطراز، فقد عاد مؤخراً إلى واجهة البحوث البيولوجية.

يستطيع "الفحص المجهري الماسح المتّحد البؤر"، على سبيل المثال، أن يزوِّد الباحثين بصور ضوئية ثلاثية الأبعاد. فهذه التقنية، التي ابتكرها الفيزيائي مارفين منسكي M. Minsky في أواسط الخمسينيات من القرن المنصرم، تُنشئ صوراً تركيبيةً من سلسلة شرائح ثنائية الأبعاد تمَّ الحصول على كل منها بمسح منبع نقطيٍّ للضوء عبر الشريحة، ويقوم مكشافٌ إبري الثقب بقياس الضوء النافذ عنصورة عنصورة.

يستطيع الفحص المجهري أن يقدِّم كذلك معلومات كمية عن الأوساط البيولوجية. فعلى سبيل المثال يُنشئ "الفحص المجهري بالفلورة" خرائط لتوزّع جزيئات معيَّنة "حاملة للفلورة fluorophore تمتصّ ضوءاً ساقطاً عند أحد الأطوال الموجيةً وتصدره عند طول موجي آخر. وفي هذه التقنية، تُطَعَّم العينة بحاملات فلورة ذات طيوف تتغيَّر بطريقة يمكن التنبّؤبها لحمثلاً عبر امتصاص الضوء بشكل مغاير في الأطوال الموجية المختلفةلخ. وبمقارنة الصور عند طولين موجيَّيْن أو أكثر، يمكن استبعاد تَبَعْثُر الخلفية غير المرغوب فيه.

هناك مقاربة أخرى تتمثل في قياس السرعة التي تضمحل إشارة الفلورة عندها. فعلى سبيل المثال، أوجد بول فرينش P. French وزملاؤه (في أمبيرال كوليج لندن) منظومة تستثير بشكل دوريٍّ عيّنة ما بسلسلة نبضات ليزرية فائقة السرعة؛ ثمّ يجري التقاط

---

* نشر هذا المقال في مجلة Physics World- August ,2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

صور ضوئية للصورة المفلورة بواسطة كاميرا مجهزة بنبيطة اقتران الشحنات charge-coupled device (CCD) بعد كل إثارة. وبقياس كيفية تلاشي الشدة في كل عنصورة (بيكسل) مع الزمن، فإنه يمكن إنشاء خارطة تركيبية.

يمكن لتصوير عمر الفلورة أن يساعد الباحثين في كشف البيولوجية الأساسية للمرض، وأن يقدّم أدوات سريرية جديدة. فعلى سبيل المثال، منحت وزارة الصناعة والتجارة البريطانية مجموعة فرينش مبلغ مليون ومئة ألف جنيه استرليني لاستقصاء كيفية استخدام هذه التقنية للتمييز بين الأنسجة السرطانية والأنسجة السليمة؛ وسيستخدم هذا المبلغ كذلك لصنع منظار داخلي في الحي in vivo يعمل بأسلوب تصوير عمر الفلورة.

الفحص المجهري بالفوتونات المتعددة

كذلك يمكن ضمّ تصوير الفلورة مع الفحص المجهري الماسح المتّحد البُؤَر للحصول على صور طيفيّة ثلاثية الأبعاد للعيّنات البيولوجيّة. ويتمثّل أحد عوائق هذا الأسلوب في أن الحصول على الصور يمكن أن يستغرق وقتاً طويلاً لأن كل عنصورة في كل مستوٍ منفصل يجب أن تُنار تباعاً. ولا تفيد زيادة شدة الليزر للحصول على الصور سريعاً لأن هذه الزيادة تؤذي العيّنة خارج المستوى المضاء.

يكون أحد الحلول باستخدام المجهرية ذات الفوتونين التي أوجدها وينفرايد دينك W. Denk الذي يعمل الآن في معهد ماكس بلانك للبحوث الطبية في هيدلبيرغ. ونشير هنا إلى أن الباحث المذكور هو بيولوجيّ أعصاب تحوّل إلى فيزيائي. تتضمّن هذه التقنية تصوير العيّنة بنبضات ليزرية فائقة السرعة تدوم أقل من بيكوثانية. وتكون شدة مثل هذه النبضات عالية بحيث تستطيع الجزيئة أن تمتص فوتونين اثنين في الوقت ذاته تقريباً، وأن تسبّب نفس الإثارة التي يسببها فوتون وحيد له ضعف الطاقة. ولذلك يُحدث الضوء ذو الطول الموجي الطويل والطاقة المنخفضة تأثيرات فلورة لا يمكن حدوثها إلا باستخدام ضوء بطول موجي أقصر وذي طاقة أعظم كثيراً.

ويشرح دينك قائلاً: "إن المزيّة الرئيسية لهذا الفحص المجهريّ الثنائيّ الفوتون على التقنيات الأخرى تتمثل في أنه يسبّب القليل جداً من الأذى في العينات الثلاثية الأبعاد لأن أية سُمّيّة ضوئية photo toxicity من الجزيئات الحاملة للفلورة إنما تكون محصورة بالمستوى البؤري". ويتابع قائلاً: "وبالمقارنة مع الفحص المجهري المتحد البؤر فإن الفحص المجهري الثنائي الفوتون يكون أيضاً أجدى بعشرة آلاف مرة في كشف التفلور لدى العينات ذات التبعثر القوي".

لقد استعمل الفحص المجهري الثنائي الفوتون (وما تفرّع عنه من فحص مجهري متعدد الفوتونات) في مدى واسع من مجالات البحث بدءاً من رصد التغيُّرات الطويلة الأمد في القشرة المخّية لأدمغة البالغين، ومروراً بكشف الإشارات المحرَّضة بالضوء في شبكية العين، ووصولاً إلى تصوير اللويحات التي تسبب داء الزهايمر Alzheimer disease.

مسائل متفرقة

وبالرغم من أن النسيج البيولوجي يبعثر الضوء بشكل قوي جداً، فإنه يمكن للعيّنات الرقيقة جداً أن تكشف العدد الصغير من الفوتونات القذفيّة (البالستية) غير المبعثرة التي تجتاز العيّنة سالمة دون أن تتضرر. ويمكن الحصول على صور ضوئية عالية المَيْز عن طريق إقصاء الضوء المبعثر غير المرغوب فيه كما في الفحص المجهري المتحد البؤر. وتستخدم معظم تقنيات التصوير البالستي من هذا النوع ضوءاً قريباً من تحت الأحمر عالي الطاقة قابلاً للتوليف صادراً عن ليزرات نصف ناقلة أو ليزرات الحالة الصلبة، والذي تمتصه الأنسجة البيولوجية بمعدل يقل كثيراً عن امتصاصها للضوء المرئي، ولهذا يولّد هذا الضوء إشارة أقوى.

ولكن لا يمكن استخدام الترشيح لتصوير النسيج عند أعماق تتجاوز حوالي 0.5mm لأن عدد الفوتونات القذفية يتضاءل أُسّيّاً مع المسافة. ويتضمّن حلٌ ابتدعه جيمس فوجيموتو J.Fujimoto وزملاؤه من معهد مساشوستس للتقانة (MIT) في أوائل التسعينيات من القرن المنصرم جمع الإشارة القذفية الضعيفة المنعكسة من الطبقات المختلفة في عيّنة مع حزمة مرجعية مترابطة قوية. فعندما تقطع الإشارات المرجعية والقذفية المسافة الضوئية نفسها تتداخل الحزمتان. وبتعديل طول مسار الحزمة المرجعية يمكن كشف الإشارة القذفية المنبعثة من أعماق مختلفة في العيّنة من أجل بناء صورة ذات مَيْز وفق العمق.

لقد كان الوقع السريري الأكبر لهذه التقنية، التي عرفت باسم "التصوير المقطعي الطبقي الضوئي المترابط optical coherence tomography" (أو OCT)، في مجال طب العيون. ويقول فوجيموتو: "تستطيع تقنية OCT أن تعطي صوراً لعلم أمراض شبكية العين لا يستطاع الحصول عليها بأية وسيلة أخرى. وهي قويّة على نحو استثنائي لأنها تستطيع كشف تغيرات دقيقة في شبكية العين تكون علامات مبكرة للمرض. كذلك، تستطيع تقنية OCT أن تقيس بشكل كَمّيٍّ تغيرات مثل ضمور طبقة ليف عصب الشبكية الذي يحدث عند إصابة العين بمرض الزَرَق. وغَرَضُنا هو أن نكتشف ونعالج المريض مبكّراً، قبل أن تحدث أعراض مثل الفقد غير العكوس للرؤية".

لقد سوّقت شركة كارل زايس ميديتيك بدايةً منظومات تصوير طبية عينيّة مبنيّة على تقانة جرى تطويرها في MIT نزلت وحداتها الأولى للبيع في عام 1996. ووفقاً لقول فوجيموتو تستعمل اليوم أجهزة OCT في أكثر من 1500 عيادة حول العالم، وسرعان ما أخذت هذه التقانة تصبح الآن مقياساً للرعاية الصحية في طب العيون. ويستطيع أحدث جهاز OCT أنتجته الشركة أن ينتج صوراً عرضانية المقطع للشبكية بمَيْزٍ يساوي 10 μm تماماً.

اتجاهات جديدة

وبينما تكون تقنيات مثل OCT جيدة للعيّنات الرقيقة، نتساءل إن كنا نستطيع أن نصوّر عبر عينات سُمْكها سنتمتر واحد تكون إشارة الضوء القذفي فيها أضعف من أن تكتشف؟ يتبيّن لنا أننا إذا استخدمنا نبضات ليزرية بالغة السرعة، نستطيع استخلاص بعض المعلومات عن العيّنة من الفوتونات المبعثرة التي تنحرف قليلاً فقط عن اتجاهها الأصلي. وهذه الفوتونات المنحرفة عن المحور، والتي تتعرّج إلى حد معقول حول اتجاهها الأصلي بمحاذاة مسار أفعويّ الشكل snake-like جيّد التحديد، تصلُ إلى المكشاف متأخرة قليلاً عن الضوء القذفي. بيد أن هذه الفوتونات تحتفظ ببعض الخصائص الأوّلية للضوء الساقط مثل الترابط والاستقطاب.

استخدم سوابان كاين S. Gayen وروبرت ألفانو R. Alfano من City University في نيويورك هذه الطريقة لدراسة الثدي البشري خارج الحي. فباستخدام ليزر نبضي بالغ السرعة من ياقوت أزرق (سفير) مطعّم بالتيتانيوم، أنارا عيّنة بضوء طول موجته 800 نانومتر ثم استخدما كاميرا بالغة السرعة لتسجيل كيفية تغيُّر الضوء المرسل مع الزمن. ويقاس هذا الضوء خلال سلسلة من شرائح زمنية تدوم كل واحدة منها حوالي بيكوثانية واحدة لإنشاء صور ثنائية البعد للعيّنة. هذا ويُجري هذان الباحثان قياسات طيفية، باستخدام ليزر توليفي من الفورستيريت forsterite المطعَّم بالكروم.

يقول الفانو: "تُبيِّن النتائج باستمرار أن التصوير بشرائح زمنيّة يمكن أن يلقي ضوءاً قويّاً على الأنسجة السليمة والسرطانية. وباستعمال الضوء الوارد بأطوال موجيّة مختلفة، درس الآن ما إذا كان التغيُّر في النفاذ النسبي عبر النسيج والمعتمد على الطول الموجي يمكن أن يستخدم بمثابة قرينة سرطان للمنطقة المصوَّرة. وإننا لنَعْتقد أن ضمّ الصورة المشرَّحة زمنيّاً والصورة الطيفية قد يمكّننا من تحديد مواضع أورام الثدي وتشخيصها".

أما بالنسبة للعينات السميكة جداً فلن يستطاع كشف حتى الإشارات الأفعويّة الشكل فيها. فكلتا الإشارتين (الأفعوية الشكل والقذفية) ستغرقان تماماً بما تبقّى من الضوء المتبعثر. ولكن يمكن الالتفاف على هذه الصعوبة الظاهرية بحلّ "المسألة العكسية"؛ وهذا يتضمَّن قياس الضوء المتبعثر بكل التفاصيل الممكنة، ثم حساب أي توزيع للمادة كان من الممكن أن يولّد هذه الإشارة.

لقد سبق لديفيد ديلبي D. Delpy وزملائه في كلية لندن الجامعية أن استعملوا هذه التقنية لرسم خريطة الأكسجة النسيجية والنشاط لدى أدمغة الرُّضَّع في وحدات العناية المشددة. وتستخدم معدّاتهم أليافاً ضوئية لإيصال نبضات بالغة القصَر لضوء ليزر تحت الأحمر القريب إلى نقاط مختلفة على سطح الرأس، مع قياس الفوتونات المبعثرة في أزمنة وصول مختلفة باستخدام 32 ليفاً ومكشافاً مستقلاً. ويمكن لهذه التقنية أن تفيد الأطباء في تشخيص ومعالجة الرضّع الذين يمكن ألاّ تكون أدمغتهم تتلقّى كفاية من الدم المؤكسج، ربما بسبب ولادة عسيرة. ويمكن لهذه الحالة أن تُقْعِد الطفل بشكل مستديم إذا تُركت بدون معالجة.

ويوضح ديلبي ذلك قائلاً: "إن المزيّة الرئيسية لهذه التقنية هي أنها تقدِّم صوراً للوظيفة الدماغية كأن تبين سوية أكسجة الدم. وبالرغم من أنّ المَيْزَ فيها ليس بجودة الميز الذي يُتيحُه مثلاً التصوير بالتجاوب المغنطيسي، فإننا نستطيع أن نراكب الصور المأخوذة من التقنيَتَيْن وصولاً إلى المساعدة في تأويلها. ونذكر هنا أن هذه التقنية مأمونة كما يمكن تنفيذها بشكل مستمر تقريباً في جوار سرير الطفل". ويمكن في الحالة النموذجية الحصول على صور ذات مَيْز يقارب 5-10 ملّيمتر في زمن قصير لا يتجاوز عشر دقائق.

ولأنها سهلة التبئير وقادرة على إنتاج شدّات عالية، أصبحت الليزرات في الوقت الحاضر أدوات سريرية شائعة. فيمكن استخدامها لمعالجة الأسنان واللثة، ولإصلاح عيوب العين، ولإزالة عيوب الجلد وتجعُّداته ووُشومه؛ ولو أن أكثر أدوارها أهمية قد يكون في معالجة السرطان. وكما هي الحال مع العلاج التشعيعي، يجب أولاً تحديد موضع الورم الخبيث بدقة بحيث تستطاع معالجته مع أقل قدر ممكن من التخريب للأنسجة السليمة المحيطة به.

وبينما يمكن رؤية الخلايا الورمية الواضحة بالضوء المرئي العادي، يحتاج الجرّاحون طريقة لتمييز الأورام السرطانية الصغيرة جداً. ويكمن أحد الحلول في "التشخيص الدينامي الضوئي" الذي يتم فيه حقن المريض بمحسِّسات ضوئية حساسة للضوء تمتصها الخلايا الورمية بشكل تفضيلي. وعندما تنار هذه الجزيئات بليزر أزرق أو فوق بنفسجي فإنها تتفلور وتظهر أكثر سطوعاً من النسج السليمة المجاورة.

تستعمل في معظم الجراحات إما ليزرات جسم صلب من نيوديميوم أو إربيوم–يا غ neodymium- or erbium–YAG، أو ليزرات غازية من ثاني أكسيد الكربون أو أيونات الأرغون. ويتم نقل الإشعاع

تاريخ موجز لفوق الصوتيات

إن لفوق الصوت ultrasound الطبي اصوله في تقنية الإبحار تحت الماء المعروفة باسم سونار. وقد انخرط عدة فيزيائيين مشهورين في إيجاد السونار وبخاصة بول لانجيفين الذي أوجد نبيطة "فوق صوتية عالية التواتر" تعرف باسم المسماع المائي hydrophone بغية اكتشاف الغواصات خلال الحرب العالمية الأولى. وبعدئذ واصلت أعداد كبيرة من العلماء والفيزيائيين استخدام فوق الصوت في الطب، بما في ذلك طبيب لدى جامعة غلاسكو يدعى أيان دونالد I. Donald. وقد غدا دونالد المجنون، حسبما كان زملاؤه يدعونه، على اطلاع جيد بالرادار والسونار أثناء الحرب العالمية الثانية، وقرر أن يطبق تقنيات مشابهة في تعلق الطب حين عاد بعد الحرب إلى عمله في علمي القبالة وأمراض النساء. واليوم تتلقى الأمهات المنتظرات مولودا في العديد من الأقطار بضعة مسوحات فوق صوتية أثناء مشوار حملهن

على طول ألياف ضوئية تتبأّر على النسيج السقيم، الأمر الذي يتيح إجراء جراحة مفتاحية الثقب عديمة الدم. وهنا يتم تخثير النسج أو حتُّها أو استئصالها تبعاً لنوع الليزر المستخدم. وبديلاً لما سبق، يمكن استخدام جزيئات محسسة ضوئية منتقاة خصوصاً لأجل تحديد الخلايا السقيمة وإتلافها في آن معاً. وفي هذه التقنية التي تعرف بالعلاج الدينامي الضوئي أو Photodynamic theraby (PDT) تقتل هذه الجزيئات الخلايا عن طريق امتصاص الضوء الليزري ذي التواتر الصحيح.

تحدّيات التمويل

في الوقت الذي بدت فيه الضوئيات الحيوية الطبيَّة ميداناً صحيّاً نابضاً بالحياة نجد أن تأمين المصادر الطويلة الأجل لتمويل أبحاثها ليس بالأمر اليسير. فالتمويل خارج الولايات المتحدة شأنٌ غير منتظم يؤدّي بالعلماء إلى العمل في أية مشاريع يجدون مالاً للإنفاق عليها. ويتفق الباحثون على أن التمويل أمرٌ حاسم إذا أريد للضوئيات الحيوية الطبيَّة أن تستمر في اجتذاب علماء النخبة الذين يمتلكون مهاراتٍ متعددة المعارف واهتماماً بالتطبيقات العالمية الواقعية.

هذا ويمثل تحويل البحوث الواعدة إلى تطبيقات سريرية تحدِّياً كبيراً آخر. وفي هذا الصدد يقول فوجيموتو: "يتقدم تطور الضوئيات الحيوية الطبية ببطء بسبب مُعَقَّد المعايير السريرية والتنظيمية والتعويضية التي تتحتم مواجهتها. وبالرغم من أننا أوجدنا تقنية OCT لأول مرة في أوائل التسعينيّات من القرن المنصرم فقد تطلَّب انتشار استخدامها في طب العيون بشكل واسع حوالي عشر سنوات. صحيح أن الأمر يتطلب الكثير من العمل المنهجي والصبر لكنه من المرضي جداً في الوقت الراهن أن نرى لهذه التقنية تأثيراً في رعاية المرضى".

* * *

مراقبة الدماغ أثناء العمل*

ب. غولاند، س. فرنسيس، ب. موريس، ر. باوتل
مركز التجاوب المغنطيسي - كلية الفيزياء والفلك في
جامعة نوتنغهام - نوتنغهام - المملكة المتحدة.

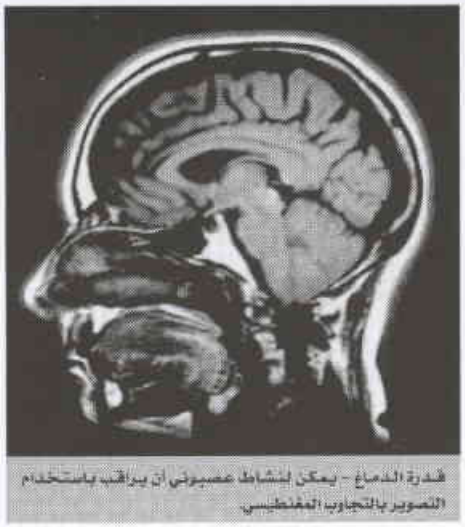
ملخص

يساعد التصوير بالتجاوب المغنطيسي علماء الأعصاب على سبر النشاط العصبي داخل الدماغ، كما يساعد على مراقبة الأجنة قبل الولادة.

الكلمات المفتاحية: تصوير وظيفي بالتجاوب المغنطيسي، تصوير وظيفي جنيني بالتجاوب المغنطيسي، تنشيط دماغي، ديناميات دموية، سريان الدم، حجم الدم، استهلاك الأكسجين، تأثير معتمد على سوية أكسجين الدم، وسم السبين الشرياني.

لا يزال لدينا الكثير لنتعلمه بشأن الدماغ البشري؛ وتقدم لنا الفيزياء بعض الطرق الجديدة الجبارة لاكتشاف الكيفية التي يعمل بها هذا العضو الرائع. فعلى سبيل المثال، يستطيع علماء الأعصاب أن يراقبوا النشاط الكهربائي للخلايا العصبية داخل الدماغ باستخدام تصوير كهربائية الدماغ electroencephalography الذي يسجل الكمون الكهربائي فوق فروة الرأس، أو باستخدام تصوير مغنطيسية الدماغ magnetoencephalography الذي يقيس الحقول المغنطيسية الضعيفة المتولدة فوق فروة الرأس بوساطة سريان التيار داخل الدماغ. كذلك، يمكن رصد التأثيرات غير المباشرة للنشاط العصبي، كالتغيرات الحاصلة في سريان الدم والأكسجة، باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء القريبة، والتصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني positron emission tomography، والتصوير بالتجاوب المغنطيسي magnetic resonance imaging (MRI).

ومن التقنيات المثيرة بشكل خاص ما يُدعى "التصوير الوظيفي بالتجاوب المغنطيسي functional magnetic resonance imaging (fMRI)" والذي يمكن استخدامه لرسم خريطة نشاط الدماغ المتلازم مع معالجة المعلومات. وتعمل التقنية المذكورة آنفاً من خلال كشف التأثيرات غير المباشرة للنشاط العصبي، كالتغيرات الحاصلة في سريان وأكسجة الدم وفيزيولوجية الدماغ. وكما أظهر العمل في المختبر الخاص بمؤلفي هذا المقال، يمكن أيضاً لتقنية fMRI أن تساعد على مراقبة أدمغة الأطفال قبل ولادتهم، مما يمكّن أطباء التوليد من تفقد فيما إذا كانت الأجنة تنمو بشكل سليم.



قدرة الدماغ - يمكن لنشاط عصبوني أن يراقب باستخدام التصوير بالتجاوب المغنطيسي.

الدماغ أثناء العمل

يُعدّ الدماغ عضواً على نحو مذهل من التعقيد، حيث يحتوي على مئات البلايين من وحدات المعالجة الأساسية المعروفة باسم "العصبونات neurons"، والتي يكون كل منها مرتبطاً بآلاف أخرى من العصبونات. والعصبونات بحدّ ذاتها عبارة عن خلايا عصبية متخصّصة في معالجة ونقل المعلومات عن طريق تحريرها لمرسلات كيميائية، تدعى "بالنواقل العصبية neurotransmitters"، وإطلاقها لإشارات كهربية عبر ألياف عصبية؛ وتتطلّب هذه العمليات قدراً كبيراً من الطاقة يجري تأمينه بأكسدة سكر الغلوكوز الذي تُزوَّد به الخلايا بواسطة الدم الذي يسري عبر الدماغ. لذلك، فإن نشاط العصبونات يؤدي إلى زيادة الاستهلاك الموضعي للغلوكوز والأكسجين في جزء الدماغ الذي يحصل فيه النشاط؛ وهذا بدوره يقدح تغيراً موضعياً في "الديناميات الدموية haemodynamics". وهو المصطلح الذي يصف سريان الدم وحجم الدم والطريقة التي يتأثران ويتحكمان فيها مع بعضهما البعض.

ويتمثل واحد من تأثيرات النشاط العصبوني في جعل سريان الدم أسرع عبر نسيج الدماغ؛ وهذه الزيادة في سريان الدم

* نشر هذا المقال في مجلة Physics World, December 2002. وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية

المخي cerebral blood flow(CBF) (والتي تقاس عادة بدلالة حجم الدم المرسل لكل مليغرام نسيج في الدقيقة)، تفرط في التعويض عن الاستهلاك الأعلى للأكسجين وترفع فعلاً الأكسجة الموضعية للدم (الشكل 1). ويؤدي هذا التغيير الحاصل في الأكسجة الدموية والناجم عن النشاط العصبوني إلى تبدل في إشارة التجاوب المغنطيسي بطريقة يمكن قياسها؛ ومثل هذا التبدل المعروف باسم "التأثير المعتمد على سوية أكسجين الدم" يُعدّ الأساس لتقنية fMRI.

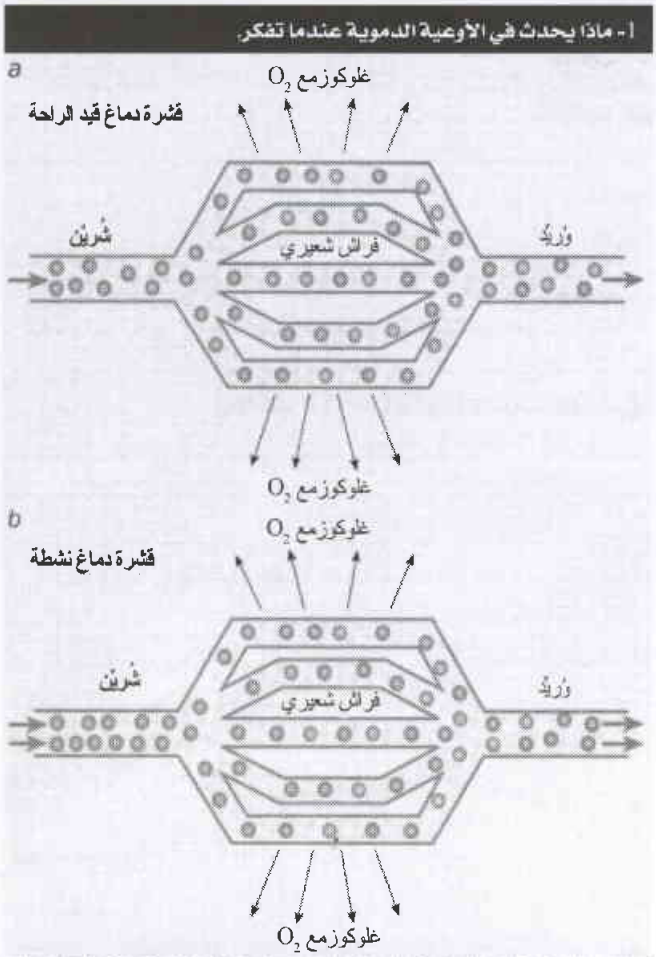
وهنالك تأثير آخر للنشاط العصبوني يتجلى بزيادة موضعية في حجم الدم داخل نسيج الدماغ. ولا يزال الباحثون غير متأكدين تماماً من الموقع، الذي تحدث فيه هذه الزيادة في حجم الدم المخي cerebral blood volume (CBV) للأوعية الدموية الكثيرة داخل الدماغ. على أية حال، يبدو أن هذه الزيادة في CBV تحدث في كل من الشرايين – التي تنقل الدم الغنيّ بالأكسجين من القلب – والأوردة التي تُعيد من الجسم الدم المنتزع منه الأكسجين. والشرايين الصغيرة (الشرينات arterioles) هي المسؤولة عن الزيادة في سريان الدم حيث تزيد من قطرها لتقلل من المقاومة الناجمة عن سريان الدم، في حين تتمتع الأوردة الصغيرة (الوريدات venules) بجدر مرنة تنتفخ استجابة للزيادة موضعية في ضغط الدم.

لكن العلاقة الدقيقة بين النشاط العصبوني والديناميات الدموية المخية لا تزال بعيدة كل البعد عن الوضوح. فنحن، على سبيل المثال، نجهل العلاقة حول كيفية ارتباط تغيريْ سريان الدم وحجم الدم ببعضهما البعض أو تلك التي تربطهما مع معدل استهلاك الأكسجين. ولهذا لا يقدم المفعول BOLD، المعتمد على المعايير المذكورة آنفاً وعلى معايير أخرى عديدة، قياساً كمياً للتنشيط الدماغي؛ ورغم ذلك، يستخدم علماء الأعصاب مفعول BOLD لأنه يتمتع بحساسية عالية للنشاط الدماغي ولأنه سهل القياس نسبياً. كذلك، يُعدّ MRI تقنية متعددة الاستعمالات يمكن أن تساعدنا على فهم الكيفية التي يؤثر فيها التنشيط الدماغي في كل من: سريان الدم، وحجم الدم، واستهلاك الأكسجين.

التصوير بالتجاوب المغنطيسي

يعتمد أساس التصوير بالتجاوب المغنطيسي على ظاهرة التجاوب المغنطيسي النووي nuclear magnetic resonance (NMR). وفي الأحوال الطبيعية، تعتمد تقنية التصوير بالتجاوب المغنطيسي MRI من حيث المبدأ على استخدام إشارة (NMR) الصادرة عن نوى الهدروجين في جزيء الماء والتي لديها سبين ذاتي، ولهذا فإنها تمتلك عزماً مغنطيسياً. وعند وجود حقل مغنطيسي، تبادر السبينات النووية حول اتجاه الحقل بتواتر يتناسب طرداً مع شدة هذا الحقل.

ويمكن للسبينات أن تكون إما في وضع متواز أو في وضع متعاكس مع الحقل؛ ويكون الفرق في الطاقة بين الحالتين صغيراً جداً، كما تتمتع تلك النوى المتوازية مع الحقل بطاقة أخفض قليلاً.



يسبب تنشيط عصبونات في الدماغ سريانا أعظم للدم، وزيادة في كل من حجم الدم وتركيز الدم المؤكسج. يبين هذا الشكل مقطعا في شبكة شعيرية قبل التنشيط العصبوني (a)، وبعده (b). تظهر خلايا الدم المؤكسجة المحتوية على خضاب مؤكسج باللون الأحمر أما خلايا الدم المتزوعة الأكسجين المحتوية على خضاب متزوع الأكسجين فتظهر باللون الأزرق.

لذلك، تتنبأ معادلة بولتزمان بأن يكون عدد السبينات الموازية للحقل أعظم قليلاً فقط من العدد المتجه في الاتجاه المعاكس. ونظراً لأن السبينات تبادر حول الحقل المغنطيسي بأطوار عشوائية، فسوف يكون هنالك – في الحالة الطبيعية اللامضطربة لعينة ما – قدر صغير جداً من التمغنط الصافي المتراصف في وضع متواز مع الحقل المطبق (الشكل 2a)؛ ويُشار إلى هذا "التمغنط الطولاني" اللامضطرب بالرمز M_0.

يجري كشف إشارة NMR بتطبيق نبضة أمواج تواتر راديوي ذات أمد يقدر ببضعة ملي ثانية في الحالة النموذجية، وهذا بدوره يُدير اتجاه M_0 بعيداً عن اتجاه الحقل المغنطيسي (الشكل 2b). ومن جهة أخرى، تتأثر السبينات بشكل متواصل مع الحقول المغنطيسية المتغيرة الناجمة عن حركة الجزيئات المحيطة. وفي اللحظة التي يجري فيها قطع نبضة التواتر الراديوي، تعود M_0 إلى حالتها اللامضطربة خلال زمن يعرف بزمن الاسترخاء T_1؛ وهذا الزمن، الذي يعتمد على الطبيعة الموضعية للعينة، يُعدّ أحد المصادر الرئيسة "للتباين contrast" في تقنية MRI السريري.

وكذلك تجعل الإثارة السبينات في الطور ذاته بحيث تبادر العمليات الآنية للتمغنط الصافي حول اتجاه الحقل المغنطيسي في المستوى العرضاني. وبالإمكان كشف المبادرة المذكورة آنفاً بواسطة تحريض كهرطيسي داخل وشيعة التقاط. وتكون سعة الإشارة متناسبة مع مقدار M_0 قبل تطبيق نبضة التواتر الراديوي.

وبالمقابل، إذا كان الحقل المغنطيسي متأرجحاً مع الزمن – كأن يكون ذلك، على سبيل المثال، عائداً إلى الحركة الجزيئية – فسوف تبارد السبينات، عندئذ، بتواترات مختلفة قليلاً؛ وهذا يؤدي إلى ما يُدعى "تغير طور السبين"، كما يسبب فَقْد الترابط ويجعل الإشارة تضمحل مع الزمن (الشكل 2c). وتحدث العملية المذكورة خلال زمن مميز يعرف بالرمز T_2، والذي يُعدّ مصدراً آخر هاماً للتباين في تقنية MRI.

ويمكن أيضاً أن تُغيِّر التشوهات المكانية في الحقل المغنطيسي داخل العينة طور السبين، وهذه تنشأ، على سبيل المثال، من تغيرات في الطواعية المغنطيسية بين نسيجين مختلفين. ويمكن لتغير الطور هذا أن يتحرك في الاتجاه المعاكس عندما ينشأ من حقول مغنطيسية ساكنة تتغير مع الموضع في العينة وليس مع الزمن. ويعرف ثابت الزمن الذي يضمحل بموجبه التمغنط – عندما يجري تضمين تأثير الحقول الساكنة والمتغيرة مع الزمن كليهما – بالرمز T_2^*.

اعتماد نهج BOLD

تمّ، في عام 1990، اكتشاف التأثير المعتمد على سوية أكسجين الدم (BOLD) blood oxygen level dependent من قبل الباحث سيجي أوغاوا S. Ogawa، العامل لدى مختبرات شركة AT& T Bell؛ وبعد ذلك بسنتين، استخدم هذا التأثير لأول مرة في دراسة وظيفة الدماغ البشري؛ ومنذ ذلك الوقت، سبّبت التقنية التي تعرف باسم "BOLD fMRI" تحولاً في حقل علم الأعصاب. ويمكن أن يُعزى التأثير BOLD إلى خواص الخضاب haemoglobin – وهو الجزيء المحتوي على الحديد الموجود في خلايا الدم الحمراء والذي يستخدمه الجسم لنقل الأكسجين. وعندما يتَّحد الخضاب بالأكسجين يتشكل الخضاب المؤكسج oxyhaemoglobin الذي يُعدّ، مثل الماء ونسيج الدماغ، مركباً ذا مغنطيسية معاكسة diamagnetic بشكل ضعيف. أما الخضاب المنزوع الأكسجين deoxyhaemoglobin – وهو شكل للجزيء بدون الأكسجين – فيُعدّ مركباً ذا مغنطيسية مسايرة paramagnetic. ووجود مركب الخضاب المنزوع الأكسجين في خلايا الدم الحمراء يعني أن الطواعية المغنطيسية للدم المنزوع الأكسجين تكون مختلفة عن تلك الخاصة بنسيج الدماغ.

ولدى وجود حقل مغنطيسي قوي – كالذي يستخدم في الماسح MRI – تُحدث مثل هذه الاختلافات في الطواعية المغنطيسية للدم والنسيج حقولاً مغنطيسية متغايرة مكانياً عند التخوم الوعائية؛ وتؤدي أيضاً هذه الحقول المتغايرة إلى زيادة سرعة اضمحلال الإشارة T_2^*، التي تعتمد بدورها على كل من تركيز الأكسجين في الدم وحجم الدم. ويُسبِّب حدوث نشاط دماغي سريان قدر أعظم من الدم إلى النسيج الدماغي النشط الذي يُفرط في تعويض زيادة استهلاك الأكسجين ويُخفِّض كمية الخضاب المنزوع الأكسجين. لذلك، تضمحل الإشارة بمعدل أبطأ، كما تزداد بشكل طفيف جداً سعتها في المناطق النشطة من الدماغ. ويشكل التأثير المذكور آنفاً الأساس لتقنية BOLD fMRI.

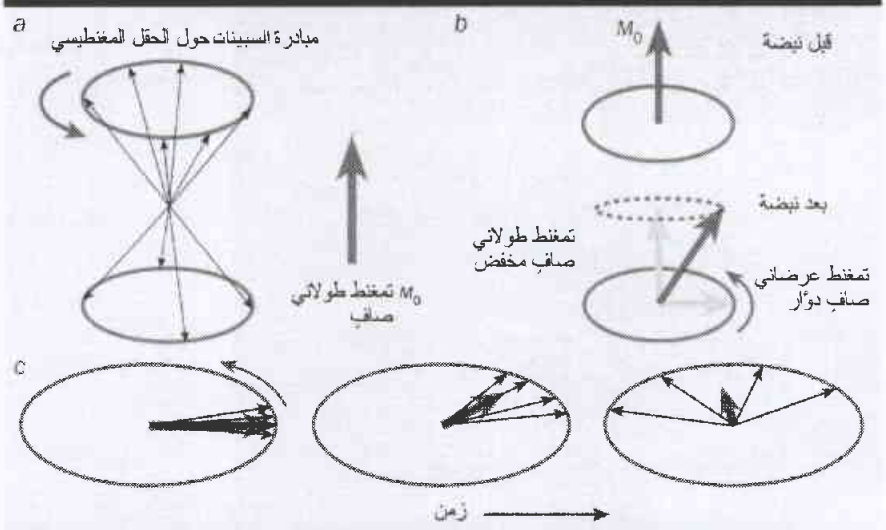
ويكون التغير صغيراً في إشارة BOLD – بحيث لا يتجاوز بضع وحدات في المئة من إجمالي إشارة MRI عندما يجري قياسها عند شدة حقل مغنطيسي قدرها 1.5T، والتي هي شدة نموذجية بالنسبة لمعظم ماسحات MRI السريرية. من جهة ثانية، تقوم حالياً غالبية المجموعات البحثية المتخصِّصة بدراسة وظيفة الدماغ بتركيب جيل جديد من الآلات ذي شدة مغنطيسية قدرها 3T. ويؤدي الحقل ذو القيمة الأعلى إلى زيادة عدد السبينات المتراصفة بموازاة الحقل كما يُبرز تأثيريْ الاختلاف في الطواعية. ويعمل التأثيران كلاهما على تقوية إشارة BOLD ويجعلان قياسها أسهل؛ مع أن إجراء قياسات متكررة يبقى ضرورياً من أجل الحصول على خرائط للتنشيط الدماغي يمكن الاعتماد عليها.

يبين الشكل 3a تجربة بسيطة يجري فيها تعريض شخص لرؤية صورة رقعة شطرنج حمراء اللون ترسل ضوءاً متقطعاً بمعدل ثماني مرات في الثانية الواحدة. يُترك الشخص لفترة عدة ثوان يرى خلالها صورة الضوء المتقطع، تعقب ذلك فترة ظلام؛ ويتكرر هذا التعاقب عدة مرات. تؤدي زيادة النشاط العصبوني في المنطقة الدماغية التي تستجيب لمشعرات إبصارية إلى زيادة مقدار الأكسجين المستهلك، وهذا يسبب سريان قدر أعظم من الدم يؤدي، في نهاية المطاف، إلى زيادة تركيز الأكسجين في النسيج وهذه بدورها تُحدث المفعول BOLD.

تُظهر المعاينة الدقيقة لإشارة BOLD، الناتجة عند تعريض شخص إلى منبه إبصاري قصير جداً، عدة آثار هامة (الشكل 3b). فعند البداية، تنخفض الإشارة قليلاً دون الصفر، ثم ترتفع إلى ذروة إيجابية قبل هبوطها ثانية تحت الصفر؛ وفي نهاية المطاف تعود على نحو بطيء إلى الصفر. وتحدث ذروة الاستجابة بعد حوالي 6 ثوانٍ من بداية المنبه؛ وتدوم الاستجابة لفترة إجمالية قدرها 10 ثوانٍ، وهي فترة أطول كثيراً من النشاط العصبي الأساسي ذاته؛ ويعني هذا التأخير والامتداد في إشارة BOLD مع الزمن أنه سيكون لتقنية fMRI ميْزٌ زمنيٌ لا يتجاوز، في أفضل الأحوال، بضع مئات من الملّي ثانية.

تُعدّ الانخفاضة الأولية في إشارة BOLD إحدى السمات التي يدور حولها جدل ساخن، حيث لم يكن ممكناً لحظها على نحو موثوق إلاّ عند الحقول العالية؛ وأحد التفسيرات المسببة لحدوثها هو الزيادة في استهلاك الأكسجين في الموضع القريب جداً من النشاط العصبوني والتي يعقبها، بعد ذلك، زيادة في سريان الدم والأكسجة. والفرضية الأخيرة – إن كانت صحيحة – ستكون مثيرة

2- مبادئ التصوير بالتجاوب المغنطيسي



(a) تتمتع نوى ذرية عديدة بعزم مغنطيسي ذاتي، أو سبين. وفي وجود حقل مغنطيسي مطبق، يبادر اتجاه العزم المغنطيسي لكل نواة (الأسهم السوداء) حول اتجاه الحقل المطبق. ورغم أنه يمكن للعزوم المغنطيسية أن تتوجه اما بشكل موازٍ للحقل المطبق او معاكس له، إلا أنها عند درجة حرارة الجسم تكون بشكل طفيف، أكثر انحيازاً مع الحقل المغنطيسي، الأمر الذي يؤدي الى تمغنط طولاني صافٍ قدره M_0.

(b) ان تطبيق نبضة أمواج تواتر راديوي على عينة ما، يؤدي الى انحراف M_0 بعيداً عن اتجاه الحقل

(c) عندما توقف النبضة، تعود M_0 الى حجمها الأصلي خلال زمن مميز قدره T_1

وأي تغير في الحقل المغنطيسي الموضعي - ربما بسبب تغير موضعي في الخواصية المغنطيسية أو بسبب حركة جزيئات مجاورة - يجعل العزم المغنطيسي لكل نواة يخضع لحقل مغنطيسي مختلف بشكل طفيف. لذلك، سيبادر كل سبين بتواتر مختلف قليلاً، وهذا يقلل من التمغنط العرضاني الصافي، ويشار الى الزمن المميز لهذه العملية بالرمز T_2.

للاهتمام جداً، حيث يحتمل أن تشكل الانخفاضة المذكورة آنفاً مقياساً أشد حساسية من الذروة الرئيسة لمدى أو موضع النشاط الدماغي (ولو أن مجرد الانخفاضة هذه يمكن أن تُعزى إلى الحجم العالي للدم المنزوع الأكسجين في الأوردة والذي تم دفعه بوساطة الزيادة الأولية في سريان الدم). في غضون ذلك، يعتقد بأن الانخفاضة النهائية للإشارة المسجلة، والتي تعرف باسم "الرمية المقصرة عقب المنبه post – stimulus undershoot" – يمكن أن تُعزى إلى حجم الدم المنزوع الأكسجين داخل الأوردة والذي يظل مرتفعاً عندما يعود ببطء سريان الدم إلى سوياته الطبيعية.

ويمكن للمرء أن يتخيل أن بالإمكان حساب التغير الزمني لإشارة BOLD في حال الاستجابة لمنبه طويل الأمد من النوع المبين في الشكل 3a وذلك "بتسوية" الاستجابة (لفّها حسابياً) وتحويلها إلى منبه قصير له مسار الزمن الخاص بالمنبه المبين في الشكل 3b. ومن جهة ثانية، يبدو أن الاستجابة للمفعول BOLD ليست تابعاً خطياً بسيطاً للنشاط العصبوني؛ بل تكون، أضخم كثيراً جداً في حال منبه قصير منها في حال منبه طويل. وبشكل مماثل، لم يتضح بعد فيما إذا كانت سعة الاستجابة المبينة في الشكل 3a تتغير خطياً مع شدة المنبه أو النشاط العصبوني لمنبه ذي أمد ثابت.

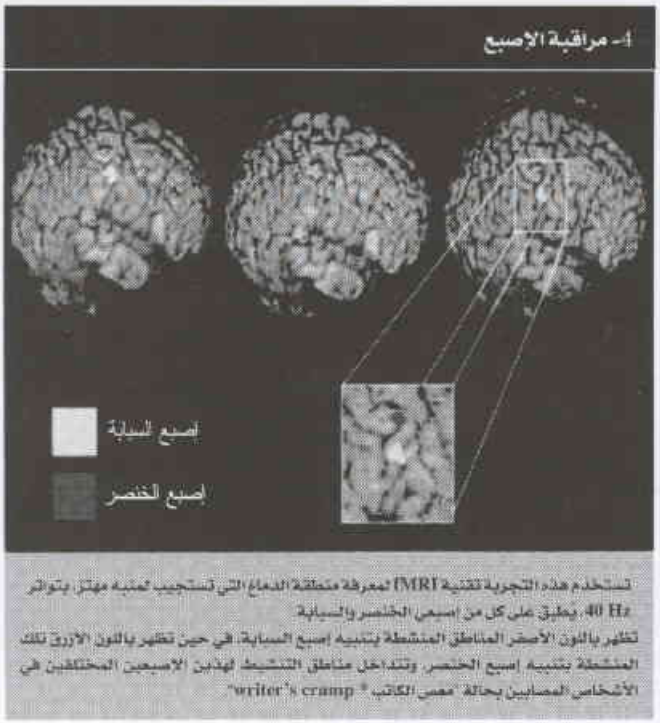
ومن ناحية ثانية، قام في العام الماضي، الباحث نيكوس لوغوثتيز N. Logothetis وزملاؤه [3]– العاملون في معهد ماكس بلانك لعلم التحكم الذاتي البيولوجي Max Planck Institute For Biological Cybernetics في مدنية توبينغن بألمانيا – بإلقاء شيء من الضوء على السلوك الذي سبق ذكره. ففي تجربة تُعدّ بحد ذاتها تحدياً تقنياً، رصد الباحثون إشارة BOLD، وفي الوقت ذاته أجروا تسجيلات مباشرة لإشارات عصبونية عن طريق إدخال إلكترودات داخل قشرة دماغ الرئيسات primates؛ فوجدوا أن سعة إشارة BOLD كانت تزداد، على نحو خطي تقريباً، مع أنواع الدخل العصبي ولم تعتمد على خرجها الكهربائي. وتُعدّ النتيجة الأخيرة ملاحظة معقولة إذ تتطلب معالجة المعلومة تحرير نواقل عصبية داخل الدماغ، كما أنها تُعدّ أحد مظاهر النشاط العصبوني الأكثر احتياجاً للطاقة.

ولإحراز تقدم في هذا الموضوع كان ضرورياً تنفيذ مزيد من التجارب الأساسية التي لها النمط ذاته. ومن الواضح أن تقنيات كهذه تتضمن إدخال إبر في الدماغ لا يمكن تطبيقها عموماً على الكائنات البشرية. ولهذا كان ضرورياً إيجاد طرق بديلة، كالتصوير الكهربائي، والتصوير المغنطيسي للدماغ اللذين لابد من جمعها مع تقنية fMRI لتقدير العلاقة الدقيقة بين النشاط العصبوني وقياسات MRI الخاصة بتنشيط الدماغ. ورغم أننا لا نزال لا نفهم تماماً إشارة BOLD إلاّ أن تقنية fMRI المعتمدة في أساسها على BOLD كانت ناجحة؛ حيث تم استخدامها، على سبيل المثال، لتحسين معرفتنا الأساسية في مجال كل من: الوظيفة الحسية البشرية، والضبط الحركي، والوظيفة المعرفية cognitive function. (الشكل 4).

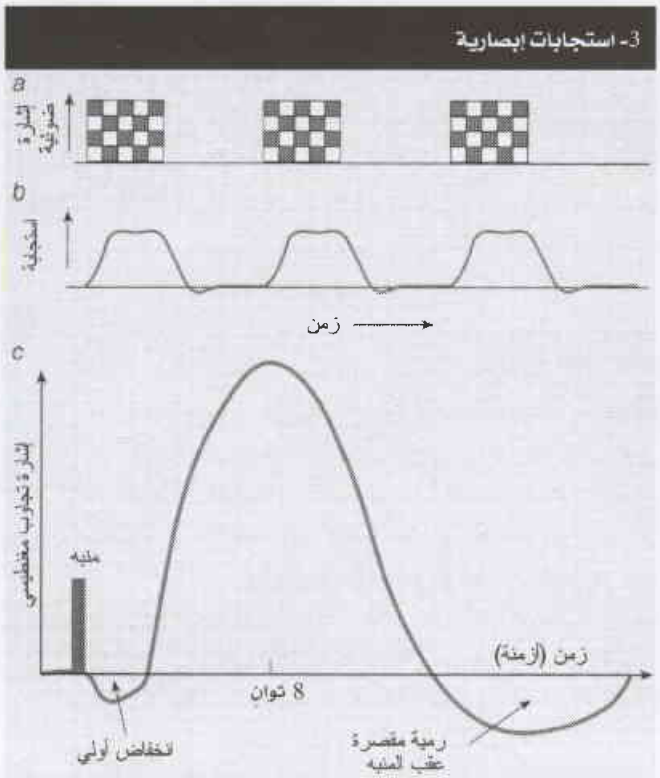
قياس سريان الدم

تُعدّ الزيادة في سريان الدم – والتي يطلق عليها أيضاً اسم "التروية النسيجية"، هي القوة المسيرة وراء المفعول BOLD والاستجابة الدينامية – الدموية الأولية للتنبيه العصبي. من جهة ثانية، كان علماء الأعصاب، حتى أوائل التسعينيات، قادرين فقط على رسم خريطة الوظيفة الدماغية ومراقبة التغيرات في سريان الدم أثناء التنشيط الدماغي باستخدام تقنية التصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني positron emission tomography (PET). أما تقنية MRI، فتستطيع قياس سريان الدم بعدد من الطرق المختلفة، وهي بمقارنتها بتقنية PET التي تتطلب الحقن بماء موسوم بنشاط إشعاعي، تستطيع أيضاً إجراء القياس المذكور بكلفة أقل وأمان أعظم.

في عام 1992، اقترح الباحث جون دتريه J. Detre وزملاؤه العاملون في جامعة بنسلفانيا طريقة لاباضعة تماماً non-invasive



تستخدم هذه التجربة تقنية fMRI لمعرفة منطقة الدماغ التي تستجيب لمنبه مهتز بتواتر 40 Hz، يطبق على كل من إصبعي الخنصر والسبابة.
تظهر باللون الأحمر المناطق المنشطة بتنبيه إصبع السبابة، في حين تظهر باللون الأزرق تلك المنشطة بتنبيه إصبع الخنصر. وتتداخل مناطق التنشيط لهذين الإصبعين المختلفين في الأشخاص المصابين بحالة "معص الكاتب writer's cramp*".



(a) في هذه التجربة، يتم تنبيه المريض إبصاريا باستخدام صورة لوحة شطرنجية تضيء وتنطفئ ثماني مرات في الثانية، وتتخلل فترات التنبيه فترات من الظلام.
(b) الإشارة المعتمدة على سوية أكسجين الدم (إشارة BOLD) مقيسة استجابة لمنبه بواسطة تقنية fMRI، وهي تُعد إشارة T_2 متثاقلة توفر قياسا للخضاب المنزوع الأكسجين في الأوعية الدموية للدماغ، كما تُعد إشارة لتنبيه عصبي.
(c) التغير في إشارة BOLD استجابة لمنبه قصير. كومضة افرادية من الضوء. هنالك ثلاث سمات رئيسة: انخفاضة أولية، وذروة رئيسة، ثم انخفاضة ثانية دون الصفر تعرف باسم "الرمية المقصرة عقب المنبه post – stimulus undershoot".

فهمنا الكمّي لسريان الدم المخي وتعزيز الميز الزمني الخاص بهذه التقنية. وبالفعل، أصبح الآن ممكناً رصد التنشيط الدماغي عن طريق قياس التغير في سريان الدم المخي، والذي يعد المعيار الأوثق صلة بالتنشيط العصبوني. ويقدم المعيار الأخير قياساً كمياً ومركّزاً أفضل للتنشيط، كما سيتيح لنا فهماً أكمل للتغيرات في الديناميات الدموية التي تحدث عند التنشيط.

قياس حجم الدم

يمكن أيضاً استخدام تقنية MRI لقياس التغير في حجم الدم الذي يرافق سريان الدم المتزايد أثناء التنشيط. وبالفعل، فإن التغير المذكور في حجم الدم هو الذي بيّن تماماً كيف استطاع جاك بلليفو J. Belliveau، من المشفى العام لولاية ماساتشوستس في الولايات المتحدة، أن يكون أول من كشف، في عام 1991، التنشيط الدماغي باستخدام تقنية MRI. ومن أجل تحسين النوعية التشخيصية لصور التجاوب المغنطيسي، غالباً ما يعمد اختصاصيو التشخيص إلى حقن جزيئات تُسمى وسطاء التباين داخل جسم الشخص موضع الاختبار. والعامل الأكثر شيوعاً في الاستخدام هو جزيء بأساس من الغادولينيوم، يُدعى اختصاراً Gd-DTPA، والذي يُعدّ مركباً ذا مغنطيسية مسايرة جداً، وهو بالتالي يغير T_2^* (سرعة اضمحلال الإشارة) للنسيج بطريقة مشابهة لما يفعله الخضاب المنزوع الأكسجين.

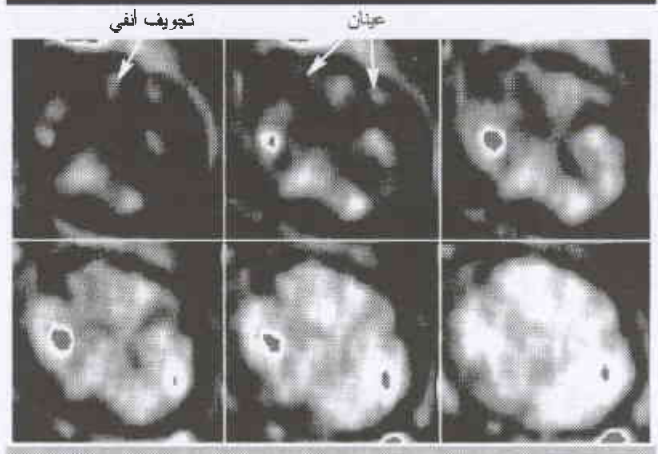
وفي التجربة المنوَّه بها آنفاً، قام بلليفو بحقن Gd-DTPA داخل وريد الشخص موضع الاختبار ثم قاس الإشارة في الدماغ أثناء

completely – لقياس التروية الدماغية عرفت باسم "وسم السبين الشرياني arterial spin labelling" (أو ASL) والتي تستفيد من سريان الدم الشرياني الوحيد الاتجاه من الرقبة باتجاه أعلى الرأس. يجري في هذه الطريقة اكتساب نوعين من الصور. يتم، في النوع الأول – المعروف باسم الصورة الميسمية Tag image، إجراء وسم مغنطيسي لسريان الدم الداخل إلى الدماغ وذلك عن طريق إثارته بنبضة تواتر – راديوي أثناء وجوده في الرقبة؛ ومع سريان هذا الدم الموسوم إلى داخل الدماغ فإنه يحل محل الدم الذي لم يتعرض سابقاً للإثارة. وتمر جزيئات الماء في الدم عبر الجدر الشعرية حيث تجري مبادلتها مع جزيئات أخرى للماء في النسيج، وهي بذلك تشاطر بشكل فعّال النسيج في تمغنط الدم. في النوع الثاني، وهو الصورة "الشاهد control"، لا يحصل وسم للدم المتدفق باتجاه الأعلى؛ ويمكن، عندئذ، حساب سوية سريان الدم إلى داخل النسيج الدماغي من الاختلاف الحاصل في الإشارة بين الصورتين.

وقد تمّ عبر السنوات اللاحقة تصميم العديد من التغيرات التي طرأت على التسلسل الأساسي لتقنية ASL وذلك بهدف تحسين

*معص الكاتب writer's cramp، حالة من الخطاب المهني occupation neurosis. تتميز بحدوث تقلص في عضلات الأصابع واليد والساعد يرافقه ألم عصبي في هذه المواضع. وتظهر هذه الحالة كلما جرت محاولة للكتابة.

5- ادمغة الأجنة



تنشيط دماغ جنيني استجابة لمنبه سمعي. المناطق التي جرى وسمها باللون الأحمر هي مناطق في القشرين الصدغيين أظهرت إشارة BOLD ذات مغزى استجابة للمنبه. كانت أنماط التنشيط الملاحظة مماثلة لتلك التي تصادف في البالغين

مرور وسيط التباين عبر الجملة الوعائية. وعندما كان الضوء يومض داخل عيني الشخص، تمكن بلليفو من كشف انخفاض في الإشارة داخل قشرة الإبصار – وهي المنطقة الأساسية في الدماغ التي تستجيب لمنبه إبصاري. وقد انخفضت الإشارة بسبب حجم الدم الذي تزايد في النسيج الدماغي النشط. وقد أدى امتلاء الأوعية الدموية بوسيط التباين ذي المغنطيسية المسايرة إلى مزيد من التغيرات الحقلية حول الأوعية؛ وأدى إلى حدوث اضمحلال أسرع للإشارة.

لسوء الحظ، لا تستطيع تقنيات معتمدة على حقن وسطاء التباين أن تُظهر بالضبط الموضع ضمن جهاز الأوعية الدموية الذي يحدث فيه التغير في حجم الدم. وإلى عهد قريب، كان الناس يعتقدون أن الزيادة في حجم الدم تحدث، بشكل رئيس، على الجانب الوريدي من شبكة الأوعية الدموية. على سبيل المثال، قام الباحث ريتشارد بكستون R. Buxton [2] – من جامعة كاليفورنيا في مدينة سان دييغو – بتطوير "نموذج بالون" للديناميات – الدموية المخية يعتمد في أساسه على الفرضية القائلة بأن التغير في الحجم هو نتيجة لزيادة في سريان الدم تؤدي بدورها إلى انتفاخ الجدر المرنة للوريدات كي تتمكن من إيواء الدم الإضافي (بالعكس، تتمتع الشرينات بجدر لا مرنة نسبياً). وتلقّى النموذج الذي طرحه الباحث المذكور آنفاً كثيراً من الدعم. وقد أمكن، على سبيل المثال، تبيان أن حجم الدم المخي عقب التحفيز يكون أعظم من حجمه الطبيعي أثناء الرمية المقصرة عقب المحفز post-stimulus undershoot؛ هذا يوحي أنه يمكن عزو الرمية المقصرة إلى تغيرات في حجم الدم تستمر حتى بعد أن يعود سريان الدم إلى وضعه الطبيعي وذلك بدلاً من عزوها إلى زيادة مستمرة في سرعة استخلاص الأكسجين حتى بعد عودة سريان الدم إلى سوياته الأساسية.

من جهة ثانية، اقتُرح في السنوات الأخيرة بأن هنالك زيادة أيضاً في حجم الدم الشرياني عند التنشيط حيث تأخذ أقطار الشُّرينات بالاتساع والضخامة. وقد طوَّر سونغ جي كيم S. J. Kim ورفاقه العاملون لدى جامعة منيسوتا تقنية رائعة جداً للظاهرة المذكورة آنفاً عن طريق دراسة إشارة التجاوب المغنطيسي الصادرة عن نوى الفلورين -19 ضمن مادة: "برفلوروكربون per - fluorocarbon" المعوضة للدم. والمادة الأخيرة، التي لها ألفة للأكسجين مماثلة لتلك الخاصة بالخضاب، قد جرى تطويرها كمادة معوضة للدم يمكن، على سبيل المثال، أن يستخدمها العسكريون في ميدان المعركة لمعالجة الجرحى من الجنود.

وفيما بعد، تبين أن زمن الاسترخاء T_1 لنوى الفلورين -19 يعتمد على تركيز الأكسجين المنحل. وهكذا تمكن الباحث كيم، عن طريق قياس T_1 في الحي، أن يحدِّد أي الإشارتين أتت من دم في الأوردة وأيتهما أتت من دم في الشرايين. بيّن كيم ورفاقه في تجاربهم على الحيوانات أن حجمي الدم الوريدي والشرياني كليهما يرتفعان مع زيادة سريان الدم. وتناقض النتيجة الأخيرة الآراء التقليدية السائدة في ذلك الوقت؛ وقد بدأ الباحثون بتطوير طرق بديلة يمكنها أن تفصل، في الأشخاص موضع الاختبار، تغيرات الحجم الخاصة بالدم الشرياني عن تلك الخاصة بالدم الوريدي.

كانت الغاية المرجوة من تقنية fMRI هي قياس الأكسجة الدموية ذاتها؛ ويحاول الباحثون إجراء هذا القياس بعدد متنوع من الطرق، بما في ذلك استخدام نماذج للعلاقة ما بين سريان وحجم وأكسجة الدم ومعايرة فرق الطواعية في الدم المؤكسج والمنزوع الأكسجين باستعمال أحد وسطاء التباين. على أية حال، يبقى النوع الأخير من القياس تحدياً لأولئك العاملين في هذا الحقل.

تقنية MRI لدراسة الأجنة

تُعدّ دراسة تنشيط الدماغ في الأجنة إحدى التطبيقات الجديدة الآسرة لتقنية fMRI وهي موضع اهتمام مميز لمؤلفي هذا المقال. كذلك، يُعدّ علم الأعصاب التطوري حقلاً مثيراً للاهتمام لكن فهمه لا يزال بسيطاً وفي مراحله الأولى. ويمكن لتقنية fMRI أن تقدم طريقة تساعدنا على فهم ما يحدث أثناء النمو السريع جداً لدماغ الجنين، في الوقت الذي يجري فيه وضع الوصلات العصبونية العديدة الموجودة في دماغ كامل التشكل بل وتمكننا هذه التقنية كذلك من دراسة كيفية تأثير الولادة ذاتها على نمو وتطور الدماغ البشري.

ومن ناحية تقنية، يتضمن التصوير الوظيفي بالتجاوب المغنطيسي تحديات كبيرة؛ فالأجنة تتحرك بشكل متكرر وغير متوقع. ونحن نجري عادة القياسات مستخدمين شدّات للحقل المغنطيسي منخفضة جداً بحيث لا تتجاوز 0.5 T في الحالة النموذجية. ورغم هذه التحديات، تمكّنا من كشف التنشيط في حوالي 50% من الأجنة التي تم مسحها. وقد لاحظنا حدوث تنشيط دماغي جنيني استجابة لعدد متنوع من المنبهات السمعية (الشكل 5)، كما وجدنا أن طبيعة الاستجابة لتأثير BOLD في الجنين تكون إلى حدٍّ ما مشابهة لتلك في البالغين؛ لكن

هنالك بعض الاختلاف في سعة الإشارة يمكن عزوها إلى المقدرة المتباينة على نقل الأكسجين في كل من دم الأجنة ودم البالغين.

كذلك، تمكّنا من تنبيه الأجنة إبصارياً مستخدمين أضواء ساطعة. وقد ذهلنا عندما وجدنا أنماطاً للتنشيط مختلفة جداً عن تلك الخاصة بالبالغين. فلم يكن هنالك، على سبيل المثال تنشيط في المناطق البصرية المألوفة لكن التنشيط يحصل فعلاً في المناطق الجبهية من الدماغ. وقد يكون مغرياً الافتراض بأن سبب الاختلاف هذا يكمن في أنه لم يسبق للأجنة أن تعرضت إلى أضواء ساطعة. ويتطلب الأمر تكرار التجربة كي نؤكد فيما إذا كانت النتيجة المذهلة الأخيرة صحيحة فعلاً.

وإلى جانب أنها توفر تقنية فريدة في نوعها تقريباً من أجل دراسة تنامي الدماغ، فإنه بالإمكان أيضاً استخدام تقنية التصوير الوظيفي الجنيني بالتجاوب المغنطيسي (foetal fMRI) في العيادات أو المستوصفات للمساعدة في إدارة حالات الحمل التي لا تنمو فيها الأجنة بشكل طبيعي والتي تتطلب توليد أجنتها في وقت مبكر تلافياً لحدوث الأذى لأدمغتها. وعلى سبيل المثال، يمكن لتقنية foetal fMRI أن تساعد الأطباء المولدين على اتخاذ القرار بشأن الوقت الأمثل لإجراء تدخل في الحمل. ولكون دراسات MRI من التقنيات اللاباضعة، فسوف تسمح أيضاً بدراسة تنامي الدماغ في الأطفال أثناء نموهم وتقدمهم في العمر.

آفاق مستقبلية

بمساعدة كل من "اتحاد أهلاً وسهلاً Welcome Trust" وخطة "صندوق البنية التحتية المشتركة Joint Infrastructure Fund" لحكومة المملكة المتحدة، سيقوم قريباً مؤلفو هذا المقال بتركيب ماسح MRI ذي حقل شدته 7 T في كلية الفيزياء والفلك في جامعة نوتنغهام، وسيجري تشغيله كمنشأة وطنية. ويتكلفة تصل إلى عدة ملايين من الجنيهات، سيقدم الماسح المذكور عدداً من المنافع والخدمات – بما في ذلك الحصول على نسبة عالية من إشارة BOLD إلى ضجيج BOLD. وكفيزيائيين، سيزوِّدنا استخلاص أقصى ما يمكن من الماسح الجديد ذي الحقل العالي بعديد من التحديات – كتوليد أمواج راديوية بتواتر 300 MHz ذات توزع منتظم داخل رأس الإنسان. عندها ستسمح لنا إشارة BOLD المقواة دراسة أحداث إفرادية للتنشيط بدلاً من اضطرارنا إلى أخذ قياسات تتكرر لمرات ومرات؛ وسيفتح هذا مدىً جديداً للتجارب السيكولوجية التي يمكن تقصيها باستخدام تقنية fMRI. وسيكون ممكناً أيضاً دراسة أحداث نادرة كحالات الهلوسة hallucinations والتعلم أثناء عمل شاق متكرر، والتي تُعدّ أمراً هاماً في التنامي العصبي الاستعرافي cognitive neurodevelopment.

وتقنية fMRI هي، الآن، قيد الاستخدام السريري عندما تكون النية إجراء جراحة عصبية؛ لكنه، وعلى المدى الطويل، قد تَكْمُن الاستخدامات الأهم لهذه التقنية في التقييم الموضوعي لأمراض وحالات نفسانية يبدو أن لها مظهراً سيكولوجياً ضخماً. على سبيل المثال، يجري حالياً تطوير تقنيات fMRI لتقصي حالات مثل متلازمة الأمعاء الهيوج irritable bowel syndrome، ولتشخيص حالات أخرى كالفُصام schizophrenia. ومن الواضح أن التصوير الوظيفي بالتجاوب المغنطيسي (fMRI) قد أضحى أداة بحثية رئيسة في علم الأعصاب، ومن الممكن لنا، مستقبلاً، التوقع بأنه سيكون لاستخدامه تأثير متزايد على فهمنا للطريقة التي يعمل بها الدماغ.

المراجع REFERENCES

[1] J W Belliveau et al. 1991. Functional mapping of the human visual cortex by magnetic resonance imaging. Science, 254: 716 – 719.

[2] R B Buxton et al . 1998. A general kinetic model for quantitative perfusion imaging with arterial spin labelling. Magnetic Resonance in Medicine, 40: 383 – 396.

[3] N K Logothetis et al. 2001. Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. Nature, 412: 150 – 7.

* * *

أخبار علميّة

1 -الدليل للتطبيقات المترية*

تثبيت الأعراف الدولية المتعلقة بالاستخدام المعياري للنظام الدولي للواحدات (SI)

يُعرَف النظام المتري المحدَّث *بالنظام الدولي للواحدات* International System of units ويُرمز له اختصاراً SI. وقد تم وضعه بالاعتماد على سبع واحدات أساسية مبينة في الجدول 1، والتي اعتبرت بالعرف مستقلة بُعدياً. وجميع الواحدات الأخرى هي واحدات متفرعة (مشتقة)، تم تشكيلها بصورة مترابطة منطقياً بمضاعفة الواحدات وتقسيمها ضمن النظام بدون عوامل رقمية. ويدرج الجدول 2 أمثلة عن واحدات متفرعة، بما فيها بعض الواحدات التي تحمل أسماء خاصة. وقد سُهِّلت عملية الحصول على عبارات المضاعفات والمضاعفات الفرعية لواحدات النظام الدولي من خلال استخدام البادئات المدرجة في الجدول 3.

يكتسب SI قوة نفاذه الدولية من الاتفاقية المترية التي وقعت عليها وفود 17 دولة في باريس، بما فيها الولايات المتحدة، وذلك في 20 أيار عام 1875 وتم تعديلها في عام 1921. وحالياً بلغ عدد الدول الأعضاء 51 دولة عضواً. وقد أسست المعاهدة المؤتمر العام حول الأوزان والمقاييس General Conference on Weights and Measures (GCWM) كهيئة دبلوماسية رسمية مسؤولة عن تصديق الاقتراحات الجديدة المتعلقة بالواحدات المترية. وتتخذ اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس International Committee for Weights and Measures (ICWM) القرارات العلمية، تساعدها عشر لجان استشارية تتخصص في مجالات معينة من علم القياس من خلال تقديم الاستشارات. ويقوم المكتب الدولي للأوزان والمقاييس International Bureau of Weights and Measures (IBWM) بتنسيق أنشطة مخابر المعايير الوطنية. والذي اتخذ سوفر Sèvres في فرنسة مقراً له. ويعمل بإشراف اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس. ووضع المؤتمر العام الحادي عشر للأوزان والمقاييس النظام الدولي للواحدات SI في عام 1960، عندما تمت مراجعة وتبسيط تعاريف الواحدة المترية، ورموزها، ومصطلحاتها على نطاق واسع [1].

يقوم المكتب الدولي للأوزان والمقاييس IBWM، بتوجيه من اللجنة الاستشارية للواحدات وبموافقة اللجنة الدولية ICWM، بإصدار وثيقة دورية [2] تلخص القرارات التاريخية الصادرة عن GCWM و ICWM ويقدم بعض الأعراف المتعلقة بالتطبيق المتري. بالإضافة إلى ذلك أعدت اللجنة الفنية 12 المنبثقة عن المنظمة الدولية للتقييس توصيات تتعلق بالاستخدام العملي لـ SI [3]. كما قدمت اللجنة بعض التوصيات الأخرى المتعلقة بالرموز، والواحدات، والتسميات (المصطلحات)، والكتل الذرية، والثوابت الأساسية للاتحاد الدولي للفيزياء التطبيقية والبحتة [4]. وقد أصدر المعهد الوطني للمقاييس والتقانة (NIST) دليلاً عملياً لاستخدام SI [5]. كما أعدّ معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) بالاشتراك مع الجمعية الأمريكية

الجدول 1: الواحدات الأساسية في SI

الكمية	الواحدة	
	الاسم	الرمز
الطول	متر	m
الكتلة	كيلو غرام	kg
الزمن	ثانية	s
التيار الكهربائي	أمبير	A
درجة الحرارة الترموديناميكية	كلفن	K
كمية المادة	مول	mol
شدة الإشارة	كنديلا (شمعة)	cd

الجدول 2: أمثلة عن الواحدات المشتقة من SI

الكمية	الواحدة		
	الاسم الخاص	الرمز	المكافىء
الزاوية المستوية	راديان	rad	m/m=1
الزاوية المجسمة	ستيراديان	sr	$m^2/m^2=1$
السرعة			m/s
التسارع			m/s^2
السرعة الزاوية			rad/s
التسارع الزاوي			rad/s^2
التواتر	هرتز	Hz	s^{-1}
القوة	نيوتن	N	$kg.m/s^2$
الضغط، الإجهاد	باسكال	Pa	N/m^2
العمل، الطاقة، الحرارة	جول	J	N.m,Kg.m^2/s^2
النبضة، الاندفاع			N.s, Kg.m/s
القدرة	واط	W	J/s
الشحنة الكهربائية	كولون	C	A.s
الكمون الكهربائي، القوة المحركة الكهربائية	فولط	V	J/C, W/A
المقاومة	أوم	Ω	V/A
الناقلة (المواصلة)	سيمنس	S	A/V, Ω^{-1}
التدفق المغنطيسي	ويبر	Wb	V.s
التحريضية	هنري	H	Wb/A
المواسعة	فاراد	F	C/V
شدة الحقل الكهربائي			V/m,N/C
كثافة التدفق المغنطيسي	تسلا	T	Wb/m^2,N/(A.m)
الإزاحة الكهربائية			C/m^2
شدة الحقل المغنطيسي			A/m
درجة حرارة سلزيوس	درجة سلزيوس	°C	K
تدفق الإضاءة	لومن	Lm	cd.sr
كثافة تدفق الإضاءة	لكس	Lx	Lm/m^2
النشاط الإشعاعي	بكريل	Bq	s^{-1}
النشاط الحفزي	كاتال	Kat	mol/s

للاختبارات والمواد (ASTM) كتيباً عملياً [6] خاصاً بالقياس اعترف به المعهد الوطني الأمريكي للمقاييس (ANSI). وأصدر وزير التجارة من خلال NIST توصيات بشأن التطبيقات [7] المترية الأمريكية، وفق قانون التحويل المتري لعام 1975 وقانون التجارة الشاملة والمنافسة لعام 1988. وهنالك معلومات إضافية متاحة على شبكة الأنترنت على موقعي BIPM [8] و NIST [9].

الأعراف النموذجية

تشتمل رموز الأحرف على رموز الكميات ورموز الواحدات. حيث وُضعت رموز الكميات الفيزيائية بالنمط المائل، بينما وضعت رموز الواحدات بالنمط الروماني العمودي (على سبيل المثال $F = 15$ N).

* نُشر هذا الخبر في مجلة Physics Today, August 2002، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الجدول 3: البادئات في SI

العامل	البادئة	الرمز	العامل	البادئة	الرمز
10^{24}	yotta (يوتا)	Y	10^{-1}	deci (د.س)	d
10^{21}	zeta (زيتا)	Z	10^{-2}	centi (سنتي)	c
10^{18}	exa (إكسا)	E	10^{-3}	milli (ملّي)	m
10^{15}	peta (بيتا)	P	10^{-6}	micro (مكرو)	μ
10^{12}	tera (تيرا)	T	10^{-9}	nano (نانو)	n
10^{9}	giga (جيغا)	G	10^{-12}	pico (بيكو)	p
10^{6}	mega (ميغا)	M	10^{-15}	femto (فمتو)	f
10^{3}	kilo (كيلو)	K	10^{-18}	atto (اتو)	a
10^{2}	hecto (هكتو)	h	10^{-21}	zepto (زيبتو)	z
10^{1}	deka (داكا)	da	10^{-24}	yocto	y

الجدول 4: الواحدات التي يقبل SI استخدامها

الكمية	الواحدة		
	الاسم	الرمز	التعريف
الزمن	دقيقة	min	1 min = 60 s
	ساعة	h	1h = 60 min=3600 s
	يوم	d	1d=24 h=86 400 s
زاوية مستوية	درجة	°	$1°=(1/60)°=(\pi/10\ 800)$ rad
	دقيقة	′	$1′=(1/60)′=(\pi/648\ 000)$ rad
	ثانية	″	$1″=(1/60)″=(\pi/648\ 000)$ rad
حجم	لتر	L	$1L = 1\ dm^3 = 10^{-3}m^3$
الكتلة	طن متري	t	1t= 1000 kg
مستوى النوعين	نيبر	Np	1 Np = 1
	بل	B	1B = ½ Ln 10 Np

يمثل رمز الواحدة كائناً رياضياتياً عالمياً وليس هو اختصاراً ولايتبعه نقطة (فمثلاً إن رمز second هو s وليس sec أو .s). فرموز الواحدات ذات الأسماء الخاصة هي عبارة عن الحرف الأول من هذه الأسماء الذي يكون كبيراً . أما رموز الواحدات الأخرى فتكون أحرف صغيرة . لكن أسماء الواحدات ذاتها ليست بأحرف كبيرة (مثلاً m :meter ،tesla: T). وبالمقارنة مع رموز الواحدات فإن تهجئة أسماء الواحدات والقواعد النحوية المتعلقة بها تختص بها اللغة التي ترد فيها ولاتشكّل جزءاً من SI (فعلى سبيل المثال تكتب الكلمتان "كيلوغرام" و"أمبير" في الإنكليزية بالشكل kilogram وampere بينما تكتبان بالفرنسية بالشكل kilogramme و ampère، لكن kg و A هما من الرموز العالمية في SI). يمكن جمع أسماء الواحدات وفق القواعد العامة للنحو (مثلاً، kilopascals. henries) مع وجود استثناءات مثل lux، وhertz و siemens، التي تعدّ غير نظامية [5]. ولاتُجمع رموز الواحدات (مثلاً، 3kg، وليس 3kgs).

إن كلمة "degree" (درجة) ورمزها (°) تحذفان من واحدة درجة الحرارة الترموديناميكية T (أي على المرء أن يستخدم Kelvin "كلفن" أو °K). على أي حال، تم الاحتفاظ بهما في واحدة درجة حرارة سلزيوس t، وتُعرَّف على الشكل: $t = T - T_0$ بحيث $T_0 = 273.15K$ تماماً (أي درجة سلزيوس، °C).

أما رموز البادئات التي تمثل 10^6 أو أكبر فتكتب بحرف كبير، بينما تكتب الرموز الأخرى بحرف صغير. ولايوجد فراغ بين البادئة والواحدة. وينبغي تحاشي البادئات المركبة (مثلاً، pF وليس $\mu\mu$F). ينطبق الأس على الواحدة بكاملها بما في ذلك بادئتها (مثلاً، $cm^3 = 10^{-6}\ m^3$). وعند كتابة أحد مضاعفات

الجدول 5: الواحدات التي لايشملها SI ويقبل استخدامها

الكمية	الواحدة		
	الاسم	الرمز	القيمة
الطاقة	إلكترون فولط	eV	$1.602\ 176\ 462\ (63)\times10^{-19}$ J
الكتلة	واحدة كتلة ذرية موحدة	u	$1.660\ 538\ 73\ (13)\times10^{-27}$ kg
المسافة	واحدة فلكية	ua	$1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}$ m

الواحدة أو أحد أجزائها بالكامل، فإن البادئة يجب أن تكتب بكاملها مبتدئة بحرف صغير (مثل megahertz وليس Megahertz أو Mhertz). وتعتبر kilogram الواحدة الأساسية الوحيدة التي يشتمل اسمها، لأسباب تاريخية، على بادئة، بينما تصاغ أسماء مضاعفات kilogram "الكيلوغرام" وأجزائه ورموزه بربط البادئة مع كلمة "gram" والرمز "g".

يشار إلى مضاعفة الواحدات بإدخال نقطة مرفوعة أو بترك فراغ بين الواحدات (مثلاً، N.m أو N m). ويمكن أن يشار إلى التقسيمات باستخدام الفاصلة المائلة، وهي عبارة عن جزء من خط مائل أو أس سالب (مثلاً، m/s، أو $m.s^{-1}$)، لكن الاستخدام المتكرر للخط المائل غير مسموح به (مثلاً m/s^2، وليس m/s/s). ولتجنب احتمالات سوء التفسير عند ظهور أكثر من واحدة في المقام، فإنه من المفضل في هذه الحالة استخدام الأقواس أو الإساس (ج. أس) السالبة (مثلاً، $W/(m^2.K^4)$ أو $(W.m^{-2}.K^{-4})$ ويمكن أن تشتمل عبارة الواحدة على واحدة ذات بادئة في البسط أو المقام (مثلاً، mN/m , W/cm^2).

وينبغي عدم خلط أسماء الواحدات مع رموز العمليات الرياضياتية (مثلاً، ينبغي كتابة العبارة "meter per second" بهذا الشكل وليس بالشكل "meter/second" أو بالشكل "meter second^{-1}"). وعند كتابة ناتج واحدتين، يوصى بترك فراغ (مع أنه يسمح بوضع واصلة)، ولكن ينبغي عدم استخدام نقطة موضعية (مثلاً، نكتب "newton meter" أو "newton-meter" وليس "newton.meter").

وتُفصل مجموعات الأعداد ثلاثية الأرقام التي تتألف من أكثر من أربعة أرقام بفراغات صغيرة بدلاً من الفواصل (مثلاً، نكتب الرقم 299 792 458 بهذا الشكل وليس بالشكل 299,792,458) لتجنب الإرباك المتعلق بالعلامة العشرية في الأدبيات الأوربية. وهذا التقليد في ترك الفراغ يستخدم أيضاً إلى يمين العلامة العشرية. فالقيمة العددية ورمز الواحدة يجب أن يُفصلان بفراغ حتى ولو كان استخدامها على شكل صفة (مثلاً، 35 mm وليس 35mm أو35-mm). وينبغي وضع الصفر قبل الفاصلة العشرية في الكسور العشرية (مثلاً، 0.3 J، وليس .3 J).

الواحدات التي لايشملها النظام الدولي SI

ثمة وظيفة مهمة لـ SI تتمثل بمنع انتشار الواحدات غير الضرورية. ومع ذلك هنالك ثلاث فئات للواحدات معروفة خارج إطار SI. وفي الجدول 4 تندرج "الواحدات التي يقبل النظام الدولي استخدامها". أما الاستثناءات التي ترد على هذه القاعدة فهي أن

الرموز (°، ´ و ") للزوايا المستوية لايسبقها فراغ، ويُرمز لكلمة liter بحرف كبير L لتجنب الخلط مع الرقم 1. ويبين الجدول 5 "الواحدات التي لايشملها SI ويقبل استخدامها والتي يمكن الحصول على قيمها تجريبياً في واحدات SI". أما الفئة الثالثة، وهي "الواحدات الأخرى التي لايشملها SI ويقبل استخدامها حالياً" فتتألف من الميل البحري، والعقدة (ميل بحري في الساعة)، والآر، والهكتار، والبار، والأنغستروم، والبارن.

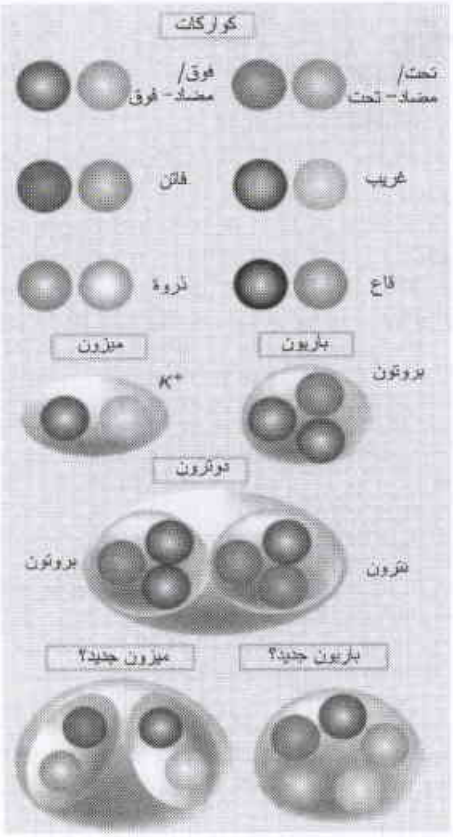
2 - أيام غريبة*

تمّ اكتشاف ثلاثة جسيمات جديدة دون ـ ذرّية جميعها يُعمِّر، على نحو استثنائي، فترة طويلة من الزمن قبل أن يضمحل. وفي الوقت الراهن، يواجه الفيزيائيون تحدياً في تفسير هذه الظاهرة ضمن إطار النظرية المتوفرة.

"كأن الأمر مشابه لكيلو باترا التي سقطت من فوق زورقها الاحتفالي في عصر ما قبل الميلاد لكنها لم تصدم الماء بعد".. هكذا كان الوصف قبل نصف قرن لاكتشاف العمر الطويل المذهل (حتى حوالي 10^{-8} ثانية) للجسيمات الغريبة. فالمادة العادية، مثل البروتونات والنترونات، تتألف من نوعين من الكواركات، معروفين بالاسمين كوارك "فوق" وكوارك "تحت" (الشكل 1).

غير أنه تم، في عام 1947، اكتشاف جسيمات جديدة تحوي نوعاً ثالثاً من الكواركات يطلق عليه اسم الكوارك "الغريب". وفي الوقت الراهن، تُعدّ الكواركات الغريبة جزءاً أساسياً للنموذج المعياري لفيزياء الجسيمات، والذي يشمل حالياً ستة أنواع من الكواركات. نحن نعلم أن ما يبدو أعماراً طويلة لهذه الكواركات الغريبة هو نتاج للتآثر "الضعيف" الذي تخضع له عند اضمحلالها... وإلاّ كان البديل أن تنتهي أعمارها في غضون 10^{-23} ثانية إذا ما عُرِّضت للتآثر "القوي الفعال"؛ وعوضاً عن ذلك، سيتعرقل الموت بالاضمحلال من خلال وجود الغرابة.

في الشهرين الأخيرين، تم اكتشاف ثلاثة جسيمات مختلفة والتي أثبت تفسيرها تحدياً للفيزيائيين النظريين؛ ورغم أنها ليست بقدر من التطرف مماثل لما ذكر في المثال أعلاه فكل واحد من هذه الجسيمات الجديدة يتمتع، على نحو استثنائي، بعمر مديد. اثنان من هذه الجسيمات هما "ميزونان" يحتوي كل منهما على كوارك مضاد غريب strange antiquark، وكوارك فاتن charm quark (وهو النوع الرابع من الكواركات) [2، 3]. وسبب حالاتها شبه المستقرة مفهوم لكن طبيعتها وديناميّاتها التفصيلية تظل أمراً مبهماً يتطلب الحل. أما الجسيم الثالث [4]، فهو عضو في عائلة "الباريون baryon" للجسيمات، والتي تشمل أيضاً البروتون والنترون؛ لكن هذا الجسيم،



الشكل 1. كواركات وجسيمات.
في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات، هنالك ستة أنواع من الكواركات جسيمات أساسية والتي تُعد بدورها لبنات بنائية لجسيمات أخرى عديدة. كذلك، يوجد لكل كوارك شريك من مادة مضادة يدعى "كوارك مضاد" anti-quark. وتزاوجات من الكواركات والكواركات المضادات تُشكل "ميزونات"، مثل الميزون "K+" وثلاثة من الكواركات تشكل "باريونات"، مثل البروتون. وتتنامى الصورة إلى أبعد مما سبق ذكره. فبروتون ثلاثي ـ الكوارك ونترون ثلاثي ـ الكوارك يتشكلان مع بعضهما "دوترون". وإضافة مزيد من البروتونات والنترونات ـ أي مزيد من مجموعات ثلاثي ـ الكوارك ـ سيؤدي إلى نشوء نواة ذرية. والاكتشافات حول ما يبدو أنه ميزون جديد [2، 3] وباريون جديد [4] لا تنسجم بسهولة مع الصورة التي سبق وضعها. في واقع الحال، قد يكون الميزون الجديد "جزيئاً" لميزونين اثنين وربما يكون الباريون الجديد "حالة خماسي ـ كوارك".

خلافاً للبروتون والنترون، يتمتع بشيء من محتوى الكوارك الغريب. في حقيقة الأمر، وخلافاً لأي باريون آخر معروف، إنه يتمتع عموماً بوحدة واحدة من "الغرابة الإيجابية positive strangeness" والتي تُمثّل بحد ذاتها لغزاً. وقد تم جزئياً تطوير نموذج الكوارك الذي يُعزِّز حالياً النموذج المعياري على أساس أن هذه الأشياء غير موجودة أصلاً. ورغم إمكانية تفسير هذا الجسيم بكونه مجموعة من أربعة كواركات (اثنان فوق، اثنان تحت) إضافة إلى كوارك مضاد غريب (والذي يزود تلك الوحدة بالغرابة الإيجابية)، إلاّ أن التحدّي يظل أيضاً في إيجاد تفسير لعدم انهيار هذا الكوارك الخماسي بشكل أسرع.

وعندما يجري تفحصها بميز عالٍ (عبر تصادمات جزيئات عالية الطاقة) تبدو الميزونات والباريونات كأسراب من الكواركات،

* نشر هذا الخبر في مجلة Nature, Vol. 424, 24 July, 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

والكواركات المضادة، والغلوونات مشكلة لحزم كمومية تُغرّي هذه المكونات بعضها إلى بعض وفق نظرية علم التحريك اللوني الكمومي chromodynamics quantum (QCD). وتكون الصورة أبسط عند ميز أخفض. تُشكل الميزونات والباريونات صنفين مميزين. فالميزونات تتألف من كوارك مفرد وكوارك مضاد، في حين تبدو الباريونات مؤلفة فقط من ثلاثة كواركات. إضافة لما سبق، يبدو أن نظرية QCD تسمح بوجود تجمعات أكثر تعقيداً من الكواركات والكواركات المضادة ـ والنوى الذرّية أمثلة مألوفة لكواركات مرتبطة مع بعضها في متعددات من ثلاثة كواركات. ويبقى السؤال مطروحاً حول وجود مماثلات تحتوي على كواركات مضادة؛ وأبسط هذه المماثلات سيكون عبارة عن كواركين متوازنين باثنين من الكواركات المضادة ـ أو في واقع الحال، "جزيء" لاثنين من الميزونات التقليدية، أو ثلاثة كواركات مترافقة مع كوارك وكوارك مضاد إضافيين، الأمر الذي يُشكل ما يُدعى "خماسي ـ كوارك pentaquark".

والدليل الواضح، لمثل هذه الحالات لا يزال ناقصاً في البيانات؛ وغيابها يُعزى إلى السهولة التي بموجبها ستنهار متحولة إلى زوج من الميزونات التقليدية أو إلى ميزون وباريون. وقد قُدِّر بأن هذه الحالات يمكن أن تُعمِّر لزمن يقل عن 10^{-24} ثانية والذي يُعدّ الحد الراهن للكشف. لكن إدراك الجسيمات الثلاثة شبه المستقرة، كما أُعلن عنه في تجارب Babar [2] وCLEO [3] في الولايات المتحدة وتجربة Spring-8 [4] في اليابان، يمكن أن يكون بحد ذاته إثباتاً على وجود هذه الحالات.

يُعدّ الباريون جديداً تماماً. فخلال 60 سنة من دراسة الجسيمات الغريبة، لم تشاهد توليفة كهذه لشحنة كهربائية وغرابة (وحدة موجبة واحدة لكل منهما) بطبيعة الباريون. وقد تم توثيق الإدراك المبتكر في اليابان للجسيم المذكور بتجربتين أخريين [5, 6]، لكن جميع الكشوف تم إجراؤها بسويات تُعدّ حالياً عند الحد الفصل للدلالة المعنوية حيث إنها محددة بكمية البيانات المتوفرة؛ وأبسط استجابة في هذا السياق هي استبعاده. لكنه يجري التخطيط ـ خلال السنة المقبلة ـ لتنفيذ تجربة بدقة إحصائية عالية من أجل إثبات فيما إذا كان الباريون موجوداً فعلاً، ومن ثم قياس خواصه (مثل سبينه). وإذا تبين أنه حقيقي يمكن، عندئذ، أن يُفسّر بصورة أكثر طبيعية بأنه خماسي كوارك يحتوي على كوارك مضاد غريب. وسوف تتطلب شبه استقرارية الجسيم المذكور أن يكون واحداً من عائلة للجسيمات مترابطة فيما بينها عبر خاصّة يطلق عليها اسم "السبين النظيري isospin". ونظراً لضرورة انحفاظ السبين النظيري (بالأسلوب ذاته لانحفاظ الطاقة والاندفاع عندما تتصادم كرتا بلياردو، على سبيل المثال) فإن عدد الأساليب التي تضمحل بموجبها هذه الجسيمات يكون محدوداً، ولهذا السبب لا يمكن لهذه الجسيمات أن تضمحل بسرعة. إذا كانت الصورة المنوه بها صحيحة، فإنها تدل ضمناً على وجود مزيد من هذه الباريونات بترابطات للشحنة والغرابة غير مألوفة، كما يمكن البحث عنها في تجارب الطاقة العالية ذوات السوية المعتدلة.

وخلافاً لما سبق ذكره، لا يوجد أدنى شك حول وجود الحالتين الاثنتين للميزونات المعروفتين كليهما بـ "Ds"؛ فهما يظهران كذروتين واضحتين في البيانات، كما يتمتع سبينهما، وبشكل شبه مؤكد، بقيمتي الصفر والواحد (ولهذا يشار إليهما بالميزونين "السُلّمي scalar" و"المحوري axial"، على التتالي). ولكلا الميزونين خصائص الحالات المكونة من كوارك فاتن وكوارك مضاد غريب؛ لكنهما، ولسبب ما، يتمتعان بكتلة أخفض من المتوقع ـ بل إنهما يتمتعان، في واقع الحال، بقدر من الكتلة خفيض جداً إلى الدرجة التي يتوقف طاقياً عندها المساران الطبيعيان لاضمحلالهما (وتحولهما إلى ميزون فاتن وميزون غريب)؛ وهذا هو السبب وراء حالتهما شبه المستقرة. لكن السؤال عن سبب كونهما أخف وزناً من أقربائهما في عائلة الفاتن ـ الغريب charm ـ strange family لا يزال بحاجة إلى حل.

وكحل محتمل للسؤال المذكور آنفاً أن يكون من الأفضل توصيفهما "كجزيئين" ـ أو حالتين مرتبطتين لميزونين، إحداهما تحوي كوارك فاتن وتحوي الأخرى كوارك غريب، ويتمتعان بطاقتين أخفض قليلاً من عتبة الانهيار. ما سبق التنويه به يعد مماثلاً لبروتون ونترون مرتبطين ببعضهما ليشكلا دوترون، ومثل هذا السلوك شوهد في موضع آخر للميزونات السُلّمية (ذات السبين صفرspin zero). أما كتل الميزونات المكتشفة حديثاً فهي، على نحو مُغر، قريبة من العتبات لبعض حالات الميزونين الاثنين (في حالة الميزون السلّمي، يتألف الجزيء من ميزوني K وD؛ وفي حالة الميزون المحوري، يتألف الجزيء من ميزوني K و*D)؛ ويبدو مؤكداً أن هذه المجموعات المؤتلفة للميزون تلعب دوراً في انخفاض الكتل التي تم لحظها لهذه الجسيمات الحديثة الاكتشاف.

وفي الوقت الراهن، هنالك مساع لاستنباط مزيد من طرائق إنتاج هذه الحالات المبهمة، إلى جانب استخدام طرائق أكثر دقة لقياس خواصها وذلك من أجل تحديد ماهية الأسباب وراء تعميرها غير المتوقع.

REFERENCES المراجع

[1] Rochester, G. D. & Butler, C. C. Nature 160, 855 857-(1947).

[2] Aubert, B. et al. Phys. Rev. Lett. 90, 24 2001 (2003).

[3] Besson, D. et al. Preprint at <http://arXiv.org/hep_ex/0305100> (2203).

[4] Nakano, T. et al. Phys. Rev. Lett. 91, 01 2002 (2003).

[5] Barmin, V. V. et al. Preprint at <http://arXiv.org/hep-ex/0304040> (2003).

[6] Stepanyan, S. et al. Preprint at <http:// arXiv.org/hep-ex/0307018 (2003).

3 - فيزياء الاندماج النووي الحراري ومشروع المفاعل* ITER**

يمثل هذا المقال حصيلة يوم "فيزياء الاندماج النووي الحراري ومشروع المفاعل ITER" الذي نظمه في 19 أيلول 2002 القسم التقني المعني "بفيزياء المفاعلات" في SFEN.

تصدر طاقة النجوم الهائلة من تفاعلات الاندماج النووي الحراري التي تحدث بصورة طبيعية في داخلها. وتحدث هذه التفاعلات بفضل الضغط الثقالي الذي يتيح بلوغ الشروط المطلوبة من حيث درجة الحرارة والكثافة خصوصاً لحدوث هذه التفاعلات الناشرة للحرارة. وتحتاج السيطرة على هذه الطاقة على الأرض أن يستعاض عن شروط الضغط الطبيعية بوسائل أخرى لا مادية، نظراً إلى أن درجات الحرارة اللازمة للتفاعلات هي من رتبة عدة عشرات بل مئات الملايين من الدرجات، وتتطلب بنى تعزل فيزيائياً البلازما عن بيئتها المادية. ويلجأ عادة إلى أسلوبين في البحث مختلفين جذرياً.

• **الاندماج بالحصر المغنطيسي**: وفيه يؤمَّن العزل الحراري بين الغاز الحار جداً الذي تحدث فيه التفاعلات (البلازما) وبين بيئته المادية بوساطة حقول مغنطيسية شديدة جداً.

• **الاندماج بالحصر العطالي**: وفيه تضغط ضغطاً شديداً كريّة صغرية من مزيج الدوتيريوم والتريتيوم بالفعل المباشر أو غير المباشر لحزم ليزرية شديدة جداً.

وقد كرّس الاجتماع بشكل رئيسي للنمط الأول من التجارب، لأن المحليات التي تتحدث عن مشروع المفاعل ITER تستدعي إسقاط الضوء على الأبحاث بالحصر المغنطيسي. ومع ذلك فقد كرّس أحد العروض للمبادئ الكبرى في الاندماج بالحصر العطالي، ثم تركّز على نمط من التجريب.

وكان ذلك أيضاً مناسبة للتذكير بالتقدم الحاصل في خط التكامل الليزري وفي ليزر الميغا جول، الذي يجري تركيبه في المركز CESTA.

أما الأبحاث التي تناولت الاندماج بالحصر المغنطيسي المنسقة دولياً منذ الخمسينيات، خاصة في أوربا في إطار المعاهدة "أوراتوم" Euratom، فقد أتاحت إنشاء قاعدة بيانات عالمية بشأن المَعْلَمات (الوسطاء) الفيزيائية الأساسية الرئيسية. وتوجّه معظم هذه الأبحاث نحو الطاقة، وإن كانت الولايات المتحدة قد حدّت من مجهوداتها لفترة زمنية معينة، بأن أعادت تركيزها على الجوانب العلمية البحتة. وجرى استخدام فئتين كبيرتين من الآلات في هذه الأبحاث هما الأجهزة ستيليراتور (stellerators) والأجهزة توكاماك (Tokamaks). وكلها ترمي إلى تحقيق تشكيلة مغنطيسية مستقرة وإلى ضمان "حصر" جيد للبلازما، أي احتواء طاقة هذه البلازما لفترات زمنية كافية الطول. وكانت فئة أجهزة الاندماج، توكاماك، مثمرة أكثر من الفئة الأولى وتشكل حالياً الصنف الرئيسي الذي يدرس في العالم.

ويقوم مبدأ أجهزة التوكاماك على إنشاء تشكيلة مغنطيسية مستقرة، من تراكب حقلين مغنطيسيين:

* الحقل الأول تولده وشائع مستوية ملفوفة حول طارة (ويسمى "الحقل السواري" toroïdal).

* والحقل الثاني يولده تيار شديد يسري داخل البلازما السوارية نفسها (ويسمى "الحقل القطبي" poloïdal).

وتكرست موضوعات العروض الثلاثة الأولى لمبادئ عمل هذه الآلات:

* التعريفات الأساسية: مفاهيم حصر الطاقة، والتحويل الدوراني، الذي يتيح إنشاء طوبولوجيات مغنطيسية متكيفة مع حصر جيد، وقوانين المقياس الكبير التي أتاحت إنشاء قاعدة بيانات لا أبعاد لها تستند إلى مَعْلَمات (وسطاء) أساسية (نصف قطر لارمور، والضغط المستنظم) وتتيح استكمالاً استقرائياً خارجياً معقولاً لآلات أكبر منها مثل المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي (ITER).

• **التسخين وتوليد التيار**: تم شرح التقنيات المستخدمة لتسخين هذه البلازما الحارة جداً والحفاظ على تيارها. وتستند هذه التقنيات إلى نمطين:

- حقن جسيمات عالية الطاقة، فيجري التسخين أساساً من نقل كمية الحركة.

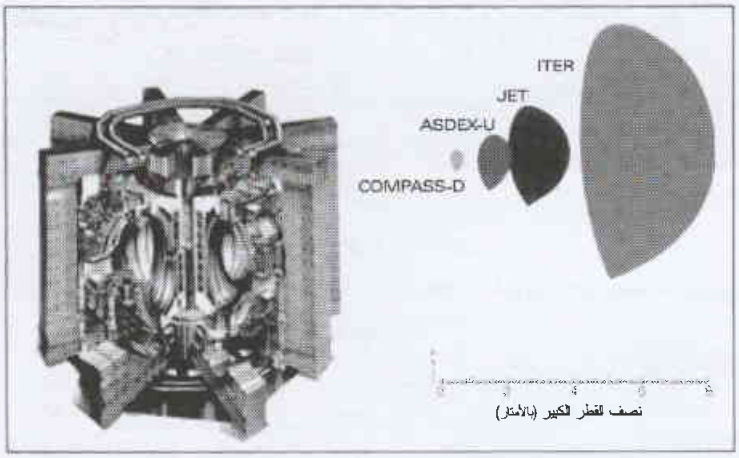
- حقن موجات كهرمغنطيسية في ثلاث مجموعات كبيرة من التواترات، حيث تكون الظواهر الداخلة في العملية إما من نمط مفعول لانداو، وإما من نمط نقل الطاقة بتواترات سيكلوترونية، وإما من ظواهر أكثر تعقيداً تدخل في العملية تغييرات في أسلوب الانتشار داخل البلازما.

• **التفاعل بين البلازما والجدران**: عرضت المفاهيم المتعلقة بنقل الحرارة عند حوافّ البلازما، والوسائل المستعملة للسيطرة على هذه الجوانب، سواء فيما يتعلق بالمواد المستعملة (الكربون هو أحد المواد الرئيسية المستعملة) أو بالجوانب المغنطيسية (الحارف وهو تركيبة متميزة بالنتائج التي حققتها، ليس فقط عند حوافّ البلازما بواسطة التحكم بالشوائب، بل أيضاً في قلب البلازما بتحسين الأداءات).

وأتاحت النتائج الحديثة الحاصلة على JET توضيحاً محسوساً للمبادئ النظرية التي قدمت في بداية الاجتماع. ويذكر أن JET

* نشر هذا الخبر في مجلة RGN N° 2, Mars- Avril 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

** International Thermonuclear Experimental Reactor=ITER (المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي).



الشكل 1 ـ تخطيطية JET ـ مقارنة بين مقاطع البلازما للآلات الحالية والمفاعل ITER.

وهو أكبر توكاماك موجود حالياً في العالم، كان قد بناه الاتحاد الأوربي بجوار أكسفورد. وبعد إطلاق عمله بأكثر من عشرين عاماً، ما يزال حتى اليوم آلة الأداء الأحسن.

ويرمي جلّ البرنامج التجريبي الحالي إلى تقديم أقصى المعلومات عن الآلة التي تقترب في قدّها من المفاعل ITER. وتجابه التجارب الحديثة بالفعل جميع خيارات المفاعل ITER وأبعاده، سواء تعلقت هذه التجارب بالخصائص المرتبطة بالأداء (نوعية الحصر، وعرض قيم الضغط ودرجة الحرارة، والتحكم بحالات عدم الاستقرار) أو بالخصائص الأكثر تقنية (الملاحظة الرهيفة للتفاعل بين البلازما والجدران، والسيطرة على البلازما المحيطية، وتفهم الظواهر الذرّية في الحارف...).

يهدف المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي (ITER) بصفته منشأة تجريبية إلى "إثبات الجدوى العلمية والتقنية لطاقة الاندماج في الأغراض السلمية". وبعد أن استغرق المشروع ITER تسع سنوات (من 1992 إلى 2001) في طور الهندسة، وصل الآن إلى طور التحديد القانوني وهو بانتظار موقع يستضيفه. وكما ذكر أعلاه فقد تم تحديد مجموعة وسطاء (مَعْلمات) هذه الآلة، وأصبحت رسومها التفصيلية متاحة وكذلك جرت كل التحليلات التي تبرر تحديد أبعادها. ودعماً لملف التعريف هذا، أنجزت سبعة مشروعات كبيرة تمثل التقانات المفتاحية (الحاكمة، الأساسية) للمشروع ITER وهي المغانط فائقة الناقلية، والتشغيل عن بعد، والمكونات عالية التدفق الحراري جداً، والكسوة الداخلية للآلة، والأعمال المعدنية ذات الدقة العالية والأبعاد الكبيرة... ويقوم توافق في الآراء قوي في الأوساط المعنية بالاندماج للاعتراف بمايلي:

- مجيء الاختيارات المعتمدة في محلها.
- استجابة المفاعل ITER لأغراضه العلمية والتقنية.
- الوقت مناسب لبناء هذه المنشأة.

- النماذج الأولية التي بنيت تعطي ثقة كبيرة في الجدوى الصناعية للمشروع.
- المنهجية المتبعة في تقدير أرقام التكلفة تقود إلى صحة تقييم هذه الأرقام.

انطلقت في عام 2001 المفاوضات اللازمة للوصول إلى وضع الهيكل الحقوقي للمفاعل ITER من أجل إنشائه واستثماره، وذلك بعد الانتهاء من دراساته الهندسية، والتفكير في بعض الأماكن المحتملة. وتجري المنافسة حالياً بين أربعة أمكنة، وهي:

- كلارنغتون بجوار تورونتو في كندا.
- كاداراش بجوار المركز الحالي لمفوضية الطاقة الذرّية، وهو موقع أوربي في فرنسا.
- فانديلوس، ليس بعيداً عن تارّاغون، وهو موقع أوربي في إسبانيا.
- روكّاشور ـ مورا في شمال جزيرة هونشو في اليابان.

والموقع الفرنسي هو الوحيد الذي يتمتع ببنية تحتية علمية وتقنية، إلى جانب قربه من مركز كبير لأبحاث الاندماج، وكونه واقعاً في ميادين الأمان والنوويات، إلخ، وهو يتمتع بدعم سياسي استثنائي سواء على الصعيدين المحلي والإقليمي أو على الصعيد الوطني، بفضل التزام الحكومة والوزيرة المكلفة بالبحث والتقانات الجديدة، السيدة كلودي هينيوره.

والخلاصة فإن هذا اليوم قد سمح بإثبات تماسك برنامج الاندماج العالمي. وفيه عرضت بالتفصيل الجوانب العلمية والتقنية وتطبيقاتها المحسوسة في تقديم النتائج التجريبية للمفاعل JET. وقد رسمت هذه النتائج التجريبية آفاق إحدى القواعد لتقدير أبعاد المفاعل ITER. كما سمح التعاون الدولي الممتاز بتقدير أبعاد الآلة التي يلتف حولها من الآن فصاعداً ستة شركاء هم: الاتحاد الأوربي وروسيا واليابان وكندا والولايات المتحدة الأمريكية وجمهورية الصين الشعبية بدءاً من شهر كانون الثاني 2003. ولم يبقَ سوى إيجاد مكان يستضيف المفاعل ITER.

4 - تسريع النبضات في البحث عن الاندماج*

يعتقد الفيزيائيون أن توليد طاقة الاندماج ربما يكون ممكناً باستخدام نبضات ليزرية فائقة الاستطاعة. يتحدث إدوين كارتليدج عن مشروعين جديدين مصممين، لكي يتكشف صوابية كل منهما.

هناك مشروع علمي يجرى الاضطلاع به حالياً، سيكون قادراً بالتأكيد على إنتاج قدر وفير من الحرارة، خلال الأشهر القليلة

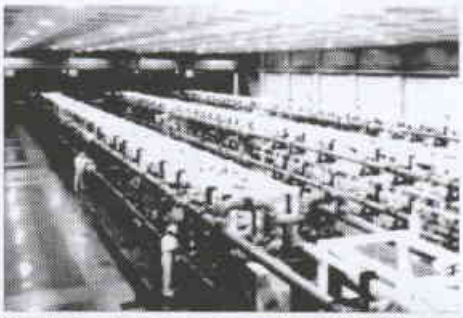
* نشر هذا الخبر في مجلة Physics World, August, 2003. وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

القادمة، هو المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي (ITER). وذلك ليس لأن تجربة الاندماج المغنطيسي هذه، التي تكلفت خمسة مليارات دولار أمريكي، سوف تقلع قريباً في أي وقت، بل لأن المتفاوضين يجب أن يقرروا مع نهاية العام مكان بناء هذا الجهاز. ومع ذلك، يوشك أن يبدأ العمل، بعيداً عن الأضواء، على تخطيطتين أصغر بكثير من هذا المفاعل، قادرين أيضاً على جعل طاقة الاندماج حقيقة واقعة. وهذان المشروعان - اللذان سينفذان في جامعة أوساكا في اليابان وجامعة روشيستر في الولايات المتحدة الأمريكية - سوف يتقصيان تقنية قائمة على الليزر تعرف باسم "الإيقاد السريع".

مهما يكن شكل الاندماج فإنه يسخّر الطاقة المفرطة التي تنتج من اندماج نواتين خفيفتين (هما الدوتريوم والتريتيوم عادة) لتشكيل نواة أثقل منهما. وهذا يعني أنه يُسخن النوى ـ الموجودة في حالة البلازما ـ إلى درجات حرارة تبلغ ملايين الدرجات لكي تتمكن من التغلب على قوى التنافر الكولوني المتبادل بينهما. ويكمن التحدي في هذا الشأن بأن تولّد مثل هذه الدرجات العالية من الحرارة أولاً، ومن ثم تحصر البلازما فيها. وسيستخدم المفاعل ITER أكثر التقنيات تطوراً لاحتجاز البلازما في هذه الدرجات العالية من الحرارة – وهي تقنية "الحصر المغنطيسي". ولكن الحصر المغنطيسي، على الرغم من أوجه التقدم الكبيرة التي حصلت في أدائه طوال سنوات، ما زال عليه أن يذلل عقبات تقنية عديدة، وليس من المحتمل له أن يستخدم لتوليد الكهرباء، قبل مرور ثلاثين عاماً.

"من المتوقع أن يكون الإيقاد السريع أحسن من الاندماج بالحصر العطالي التقليدي"

وهناك نهج آخر بديل ـ يعرف باسم "الاندماج بالحصر العطالي" ـ يستخدم حزماً ليزرية أو أيونية، تضغط قوقعة صغيرة جداً من وقود نووي وتسخنها، حتى تندفع إلى الاندماج، من قبل أن تتاح فرصة لزوال الضغط عنها. وسوف تجري تجارب اندماج الحصر العطالي في منشأتين عسكريتين عملاقتين هما الآن قيد التشييد، وينبغي أن يبدأ العمل فيهما في أواخر العقد الحالي، هما منشأة الإيقاد الوطنية (NIF) التابعة لمختبر لورنس الوطني في ليفرمور في الولايات المتحدة الأمريكية ومختبر الميغاجول في بوردو، فرنسا. غير أن مختبري الأسلحة هذين، شأنهما شأن المفاعل ITER هما مشروعان عملاقان يحملان بطاقتي تسعير بمليارات الدولارات، وهما يطبقان الشكل التقليدي للاندماج بالحصر العطالي الذي تُستخدم فيه نفس المجموعة من الليزرات لضغط الوقود ولتسخينه معاً، وهي تسخين الوقود عن طريق سلسلة من موجات الصدم، تعبر مادته بعد ضغطها.



قيد الاستهداف ـ يقوم الفيزيائيون حالياً باستخدام الليزر Gekko XII في جامعة أوساكا من أجل دراسة تقنية الإيقاد السريع الجديدة.

أما الإيقاد السريع فيستخدم مجموعة أولى من الليزرات لضغط الوقود ويستخدم لتسخينه مجموعة ليزرات ثانية تكون قصيرة النبضات. ويطلق هذا الاسم على التقنية لأن الوقود فيها يجب أن يمتص الحرارة من النبضة التي تلي الانفجار نحو الداخل (الانبجار) بزمن قدره 10^{-11} ثانية. ولما كانت هذه الطريقة لا تعتمد على موجات الصدم التي تولّد "بقعة حارة" صغيرة مركزية ـ كما يفعل الاندماج بالحصر العطالي ـ فإنها لا تحتاج إلى دقة بالغة في تجانس ضغط الليزر ولا في شكل حبيبة الوقود. كما أنها تعني أن الطاقة نفسها يمكن أن تضغط مزيداً من الوقود، مما يزيد في نسبة الطاقة المخرجة إلى الطاقة المدخلة ـ وعادة ما تكون كفاءة الإيقاد السريع أكبر من كفاءة الاندماج بالحصر العطالي التقليدي بمرتين أو ثلاث مرات.

ويقول ريوسوكي كوداما من جامعة أوساكا "إذا نظرنا إلى كل أسباب نقص الكفاءة التي تتدخل عند توليد الكهرباء بأسلوب الاندماج بالحصر العطالي، يترتب علينا أن نستنبط نظاماً تتراوح كسوبه بين 150 و200، ونتوقع أن التوصل إلى مثل هذه الكسوب أمر ممكن بالإيقاد السريع".

إثبات المبدأ

اقترح ماكس تاباك M. Tabak وزملاؤه الإيقاد السريع لأول مرة في مختبر ليفرمور عام 1999، ولكن استعماله لم يصبح مجدياً إلا مع قدوم الجيل الجديد من الليزرات الفائقة الاستطاعة للغاية. وقدّم أوّل عرض تجريبي ناجح لهذه التقنية عام 2001 كوداما والعاملون معه في جامعة أوساكا، بالاشتراك مع فيزيائيين من المملكة المتحدة من مختبر رذرفورد في أبلتون والكلية الإمبراطورية وجامعة يورك. وفي سبيل ذلك، استخدم هذا الفريق الياباني الإنكليزي النظام الليزري Gekko XII من أجل ضغط البلازما، ومعه نبضة منفصلة استطاعتها 6×10^{13} W لتسخينها. ثم أفادوا في العام الماضي أنهم رفعوا استطاعة النبضة المسخِّنة إلى درجة تصبح معها صالحة للاستعمال في تجارب الإيقاد بكل درجاته ـ حوالي بيتا واط واحد (10^{15} واط). غير أن النبضة لم تدم إلا حوالي 5% من الوقت اللازم

لتحقيق "نقطة التعادل"، وهي النقطة التي تصبح فيها الطاقة المخرجة مساوية للطاقة اللازمة لتغذية التفاعل واستدامته.

ولكي يقترب كوداما وزملاؤه من نقطة التعادل، فإنهم يقلعون الآن في مشروع يدعى FIREX. وعليهم في مرحلته الأولى، التي ستبلغ تكاليفها حوالي 80 مليوناً من الدولارات الأمريكية ويطلب إنجازها في عام 2007، أن يركّبوا ليزرَ تسخين استطاعته بيتاواط لتوليد طاقة عالية (10كيلوجول)، يُكمِّل النظام الليزري Gekko XII. وإذا تمكنوا من الاقتراب من نقطة التعادل فإنهم يأملون عندئذ في الارتقاء بمنشآت أوساكا إلى أكثر من ذلك، لكي يستعيضوا عن Gekko XII بليزر انفجار داخلي أعلى طاقة، ويبنوا ليزر تسخين تتراوح طاقته بين 20 و30 كيلوجول. وهذا يضع الباحثين على الخطّ ويمنحهم حظاً أوفر لبلوغ نقطة الإيقاد التي يصبح عندها تفاعل الاندماج يولد الطاقة الكافية لتغذية ذاته واستدامته، فلا يعود يتطلب أي تسخين خارجي. وأما المرحلة الثانية من هذا المشروع فستكلف الحكومة اليابانية ما بين 200 و300 مليون دولار، وهو مبلغ ضئيل إذا قورن بتكلفة المفاعل التجريبي النووي الحراري الدولي (ITER) ومنشأة الإيقاد الوطنية (NIF).

وفي أثناء ذلك، سيتم الانطلاق في هذا الشهر إلى بناء مشروع يدعى OMEGA EP، تبلغ تكاليفه 55 مليوناً من الدولارات الأمريكية في مختبر جامعة روشستر المعني بعلم الطاقات الليزرية في الولايات المتحدة الأمريكية. ونظراً إلى أن التشغيل سيبدأ عام 2007، فإنه سيقتضي تركيب حزمتين ليزريتين جديدتين قصيرتي النبضات في المختبر، على أن تكون طاقة كل منهما 2.5 كيلوجول (kJ). ويقول ديفيد مايرهوفر، مدير القسم التجريبي في المختبر، لا يحتمل لهذا الإنشاء أن يوصل إلى توليد نقطة التعادل اللازمة للاندماج، إلا أنه سيتيح للباحثين أن يحسّنوا فهمهم للفيزياء الكامنة خلف الإيقاد السريع.

ويقول مايرهوفر أيضاً "الخطوة المنطقية التي يجب أن تلي المشروع OMEGA EP هي أن يضاف عدد من حزم الليزر بيتاواط عالية الطاقة إلى منشأة الإيقاد الوطنية، لتحقيق عرض كامل للإيقاد السريع. وعندما يتوصل المشروعان FIREX و OMEGA إلى نتائج عالية الجودة، يكون قد توفر حظ كبير لتحقيق هذه الخطوة".

ولا توجد حالياً خطط لبناء أي منشآت في أوربا تكون مكرّسة للإيقاد السريع، حسب قول بيتر نورّيز من منشأة الليزر المركزية التابعة لمختبر رذرفورد في أبلتون. ومع ذلك فإن مجلس المختبر المركزي لمجالس البحوث، وهو الهيئة التي تشغّل مختبر رذرفورد في أبلتون، أبلغ حديثاً لجنة انتقاء العلوم والتكنولوجيا في مجلس العموم أنه "من المهم أن تستجيب المملكة المتحدة والوكالات الأوربية الأخرى عاجلاً للفرص الساخنة الجديدة التي يوفرها تحديداً استراتيجية تضمن الاستفادة من خبرة المملكة المتحدة في هذا المجال (الإيقاد السريع)".

الطاقة الكامنة

مهما يكن الشوط الذي قطعه الإيقاد السريع، فما زال نجاحه غير أكيد، إذ إن نجاحه رهن بتوفر الإمكانية لنقل جزء كبير كاف من الطاقة الموجودة في النبضة الليزرية القصيرة إلى الوقود. ولقد ذهب كوداما وزملاؤه بعيداً في هذا المجال إذ حققوا كفاءات تزيد على 20% ـ وهو الحد الأدنى اللازم للإيقاد السريع ـ بزيادتهم طاقات الحزم في أوساكا. ولكنهم يحتاجون، للحفاظ على هذا الأداء في الطاقات العالية، إلى تحسين فهمهم لكيفية انتقال الطاقة، إنْ بالإلكترونات النسبوية أو بحزم البروتونات المبأرة.

"من الواضح أنه من المتوقع أن يكون الإيقاد السريع أحسن لطاقة الاندماج من الحصر العطالي التقليدي، إلا أن من المبكّر جداً القول ما إذا كان الإيقاد سيحرز نجاحاته بسلاسة أم لا، أو أن الارتقاء به درجات، سيثير مشاكل غير متوقعة" كما يقول مايك كي، مدير علم البيتاواط في ليفرمور، ويضيف "من المؤكد أنه مجال بحث واعدٌ، يستحق كل هذه الجهود الجبّارة التي تبذل في سبيله".

5 - في البُعْد الخامس*

‹جوان مالداسينا›**

يمكن تخيُّل جسيمات مثل البروتون كأوتار تهتزّ. ونحن نعرف أيضاً أن البروتونات تحتوي على جسيمات أصغر منها شبيهة بالنقط تعاكس نظرية الأوتار. ولكن في الأبعاد الخمسة يختفي هذا التعارض.

في الفيزياء الأساسية، يتضمَّن وصفُنا للطبيعة أربع قوى: تثاقلية وكهرطيسية وضعيفة وقوية. وتُعد القوة القوية (أو الشديدة) مسؤولة عن ربط البروتونات والنترونات داخل النواة الذرّية. وقد قُبِلَتْ مُقَارَبتَان نظريَّتان مختلفتان في وصف عمل القوة القوية وفي بنَية جسيمات مثل البروتون والنترون. وتبدو هاتان النظريتان في نزاع فيما بينهما، ولكن يتم اتخاذ خطوات تدريجية للتوفيق بينهما. وها هما بولشينسكي Polchinski وستراسلر Strassler يبدّدان (في مجلة فيزياء الطاقة العالية Journal of High Energy Physics) القلق حول وجود تعارض ظاهري بين النظريتين عن طريق إظهارهما أن ذلك ليس بالضرورة تعارضاً على الإطلاق.

في الستينيات من القرن المنصرم كشفت تجارب على التصادمات ذات الطاقة العالية بين البروتونات فرطاً في جسيمات أخرى قصيرة العمر وقويّة التأثر فيما بينها. وبعد ذلك بفترة قصيرة ظهرت نظرية اقترحت أن جميع هذه الجسيمات المختلفة هي أنماط

* نشر هذا الخبر في مجلة Nature,Vol 423, 12 June, 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

* جوان مالداسينا: يعمل في مدرسة العلوم الطبيعية التابعة لمعهد الدراسات المتقدمة في برنستون، نيوجرسي، الولايات المتحدة الأمريكية.

إثارة خاصة لوتر: فمثلما يستطيع وتر الكمان أن يهتز بتواترات مختلفة، تستطيع هذه الأوتار أن تهتز بطرق مختلفة تقابل "لخبطة" الجسيمات المرصودة. وقد أثبتت "نظرية الأوتار" string theory هذه نجاعتها في تفسير بعض نواحي كتل الجسيمات وسبيناتها.

ولكن أظهرت تجارب إضافية جرت في السبعينيات من القرن المنصرم أن البروتونات ليست جسيمات أساسية. وبنفس الطريقة التي أظهر بها رذرفورد، في وقت مبكر جداً من ذلك القرن، أن النواة الذرّية أصغر بكثير من الذرّة، فقد أظهر المجرِّبون أن البروتونات والنترونات تمتلك مكوِّنات صغيرة شبيهة بالنقط. ولم يكن هذا ليتفق مع نظرية البروتونات كأوتار تمثل أجساماً ممتدّة. وفي الواقع، فقد أدّت هذه التجارب إلى وصف جديد للتآثر القوي بلغة الكواركات والغلوونات الشبيهة بالنقط من خلال نظرية دعيت التحريك اللوني الكمومي (الكروديناميك الكمومي).

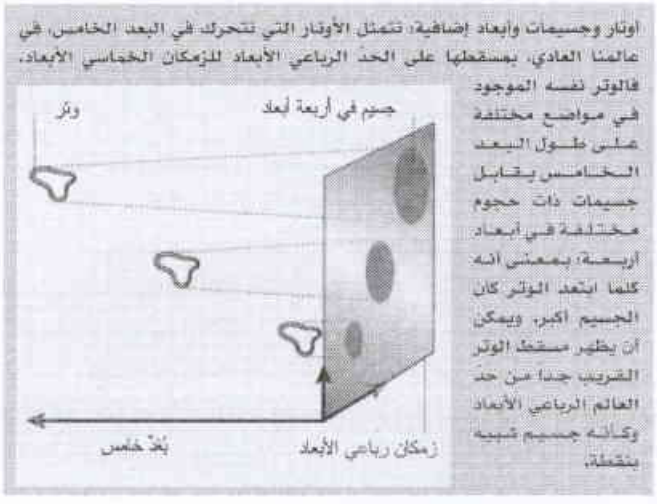
ومثلما يحمل الإلكترون شحنة كهربائية، فإن الكواركات والغلوونات تحمل نمطاً جديداً من الشحنة يدعى "اللون" (ومنها "التحريك اللوني"). فالغلوونات تنقل القوة القوية بين الكواركات بنفس الطريقة التي ينقل فيها الفوتون القوة الكهرطيسية بين الإلكترون والجسيمات المشحونة الأخرى. ولكي نصف القوة القوية، فإننا نحتاج إلى ثلاثة "ألوان" بمعنى ثلاثة أنماط مختلفة من الشحنات يرمز لها عادة بـ"أحمر" و"أخضر" و"أزرق". ونشير إلى أن صلاحية التحريك اللوني الكمومي (أو QCD اختصاراً) تمّ تثبيتها على نحو مثير بواسطة تجارب ذات طاقات عالية في مُصادمات الجسيمات. ولكن بالرغم من هذا النجاح، فإنه ما يزال من الصعب إلى حدٍّ كبير إجراء حسابات نظرية باستخدام QCD عند الطاقات المنخفضة. وهذا هو بالضَّبط المجال الذي يجب أن تغدو فيه الأشياء ممتعة: فعند الطاقات المنخفضة، تُشكِّل خطوط التدفّق اللوني حزماً من الطاقة ينبغي لها أن تسلك سلوك وتر بمعنى أن هناك علاقة أخذ وردّ من التحريك اللوني الكمومي إلى النظرية الوترية. وتقوم هذه الأوتار المصنوعة من الغلوونات بربط الكواركات على نحو متّصل.

وفي الحقيقة، أظهر جيرارد ت هوفت G.'t Hooft في السبعينيات أن التحريك اللوني الكمومي يصبح نظرية للأوتار الحرّة (غير المتآثرة) إذا كان عدد الألوان لا نهائياً. وهذا يبسّط النظرية إلى حدٍّ كبير. صحيح أن الأوتار تبقى موجودة في الشكل الثلاثي الألوان للتحريك اللوني، ولكنها في هذه الحالة تكون متآثرة. ولئن كان لم يُعْثَر حتى الآن على سبيل لتبسيط التحريك اللوني الكمومي لجعله نظرية للأوتار الحرة، فإن ذلك يمكن أن يكون مفتاحاً لفهم عدة خاصيّات منخفضة الطاقة للجسيمات تتآثر خلال القوة القوية وبخاصة من أجل اشتقاق خاصية غريبة تدعى الحَصْر confinement. هذا ولم يشاهد أحد على الإطلاق كواركاً حرّاً، لأن الأجسام الحاملة لشحنات لونية مثل الكواركات والغلوونات تخضع لخاصية الحَصْر. وبكلمات أخرى، بينما ينفصل كواركان تدريجيّاً، فإن قوة التجاذب بينهما والناشئة عن شحناتهما اللونية تبقى ثابتة. وهذا يتعارض مع القوى الأكثر ألفة مثل القوى الكهرطيسية والتثاقلية والتي تتناقص مع مربع المسافة المتزايدة.

لقد شكّلت البحوث على الأوتار في "نظريّات شبيهة بالتحريك اللوني الكمومي" إشارة التقدم على الطريق. وكانت السمة المستغربة والمضادة للحدس في هذه الأوتار أنها تتحرك في أبعاد أكثر من الأبعاد الأربعة المألوفة في الحياة اليومية والمتمثلة في ثلاثة أبعاد مكانية وبعد رابع زمني. وعلى الرغم من أن الغلوونات التي تؤلف الأوتار تتحرك في أربعة أبعاد فإنّ الوتر نفسه يتحرك في خمسة أبعاد. ويبيّن بولشينسكي وستراسلر في الوقت الحاضر أن هذه الحقيقة تُعَدُّ عنصراً حاسماً في التوفيق بين صورة الوتر والسلوك شبه النقطي الذي يشاهد في التصادمات العالية الطاقة.

تتحرك الأوتار في زمكان space-time منحنٍ خماسي الأبعاد ذي حدّ. أما الحدّ فيقابل الأبعاد الأربعة المعتادة بينما يصف البعد الخامس الحركة خارج هذا الحدّ داخل الزمكان المنحني. ويوجد في هذا الزمكان الخماسي الأبعاد حقل تثاقلي قوي يسحب الأجسام بعيداً عن الحدّ، ونتيجة لذلك يجري الزمن بعيداً عن الحدّ بشكل أبطأ منه بالقرب منه. وهذا يقتضي أيضاً أن جسماً ما ذا حجم معين ثابت في الداخل يمكن أن يظهر ذا حجم مغاير لدى مشاهدته من الحدّ (الشكل1). وأكثر من ذلك فقد تبدو الأوتار الموجودة في الزمكان الخماسي الأبعاد شبه نقطية حينما تكون على مقربة من الحدّ. ويبيّن بولشينسكي وستراسلر أنه حينما يتبعثر جُسَيْم عالي الطاقة رباعي الأبعاد (مثل الإلكترون) على هذه الأوتار (التي تمثل بروتونات) فإن الإسهام الرئيسي يأتي من وتر قريب من الحدّ، وهو لذلك يشاهد كجسيم شبه نقطي. وهكذا فإن التأويل شبه الوتري للبروتون لا يتعارض مع المشاهدة المتمثلة بوجود أجسام شبه نقطية بداخله.

ونظراً لأن النظرية التي تصف داخل الزمكان الخماسي الأبعاد تتضمّن الثقالة، توجد تداعيات مهمة أخرى لهذا النوع من الحجج.



ويمثّل ما يلي واحداً من أكثرها لفتاً للنظر. ففي التحريك اللوني الكمومي، حينما تبلغ درجة الحرارة قيماً عالية بقدر كاف (فوق $10^{12}K$) يحدث انتقال طوري phase transition ولا تعود الكواركات والغلوونات محصورة، بل يتكوّن عوضاً عن ذلك "حساء" من جسيمات حرة يدعى بلازما الكواركات والغلوونات. وفي النظرية الخماسية الأبعاد، يقابل هذا الانتقال كذلك تشكّل ثقب أسود في الداخل. وعندها يمكن لمعرفتنا بالثقوب السوداء أن تعلمنا شيئاً عن بلازما الكواركات والغلوونات. يضاف إلى ذلك أن نظرية الأوتار التحريكية اللونية الكمومية تزوّدنا بتفسير بسيط لسمة مهمة للثقوب السوداء - وهي أنتروبية بيكنشتاين - هوكنغ. وتنشأ هذه الأنتروبية (وهي قياس عدد الحالات المكروية الكمومية الممكنة) من الخصائص الترموديناميكية لثقب أسود (والتي تكون أيضاً في أصل إشعاع هوكنغ). وقد أثبت عدّ هذه الحالات المكروية بغرض استنباط الأنتروبية أنه تحدٍّ رئيسيٌّ في نظريات الثقالة الكمومية. بيد أنه في النظرية الخماسية الأبعاد، تصبح أنتروبية الثقب الأسود هي بالضبط أنتروبية بلازما الكواركات والغلوونات.

هناك علاقة وثيقة بين فيزياء التأثرات القوية strong interactions من جهة ونظرية الأوتار والثقالة الكمومية من جهة أخرى. ويملؤنا الأمل في أن يظهر في السنوات القليلة القادمة وصف يستند إلى نظرية الأوتار لتحريك لوني كمومي من العالم الحقيقي يجعل من الممكن إنجاز الحسابات بطريقة بسيطة نسبياً. وأبعد من ذلك، فلربما نتوصل إلى نظرية شبيهة بالتحريك اللوني الكمومي تستطيع وصف الثقالة.

6- كيف يمكن أن يكون لفيزياء الجسيمات فعل علاجي*

حسبما يخبر به "ماثيو تشالمرز M. Chalmers"، تثبت الجسيمات دون - الذرّية أنها ذات فعالية عالية في علاج السرطان؛ والهدف حالياً هو السعي إلى إخراجها من مختبرات الفيزياء وإدخالها إلى المشافي.

إلى حين اكتشاف علاج ناجع للسرطان، تبين أن كل فرد من بين ثلاثة أفراد يعيشون بيننا سيُضطَّر أن يخضع، عند نقطة ما من مسيرة حياته، إلى عمل جراحي أو نوع من المداواة الكيميائية أو الإشعاعية. وتستخدم المداواة الإشعاعية التقليدية أشعة X في استهدافها للنسيج السرطاني، ولو أن هنالك اهتمام متزايد بشأن استخدام الجسيمات كبديل عن هذه الأشعة. وتُقدِّم حزم الهدرونات، كالبروتونات والنترونات والأيونات، من الفوائد الهامة ما يتفوّق على تلك التي تقدمها المداواة الإشعاعية بأشعة X، ولو أن استخداماتها السريرية لا تزال إلى حدٍّ بعيد، أقل انتشاراً. ومعظم منشآت المعالجة الهدرونية قيد التشغيل حالياً في أنحاء العالم، والتي يبلغ عددها 25 منشأة، مُشاد في مواقع وجود مختبرات فيزياء الجسيمات الضخمة وليس في المشافي. وفي جلسات المؤتمر العالمي للفيزياء الطبية والهندسة الحيوية، الذي انعقد في مدينة سدني في شهر آب (أغسطس) من عام 2003، كان التركيز الرئيس على جهود لتحويل المداواة بالجسيمات إلى خيار عملي للمعالجة يمكن تحمل أعبائه المادية.

تعمل المعالجة الإشعاعية على تخريب دنا (DNA) الخلايا السرطانية - من خلال عملية تأين في المقام الأول - بحيث لا تستطيع هذه الخلايا أن تنمو وتتكاثر، في حين يبقى التخريب في حدوده الدنيا بالنسبة للنسيج السليم المحيط بالورم؛ وهذا هو المبدأ الأساسي ذاته الكامن وراء المعالجة بأشعة X. من ناحية أخرى، تخسر الفوتونات قدراً كبيراً من طاقتها قبل وصولها إلى الورم مما يؤدي إلى أذية الخلايا السليمة وإلى حدوث تأثيرات جانبية غير مستحبة.

من جهة ثانية، عندما تدخل الجسم حزمة من الجسيمات المشحونة فإنها تودع معظم طاقتها عند عمق يعتمد بشكل دقيق على طاقة الجسيمات؛ وهذا يعني إمكانية استهداف الأورام بشكل أدق، والسماح بتسديد جرعة إشعاعية أكبر إضافة إلى تسريع برنامج المعالجة.

وكما يقول آل سميث A. Smith، الباحث لدى مركز أندرسون M. D. للسرطان بجامعة تكساس والذي يترأس إحدى الجلسات المخصصة للمعالجة بالبروتونات في مدينة سدني: "ليس هنالك مبرر لتشعيع نسيج خالٍ من المرض طالما انتفت وبشكل جازم الضرورة لذلك"؛ ويُضيف الباحث المذكور قائلاً: "هنالك إجماع متزايد بشأن تفوق البروتونات على الفوتونات من حيث إمكانية تقديمها لنتائج سريرية أكثر تميزاً، وبخاصة الإقلال من ظهور تأثيرات لاحقة متأخرة كالأورام الثانوية التي تسببها المعالجة الإشعاعية ذاتها".

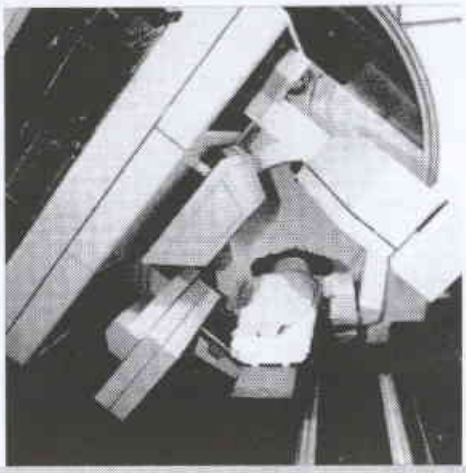
والمشكلة هي أن لإشعاعات X تكلفة بسيطة ويمكن إنتاجها بسهولة في حين أن حزم الجسيمات ليست كذلك.

المعالجة البروتونية

تُعدّ المعالجة البروتونية الشكل الأوسع استخداماً بين أشكال المعالجة بالجسيمات، والتي اقترحها الباحث روبرت ويلسون R. Wilson - المدير الأول لمؤسسة فرميلاب Fermilab في الولايات المتحدة - في عام 1954 مستخدماً في تنفيذها مسرع البيفاترون The Bevatron accelerator في بركلي؛ وقد خضع لهذا النوع من المعالجة حتى تاريخه ما يقارب 35000 مريض من أنحاء العالم

* نشر هذا الخبر في مجلة Physics World, August, 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

كافة ممن كانوا في غالبيتهم مصابين بسرطانات الشبكية؛ وقد عولج خلال السنوات الثلاثين الماضية، ما يزيد على 9000 من هؤلاء المرضى لدى مختبر سكلوترون هارفرد في ولاية ماساتشوستس. وفي السنة الماضية، تم نقل برنامج المعالجة المذكور إلى مشفى ماساتشوستس العام في مدينة بوسطن، والذي يُعدّ ثاني مركز للمعالجة البروتونية في العالم تم إحداثه على صعيد المشافي.



تم استخدام حزم للبروتونات في معالجة ما يزيد عن 35000 مريض في انحاء العالم، لكن معظم منشآت المعالجة بالبروتونات - كما هو الحال في هذه المنشأة التابعة للمؤسسة بول شيرار في مدينة فيلليغن بسويسرا - مشاد حالياً في مواقع وجود مختبرات الفيزياء.

والبروتونات، كالجسيمات المشحونة كافة، تتباطأ أثناء سيرها عبر المادة وذلك بسبب التأثرات الكهرمغنطيسية؛ ومع تباطؤ حركتها تصبح أكثر فعالية في تأيينها للذرّات عبر مسارها، كما يزداد احتمال تأثرها مع النوى الذرّية؛ وهذا يعني أن الجرعة الأعلى للإشعاع يجري تسديدها عند النقطة من الجسم التي تتوقف عندها هذه البروتونات – المسماة قمة براغ Bragg Peak، في حين تكون جرعة الإشعاع منخفضة في أماكن أخرى (انظر الشكل 2). ويطلق على النسبة بين الإشعاع المودع عند موقع الورم وذلك الذي في مسار الجسيم اسم "الفعالية البيولوجية النسبية relative biological effectiveness (RBE) والتي تُعدّ أساساً كمقياس للفائدة مقابل الخطر أو الأذى الناجم عن تقنيات المعالجة الإشعاعية.

وقبل معالجة المريض، لابد للمختصين في علم الأورام أن يحددوا بالتصوير الموقع الدقيق للورم؛ وغالباً ما يحصل ذلك باستخدام تقنية أخرى ذات أساس فيزيائي، ألا وهي: التصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني positron emission tomography (PET). وبعد ذلك، يجري تعديل طاقة حزمة البروتونات – والتي تقدر عموماً بين حوالي 100 و 200 MeV، بحيث تتلاءم مع عمق الورم. إضافة لما سبق، يمكن – من خلال جمع بروتونات مختلفة الطاقة في حزمة مفردة – أن يتم تعديل قمة براغ وتحويلها إلى منبسط plateau يُسقط جرعة عالية من الإشعاع عبر كامل عمق الورم.

وفي الوقت الحالي، هنالك ست منشآت للمعالجة البروتونية قيد الإنشاء في أرجاء العالم، إضافة إلى اقتراح بتشييد عشرين منشأة مماثلة سيكون العديد منها داخل الولايات المتحدة. وتُعزى جزئياً فورة الاهتمام هذه إلى النجاح الذي حققته أول منشأة للمعالجة البروتونية شيدت في موقع المشفى لدى جامعة لوما ليندا بولاية كليفورنية، والتي تمكنت، منذ افتتاحها عام 1990 وحتى تاريخه، من معالجة ما يزيد عن 8000 مريض؛ كذلك تُعزى فورة الاهتمام المذكورة إلى حقيقة مفادها أن شركات التأمين الصحي أصبحت الآن تعتمد المعالجة البروتونية ضمن برامج المعالجة التي تتحمل نفقاتها.

إلاّ أنه لابدّ للتقنية المذكورة آنفاً أن تقطع شوطاً قبل أن تتحول إلى نوعٍ من الخدمات الروتينية. وحسب رأي آل سميث إن أبحاثاً كثيرة تُركز في الوقت الراهن على استخدام ليزرات لتسريع البروتونات بدلاً من استخدام ما يتوفر حالياً من منابع سكلوترونية وسنكروترونية. وفي السياق ذاته يقول سميث: "من الممكن أن تُصنّع نبائط ذات أساس ليزري بقدر من الصغر يسمح بأن يكون لكل غرفة معالجة منبعها البروتوني الخاص بها، كما يتيح الحصول على أعظم خفض حقيقي في التكلفة؛ لكنه ليس محتملاً أن تصبح المسرعات البروتونية الليزرية حقيقة واقعة في السنوات العشر القادمة".

معالجة بالأيونات الثقيلة

تُعدّ المعالجة الأيونية ion therapy (أو المعالجة بالأيونات) التقنية الأحدث على مسرح المعالجة بالجسيمات. فالأيونات الثقيلة، مثل الكربون، تتمتع بفعالية بيولوجية نسبية (RBE) أعلى من تلك الخاصة بالبروتونات، كما يعتقد بأنها توفر معالجة أعظم فعالية بالنسبة للأورام عميقة التوضع والتي غالباً ما تكون "مقاومة للإشعاع" radioresistant. ويعود سبب ذلك إلى أن معدل فقد الجسيم للطاقة داخل المادة – والذي يعبر عنه كمياً بانتقال الطاقة الخطي (LET) الخاص به – يزداد مع زيادة كتلة الجسيم. وقد استخدمت أيونات الهليوم في معالجة أكثر من 2000 مريض لدى مسرع بيفيلاك في مدينة بركلي خلال الفترة ما بين عامي 1957 و1992؛ في حين استخدمت أيونات النيون في معالجة 430 مريضاً إضافياً؛ وقد تبين، منذ تلك الفترة، أن القيمة المثلى للفعالية البيولوجية النسبية تقع ضمن المدى بين الليثيوم والكربون. وفي الوقت الراهن، يوجد في العالم ثلاث منشآت فقط للمعالجة بالأيونات الثقيلة – اثنان منها في اليابان وواحدة في ألمانيا – تستخدم جميعها أيونات الكربون.

ويقول كاناي تاتسواكي Kanai Tatsuaki، الباحث لدى المسرّع الطبي للأيونات الثقيلة (HIMAC) في اليابان والذي بواسطته أمكن علاج أكثر من 1500 مريض منذ عام 1994 وحتى تاريخه: "من السهل استخدام البروتونات لكن الأيونات الثقيلة أفضل وأعظم

فعالية بالنسبة لخلايا السرطان شديدة المقاومة، ولو أن عديداً من الأشخاص يعتقدون أن الأيونات الثقيلة قد تسبب الأذى للنسيج السليم بينما نحاول نحن تبيان فعاليتها السريرية". وقد أمكن تحقيق إنجازات هامة في مجال تحسين دقة تسديد حزمة أيونات الكربون لدى مختبر GSI في ألمانيا حيث خضع، منذ عام 1997 وحتى تاريخه، 150 مريضاً للمعالجة بأيونات الكربون.

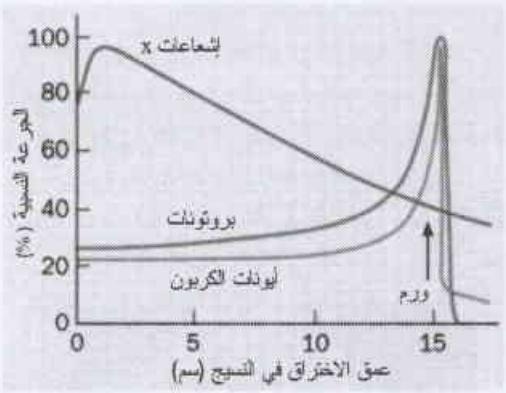
في السنة الماضية، افتتحت المنشأة الثالثة لأيونات الكربون في مدينة Hyogo باليابان؛ وهنالك المزيد من هذه المنشآت التي تخطط لبنائها المؤسسة الوقفية TERA في إيطالية وجامعة هايدلبرغ في ألمانية. وقد استفادت المشاريع المذكورة آنفاً من دراسة الماكنة الطبية للأيونات البروتونية التي كان المقر لتنفيذها مختبر CERN لفيزياء الجسيمات في مدينة جنيف.

الجسيمات في موقع المسؤولية

لا تُعدّ الجسيمات المشحونة، كالبروتونات والأيونات، الطريقة الوحيدة لمعالجة الأورام، إذ يمكن حتى للجسيمات المتعادلة أن تكون أعظم فعالية في هذا المجال. فالنترونات السريعة تفقد طاقة في الورم عبر حدوث تأثرات مع النوى، وليس عن طريق التأين، الأمر الذي يسبب تخرباً للخلية لا يستطيع الجسم ترميمه وإصلاحه؛ لذلك، تتمتع النترونات بانتقال خطّي للطاقة (LET) أعلى من ذلك الخاص بالجسيمات المشحونة، كما يمكنها أن تنتج RBE (فعالية بيولوجية نسبية) أعلى ثلاث مرات من تلك الخاصة بالبروتونات أو الأيونات.

في السبعينيات من القرن الماضي، أدرك الفيزيائيون لدى فرمي لاب Fermilab أن بإمكان مسرعهم الخطي أن ينتج بروتونات أكثر مما يحتاجون إليه والتي يمكن استخدامها في توليد حزمة من النترونات. وقد تمّ، في وقت لاحق، تأمين الأموال لدراسة منشأة مكرسة خصيصاً للعلاج بالنترونات السريعة والتي تمكنت فيما بعد من علاج أكثر من 3000 مريض حتى تاريخه. وفي الوقت الراهن، توجد عدة منشآت نترونية قيد التشغيل على نطاق عالمي؛ لكن آرلين لينوكس A. Lennox ، الباحثة لدى منشأة فرمي لاب، تعتقد أن العلاج بالنترونات يتطلب مزيداً من الموارد من أجل انتشاره وتسويقه. وتقول الباحثة المذكورة في هذا السياق: "ليس العلم الأساسي هو المشكلة هنا؛ فمعظم الأطباء والمرضى لا يعلمون شيئاً عن فوائد العلاج بالنترونات السريعة؛ ويعود السبب الرئيس وراء معرفة الناس بالعلاج البروتوني إلى جامعة لوما ليندا التي دفعت تسويقه بعناد لفترة تزيد عن 10 سنوات".

وهنالك شكل أحدث للمعالجة بالجسيمات يعطي قدراً أعظم من انتقال الطاقة الخطي، ألا وهي: "المعالجة الداخلية بالهدرونات internal hadron therapy". فعلى سبيل المثال، عند المعالجة بالأسر النتروني للبور، نلجأ في البداية إلى حقن المريض بإحدى مركّبات



عند إجراء معالجة نسبية بإشعاعات X، فإن الفوتونات تخسر طاقتها سريعاً بالتأين أثناء سيرها عبر الجسم، من جهة ثانية، تودع الجسيمات المشحونة ـ كالبروتونات وأيونات الكربون ـ معظم طاقتها عند عمق محدد يتوقف على طاقتها (المسماة بقمة براغ). هذا يعني أنها تستطيع تسديد جرعة إشعاعية عالية عند موقع الورم في حين أنها تتجنب النسيج المحيط بهذا الموقع.

البور التي تتراكم في النسيج السرطاني. بعد ذلك، نوجه نحو الورم حزمة نترونات بطيئة صادرة إما عن مفاعل أو مسرع الأمر الذي يسبب انشطار ذرّات البور إلى أيونات ليثيوم وجسيمات ألفا؛ ومن ثم تعمل هذه الجسيمات المشحونة على تخريب الخلايا المجاورة، لكن لها قدراً من الطاقة يكفي فقط لإحداث هذا التخريب في موقع متمركز، وهي بذلك تتجنب النسيج السليم المحيط بهذا الموقع.

ويُعدّ المؤتمر العالمي المنعقد في مدينة سدني أول مناسبة تُناقش فيها معاً طريقتا المعالجة بالحزمة الخارجية وبالهدرونات الداخلية. وفي هذا السياق، يقول باري آلن B. Allen، الباحث لدى مشفى جورج لمركز رعاية السرطان في مدينة كوغارا Kogarah بأستراليا والذي كان يعمل كمنظم مشارك في اجتماع سدني: "بديلاً عن المعالجة الموضعية، تُقدِّم المعالجة الداخلية بالهدرونات نوعاً من العلاج الجهازي الذي يشمل الجسم كله؛ وهذا بحد ذاته يُعدّ المفتاح لمعالجة السرطان".

وبينما لا يزال الأمر في مرحلة مبكرة جداً، إلا أن شركة صغيرة في الولايات المتحدة بدأت تتوجه نحو استخدام المادة المضادة antimatter كشكل محتمل للمعالجة بالجسيمات. وتقوم حالياً شركة PBar medical باستخدام حزم بروتونات مضادة antiproton beams، لدى مختبرات CERN، لدراسة تأثير البروتونات المضادة في المادة البيولوجية [انظر الصفحة 12 من عدد شهر آذار (مارس) Physics World]. هذا، وتُبدي البروتونات المضادة قمة براغ ذاتها التي تبديها البروتونات؛ لكنها، عندما تُقابل البروتونات والنترونات عند موقع المعالجة، تفنى منتجة إشعاعات غاما وجسيمات عالية الطاقة تؤدي بدورها إلى مزيد من التخريب للخلايا السرطانية. لذلك، من المحتمل أن يكون للبروتونات المضادة قدراً من RBE (الفعالية البيولوجية النسبية) يعادل ضعف تلك التي تتمتع بها البروتونات، ولو أن إثبات هذه المقولة رهن بأبحاث مستقبلية.

7- سلك فائق الناقلية يتحول إلى قدرة كهربائية *

بعد عامين من اكتشاف أن ثنائي بوريد المغنيزيوم هو ناقل فائق، حَرص المهندسون والمقاولون على تحويل خواصه إلى الربح.

أدى اكتشاف الناقلية الفائقة عند الدرجة 39 كلفن للمركب المعدني ثنائي بوريد المغنيزيوم منذ عامين إلى ضجة فعلاً. ومنذ ذلك الحين قطع الفيزيائيون والكيميائيون شوطاً طويلاً في فهم مجموعة الظروف الغريبة التي تؤدي إلى درجة الحرارة الحرجة العالية تلك في هذه المادة المتاحة بشكل واسع. وفي الوقت ذاته، ركّز العلماء المختصون بالمعادن والمهندسون والمقاولون على الإمكانية التجارية لثنائي بوريد المغنيزيوم كسلك فائق الناقلية، والذي كان موضوعاً مطروحاً للبحث في اجتماع ليوم واحد في كامبردج في المملكة المتحدة من شهر نيسان.

إن السلك الكهربائي الذي يستطيع حمل تيار كهربائي دون أية مقاومة له تطبيقات جَليّة في توليد القدرة الكهربائية. يمكن للسلك فائق الناقلية بلفه حول قلب المحوّلات والمولّدات والمحرّكات أن يزيد من فاعلية تطبيقات التيار المتناوب بشكل مثير. ومع ذلك، فإن الناقلية الفائقة والتيار المتناوب (AC) ليسا الأقربين في الصداقة. فعندما يحمل الناقل الفائق التيار المتناوب، تتحرك دوامات التدفق المغنطيسي إلى داخل وخارج السلك مع اجتياز التيار كل دورة. وهذا يتطلب طاقة مما يعني بأن لجميع النواقل الفائقة مقاومة فعّالة صغيرة عند استخدامها مع التيار المتناوب.

منافسة هادئة

تولد تطبيقات التيار المتناوب من أجل ذلك بشكل فعلي حرارة. وهذه الحرارة أقل بكثير مما يتولد من مقاومة كهربائية عادية، لكن يجب التخلص منها بالتبريد القرّي وإلاّ فإن درجة حرارة التشغيل ستتجاوز درجة الحرارة الحرجة وتؤدي إلى فقدان الناقلية الفائقة. وبالأخذ بعين الاعتبار تكلفة التبريد، يكون الحد الأدنى لدرجات حرارة التشغيل التجارية بين 20-30 كلفن. وهذا هو سبب أن النواقل الفائقة التي تعمل في درجات حرارة الهليوم السائل (4.2 كلفن) لا تستعمل إلاّ من أجل مغانط التيار المستمر أو في التطبيقات حيث لا تطبق فيها الاعتبارات التجارية. وهذا هو السبب أيضاً الذي ولّد فيه ثنائي بوريد المغنيزيوم مثل هذا الاهتمام بين المهندسين الكهربائيين.

سلك فائق الناقلية من ثنائي كلوريد المغنيزيوم يمكن ان يجعل "الجيل الثاني" من الالات الكهربائية قابلة للتطبيق تجاريا.

في عام 2002 أوجزت عدة مجموعات التعديلات التعدينية المطلوبة لجعل ثنائي بوريد المغنيزيوم (MgB_2) يحمل تياراً كهربائياً ذا نفع في حقول مغنطيسية عالية. وسيكون هذا الأمر أساسياً من أجل "الجيل الثاني" للآلات الكهربائية البالغة الدمج حيث تحلّ فيها المادة الفائقة النقل بشكل كامل محلّ السلك النحاسي. تمَّ تطوير عدة تقنيات مثل ترسيب بوريد الإتريوم من قِبل باحثين في الإمبيريال كوليدج في المملكة المتحدة ومثل المحلول المشترك مَن السليكون والكربون من قبل عاملين في جامعة وولّونغونغ في أستراليا. تعمل هاتان التقنيتان بأسر دوّامات الدفق المغنطيسي عند مواقع معينة في المادة. وهذا يمنعها من الحركة في الحقول المغنطيسية العالية وبالتالي تسمح للتيارات الكبيرة أن تنساب بدون توليد حرارة. ساعدت الأساليب الميكانيكية المحضة أيضاً على تحسين خواص سلك MgB_2 النقي، مثل إعادة طحن مسحوق MgB_2.

يكلّف السلك الفائق الناقلية من النيوبيوم والتيتانيوم، في الوقت الحاضر، تقريباً دولاراً واحداً لكل كيلوأمبير متر ($kA^{-1}m^{-1}$) عند الدرجة 4.2 كلفن – وهذه تكلفة شراء طول متر واحد من السلك لحمل تيار واحد كيلو أمبير. يكلف شريط أكسيد البزموت والسترونسيوم والكالسيوم والنحاس (BSCCO) مبلغ 200 $kA^{-1}m^{-1}$ دولاراً عند الدرجة 77 كلفن، في حين تتوقع Hyper Tech في أوهايو أنها قادرة على إنتاج سلك MgB2 بطول كيلومتر واحد بسعر 2.50 $kA^{-1}m^{-1}$ دولار عند الدرجة 20 كلفن خلال عام 2004.

تتضمن الدراسات التي قامت بها وزارة الطاقة (DOE) في الولايات المتحدة أن من الضروري أن تكون هذه الأسعار أدنى من 10 $kA^{-1}m^{-1}$ دولار عند الدرجة 77 كلفن حتى يمكن أن يكون السلك الفائق الناقلية من الناحية التجارية قابلاً للتطبيق – وحتى أرخص من ذلك لتطوير المحوّلات الفائقة النقل من أجل صناعة الكهرباء. تعمل شركة محركات كهرباء BSCCO التي هي قيد التطوير لسلاح البحرية الأمريكية فعلاً عند الدرجة 27 كلفن لأنها لم تستطع أن تتغلب على المشكلات والمصاعب التي ترافق شدّات الحقل المغنطيسي المفيدة عند الدرجة 77 كلفن. إن إحلال هذه الأشياء بسلك MgB_2 سيكون عملاً صائباً وسيكون أرخص بأكثر بـ 40 مرة، مما يسمح بفرصة تجارية سريعة.

* نشر هذا الخبر في مجلة Phsics World, June, 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

نافذة تجارية

تتنبأ الشركة الأمريكية للنواقل الفائقة بأن سعر سلك BSCCO سيصل في آخر الأمر إلى $25\ kA^{-1}m^{-1}$ دولاراً عند الدرجة 27 كلفن في مصنع مثالي يعمل بطاقته الكاملة. سيكون هذا الأمر جيداً بالنسبة للبحرية في الولايات المتحدة ولكنه لا يكون كذلك في الاستخدام التجاري الواسع. إن آمال وزارة الطاقة معلّقة على شريط أكسيد الإتريوم والباريوم والنحاس (YBCO) الذي لديه الفرصة أن يكون في آخر الأمر رخيصاً بشكل كاف كي يُستخدم تجارياً. والسؤال هو كم سيأخذ هذا الأمر من الوقت؟ هل من الممكن أن يكون تطوير MgB_2 في الوقت نفسه جديراً بالاهتمام؟

لقد قدّر في اجتماع كامبردج أنه بينما تدّعي الناقلية الفائقة الأمريكية بأن شريط YBCO سيكون جاهزاً تجارياً عام 2005، فمن غير المحتمل أن تكون الشركة قادرة على إنتاج المادة بالسعر نفسه الذي تنتج فيه الشريط المعتمد على البزموت قبل عام 2011. أولاً ستحتاج الشركة أن تزيد المبلغ لبناء مصنع جديد، وهذا ما سيأخذ عدة سنوات مع العلم بأن الشركة لم تحقق ربحاً بعد من مبلغ العشرين مليون دولار من معمل البزموت المفوضة به في شهر كانون الثاني من العام الماضي. ثانياً، يتطلب الشريط القائم على الإتريوم بصورة فعلية معدات معقدة من المتوقع أن تكون غالية الثمن.

وبالمقابل، من الممكن صنع MgB_2 باستخدام عمليات قليلة التعقيد جداً من الناحية التقانية من أجل تكلفة قليلة من رأس المال، علماً بأن الاستثمار المستقبلي موجّه إلى YBCO وليس باتجاه استمثال مصنع BSCCO، ومن غير المحتمل أن تكون أسعار BSCCO عام 2011 أقل بكثير مما هي عليه في الوقت الحاضر. ولا يزال هنالك فترة عدة سنوات قبل أن تتمكن أسعار YBCO من الهبوط إلى حوالي $10\ kA^{-1}m^{-1}$ دولار. ولذلك يبدو من المؤكد أن هنالك فترة زمنية تجارية لا تقل مدتها عن عشر سنوات قبل أن تصبح YBCO مزاحماً جدّياً، وليس من المؤكد البتة بأن من الممكن بأي حال صنع قطع طويلة من شريط الإتريوم.

مازالت هنالك قضايا تحسينية من أجل MGB_2. الصعوبة الأساسية هي أن أسلاك MgB_2 الحالية غير ثابتة. إنها تتوقف عن الناقلية الفائقة وتحترق عند تيارات أدنى بكثير من التيارات المعروفة بأنها عملية في القياسات المغنطيسية. ثانياً، تحتاج الأسلاك أن تُجعَل مثالية لتقليل خسارات AC إلى الحد الأدنى حيث إن هذا يحدد تكاليف المبرّدات القريّة. إن هذه القضايا الهندسية لحسن الحظ مفهومة تماماً، وفي كلتا الحالتين تحتاج أسلاك MgB_2 فقط أن تصنع بشكل أكثر دقة. يبلغ قطر قلوب الأسلاك الفائقة النقل الحالية نموذجياً 0.7 ملّيمتر، ولهذا هنالك مجال واسع من أجل التحسين والتطوير.

8- من المختبر إلى المريض*

كيف تأخذ جزءاً من بحث في الفيزياء الطبيَّة وتحوِّله إلى منتَج تشتريه المستشفيات وتستعمله؟ بيتر جوين يتكلم عن شركتين متخصِّصتين لهذا الغرض.

في شهر تشرين الثاني/نوفمبر المنصرم شرعت "تقانات أومينسونكس الطبية" OmniSonics Medical Technologies في الولايات المتحدة تسوِّق على نطاق تجاري تقانةً فوق صوتية كانت قد أوجدتها لمعالجة الانسدادات في الأوعية الدموية. ويستخدم الأطباء الأوربيون والأستراليون أيضاً هذه الطريقة في معالجة المرضى، إذ وجدوها أقل جَوْراً من الطرائق الحالية الأخرى. كما وتخضع هذه التقانة الآن لتجارب سريرية في الولايات المتحدة.

تقول ماجي باكس M. Pax (نائبة رئيس التسويق في الشركة الواقعة في وُلمْنغتون بماساشوستس): "إننا نتوقع الترخيص لنا بتسويق هذه النبيطة بحلول نهاية العام الحالي، بعد أن انتقلت بسرعة كبيرة من فيزياء بحتة إلى نموذج أوَّليٍّ ثم إلى مُنْتَج".

إن مثل هذا التعويل على إدخال أحدث الأبحاث والتقانات إلى المستشفيات، بأقصر وقت ممكن وبشكل مأمون، ليس بالأمر غير العادي أو الجديد في الصناعات الفيزيائية الطبية. ويقول أنتوني أرميني A. Armini الذي يُعَدُّ مؤسِّس شركة إمبلانت سيانسيس Implant Sciences في ويكفيلد وماساشوستس ورئيسها والمسؤول التنفيذي الرئيسي فيها: "إن الفيزياء الطبّية مهنة قديمة الرسوخ، ونحن نحاول الآن تطبيق بعضٍ من أحدث التقنيات الفيزيائية الجديدة".

لقد تحوّلت شركة إمبلانت التي هي بالأصل شركة أنصاف نواقل، إلى الفيزياء الطبية منذ عشر سنوات خلت حين اكتشفت أن تقانة الاغتراس الأيوني ion-implantation يمكن استخدامها لإطالة حياة استبدالات الرُّكبة والمفاصل. ومؤخَّراً جداً استجابت هذه الشركة للاهتمام المتنامي الطبي بالتقنية التي يطلق عليها اسم المعالجة القصيرة brachy therapy والتي يستخدم فيها تشعيعٌ قصير المدى صادر عن "بذور" مشعّة مغروسة في الجسم من أجل قتل الخلايا السرطانية، فأوجدت منذ حوالي أربع سنوات تقْنيةً جديدة لإنتاج بذورِ اليود تُسْتَخْدم في معالجة المرضى بسرطان البروستات.

لم تواجه الشركة صعوبة تذكر فيما يخصّ الضوابط، لأن بذور اليود سبق لها أن أحرزت الموافقة. وما كان على شركة إمبلانت هذه إلاّ أن تستنبط وسيلة أكثر نجاعة لصنعها. ولكن لم تجر الرياح كما تشتهي السفن إذ يقول أرميني: "إننا لا نملك في الولايات

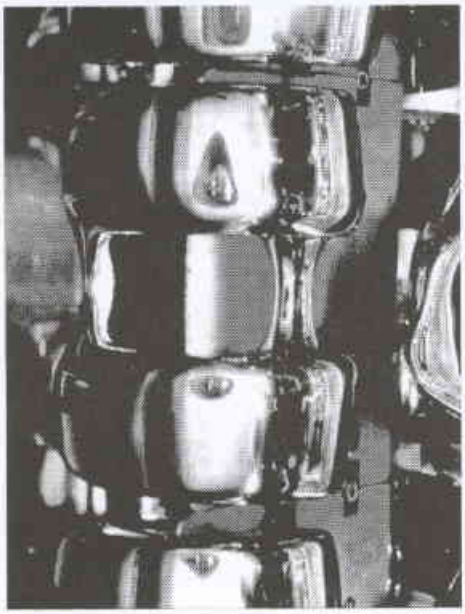
* نشر هذا الخبر في مجلة Physics World, August, 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المتحدة إلا قليلاً جداً من مفاعلات البحوث لصناعة نظائر تجارية، وهذا ما جعلنا نتوجه إلى أوربا".

ومن ناحية أخرى، أوجدت أومنيسونكس تقانة جديدة تماماً وبذلك كان عليها أن تقنع السلطات التنظيمية الطبية بسلامة مُنْتَجها وفعاليته إزاء كل نمطٍ حالةٍ طبيّةٍ يراد منه أن يعالجها.

الفيزياء مقابل الكيمياء

اغتنمت إمبلانت الفرصة لتصنيع "بذور يود–125" تكون أرخص كلفة من تلك التي تنتجها الطريقة السائدة. ويشرح أرميني قائلاً: "إنك في العادة تصنع قارورة كزينون –125 في مسرِّع نووي بضع ساعات ثم تقوم بعملية كيميائية رطبة لعَزل اليود–125. ولكننا اكتشفنا طريقة فريدة لأخذ الكزينون وتكثيفه بدرجة حرارة الغرفة بحيث تستطيع أن تضعه في مسرِّع وتحوِّله إلى يود–125 بشكل جاف". وتؤكد الشركة أن عملية التصنيع الجافة هذهِ أقل كلفة وخطورة من تقنيات الكيمياء الإشعاعية الرطبة.



يستطيع الاقتراس الأيوني زيادة عمر استبدالات الركبة لفترات أكثر ديمومة

تتطلّع إمبلانت الآن لإيجاد بذور لمعالجة سرطان الثدي، إذ يفضِّل الجرّاحون على نحو متزايد اعتماد طريقة استئصال الكتلة Lumpectomy، التي تستأصل كتلة الورم وحدها، على استئصال الثدي mastectomy التي تزيل الثدي بكامله. وبعد استئصال الكتلة يشعّع الأطباء السريريون المنطقةَ المصابةَ، نموذجياً بالإريديوم – 192. ويقول أرميني: "تكمن المشكلة في أن الإريديوم منبعٌ قوي للإشعاع بحيث يجب أن يُشَعَّعَ المريضُ في غرفة من الخرسانة، ولا تتاح هذه الغرف في معظم المستشفيات. بيد أننا اكتشفنا نظيراً بديلاً هو إتربيوم –169 (ytterbium–169) يعطي الجرعة نفسها موضعياً ولكن بدون أن يتوغّل عميقاً".

ومرة أخرى أوجدت الشركة طريقة لصنع نظيرٍ مشع لا تتضمّن كيمياء رطبة ولا نكليدات مشعة متداولة فيزيائيّاً. وأكثر من ذلك، فإن مقاربة الإتربيوم –169، لكونها تشبه استخدام الإريديوم–192، لا تقتضي إخضاعها لتجارب سريرية. ويأمل أرميني الشروع باستخدامها في المعالجات في غضون الأشهر الستة أو التسعة القادمة.

ومع ذلك، فإن التقنيات المعتمدة على الفيزياء لا تثبت على الدوام نجاحها. فمنذ حوالي خمس سنوات، عرضت "إمبلانت سيانسيس" فكرة معالجة أمراض القلب الإكليلية بسنّادة stent مشعّة تتيح فتح شرايين المرضى. ويستذكر أرميني قائلاً: "شيَّدنا مسرِّعاً عالي الطاقة لعمل حزمة أيونية مشعَّة من الفسفور – 32، وصرفنا الكثير من الوقت والمالِ لصنع سنّادات مشعّة. وكان ذلك إنجازاً فذّاً هائلاً للفيزياء. بيد أن الكيميائيين كانوا في الوقت ذاته يصمِّمون سنّادة تعمل عن طريق تحرير العقار. ويقول أرميني في هذا الصدد: "لقد أظهروا عجز مصداقيتنا بالرغم من أن سنّادتهم هذه تكلِّف ثلاثة أضعاف تكاليف سنّادتنا". ويتابع أرميني قائلاً: "لا تنتصر الفيزياء على الدوام".

مشكلات وعائية

لقد برهنت مقاربة أومنيسونكس في معالجة المشكلات الوعائية على أنها أكثر وعداً بالنجاح. أما في الوقت الحاضر فإن المرضى يعالجون بالجراحة بمقياسها الكامل، وهي إجراءٌ باضعٌ invasive وخَطِرٌ في آنٍ معاً؛ أو يعالجون بشكل غير مباشر عن طريق إدخال جسم ما، مثل بالون، داخل الأوعية الدموية بغية فتح الانسداد ومن ثم تطبيق سنّادة تبقيه مفتوحاً. وفي عام 1998 عرض روبرت رابينر R.Rabiner، المؤسس المشارك لشركة أومنيسونكس ورئيسها المسؤول التنفيذي الأول فيها، فكرة استخدام فوق الصوت ultra sound لتَنْسف الإنسدادات في الشرايين والأوردة إلى قطع صغيرة بقدر يكفي للتخلّص منها عبر المجرى الدموي. ثم طلب رابينر من برادلي هير B. Hare، المؤسس المشارك للشركة والمسؤول الفني الرئيس فيها، أن يضع التفاصيل.

ومع أن الجراحين كانوا يستخدمون فوق الصوت منذ الستينيات من القرن الماضي، لم يكن بالمقدور إنتاج الأمواج الصوتية الطولية المناسبة للجراحة إلا بواسطة نبائط كانت جاسئة بشكل كامل، الأمر الذي شكّل لبرادلي هير معضلةً جدّية. فهو يستذكر قائلاً: "إذا كان لنا أن نجعل هذه الطريقة مفيدة فقد كان لا بد أن نكون قادرين على نشر فوق الصوتيات في مواضع اعتباطية في أيِّ مكان من الجسم، الأمر الذي عنى لنا وجوب جعل آليات التوصيل delivery تنحني وتكون مسايرة للإجراءات الجارية".

لقد تمثّل حل هير في استخدام الاهتزازات العرضانية (التي كانت تكبت سابقاً بسبب اعتبارها طفيلية) لأجل توصيل فوق الصوت. ويشرح هير ذلك بقوله: "إن فوق الصوت الطولي لا يملك

مفعولاً إلاّ في أسلته tip على غرار ثقّابة صغيرة، أما الاهتزازات العرضانية فيمكن بها معالجة حجم ضخم من المواد".

ونظراً إلى أن هذه الطريقة كانت جديدة، فقد كان على أومنيسونكس في المقام الأول أن تثبت أهميتها في الحيوانات (وبخاصة في الخنازير لكون بنيتها الوعائية تشبه البنية الوعائية في البشر) ومن ثم في تجارب سريرية بشرية. ويقول هير: "إنه لمشوارٌ طويل جدّاً يَفْصِل ما بين النظرية والمُنْتَج. وكذلك تتّصف المنظومات البيواوجية بتَغيُّريّة هائلة، بحيث يختلف كل مريض عن غيره. ولا يُثَمِّن الفيزيائيون ذلك الأمر على الدوام".

9- اليورانيوم

ما هو اليورانيوم؟

اليورانيوم عنصر مشع يوجد في الطبيعة في التربة وفي المياه السطحية وفي المياه الجوفية بتراكيز قليلة (عدة أجزاء في المليون). إنه الأثقل من بين العناصر الموجودة في الطبيعة إذ يبلغ عدده الذرّي 92. وهو بشكله النقي معدن ثقيل فضّي اللون تبلغ كثافته ضعف كثافة الرصاص تقريباً. يوجد في الطبيعة على شكل نظائر عديدة: وهي في المقام الأول اليورانيوم - 238 واليورانيوم - 235 وكمية صغيرة جداً من اليورانيوم - 234. (النظائر أشكال مختلفة من العنصر لها العدد نفسه من البروتونات ولكنها تختلف بعدد النترونات). في عينة نموذجية من اليورانيوم الطبيعي، تتألف جميع الكتلة تقريباً (99.27%) من ذرّات اليورانيوم - 238. ويتألف أقل من 1% من الكتلة (نحو 0.72%) من ذرّات اليورانيوم - 235، وكمية قليلة جداً (0.0055% من الكتلة) من اليورانيوم - 234.

اليورانيوم مشعّ بشكل طبيعي، ويضمحل ببطء شديد بإصداره جسيمات ألفا. نصف عمر اليورانيوم -238 يبلغ 4.5 بليون سنة مما يعني أنه ليس نشطاً إشعاعياً كما هو ظاهر من نشاطه النوعي المنخفض القيمة. إن أطوال أنصاف أعمار نظائره المديدة هذه هي السبب في أنه لا يزال موجوداً على الأرض. هنالك ثلاثة نظائر إضافية (اليورانيوم -232، اليورانيوم -233 واليورانيوم -236) لا توجد بشكل طبيعي ولكن يمكن إنتاجها بواسطة التحولات النووية. تضمحلّ هذه النظائر الثلاثة بإصدارها جسيم ألفا.

ما هو مصدر اليورانيوم؟

بينما توجد كميات قليلة من اليورانيوم الطبيعي في أي مكان تقريباً من التربة والصخور والمياه، فإن خامات اليورانيوم توجد فقط

الرمز	U
العدد الذرّي (البروتونات في النوى)	92
الوزن الذرّي (الطبيعي المتناسب)	238

خواص النشاط الإشعاعي لنظائر اليورانيوم الرئيسة والنكليدات المشعة المرافقة

النظير	عمر النصف	الوفرة في الطبيعة	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الإشعاع (MeV) ألفا (α)	بتا (β)	غاما (γ)
U-232	72 سنة	0	22	α	5.3	0.017	0.0022
U-233	160,000 سنة	0	0.0098	α	4.8	0.0016	0.0013
U-234	240,000 سنة	0.0055	0.0063	α	4.8	0.013	0.0017
U-235	700 مليون سنة	0.72	0.0000022	α	4.4	0.49	0.16
Th-231	26 ساعة		540,000	β	-	0.17	0.026
U-236	23 مليون سنة	0	0.000065	α	4.5	0.011	0.0016
U-238	4.5 بليون سنة	> 99	23,000	α	4.2	0.01	0.0014
Th-234	24 يوم		0.00000034	β	-	0.06	0.0093
Pa-234m	1.2 دقيقة		290 مليون	β	-	0.82	0.012

Ci= كوري، g= غرام وMeV= مليون إلكترون فولط. الشرطة تعني أن المدخل ليس قابلاً للتطبيق. خواص الثوريوم 231 والثوريوم 234 والبروتاكتينيوم - 234m متضمنة هنا لأن هذه النكليدات المشعة ترافق اضمحلال اليورانيوم. أعطيت القيم برقمين معنويين.

* نشر هذا الخبر في مجلة Physics World, August, 2003، وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

في أماكن قليلة – عادة في الصخر القاسي أو الحجر الرملي على شكل توضعات مغطاة بشكل طبيعي بالتراب أو النباتات. يستخرج اليورانيوم من المناجم في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة وفي كندا وأستراليا وأجزاء من أوربة وفي الاتحاد السوفييتي سابقاً وناميبيا وجنوبي إفريقيا والنيجر وفي أمكنة أخرى. وهو الملوِّث في كثير من مواقع وزارة الطاقة بما فيها المواقع المستخدمة كمناجم ومن أجل الطحن والإنتاج.

كيف يستعمل اليورانيوم؟

استعمل اليورانيوم، منذ عدة سنوات، كملوّن في تزجيج الخزف، معطياً بذلك ألواناً تتراوح بين الأحمر البرتقالي والأصفر الليموني. واستعمل أيضاً من أجل التلوين الخفيف في بداية التصوير الضوئي. لم يتم التعرّف على الخواص الإشعاعية لليورانيوم حتى عام 1896، ولم يُعرف إمكان كونه مصدراً للطاقة حتى منتصف القرن العشرين. يستعمل اليورانيوم، في المفاعلات النووية، كمصدر للنترونات (عن طريق عملية الانشطار) وكدريئة للحصول على البلوتونيوم (يتم الحصول على البلوتونيوم -239 عندما يمتص اليورانيوم -238 نتروناً). يستخدم اليورانيوم بشكل رئيسي، في الوقت الحاضر، كوقود في مفاعلات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء. ويستعمل أيضاً في المفاعلات النووية الصغيرة في العالم لإنتاج النظائر من أجل الأغراض الطبية والصناعية. يجب إغناء اليورانيوم الطبيعي بنظير اليورانيوم–235 من أجل استخدامه كوقود نووي، وتتم عملية الإغناء هذه عادة بتقنيات الانتشار الغازي. إن اليورانيوم المخصّب إلى درجة عالية مكوِّن رئيسي في أسلحة نووية معينة. وأما المنتج الثانوي لعملية الإخصاب هذه فهو اليورانيوم المستنفد، أي اليورانيوم المستنفد من النظير 235.

ماذا عن كونه في البيئة؟

يوجد اليورانيوم بشكل طبيعي بتراكيز منخفضة جداً في مجمل الوسط البيئي (عدة أجزاء في المليون). ويوجد بسويات أعلى في مناطق معينة متضمنة تلك التي فيها خامات اليورانيوم الطبيعية كما في جنوبي غربي الولايات المتحدة. يوجد اليورانيوم بحالته الطبيعية على شكل خام أكسيد $U3O_8$. ويمكن أن يوجد على شكل مركبات إضافية تحوي أكاسيد أخرى (UO_2 ، UO_3) بالإضافة إلى الفلوريدات والكربيدات ومركبات الكربون والسليكات والفانادات والفسفات. وبالإضافة إلى النظائر الطبيعية الثلاثة، يوجد اليورانيوم -232 واليورانيوم-233 واليورانيوم-236 في هانفورد Hanford. تم إنتاج اليورانيوم في دَرَايا والتخلص منه في المنطقة 300. واستخدمت قياسات اليورانيوم-236 في المياه الجوفية هناك لتمييز وجود اليورانيوم الطبيعي عن اليورانيوم المترافق مع الوقود النووي المعاد معالجته.

يتأثر انتقال اليورانيوم في البيئة تأثراً شديداً بصيغته الكيميائية. وهو بشكل عام واحد من أكثر المعادن المشعة حركية ويستطيع أن ينتقل إلى الأسفل خلال التربة مع المياه المتخللة أو المترشحة إلى المياه الجوفية التحتية. يفضل اليورانيوم الالتصاق مع جسيمات التربة، ويبلغ التركيز في التربة بشكل نموذجي 35 مرة أكثر مما هو في المياه البينية (المياه الموجودة بين جسيمات التربة)، وتكون نسب التركيز عادة أكثر بكثير في التربة الطينية (مثلاً 1.600). يمكن لليورانيوم أن يتركز بيولوجياً في محاصيل أطعمة معينة وفي المتعضيات المائية والبرية. على أية حال، لم تشر البيانات بأنه يكبر حيوياً في سلاسل الطعام البرية أو المائية. اشترعت وكالة الحماية البيئية حديثاً سوية تلوث أعظمية من أجل اليورانيوم في موارد المياه تبلغ 0.030 ملّي غرام في اللتر (mg/L) (أصبح هذا الرقم قيد التنفيذ في 8 كانون الأول 2003). وهذا يعادل نحو 50 بيكوكوري (pCi) في اللتر من نسب النظائر الموجودة بصورة نموذجية في مصادر مياه الشرب العادية.

ماذا يحصل لليورانيوم في الجسم؟

يمكن أن يدخل اليورانيوم إلى الجسم عن طريق الطعام أو مياه الشرب أو تنفس الهواء. إن الامتصاص المعدي المعوي من الطعام أو المياه هو المصدر الرئيس لليورانيوم المتوضع باطنياً عند عامة السكان. وبعد الهضم، يطرح معظم اليورانيوم خلال عدة أيام ولا يدخل مجرى الدم أبداً. ويتم توضع الجزء الصغير (من 0.2 إلى 5%) الذي امتُصَّ في مجرى الدم بشكل مفضل في العظام (نحو 22%) والكلى (نحو 12%)، في حين يتوزّع الباقي على مجمل الجسم (12%) ويُطرح. إن معظم ما يذهب إلى الكلى يتركها خلال أيام غير قليلة (في البول) في حين يمكن أن يبقى ما توضع في العظام سنوات عديدة. وبصورة عامة، ينفذ جزء صغير فقط إلى منطقة الأسناخ الرئوية بعد الاستنشاق، حيث يمكن أن يبقى هناك سنوات ومن هناك يمكن أن يدخل أيضاً إلى مجرى الدم.

ما هي التأثيرات الأولية على الصحة؟

لا يولّد اليورانيوم خطراً على الصحة إلا إذا أُدخل إلى الجسم. ولا يشكل التعرض الخارجي لليورانيوم بصورة عامة داعياً رئيساً للقلق لأنه يصدر فقط كمية قليلة من إشعاع غاما المنخفض الطاقة. وبينما يملك اليورانيوم-235 مكوّنَ إشعاع غاما أعلى بكثير مما يملكه كل من اليورانيوم-234 واليورانيوم-238، إلا أنه لا يشكل سوى نحو 2% من النشاط الكلي لليورانيوم الطبيعي. إن الوسائل الأولية للتعرض لإشعاع اليورانيوم هي عن طريق الطعام والمياه الحاوية لنظائر اليورانيوم وعن طريق استنشاق الغبار الحاوي لليورانيوم. الطعام بصورة عامة هو التعرض الذي يدعو للقلق ما لم يكن هنالك مصدر غبار محمول في الهواء قريب مثل منجم يورانيوم أو طاحونة. ولما كان دخول اليورانيوم إلى الجسم أكثر سهولة بكثير في حالة الاستنشاق منه في حالة الطعام فإن طريقتي التعرض هاتين

يمكن أن تكونا هامتين. إن الأذى الذي يصيب الكلية نتيجة للسميّة الكيمياوية لمركبات اليورانيوم الذواب هو أهم الاعتبارات الصحية. ويمكن لهذه التأثيرات أن تكون عكوسة حسب سوية التعرّض. (لقد تسبب اليورانيوم في مشاكل ولادية لحيوانات المختبر وفي مشاكل متعلقة بالنمو للحيوانات الصغيرة، إلا أنه من غير المعروف فيما إذا كانت هذه المشاكل موجودة بالنسبة إلى الإنسان). والاعتبار الثاني هو توضع اليورانيوم في العظام الذي يمكن أن يؤدي إلى سرطان العظام كنتيجة للإشعاع المؤيّن المترافق مع نواتج الاضمحلال الإشعاعية.

ما هو الخطر؟

حُسبت معاملات خطر الموت بالسرطان لجميع النكليدات المشعّة تقريباً بما فيها اليورانيوم (انظر المؤطر). وبينما يعتبر الطعام بشكل عام أكثر الوسائل الشائعة للدخول إلى الجسم، فإن معاملات الخطر هذه أقل بكثير مما هو الحال من أجل الاستنشاق. مما يعني أن من الضروري أخذ كلا الطريقين بعين الاعتبار. وبالمشابهة مع النكليدات المشعة الأخرى، تبلغ معاملات الخطر من أجل مياه الشرب 75% من معاملات الخطر من أجل الغذاء. إن معاملات الخطر، وفقاً لقواعد النشاط (كوري)، هي بصورة عامة نفسها من أجل جميع نظائر اليورانيوم (مع أن عامل خطر الطعام من أجل اليورانيوم – 232 أعلى إلى حد ما). وبالتالي فإن الخطر لا يتعلق بشكل أساسي بنسبة النظائر المختلفة في مركّب من مركبات اليورانيوم. ولهذا السبب فإن الخطر الناتج من التعرض لليورانيوم المستنفد هو بشكل أساسي نفسه كما هو في حالة اليورانيوم المخصب وفقاً لقواعد النشاط.

وإضافة إلى الخطر المسرطن الراديولوجي، يمكن لليورانيوم أن يحدث تأثيرات كيمياوية على الكلية. وقد اصطلح على تسمية قيمة السميّة من أجل تقدير الإمكانية للتأثيرات اللامسرطنة بالجرعة المرجعية. وهو تقدير الجرعة الأعلى التي يمكن أن تؤخذ يومياً على مدى الحياة بدون إحداث تأثير صحي غير ملائم. تبلغ قيمة الجرعة المرجعية المعطاة عن طريق الفم (RfD) المستخدمة لتقدير التأثيرات اللامسرطنة لليورانيوم 0.003 ملّي غرام لكل كيلوغرام من وزن الجسم في اليوم (mg/kg - day). وقد وُضعت (RfD) هذه بتحليل التأثيرات البيولوجية على حيوانات الاختبار التي أعطيت كميات كبيرة نسبياً من اليورانيوم. ثم تم تعديل واستنظام هذه النتائج على أساس ملّي غرام/كيلوغرام – يوم من أجل الإنسان.

معاملات الخطر الإشعاعي

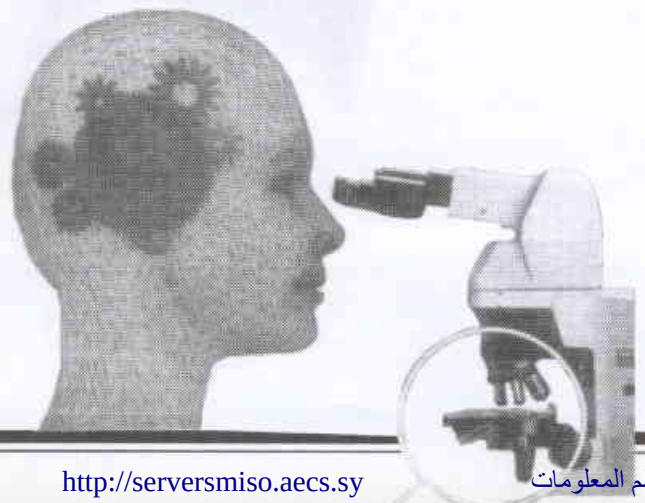
يبيّن هذا الجدول معاملات مختارة من معاملات الخطر الإشعاعي من أجل الاستنشاق و الطعام. استعملت أنواع امتصاص مختلفة موصى بها من أجل الاستنشاق. واستعملت قيم قوتية من أجل الطعام. تتضمن هذه القيم المساهمات من نواتج اضمحلال اليورانيوم القصير العمر. تكون الأخطار من أجل خطر الموت بالسرطان على مدى الحياة في الوحدة المتناولة (pCi) معدلة على جميع الأعمار وكلا الجنسين (10^{-9} هي جزء من البليون، و 10^{-12} هي جزء من الترليون). والقيم الأخرى بما فيها المرضية متوفرة أيضا.

النظير	مخاطر وفيات بالسرطان على مدى الحياة	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الطعام (pCi^{-1})
يورانيوم-232	1.8×10^{-8}	2.7×10^{-10}
يورانيوم-233	1.1×10^{-8}	6.3×10^{-11}
يورانيوم-234	1.1×10^{-8}	6.1×10^{-11}
يورانيوم-235	9.5×10^{-9}	6.2×10^{-11}
يورانيوم-236	9.9×10^{-9}	5.8×10^{-11}
يورانيوم-238	8.8×10^{-9}	7.5×10^{-11}

قيمة السمية الكيميائية
التأثير اللاسرطاني: RfD عن طريق الفم (أملاح منحلة)
0.003 ملّي غرام / كيلو غرام – يوم

* * *

ورقات البحوث



تعديل خواص التحسُّس للثيالوسينين- المعدني بواسطة بلازما ECR★

د. منذر نداف
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص . ب 6091- دمشق- سوريا
س. شاكان وآخرون
قسم الفيزياء- مركز الدراسات المتقدمة في علم المواد وفيزياء الجسم الصلب- جامعة بونا - بونا - الهند

ملخص

حُضّر حمض الكربوكسيل الرباعي لثيالوسينين الرصاص (PC) بواسطة التفاعل الكيميائي بين الثياليك اللاماثي واليوريا واستخدم كعنصر محسّ من أجل تحسس أبخرة الكحول والرطوبة. عولج السطح ببلازما التجاوب الإلكتروني- السيكلوتروني (ECR) المكونة من المزيج الغازي N_2 75% و H_2 25%. ولوحظ تحسنٌ ملحوظٌ في الانتقائية بالنسبة للكحول بعد المعالجة، مترافقٌ مع انخفاض في الحساسية بالنسبة للرطوبة. ووجد بأن زمني الاستجابة والاستعادة للتحسس المقاوم من مرتبتي 50 و 30 ثانية، على التوالي. أظهرت دراسات الأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه، ومطيافية الإلكترونات الضوئية للأشعة السينية أن ازدياد الارتباط المتصالب في PC يكون مسؤولاً عن تشكيل المجموعات الوظيفية الجديدة التي أدت إلى تحسس بخار الكحول عبر إشابة لا ذاتية (extrinsic doping).

الكلمات المفتاحية: الثيالوسينين- المعدني، بلازما التجاوب الالكتروني، السيكلوتروني، محسّ.

مقدمة

شهدت العقود الثلاثة الماضية نموّاً كبيراً في مجال تطوير المواد التي تجمع الصفات المرغوبة للبوليميرات مع الخواص الإلكترونية للمعادن وأنصاف النواقل. وشغل الاهتمام بالبحث عن بوليميرات تتمتع بناقلية أعلى [1] واستقرار أفضل [2] وقابلية أكبر للمعالجة [3] الحيّز الأكبر في مجال البوليميرات الناقلة للكهرباء. تملك البوليميرات العضوية المعدنية الناقلة للكهرباء الخواص المذكورة آنفاً وتستخدم في التطبيقات الضوئية الإلكترونية والإلكترونية الضوئية الفوتونية والأجهزة الكهركيماوية والإلكتروضوئية [4]. تملك مركبات الثيالوسينين المعدني (MPCs) وبوليميراته ثباتاً ممتازاً في مقاومة الحرارة والضوء والهواء ولهذا السبب فقد حظيت هذه المركبات باهتمام في البحث عن بوليميرات ناقلة ومستقرة كهربائياً [5]. وتعزا الخواص الضوئية والكهربائية الفريدة لهذه المركبات بشكل أساسي إلى احتوائها على منظومة غنية جداً بالإلكترونات من النوع π. وإلى جانب استخداماتها التقليدية كأصبغة ومواد حفّازة، فإن هذه المركبات تحظى باهتمام خاص في العديد من مجالات البحث التطبيقية والأساسية مثل استخدامها كخلية حفظ للطاقة وفي التصوير الكهربائي [6] والمحسّات الضوئية [7] والمحسّات الغازية [8] وأجهزة الكروميك الكهربائية [9] وأجهزة التقويم [10] والعديد من التطبيقات الأخرى. ترتكز المسألة المطروحة في ورقة البحث الحالية على استخدام مقدرة بلازما الضغط المنخفض على تعديل الفعالية الكيميائية لسطح الثيالوسينين- المعدني من أجل الحصول على خواص تحسّس لغاز انتقائي.

على الرغم من أن البحث في مجال المحسّات واسع الانتشار جداً ومع أن الأكاسيد اللاعضوية قد درست بشكل واسع [11]، فإن المركبات العضوية الناقلة لا تزال تتمتع بخواص أفضل بسبب قدرتها على التحسس عند درجة حرارة منخفضة.

يحظى تنشيط سطح البوليميرات بأهمية تكنولوجية كبيرة في العديد من المجالات التطبيقية نذكر منها مثلاً: تغشية المعادن وتصنيع المركبات والحصول على سطوح تحقق المواصفات المطلوبة في تطبيقات التلاؤم الطبي الحيوي [12]. وتمكّن معالجات سطح البوليميرات بالبلازما من تعديل خواصها السطحية للحصول على ربط أفضل وبدون التأثير على الخواص الحجمية. إن تعرّض البوليميرات إلى بلازما مناسبة وغير مبلمرة يمكن أن يسبب تغيرات فيزيائية وكيميائية في سطوحها وفي الطبقات القريبة من السطح، مما يؤدي إلى زيادة النشاط الكيميائي والفيزيائي لهذه السطوح

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B xxx* (2002).

ويؤثر على خواصها التبللية ويمكن أن يمنحها التلاؤم الحيوي [14،13].

من بين العديد من منابع البلازما المتنوعة، استخدمت بلازما التجاوب الإلكتروني- السيكلوتروني (ECR) بشكل مكثف من أجل معالجة المادة وتعديل الخواص السطحية لمواد مختلفة [15]. فلقد استخدم Jeong et al [16] بلازما ECR لتعديل سطح البولي إيميد وقمنا (في العمل الحالي) باستخدام بلازما ECR المولّدة بمساعدة أمواج مكروية بتردد 2.45 GHz لتعديل الخواص السطحية للثيالوسينين المعدني (MPC). وتراوح التوزع الطاقي للأيونات ما بين 20–30 eV. وقد لاحظنا حدوث تغير حاد في الانتقائية التحسسية للرطوبة والكحول بعد تعريض العينات لبلازما H_2-N_2 الصادرة عن منبع ECR. وقد تبيّن من القياسات الطيفية باستخدام الإلكترونات الضوئية للأشعة السينية بأن سببَ هذا التغير في التحسس للغازات يُعزا إلى تشكيل مواقع كيميائية فعّالة نتيجة المعالجة بالبلازما. ودرست التغيرات في خواص الربط الكيميائي للعينات المعالجة باستخدام مطيافية تحويل فورييه لامتصاص الأشعة تحت الحمراء (FTIR).

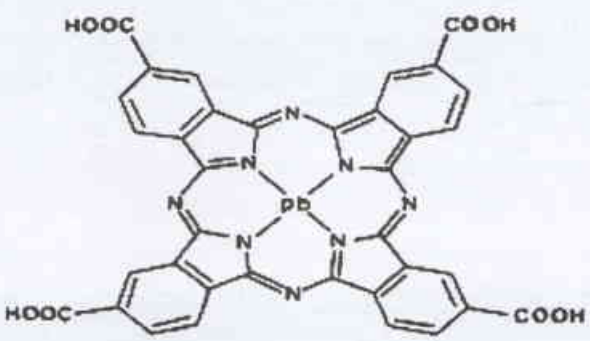
الإجراءات التجريبية

يبيّن الشكل 1 الصيغة البنيوية لحمض الكربوكسيل الرباعي لثيالوسينين الرصاص (Pb-PC). حُضّر حمض الكربوكسيل الرباعي لثيالوسينين الرصاص بالطرق الكيميائية وذلك بإضافة الثياليك اللامائي إلى اليوريا المزوجة مع نترات الرصاص. وقد استخدم حفاز مناسب لزيادة نسبة التفاعل. سُخّن المسحوق المختلط مع تحريك مستمر. وكان التفاعل عنيفاً جداً. وغُسل المسحوق المترسب بالماء المقطّر والكحول لعدة مرات بعد إكمال التفاعل لتنقيته. جُفف المسحوق بعد ذلك تحت مصباح IR وهُرس بشكل منتظم من أجل تحضير عينات على شكل أقراص بقطر من مرتبة 12 mm. ولم تستخدم أية مادة لاصقة أثناء تحضير الأقراص. وأظهرت الأقراص مقاومية كهربائية من رتبة $10^6\ \Omega$ cm عند درجة حرارة الغرفة.

تألف مفاعل بلازما ECR الذي استخدم في العمل الحالي من cw magnetron (700W) بتردد 2.45 GHz موصول إلى حجرة البلازما عبر دليل موجة دائري ونافذة مصنوعة من صفيحة كوارتز منصهرة. حجرة البلازما كانت بارتفاع 20 cm وقطر 12.5 cm وشغلت كتجويف تجاوبي لموجة مكروية (TE_{111}). وأما الحقل المغنطيسي اللازم لتوليد ECR فقد تم الحصول عليه بواسطة وشيعتين كهرطيسيتين وضعتا حول محيط حجرة التجاوب. وتألف جهاز التخلية من نظام ضخ بواسطة مضخة انتشارية وقبل إجراء المعالجة، فرغت حجرة ECR إلى ضغط أساسي 10^{-6} mbar. أدخل المزيج الغازي H_2-N_2 إلى حجرة البلازما بمعدل 10 sccm وتمّت المعالجة بالبلازما عند الضغط 10^{-3} mbar. وقد اختير هذا المزيج الغازي لكونه يمكن أن يحفظ التماسك في مكونات حمض الكربوكسيل الرباعي لثيالوسينين الرصاص (Pb-PC). قيس توزع طاقة الأيونات قرب الركازة باستخدام محلل حقل مؤخِّر (retarding field analyzer) مكوّن من أربع شبكات ومشابه للمحلل الذي استخدمه Chen Junfang [17]، ووجد أن طاقة الأيونات تزداد من 20 eV إلى 30 eV عند تناقص الضغط في الحجرة من 10^{-2} إلى 10^{-3} Torr. وقيست كثافة البلازما في حجرة المعالجة باستخدام المسبار الثنائي double probe ووجد بأن قيمتها من مرتبة $10^{12}\ cm^{-3}$. وقد عولجت عينات Pb-PC بالبلازما لمدة 15 دقيقة عند تدفق بلازمي كلي يساوي $10^{20}\ cm^{-2}$.

درست خواص تحسس Pb-PC للغازات بمراقبة التغير في مقاومية السطح الكهربائية. وأجريت قياسات الحساسية للرطوبة والكحول الإتيلي في حجرة رطوبة صممت خصيصاً لهذا الغرض، باستخدام طريقة المسبارين. وقد استخدم مسباران من الفضة لتحقيق توصيل كهربائي جيد أثناء القياسات. قيست الرطوبة النسبية باستخدام عداد رطوبة عادي (DIEHL thermotron hygro) ودعّمت القياسات بالمعايرة بمقياس درجة حرارة ذي بصلة جافة وأخرى مبللة. وتمت المحافظة على رطوبة مضبوطة في حجرة رطوبة ساكنة. وقد استخدمت الحجرة ذاتها لدراسة تحسس بخار الكحول.

وصفت سطوح العينات بواسطة مطيافية الإلكترونات الفوتونية للأشعة السينية (XPS) باستخدام جهاز مطيافية (ESCA-3000) عالي الحساسية والذي تم الحصول عليه من V. G. Microtech. England. استخدمت حزم الأشعة السينية للإشعاع Al K_α ($h\nu$ = 1486.6 eV) و Mg K_α ($h\nu$ = 1253.6 eV) كمنبع للإثارة. واستخدمت كواشف متعددة القنوات ومحلل بقطاع نصف كروي في كشف الإلكترونات الفوتونية المقتلعة كتابع لطاقاتها الحركية. وتم الحصول على أطياف XPS ذات الفصل العالي (high resolution) عند طاقة مرور 50 eV، شق بعرض 5 mm، وزاوية إقلاع 55° وعند ضغط أقل من 10^{-10} mbar. تمت معايرة طاقة الارتباط (BE) بتحديد طاقة الارتباط لسويات الذهب Au $4f_{7/4}$ (84.0eV) والفضة Ag $3d_{5/2}$ (368.4eV) والنحاس Cu $2P_{3/2}$ (932.6 eV) باستخدام مواد نقية طيفياً تم



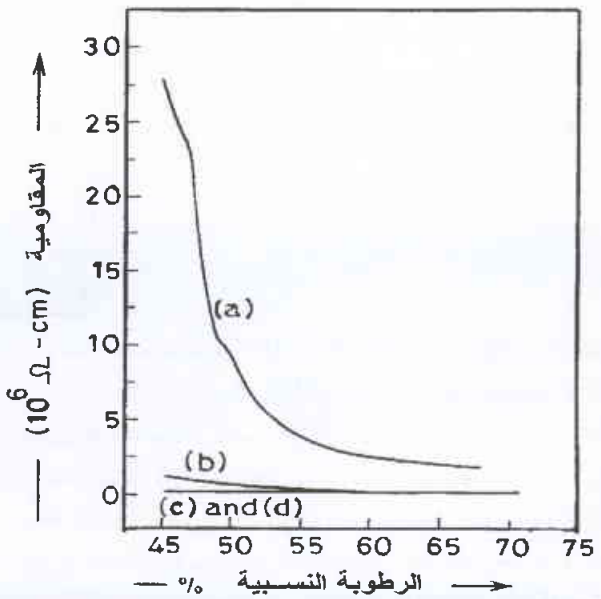
الشكل 1- الصيغة البنيوية لحمض الكربوكسيل الرباعي لثيالوسينين الرصاص (Pb-PC)

الحصول عليها من Johnson and Matthey Chemical Limited, UK. وضمن هذه الشروط كانت قدرة الفصل للجهاز 1.6 eV، العرض عند منتصف ارتفاع القمة (FWHM) لسوية الذهب $Au\ 4f_{7/2}$. واستخدمت السويتان C 1s (285 eV) و $Au\ 4f_{7/2}$ (84.0 eV) كمعيارين داخليين عند الحاجة.

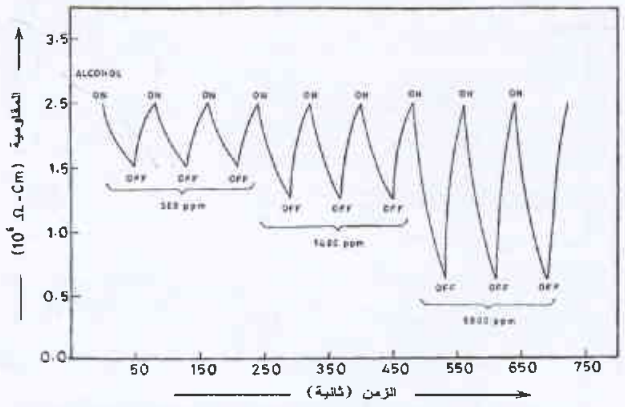
النتائج

يظهر الشكل 2 المخطط البياني لتحولات المقاومية الكهربائية لعيّنات Pb-PC بتابعية الرطوبة النسبية المئوية قبل وبعد المعالجة بالبلازما. شوهد بعد المعالجة بالبلازما انخفاض بمقدار مرتبة واحدة في المقاومية الكهربائية المسجلة عند رطوبة نسبية 45%. وأبدت العينات الشاهدة (غير المعالجة) تغيراً في الحساسية بتغير الرطوبة النسبية، في حين لم تبدِ العينات المعالجة بلازمياً تحسساً. مما يعني أن عينات Pb-PC فقدت حساسيتها للرطوبة بعد معالجتها بالبلازما.

يظهر الشكل 3 خواص تحسس عينات Pb-PC المعالجة بلازمياً للكحول الإتيلي. ويبيّن هذا الشكل تغير مقاومية عينات Pb-PC (المعالجة بلازمياً لمدة 15 دقيقة)، من أجل ثلاثة تراكيز مختلفة لبخار الكحول. وتمت المحافظة على قيمة ثابتة للرطوبة مقدارها RH 50% خلال جميع هذه القياسات. كما تم قياس الحساسية للعينات المعالجة بلازمياً بتابعية الزمن ووجد أنها بقيت ثابتة لفترة أكثر من عام. لم تبدِ المقاومة الكهربائية للعينة الشاهد أية حساسية للكحول، في حين أبدت مقاومة العينات المعالجة بلازمياً حساسية عالية له. ووجد أن زمني الاستجابة والاستعادة (recovery) لمقاومية عينات Pb-PC المعالجة بلازمياً هما على التوالي 50 ثانية و 30 ثانية. وبقيت قيمة



الشكل 2- تحولات المقاومية الكهربائية لعينات Pb-PC بتابعية الرطوبة النسبية المئوية، (a) قبل المعالجة بالبلازما وبعد المعالجة بالبلازما لمدة (b) 5 دقائق، (c) 10 دقائق، (d) 15 دقيقة.

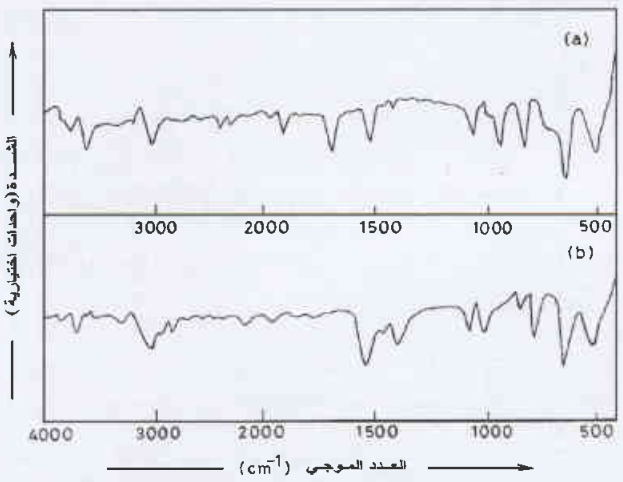


الشكل 3- تغير مقاومية عينات Pb-PC المعالجة بلازمياً لمدة 15 دقيقة من أجل تراكيز مختلفة لبخار الكحول وبدورات متكررة. زمن الاستجابة حوالي 50 ثانية وزمن التغطية حوالي 30 ثانية.

هذين الزمنين ثابتةً من أجل نسب مختلفة من الكحول. وحافظت مقاومية العينات المعالجة بالبلازما لفترات زمنية مختلفة على نفس السلوك ولكن مع اختلاف في الشدة.

أظهرت القياسات الكهرحرارية أن عينات Pb-PC الشاهد كانت من النوع p (p-type) وأن الانخفاض الملاحظ في المقاومية بعد المعالجة البلازمية يبيّن أن سلوك سطح العينة يصبح بشكل أكبر من النوع p. وهذا الازدياد في تركيز الآخذ (acceptor) بعد المعالجة يمكن أن يحدث نتيجة لعملية البلمرة البلازمية (المحرّضة بواسطة بلازما الأمواج المكروية) في سطح Pb-PC، لأن الازدياد في الناقلية الكهربائية يحدث نتيجةً لطول الاقتران المتعدد (polyconjugation) الممتد من طرف السلسة البوليميرية.

ودرست علاوةً على ذلك أطياف امتصاص الأشعة السينية للعينات قبل وبعد المعالجة البلازمية للتأكد من التغيرات البنيوية في السطح نتيجةً لمعالجة عينات Pb-PC بالبلازما. يبيّن الشكل 4 أطياف FTIR لعينات Pb-PC المسجلة قبل وبعد المعالجة بالبلازما. الميزة اللافتة للنظر في هذه الأطياف تتمثل في أن القمتين الظاهرتين في طيف عينة Pb-PC الشاهد عند حوالي $1692\ cm^{-1}$ الموافقة للمجموعة COOH- [18] وعند حوالي $1861\ cm^{-1}$ الموافقة للمجموعة C=O [19]، لم تظهرا في العينات المعالجة بلازمياً، مما يدل على أن عينة PC الشاهد منتهية بجذر COOH-. وهذا متوقع لكونه قد تم استخدام الثياليك اللامائي كمادة أولية في تحضير مركب PC، وقد تبيّن [18] أنه يتم الحصول على حدود الحمض أو حدود اللامائي في صيغة مركب PC عند استخدام مادة لامائية في التحضير بدلاً من رباعي النتريل الحلقي. إضافةً إلى ذلك، فمن المعلوم أن التجانس البنيوي للبوليمير يعتمد على شروط التفاعل وطريقة الحصول على الناتج النهائي. وقد وجد [18] أن بدء عملية البلمرة في مركب Pb-PC يتم بتحطيم الروابط من النوع COOH-، ولذلك فإن عدم وجود أي أثر لمجموعة COOH- في طيف FTIR لعينات PC-Pb المعالجة

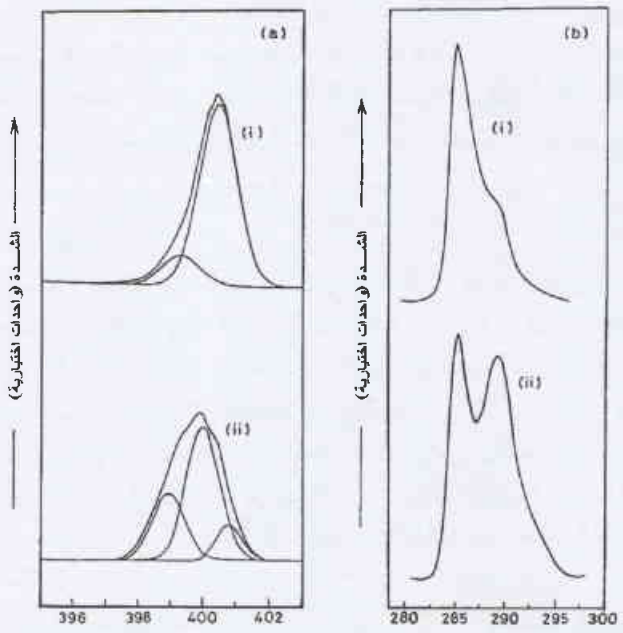


الشكل 4- أطياف FTIR لعينات Pb-PC: (a) قبل و (b) بعد المعالجة بالبلازما.

بلازمياً، يدعم حدوث عملية البلمرة البلازمية في هذه العينات مما يتوافق مع ما افترض آنفاً (نتائج القياسات الكهرحرارية). من ناحية أخرى فإن ظهور قمتين جديدتين بعد المعالجة البلازمية عند حوالي $1385\ cm^{-1}$ و $2864\ cm^{-1}$، تتطابقان مع المجموعة C≡N- المرتبطة بأيون معدن [19]، دليلٌ على تشكيل رابطة وظيفية جديدة بين المجموعة CN- وأيون المعدن والذي هو في دراستنا الحالية أيون Pb.

درست أيضاً التغيرات في تركيب السطح نتيجة للمعالجة البلازمية باستخدام تقنية XPS. قورنت جميع طاقات ارتباط طيف XPS بالقمة C 1s عند طاقة ارتباط 285 eV لتعويض آثار شحن السطح. وباستخدام نموذج غوص للملاءمة تمّت تجزئة قمم طيف XPS (Spectral deconvolution) إلى مركباتها الأصلية عند قيمة ثابتة من FWHM. يظهر الشكل 5(a) أطياف XPS للنتروجين N 1s من أجل (i) عينة Pb-PC الشاهد و (ii) عينة Pb-PC المعالجة بلازمياً لمدة 15 دقيقة. تنسب القمة عند حوالي 399.1 eV الظاهرة في طيف عينة Pb-PC الشاهد إلى الأيدولين (idoline) في حين تنسب القمة عند حوالي 400.7eV إلى ذرات النتروجين آزو (azo) [18]. وتعزا القمة الجديدة الظاهرة بعد المعالجة البلازمية عند حوالي 400.1 eV إلى حدوث ارتباط بين الكربون والنتروجين نتيجة للمعالجة. وإن الإزاحة الكيميائية الطفيفة في طاقتي ارتباط الأيدولين والنتروجين آزو بعد المعالجة البلازمية متوقعة ويمكن أن تعزا إلى تأثير الارتباط المتصالب (cross-linking) عند سطح العينة المعالجة.

يظهر الشكل 5(b) أطياف XPS للكربون C 1s من أجل (i) عينة Pb-PC الشاهد و(ii) عينة Pb-PC المعالجة بلازمياً لمدة 15 دقيقة. تنسب القمة عند حوالي 285.1 eV الظاهرة في طيف عينة Pb-PC الشاهد إلى الكربون الأولي. إن ظهور منعطف عند حوالي 289.5 eV يعكس وجود الكربون المرتبط بالنتروجين [20]. وبعد المعالجة ببلازما ECR فإن شدة قمة C 1s عند حوالي 285.1 eV قد تناقصت في حين ازدادت شدة القمة عند حوالي 289.5 eV وظهرت



الشكل 5- أطياف XPS: (a) للنتروجين N 1s و (b) للكربون C 1s (i) من أجل: (i) عينة Pb-PC الشاهد و (ii) عينة Pb-PC المعالجة بلازمياً لمدة 15 دقيقة.

بشكل واضح. وهذا يدل على حدوث ربط بين الكربون والنتروجين بعد المعالجة البلازمية. ومن ناحية ثانية، فقد لاحظنا من أطياف XPS أن شدة قمة O 1s عند حوالي 532 eV للعينة الشاهد تناقصت بعد المعالجة البلازمية بحوالي ثلاث مرات وانزاحت بحوالي 0.4 eV. وهذا يتوافق مع نتائج FTIR حيث لاحظنا غياب المجموعة COOH- بعد المعالجة البلازمية. كما لاحظنا من أطياف XPS حدوث إزاحة في موضع القمتين الموافقتين للرصاص $Pb\ 4f_{5/2}$ و $Pb\ 4f_{7/2}$ اللتين ظهرتا في طيف العينة الشاهد عند حوالي 143 eV و 138.7 eV على الترتيب، إلى حوالي 139 eV و 143.5 eV بعد المعالجة البلازمية. ومن المحتمل جداً أن هذه الإزاحة في قمتي Pb نحو طاقتي ارتباط أعلى تعود إلى حدوث ربط بين المجموعات من نوع CN والرصاص. وإنه لمن الجدير بالملاحظة أن العينات المعالجة بلازمياً لم تبدِ أيّ تحسسٍ للغازات الأخرى مثل: CO_2، CO، Cl_2، H_2، ... الخ.

المناقشة

سُرِّعت الجسيمات مثل H^+، NH^-، N^+، $N2^+$، ...الخ. والمولّدة في حجرة بلازما ECR، بوجود الحقل المغنطيسي وأُكسبت طاقة كافية للمعالجة الفعالة قبل أن تصل إلى الركازة. وتم تحديد التوزع الطاقي للأيونات قرب الركازة باستخدام محلل طاقة الشبكة المؤخرة، ووجد أن طاقة الأيونات في جوار الركازة عند ضغط التشغيل (المعالجة) من مرتبة 30 eV وهي عالية بشكل يوفر الفعالية المطلوبة من أجل إحداث إعادة بناء للسطح في البوليمير المعالج. إن قذف سطح عينة Pb-PC بهذه الجسيمات الطاقية من البلازما يحطم الروابط التشاركية في العينة ويؤدي إلى تشكل جذور حرّة. وبالتالي فإن هذه

الجذور الحرة على سطح العينة تتفاعل مع جسيمات البلازما النشطة كيميائياً وتؤدي إلى تعديل السطح بواسطة عملية البلمرة البلازمية لسطح Pb-PC. وهذا يتوافق تماماً مع نتائج مطيافيتي FTIR و XPS. فمن الواضح من أطياف FTIR أن المجموعة COOH- قد أزيلت من عينة Pb-PC المعالجة بلازمياً، وهذا دليل على بدء عملية البلمرة. وهذا يتوافق مع نتائج XPS حيث تبيّن حدوث زيادة في نسبة النتروجين في سطح العينات المعالجة بلازمياً. ويمكن تفسير ذلك على أساس تشكيل مجموعات وظيفية من النوع CN جديدة في سطح العينة نتيجة للمعالجة، وهذا النوع من المجموعات يشكّل ربائط (ligands) وصل مناسبة في عملية بلمرة مركبات MPC [21]. ويمكن أن تحدث عملية البلمرة في مركبات MPC خلال قذفها بجسيمات طاقية بآليات مختلفة [21]. فمثلاً تبيّن [22] تشكيل بوليميرات نصف ناقلة لمركبات MPC عبر ربط معقدات حلقية ضخمة بأيونات معدن انتقالي. ولوحظ انخفاض في المقاومية الكهربائية لعينات Pb-PC من حوالي 27 MΩ.cm إلى حوالي 1 MΩ.cm نتيجة للمعالجة البلازمية. وترافق ذلك مع: (i) زيادة في نسبة النتروجين، (ii) تشكيل ربط جديد من النوع CN- مع أيونات المعدن و (iii) لوحظ من المعطيات التجريبية اختفاء المجموعة COOH- بعد المعالجة البلازمية، مما يدعم حدوث عملية بلمرة بلازمية في سطح عينة Pb-PC نتيجة للتفاعل مع الجسيمات التفاعلية في البلازما. يوجد في مركبات MPC موقعان لامتزاز الغازات: الموقع الأول في محيط الجزيء والذي يتفاعل مع المركبات الكهرسالبة أو متقبّلات الغازات مشكلاً معقدات نقل الشحنة، والموقع الثاني عند أيون المعدن الموجب وفي مركز الحلقة PC الذي يتفاعل مع المركبات الكهرموجبة. ونتيجة للتغيرات في المواقع النشطة على محيط المركب MPC بعد المعالجة البلازمية فمن المتوقع أن يتم امتزاز الجذور المتقبّلة الصادرة عن الكحول قرب محيط الجزيء المعالج بلازمياً وتساهم في تشكيل معقد نقل الشحنة والذي بدوره يؤدي إلى التغير الحاصل في مقاومية عينة MPC المعالجة بلازمياً.

الخلاصة

بيّنت النتائج أن بلازما ECR تولّد بشكل فعّال مجموعات وظيفية بواسطة الارتباط المتصالب وعملية البلمرة وعمليات تحطيم الروابط في المعقدات الناقلة العضوية التي تستخدم بشكل فعّال جداً كمحسّات للرطوبة والغاز. وأظهرت القياسات التجريبية تمتع عينات حمض الكربوكسيل الرباعي لثيالوسينين الرصاص (PC-PCs) المعالجة بلازمياً بانتقائية أفضل وحساسية جيدة بالنسبة للكحول مقارنة بالعينات الشاهد. إن نتائج العمل الحالي المشجعة تفتح المجال لاستخدام بلازما ECR من أجل التعديل السطحي المناسب في تطبيقات الحفّازيات باستخدام المواد العضوية.

المراجع REFERENCES

[1] F. H. Moser, A. L.Thomas, in: The Phthalocyanines, Vols. 1 and 2 CRC, Boca Raton, FL, 1983.

[2] F. H. Moser, A. L. Thomas, Phthalocyanines, ACS Reinhold, New York, 1963.

[3] A.B.P. Lever, Adv.Inorg. Chem., Radio Chem.,7 (1965) 27.

[4] S.Venkatachalam, V.N. Krishnamuthy, Indian. J. Chem. A 33 (1994) 506.

[5] F. Guttman, L.E. Lyons, Organic Semiconductors, Wiely, New York. 1967.

[6] R.O. Loutfy, A. M. Hor, C. Hsiao, G. Barany, P. Kazmaizer, Pure. Appl. Chem. 60 (1988)1047.

[7] M. Kato, Y. Nishioka, K. Kajju, K. Kawamura, S. Ohno, Appl. Phys. Lett., 46 (1985) 196.

[8] E. Orti, J. L. redas, J. Chem Phys. 89 (1986) 1009.

[9] G. C. S. Colins, D. J. Schiffrin, J.Electrochem. Soc. 132 (1988) 1835.

[10] W. J. Pietro, Adv. Mater. 8 (1994) 239.

[11] P. M. Kuznosoff, R. S. Nohr, K. J. Wynne, M. E. Kenney, Advances in Organometallic and Inorganic Polymer Science, New York, 1981, p. 301.

[12] L. J. Gerenser, "Polymeric Materials Science and Engineering", Vol. 62, Spring Meeting 1990, Boston, Massachusetts, p. 125.

[13] H. K. Yasuda, Plasma Polymerization and Plasma Interactions with Polymeric Materials, John Wiley & Sons, New York, 1990.

[14] L. M. Siperko, and R. H. Thomas, J. Adhesion Sci. Technol. 3 (1989) 157.

[15] A. Grill, "Cold plasma in Materials Fabrication", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York (1994).

[16] H. S. Jeong, Zhong Lu and Robert C. White, Nucl. Instr. Meth. B 59 (1991) 160 and 1285.

[17] C. Junfang, R. Zhaoxing, Vacuum 52 (1999) 411.

[18] V. V. Venkatachalam Veena Vijaynathan and V. N. Krishnamurthy, in: Polymeric Materials Encyclopedia, vol. 6, 1996, p. 4221.

[19] N.B. Colthup, L.H. Daly and S.E. Wiberley, in: Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy, Academic Press, New York and London (1964) p. 379.

[20] H. Yasuda, J. Micromole. Sci - Chem., A 10 (3) (1976) 383.

[21] M. Hanack, and L. R. Subramanian, in: Handbook of Organic Conductive and Polymers, vol. 1, John Wiley & Sons New York, 1997.

[22] A. Datz, J. Metz, O. Schneider and M. Hanack, Synth. Met. 9 (1984) 31.

تأثير إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني على وسطاء الخلية الشمسية★

د. معين سعد ، د. عمار قسيس
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص . ب 6091- دمشق- سوريا

ملخص

تعرض هذه الورقة نموذجاً للخلايا الشمسية ذات الوصلة P-n اللامتجانسة التي تكون فيها آلية إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني هي الآلية المسيطرة في نقل تيار الديود. يشرح النموذج عامل جودة الديود العالي ($n > 2$) وتزايد كثافة تيار الإشباع بارتفاع كثافة حالات الشحنات على السطح البيني N_{ir}. علاوة على ذلك، يسمح هذا النموذج لنا بشرح عدم وجود انزياح ثابت بين مميزات التيار- الفولطية J-V المقيسة في الظلام وتحت تأثير الضوء. يعتمد الشرح على افتراض أن كلاً من عرض منطقة النضوب وفولطية الانتشار في منطقتي p و n من الوصلة تابع N_{ir} من أجل قيم مرتفعة لها. إن إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني تؤدي إلى قيم منخفضة لفولطية الدارة المفتوحة وكثافة تيار الدارة القصيرة وعامل الامتلاء. إن هذه النتائج موضحة بحسابات عددية لوسطاء الخلية الشمسية وبمقارنتها بنتائج تجريبية على خلايا شمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ وحيدة البلورة.

الكلمات المفتاحية: خلايا شمسية، وصلة لامتجانسة، حالات السطح البيني، إعادة اتحاد الشحنات

مقدمة

حازت الخلايا الشمسية على أساس مركبات الشالكوبيرايت، مثل خلايا $ZnO/CdS/CuGaSe_2$، على اهتمام متزايد سواء في أنظمة الكمون العالي (كخلايا فردية) أو أنظمة الخلايا الترادفية (كخلية عليا) [1-4]. لكن تحليل هذه الخلايا يعطي في كثير من الأحيان معامل جودة كبير (أكبر من 2) وتيار إشباع عالٍ جداً بالإضافة إلى عدم وجود انزياح ثابت بين مميزات التيار – الجهد في الظلام وتحت تأثير الضوء [1,5-8]. وقد اقتُرح العديد من النماذج في الأدبيات [9-14] في محاولة لتفسير بعض جوانب هذا السلوك في الخلايا $CuInSe_2/Cd(Zn)S$. افترض Rothwarf [9] نموذجاً يعتمد على وجود وصلة لامتجانسة p-i-n واعتبر وجود قسم مرتفع المقاومة بين طبقتي CdS و $CuInSe_2$ كعازل. في هذا النموذج يمكن ربط انخفاض توتر الدارة المفتوحة ومعامل جودة الديود بثخن الطبقة العازلة. في محاولة أخرى [10] اقترح Rothwarf و Rothwarf [11] وEron آلية إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني كآلية أساسية لتوليد التيار الموجب، حيث يرتبط شحن حالات السطح البيني بتابعية التيار المنتج بواسطة الضوء المطبق على الخلية؛ ونجحوا في إعطاء تفسير لمعامل الجودة الكبير تحت تأثير الضوء (أكبر من 2). كما قام Potter و Sites [12] بقياسات دقيقة للانزياحات في مميزات التيار – الجهد الناشئة من إضاءة الخلايا وفسروا نتائج قياساتهم بعملية شحن للحالات على السطح البيني تحت تأثير الإضاءة. وحاول Eron و Rothwarf تفسير مميزات التيار – الجهد تحت تأثير الإضاءة بدون تغيير في تيار الديود (أي بثبات معامل جودة الديود وكثافة تيار الإشباع). اقترح Miller و Olsen [14] تفسيراً لآلية ضياع التيار عن طريق تكاتف آليتي اتحاد الشحنات على السطح البيني والعبور النفقي. وقد فسروا عدم وجود انزياح ثابت بين مميزات التيار – الجهد في الظلام وتحت تأثير الضوء بارتفاع تيار الإشباع j_0 مع ازدياد شدة الضوء. ولكن في بعض الحالات مثل خلايا $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ أحادية البلورة يتغير كل من عامل الجودة n وتيار الإشباع j_0 بتغير شدة الإضاءة و بنفس الوقت يمكن إهمال تابعية التيار المنتج بواسطة الضوء j_{ph} للجهد المطبق على الخلية [15]. إن محاولة تفسير النتائج التجريبية في هذه الحالات باستخدام النماذج المقترحة أعلاه لم تكن ناجحة. يمكن استخدام النموذج الذي سنعرضه لتفسير هذه النتائج. سنعرض فيما يلي أولاً النموذج المقترح، ثم النتائج التجريبية للخلايا الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ على أساس $CuGaSe_2$ وحيد البلورة. بعد ذلك سنناقش الحسابات بمقارنتها بالنتائج التجريبية.

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Solar Energy Materials & Solar Cells 0* (2003).

النموذج

يعتمد النموذج على الفرضيات التالية:

❶ الخلية عبارة عن وصلة p-n لامتجانسة بالإضافة إلى حالات سطح بيني (الشكل 1). إن الوضعية الطاقية وطبيعة هذه الحالات، خصوصاً عند مركبات أنصاف النواقل، صعبة التحديد؛ ولكن قياسات التألق الضوئي [7] على البنية اللامتجانسة $CdS/CuGaSe_2$ أظهرت أن البنية تصدر تألقاً ضوئياً على شكل حزمة تقع بين 1.4 eV و 1.63 eV عند إثارتها بطاقة تقع بين قيم فجوات الطاقة للمركبين CdS و $CuGaSe_2$، لا تظهر عند إثارة بلورة $CuGaSe_2$ وحدها. علاوة على ذلك، فإن كلاً من البنية وطبقة النافذة CdS تصدر تألقاً ضوئياً على شكل حزمة تقع بين 1.4 eV و 2.2 eV (مقيسة من حافة عصابة النقل E_C عند CdS). تشير هذه النتائج إلى أن العيوب في طبقة CdS القريبة من السطح البيني مع الطبقة الماصة، والتي سنسميها فيما يلي حالات السطح البيني، تكون فعّالة كمراكز لإعادة اتحاد الشحنات للتيار المار عبر الوصلة.

❷ حالات السطح البيني هي حالات شبيهة بالحالات المستقبلة، هذا يعني أنها معتدلة كهربائياً، في حال عدم أسرها لإلكترون، وذات شحنة سالبة في حال أسرها له. إن الحالات التي تقع طاقياً تحت مستوى فرمي تكون ذات شحنة سالبة ولذا تعتبر فعّالة لإعادة الاتحاد مع الثقوب. إن مستوى فرمي قريب جداً من حافة عصابة النقل في CdS.

❸ إن كثافة حالات السطح البيني لا تتبع للجهد. هذا مهم في حالة كون تابعية التيار المنتج بواسطة الضوء للجهد مهملة (كما هو الحال في خلايا $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ على أساس $CuGaSe_2$ وحيد البلورة [15]). إن هذا الافتراض مبرر إذا أخذنا بالاعتبار أن معظم حالات السطح البيني المذكورة أعلاه تقع طاقياً تحت مستوى فرمي من أجل جميع قيم الجهد المستخدمة لتوصيف الخلايا.

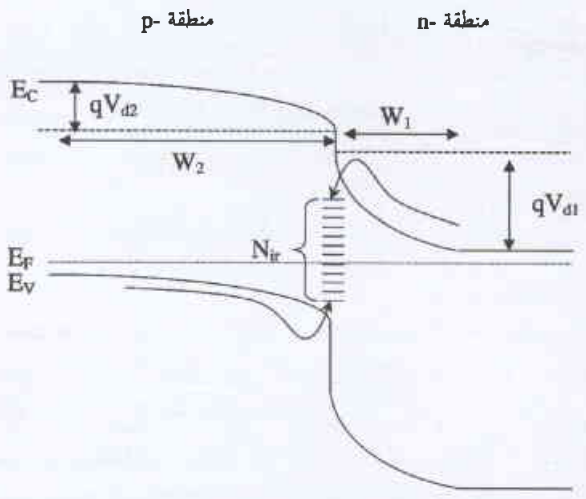
❹ تؤدي إضاءة الخلية إلى ارتفاع كثافة الحالات المشحونة على السطح البيني مما يزيد تيار إعادة اتحاد الشحنات. إن سبب هذا الازدياد يكمن في تغير مستوى فرمي الافتراضي على السطح البيني بالإضاءة.

بحل معادلة بواسون Poisson للبنية باستخدام تقريب النضوب نحصل على العلاقات التالية التي تعطي كلاً من V_{d1} و V_{d2} كموني الانتشار في منطقتي n و p على التسلسل:

$$V_{d1} = \frac{q}{2\varepsilon_r\varepsilon_0} N_1 W_1^2 \qquad (1)$$

$$V_{d2} = \frac{q}{2\varepsilon_r\varepsilon_0} N_2 W_2^2 \qquad (2)$$

يدل الدليلان 1 و 2 على طبقة النافذة وطبقة الامتصاص على التسلسل. q، N_1، N_2، W_1، W_2، ε_r، ε_0 هي شحنة الإلكترون، تركيز الذرات المانحة، تركيز الذرات الآخذة، عرض منطقة النضوب في



الشكل (1): رسم تمثيلي للبنية العصابية المستخدمة في حسابات النموذج. إن حالات السطح البيني N_{ir} مفترضة في منطقة النافذة. يمثل V_{d1} و V_{d2} كموني الانتشار في منطقتي n و p على التسلسل، ويمثل W_1، W_2 عرضي منطقة النضوب في طبقة النافذة وطبقة الامتصاص على التسلسل. إن طريق إعادة الاتحاد عبر حالات السطح البيني موضحة أيضاً.

طبقة النافذة، عرض منطقة النضوب في طبقة الامتصاص، ثابت العزل الكهربائي لنصف الناقل وثابت العزل الكهربائي للخلاء على الترتيب. استخدم للتسهيل $\varepsilon_{r1} = \varepsilon_{r2} = \varepsilon_r$. إن الاعتدال الكهربائي للبنية يعني:

$$N_1 W_1 = N_{ir} + N_2 W_2 \qquad (3)$$

حيث تعبر N_{ir} عن الكثافة السطحية للحالات البينية المشحونة. بسبب العلاقة (3) يؤثر وجود N_{ir} على كل من W_1 و W_2 وحسب المعادلات (1) و (2) تتأثر معها V_{d1} و V_{d2}.

حسب نموذج Rothwarf تعطى مميزات التيار–الجهد وفق العلاقة التالية [9] في حال كون آلية إعادة اتحاد الثقوب على السطح البيني هي الآلية المسيطرة لنقل التيار في الديود:

$$J = q N_2 S_1 \exp\left(\frac{-q V_{d2}}{kT}\right)\left\{\exp\left(\frac{q V_2}{kT}\right) - 1\right\} \qquad (4)$$

حيث تمثل V_2 الجزء المطبق على الطبقة الماصة من الجهد المطبق على الخلية و S_1 سرعة إعادة اتحاد الثقوب على السطح البيني. بمقارنة هذه المعادلة بالمعادلة العامة للديود (بدون مقاومة تسلسلية وتفرعية) نجد:

$$J = J_0\left\{\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1\right\}. \qquad (5)$$

يجب تعريف كثافة تيار الإشباع J_0 وعامل جودة الديود n كما يلي:

$$J_0 = q N_2 S_1 \exp\left(\frac{-q V_{d2}}{kT}\right) \qquad (6)$$

و

$$n = \frac{V}{V_2} = 1 + \frac{V_1}{V_2}. \qquad (7)$$

حيث تمثل V_1 الجزء المطبق على طبقة النافذة من الجهد المطبق على الخلية. من أجل جميع قيم الجهد المطبقة على الديود نفترض وجود علاقة ثابتة بين V_1 و V_2 مساوية لنسبة V_{d1}/V_{d2}. هذا يعني أنه يمكن كتابة معامل جودة الديود كما يلي:

$$n = \frac{V_d}{V_{d2}} = 1 + \frac{V_{d1}}{V_{d2}} = 1 + \frac{(N_{ir} + N_2 W_2)^2}{N_1 N_2 W_2^2}, \quad (8)$$

حيث يمثل المقدار $V_d = V_{d1} + V_{d2}$ كمون الانتشار الكلي. تظهر المعادلة (8) أن n يمكن أن تأخذ قيماً أكبر من 2 عندما يكون $(N_{ir}+N_2W_2)^2 > N_1N_2W_2^2$، $N_{ir} > (\sqrt{N_1N_2} - N_2)W_2$. وهذا يعني أن كما يظهر أيضاً أن زيادة N_{ir} ستؤدي إلى ارتفاع n. في هذه الحالة تصبح آلية إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني هي الآلية الأساسية في نقل التيار. يمكن إهمال تأثير الحالات البينية على معامل جودة الديود عندما تكون $N_{ir} << (\sqrt{N_1N_2} - N_2)W_2$. فيما يلي سندرس حالة n>2 وسنحسب وسطاء الديود كتوابع لقيمة N_{ir}. باستخدام العلاقات (1)، (2) و (8) نحصل على:

$$W_1 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_r\varepsilon_0 V_d (n-1)}{q N_1 n}} \quad (9)$$

$$W_2 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_r\varepsilon_0 V_d}{q N_2 n}}. \quad (10)$$

وبإدخال (10) في (8) نحصل على المعادلة التالية:

$$N_{ir} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_r\varepsilon_0 N_1 V_d}{q}\frac{(n-1)}{n}} - \sqrt{\frac{2\varepsilon_r\varepsilon_0 N_2 V_d}{q n}}. \quad (11)$$

تظهر العلاقة (11) ضمنياً تابعية معامل جودة الديود n لكثافة الحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir}. إن كتابة العلاقة الصريحة $n = n(N_{ir})$ تؤدي إلى شكل معقد جداً ولا تعطي أية معلومة فيزيائية جديدة. تبعاً لنموذجنا تجذب الثقوب المولدة في الطبقة الماصة قرب السطح البيني إلى حالات السطح البيني المشحونة سلبياً في منطقة النافذة حيث تحدث عملية إعادة اتحاد الشحنات. هذا سيترك حالات سطح بيني غير مشغولة تقع طاقياً تحت مستوى فرمي، ثم تشغل هذه الحالات بالإلكترونات التي تكون شحنات أكثرية في طبقة النافذة. إن عملية إعادة الانشغال هذه تحدث بسرعة ولا تؤثر على سرعة إعادة الاتحاد. بما أن حالات السطح البيني هي حالات شبيهة بالحالات المستقبلة وفي معظم الأحيان مشغولة، يكون معدل إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني محدوداً بتوفر الثقوب. يمكن كتابة سرعة إعادة اتحاد الثقوب على السطح البيني في الحالات الشبيهة بالحالات المستقبلة على الشكل التالي:

$$S_1 = v_{th}\sigma_p N_{ir}, \quad (12)$$

حيث تعبر v_{th} عن السرعة الحرارية و σ_p عن المقطع العرضي لأسر الثقوب على السطح البيني. بإدخال (12) و (8) في (6) نحصل على:

$$J_0 = q v_{th}\sigma_p N_{ir} N_2 \exp\left[\frac{-qV_d}{nkT}\right]. \quad (13)$$

سنستخدم العلاقة (13) إضافة إلى العلاقة (11) في الحسابات الرقمية من أجل توضيح مدى تابعية تيار الإشباع J_0 لكثافة الحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir}.

يمكن حساب التغيرات في مميزات التيار–الجهد $J=J_0(e^{qv/nkT}-1)$ تبعاً لكثافة الحالات المشحونة N_{ir} من أثر هذه الأخيرة على كل من J_0 و n (المعادلات (11) و (13)).

يمكن كتابة كثافة تيار الدارة المقصورة J_{sc} كما يلي [10]:

$$J_{sc} = \frac{J_{L0}}{1 + S_1/v_1} = \frac{J_{L0}}{1 + S_1/\mu_1 E_1}, \quad (14)$$

حيث J_{L0} هو التيار المنتج بواسطة الضوء والذي يصل إلى السطح البيني وتعبر v_1 عن السرعة المتوسطة للإلكترونات التي تعبر السطح البيني والتي نفترضها هنا مساوية $v_1 = \mu_1 E_1$، حيث تمثل μ_1 حركية الإلكترونات و E_1 شدة الحقل الكهربائي على السطح البيني. في الحالة العامة تكون v_1 أكثر تعقيداً بسبب (a) التوازن الحراري للإلكترونات عند سقوطها من فوق العتبة و (b) v_1 محدودة بسرعة تبعثر الإلكترونات $v_{s1} = v_{th}$. هذا مؤكد هنا بسبب صغر μ. يمكن حساب E_1 من معادلة Poisson فنحصل على:

$$E_1 = \frac{q}{\varepsilon_r\varepsilon_0} N_1 W_1. \quad (15)$$

بما أن حركية الشحنات على السطح البيني ليست معرّفة جيداً سنستخدم قيمة حركية الإلكترونات في طبقة النافذة CdS من أجل μ_1. تبدو هذه القيمة مناسبة باعتبار أن إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني تحدث في طبقة CdS (انظر الفرضية 1).

بإدخال (12) و (15) في (14) نحصل على:

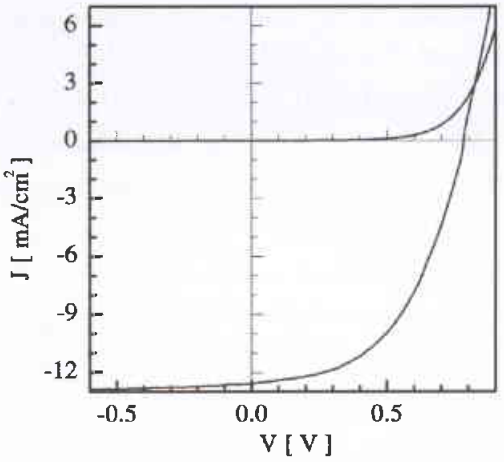
$$J_{sc} = \frac{J_{L0}}{1 + \sigma_p v_{th} N_{ir} \varepsilon_r\varepsilon_0/q\mu_1 N_1 W_1} \quad (16)$$

وهي المعادلة التي سنستخدمها بالإضافة للمعادلتين (9) و (11) في الحسابات العددية من أجل توضيح أثر كثافة الحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir} على تيار الدارة المقصورة. كما يمكن حساب تغيرات توتر الدارة المفتوحة $v_{oc} = (nkT/q)\ln\{(J_{sc}/J_0)+1\}$ تبعاً لكثافة الحالات المشحونة على السطح البيني باستخدام المعادلات (9) و (11) و (13) و (16).

النتائج التجريبية

جرى تحضير وتوصيف $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ على أساس $CuGaSe_2$ وحيد البلورة في جامعة كونستانس، في ألمانية. من أجل التحضير رسبت طبقة رقيقة ذات ثخن تقريبي حوالي 90nm من CdS باستخدام طريقة الترسيب الكيميائي على بلورة $CuGaSe_2$، ثم وضّعت طبقة ناقلة وشفافة من ZnO ذات ثخن تقريبي حوالي 120nm على طبقة CdS بطريقة الرشرشة المغنطيسية. جرى تحضير الوصلتين الأمامية والخلفية الأوميتين بتبخير الإنديوم والذهب على الترتيب. ثم جرى تبخير طبقة من MgF_2 لتخفيف الانعكاس على سطح الخلية ولدنت الخلية لفترة ساعتين في الخلاء في درجة الحرارة 200°C. يمكن الحصول على معلومات مفصلة لتحضير الخلية من المرجع [6].

يبين الشكل 2 مميزات التيار–الجهد لخلية شمسية ذات مردود قدره 6.0% تحت تأثير طيف شمسي محاكى AM1.5 شدته $I_{ill} = 83\ mW/cm^2$.



الشكل (2): مميزات التيار–الجهد للخلية المدروسة في الظلام وتحت تأثير الضوء.

تمثل هذه الخلية خلية نموذجية للخلايا المحضرة بالطريقة المشروحة أعلاه. يبين الجدول 1 الوسطاء التي تصف الخلية في الظلام وتحت تأثير الضوء. يشير تقاطع المميزين إلى تغير الوسطاء التي تصف الخلية في الظلام وتحت تأثير الضوء.

الجدول 1- الوسطاء التي تصف الديود المدروسة في الظلام وتحت تأثير الضوء.

الوسطاء التي تصف الديود في الظلام	
تيار الإشباع $[mA/cm^2]$	6.6×10^{-4}
عامل جودة الديود	3.8
المقاومة التسلسلية $[\Omega\ cm^2]$	2.3
المقاومة التفرعية $[\Omega\ cm^2]$	3.8×10^5
الوسطاء التي تصف الديود تحت تأثير الضوء	
توتر الدارة المفتوحة [mV]	782
تيار الدارة المقصرة $[mA/cm^2]$	12.6
عامل الامتلاء [%]	51
مردود الخلية [%]	6.0

حسابات عددية

أجريت الحسابات العددية من أجل إظهار أثر تركيز الحالات المشحونة على السطح البيني على الوسطاء المميزة للخلايا الشمسية باستخدام الوسطاء التالية:

$N_1 = N_D = 1\times10^{17}\ cm^{-3}$

$N_2 = N_A = 4\times10^{15}\ cm^{-3}$

$V_d = 1.25\ V$

$\mu_{CdS} \approx 0.01\ cm^2/Vs$

$\varepsilon_r = 8$

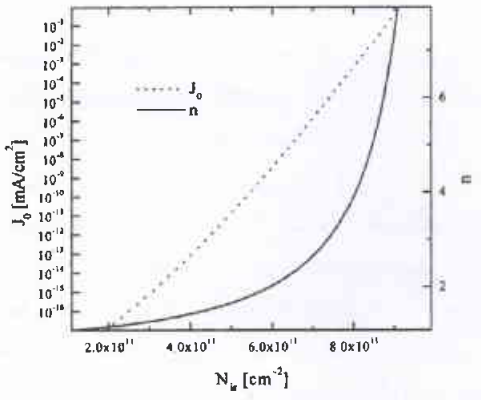
$J_{L0} = 15\ mA/cm^2$

$v_{th} = 10^7\ cm/s$

$\sigma_p = 5\times10^{-17}\ cm^2$

إن قيم تركيز الذرات الآخذة والحركية μ_{CdS} في طبقة CdS (التي سنأخذها من أجل حركية الشحنات على السطح البيني μ_I) تم إيجادها تجريبياً للخلية المدروسة [6]. تحتوي طبقة CdS على كثافة عالية من العيوب بسبب تحضيرها بطريقة الترسيب الكيميائي. ثم أعطيت الوسطاء الأخرى (N_D ، V_d ، J_{L0} ، σ_p) قيماً اختيارية (ولكنها نموذجية لهذه الخلايا) من أجل الحصول على ارتباط بين الحسابات والقياسات التجريبية لميزات التيار–الجهد. تم تقدير قيمة تركيز الذرات المانحة في المرجع [6] بقيمة $N_D = 1.5\times10^{18}\ cm^{-3}$ قبل التلدين الحراري للخلية. يتوقع أن تنخفض هذه القيمة بعد التلدين الحراري. تبدو القيمة المختارة في هذا العمل $N_D = 1\times10^{17}\ cm^{-3}$ منطقية. وقيمة كمون الانتشار $V_d = 1.25\ V$ واقعية، حيث إنه تم الحصول على قيم توتر الدارة المفتوحة تصل إلى $V_{oc} = 946\ mV$ في هذه الخلايا [5]. اختيرت قيم J_{L0} و σ_p بحيث تقع قيم J_0 و J_{sc} في المجال الصحيح.

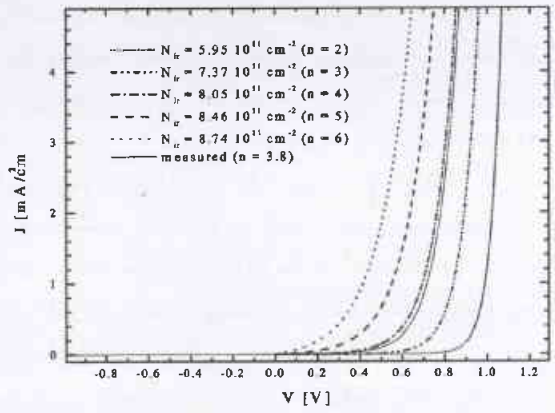
يبين الشكل 3 أن معامل جودة الديود يرتفع بشكل تابع رتيب لكثافة الحالات على السطح البيني N_{ir}. علاوة على ذلك، يظهر هذا



الشكل (3): تابعية عامل جودة الديود n وتيار الإشباع J_0 لكثافة الحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir}. أجري الحساب باستخدام المعادلات (11) و (13) والوسطاء: $N_1 = N_D = 1\times10^{17}\ cm^{-3}$, $N_2 = N_A = 4\times10^{15}\ cm^{-3}$, $\varepsilon_r = 8$, $V_d = 1.25\ V$, $v_{th} = 10^7\ cm/s$, $\sigma_p = 5\times10^{-17}\ cm^2$.

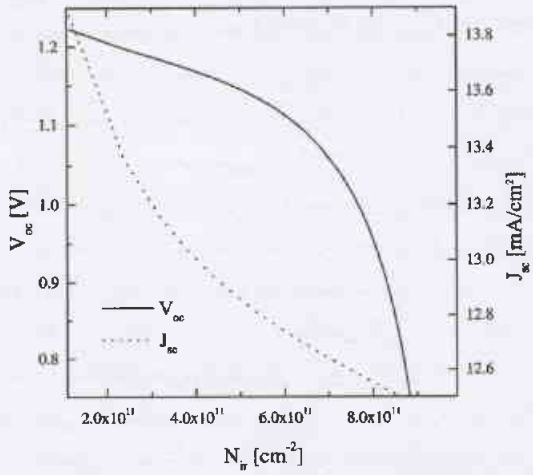
الشكل تابعية تيار الإشباع J_0 القوية (تبعية أسية تقريباً) لقيمة N_{ir}. يمكن تفسير القيم التجريبية لعامل جودة الديود $n = 3.8$ وكثافة تيار الإشباع $J_0 = 6.6\times10^{-4}$ mA/cm^2 (انظر الجدول 1).

باستخدام النموذج المطروح من خلال وجود كثافة عالية لحالات السطح البيني بمقدار تقريبي $N_{ir} \approx 7.9\times10^{11}$ cm^{-2} يظهر الشكل (4) مميزات التيار–الجهد المحسوبة من أجل قيم مختلفة لكثافة حالات السطح البيني N_{ir} تتفق، حسب النموذج المقترح، مع القيم n ={2,3,4,5,6} لعامل جودة الديود. من أجل المقارنة نجد أيضاً مميز الخلية المدروسة في الشكل (4) بعد أن تم حذف تأثير المقاومة التسلسلية والتفرعية. إن المميز المقيس يتناسب مع المميزات المحسوبة، ولا بد من الإشارة إلى أن هذا التناسب يأتي بسبب اختيار الوسطاء الملائمة، ولكن هذا لا يشكل تراجعاً للنموذج لأن القيم الدقيقة للوسطاء المختارة (σ_p ،J_{L0}) ليست معروفة دائماً.



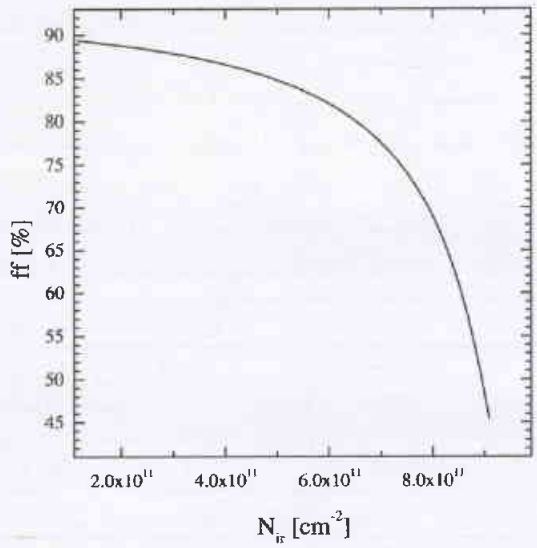
الشكل (4): مميزات التيار–الجهد المحسوبة لكثافات مختلفة للحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir}. أجري الحساب باستخدام المعادلات (11) و (13) والوسطاء:
$N_1 = N_D = 1\times10^{17}$ cm^{-3}, $N_2 = N_A = 4\times10^{15}$ cm^{-3}, $\varepsilon_r = 8$, $V_d = 1.25$ V, $v_{th} = 10^7$ cm/s, $\sigma_p = 5\times10^{-17}$ cm^2.

إن تأثير N_{ir} على كثافة تيار الدارة المقصورة ضئيل (الشكل 5). هذا ما يمكن تفسيره من خلال ملاحظة أن كلاً من S_1 و E_1 في المعادلة (14) يتعلق بقيمة N_{ir} بنفس التابعية تقريباً. ولكن توتر الدارة المفتوحة V_{oc} ينقص بازدياد N_{ir} كنتيجة لتابعية J_0 القوية لقيمة N_{ir}. من أجل توضيح أثر N_{ir} على معامل الامتلاء، تم حساب مميزات التيار–الجهد التي تصف الخلية تحت الإضاءة من أجل قيم N_{ir} المختلفة وحسبت قيم عامل الامتلاء من هذه المميزات. يبين الشكل 6 تابعية عامل الامتلاء لكثافة الحالات على السطح البيني. نرى أن إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني تؤدي إلى إنقاص عامل الامتلاء. يمكن تفسير القيم التي تم الحصول عليها تجريبياً لتيار الدارة المقصورة $J_{sc} = 12.8$ mA/cm^2 وتوتر الدارة المفتوحة $V_{oc} = 782$ mV وعامل الامتلاء $ff = 51\%$ (انظر الجدول 1) باستخدام النموذج المطروح بارتفاع كثافة حالات السطح البيني من $N_{ir} \approx 7.9\times10^{11}$ cm^{-2} إلى $N_{ir} \approx 8.9\times10^{11}$ cm^{-2}. يؤدي هذا التغير في كثافة حالات السطح البيني إلى تغير في كثافة تيار الإشباع



الشكل (5): تابعية تيار الدارة المقصرة J_{sc} وتوتر الدارة المفتوحة V_{oc} لكثافة الحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir}. أجري الحساب باستخدام المعادلات (9)، (11)، (13) و (16) والوسطاء:
$N_1 = N_D = 1\times10^{17}$ cm^{-3}, $N_2 = N_A = 4\times10^{15}$ cm^{-3}, $\varepsilon_r = 8$, $V_d = \text{const} = 1.25$ V, $v_{th} = 10^7$ cm/s, $\sigma_p = 5\times10^{-17}$ cm^2, $J_{sc} = 15$ mA cm^{-2}.

وعامل جودة الديود من $J_0 = 6.6\times10^{-4}$ mA/cm^2 و $n = 3.8$ في الظلام إلى $J_0 = 1.8\times10^{-1}$ mA/cm^2 و $n = 6.8$ تحت تأثير الضوء، مما يفسر عدم وجود انزياح ثابت بين المميزات في الظلام وتحت تأثير الضوء (انظر الشكل 2). لا بد من الإشارة هنا إلى أن عرض منطقة النضوب في طبقة الامتصاص p يبقى في إطار هذا النموذج أكبر منه في طبقة النافذة n من أجل كل قيم N_{ir} ($W_2 >> W_1$). وبما أن القدر الأكبر من الشحنات يتولد في طبقة الامتصاص فإن ارتفاع كثافة الحالات المشحونة على السطح البيني لا يخرب مفعول الخلية الشمسية.



الشكل (6): تابعية عامل الامتلاء ff لكثافة الحالات المشحونة على السطح البيني N_{ir}. جرى حساب قيم عامل الامتلاء من مميزات التيار- الجهد لكل قيم N_{ir}. أجري الحساب باستخدام الوسطاء التالية:
$N_1 = N_D = 1\times10^{17}$ cm^{-3}, $N_2 = N_A = 4\times10^{15}$ cm^{-3}, $\varepsilon_r = 8$, $V_d = 1.25$ V, $v_{th} = 10^7$ cm/s, $\sigma_p = 5\times10^{-17}$ cm^2.

تتوافق قيم كثافة الحالات على السطح البيني مع قيم عامل جودة الديود $n = 2,3,4,5,6$. في المقارنة نجد مميز الخلية المدروسة ($n = 3.8$) في الشكل.

الخلاصة

يشرح النموذج المطروح معامل جودة الديود وكثافة تيار الإشباع العاليين كنتيجة لوجود كثافة حالات عالية على السطح البيني. عندما تتحقق المتراجحة $N_{ir} > (\sqrt{N_1 N_2} - N_2)W_2$ يتجاوز معامل جودة الديود القيمة 2 وتصبح آلية إعادة اتحاد الشحنات على السطح البيني الآلية المسيطرة لنقل التيار. ترتفع كثافة تيار الإشباع بشكل كبير مع ارتفاع كثافة حالات السطح البيني. تنشّط الإضاءة حالات السطح البيني مما يؤدي إلى ارتفاع كل من معامل جودة الديود وكثافة تيار الإشباع. ويمكن أن يؤدي هذا إلى إنقاص قيم توتر الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة ومعامل الامتلاء. كما يؤدي إلى عدم وجود انزياح ثابت بين المميزات في الظلام وتحت تأثير الضوء. استخدم النموذج لشرح النتائج التجريبية لخلايا شمسية مبنية على أساس مركبات الشالكوبيرايت مثل الخلايا الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$.

المراجع REFERENCES

[1] V. Nadenau, U. Rau, A. Jasenek, and H. W. Schock, J. Appl. Phys. **87** (1) 584 (2000).

[2] A. Jasenek, U. Rau, V. Nadenau, and H. W. Schock, J. Appl. Phys. **87** (1) 594 (2000).

[3] J. H. Schön, M. Klenk, O. Schenker, and E. Bucher, Appl. Phys. Lett. **77** (22) 3657 (2000).

[4] V. Nadenau, D. Hariskos, H. W. Schock, M. Krejci, F.-J. Haug, A. N. Tiwari, H. Zogg, and G. Kostorz, J. Appl. Phys. **85** (1) 534 (1999).

[5] M. Saad, H. Riazi, E. Bucher, and M. Ch. Lux-Steiner, Appl. Phys. A **62**, 181-185 (1996).

[6] M. Saad, W. Simon, K. Friemelt, H. Riazi-Nejad, E. Bucher, and M. Ch. Lux-Steiner, Proceedings of the 12th EC PVSEC, Amsterdam, The Netherlands, 1546 (1994).

[7] M. Saad, H. Riazi-Nejad, E. Bucher, and M. Ch. Lux-Steiner, Proceedings of the first World Conference. on PVEC, Hawaii, USA, 214 (1994).

[8] R. Klenk, Dissertation der Universität Stuttgart (1993).

[9] A. Rothwarf, IEEE Trans. Electron Devices, **29** (10) 1513 (1982).

[10] A. Rothwarf, Solar cells **16** 567-590 (1985).

[11] M. Eron and A. Rothwarf, J. Appl. Phys. **57** (6) 2275 (1985).

[12] R. R. Potter and J. R. Sites, IEEE Trans Electron Devices, **31** (5) 571 (1984).

[13] M. Eron and A. Rothwarf, Appl. Phys. Lett **44** (1) 131 (1984).

[14] W. A. Miller and L. C. Olsen, IEEE Trans Electron Devices, **31** (5) 654 (1984).

[15] M. Saad, Ph. D. thesis, University of Constance, ISBN 3-89191-933-6, (1995).

فصل الذهب انتقائياً من عينات فلزات الحديد باستخدام المبادلات الأيونية*

رفعت المرعي ـ زينب حريري ـ جمال أبو هلال
قسم الكيمياء ـ هيئة الطاقة الذرية ـ ص.ب 6091 ـ دمشق ـ سوريا

ملخص

جرى فصل الذهب من عينات فلزات الحديد عن الحديد (الكاتيون الرئيس في الركازة) والأنتيموان والفاناديوم باستخدام مبادل راتنج أنيوني في أوساط: HBr(0.2M)، فوق أوكسو ثنائي كبريتات البوتاسيوم والأسيتون؛ ماء مقطر؛ حمض الآزوت. حيث جرى استبدال زمرة البروم (Br^-) بزمرة الكلور (Cl^-) في المبادل الأنيوني Dowex–1x 4 باستخدام محلول HBr(6M). درست كفاءة الادمصاص على المبادل ومردود الاسترجاع من المبادل لرباعي بروم الذهب $AuBr_4^-$ باستخدام محاليل معيارية للذهب ومادة العينة المرجعية DGP-M1، وأوكسود الحديد المغنطيسي المحقون بتركيز معلوم من الذهب وقفاء الذهب المشع ^{198}Au. جرى اختبار عشرة محاليل غسل لاسترجاع الذهب من عمود التبادل ووجد أن المحلول المؤلف من 10 ml من فوق أوكسو ثنائي كبريتات البوتاسيوم و240 ml أسيتون؛ ماء مقطر؛ حمض الآزوت [5: 5: 125] يحقق المطلوب. يسمح إجراء الفصل الذي تم اتباعه بادمصاص الذهب بشكل كمّي على المبادل في حين عبر الحديد (المكون الأساس في الركازة) مع بعض العناصر الأخرى مثل (Cu, V, Sb, Ti, Cd, Ag) العمود مع محلول التغذية HBr(0.2M). حسب معامل الانتقائية للراتنج K لفصل الذهب عن الحديد ووجد أنه يساوي $K_{Fe}^{Au} \approx 6.4\times10^{11}$. جرت معالجة الذهب المغسول بـ $K_2S_2O_8$ و H_2O_2 من أجل التعيين بالمطيافية اللونية على شكل معقد مع rhodamine-B عند طول موجة 555.6nm. كانت الخطية – حد الكشف – الدقة – والصحة للطريقة التحليلية كالآتي: $2.0\mu g.g^{-1}$ و $0.018\mu g.g^{-1}$ و $0.009\mu g.g^{-1}$ و 3% على التتالي.

الكلمات المفتاحية: ذهب، مبادل راتنج أيوني. معامل انتقائية الراتنج (K).

مقدمة

يتطلب التغُير الواسع لتركيز الذهب في الفلزات والخامات تطويراً في التقنيات التحليلية، حيث يتعرض التعيين المباشر لآثار من الذهب في محلول يحتوي على كميات كبيرة من المواد الصلبة المنحلّة في معظم الطرائق التحليلية لتداخلات كبيرة من ركازة العينة، وقد ذكرت معظم المراجع التداخلات المتوقعة التي تعاني منها كل طريقة تحليلية، مما قاد ذلك إلى ضرورة تطوير طرائق فصل الذهب [2,1]. لقد نشرت أعمال كثيرة حول طرائق الفصل والتركيز المتطورة للذهب [3] في العالم، من هذه الطرائق المبادلات الأيونية [4-7]، الاستخلاص الحال [8-10]، الترسيب المشترك بأملاح التلوريوم وبأملاح الزئبق [12,11]، التعقيد مع السيانيز [13]، الادمصاص [14]. حتى يكون لتعيين آثار من الذهب معنىً حقيقي، ترتبط كل طريقة فصل بشكل أو بآخر بأحدى التقنيات التحليلية التالية: مطيافية الامتصاص الذرّي [15]، مطيافية الكتلة [17,16]، المطيافية الضوئية [18]، التفلور بأشعة X- [19]، المعايرات الفولطومترية [20] والتنشيط النتروني [21]. تتطلب الطريقة التقليدية لمعقد سيانيد الذهب $[Au(CN)_2]^-$ [13] احتياطات دقيقة لكون المعقد سامّاً للبيئة وللإنسان بالإضافة إلى ذلك فهي غير انتقائية للذهب حيث تتشكّل معقدات سيانيدية لعناصر أخرى مثل (Fe, Zn, Ag, Cu, Co, Ni) [22,13].

لقد نشرت نظرية وتطبيقات المبادلات الأيونية في عمليات الفصل التحليلي والتقاني مسبقاً [25,23]. وتعتبر المبادلات الأيونية من أكثر الطرائق استخداماً لفصل الذهب [26,16,7,4]. يسبب تركيز الحديد العالي في عينات خام الحديد تداخلاً كبيراً أثناء تعيين تركيز الذهب مهما كانت الطريقة التحليلية المتبعة، لذلك من الضروري فصل الذهب قبل البدء في عملية التحليل.

يهدف هذا العمل إلى فصل الذهب من عينات غنية بالحديد من أجل تعيينه بالمطيافية الضوئية. وبما أن أفضل تقنيتين لتعيين الذهب لادمصاص الذرّي، مطيافية الكتلة، غير متاحتين، فإن تقنية المطيافية الضوئية هي الخيار الوحيد المتاح.

لقد استخدم كاشف rhodamine-B في المطيافية اللونية لتعيين الذهب [27,18]، ولكون العينات المدروسة ذات طبيعة خاصة لحتوي تراكيز عالية من الحديد لذا فلا يمكن تطبيق طريقة rhodamine-B بشكل مباشر لذلك لابد من فصل الذهب عن الحديد ـ الأنتيموان ـ

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Microchemical Journal 2003

والفاناديوم. للوصول إلى هذا الهدف فقد استخدم مبادل أنيوني بعد استبدال زمرة البروم (Br^-) بزمرة الكلور (Cl^-). حيث أنجزت عملية الفصل في وسط من حمض البروم، وفوق اكسي ثنائي كبريتات البوتاسيوم وأسيتون: ماء مقطّر: حمض الآزوت.

العمل التجريبي

الكيماويات والتجهيزات

استخدمت في العمل التجريبي الكيماويات التالية من شركة ميرك:

حمض بروم الماء (6M)، حمض كلور الماء (2.4M)، محلول كلور الأمونيوم (5.6M)، وفوق اكسي ثنائي كبريتات البوتاسيوم ($K_2S_2O_8$) إضافة إلى rhodamine-B (رباعي إيتيل رودامين، $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ من BDH) والمبادل الأنيوني (Dowex 1x4(Cl⁻ form, 100-200 mesh, Fluka. كما حُضّرت محاليل الذهب المعيارية من $H(AuCl_4)3H_2O$ في وسط 12.7% من حمض كلور الماء 1 g/L بالتمديد المتتابع وماء ثنائي التقطير.

التجهيزات المستخدمة

مطيافية لونية (UV-Vis-Nir-3101 PC,Shimadzu,Japan)، الامتصاص الذرّي (Perkin-Elmer ، 2380)، مطيافية غاما بكاشف جرمانيوم عالي النقاوة بكفاءة 12.5% و MCA-Canberra 5-100، وميزان مكروي ورجاج.

إجراء الفصل بالتبادل الأيوني

يعود عدم جدوى استخدام المبادل الأيوني (Dowex 1X4 Cl⁻ form) في وسط من حمض كلور الماء لفصل الذهب عن الحديد في مثل هذه العينات (خامات الحديد) لسببين: الأول ـ يشكل الحديد في وسط من حمض كلور الماء المعقد $FeCl_4^-$ الذي يمتز على المبادل. والسبب الثاني– احتجاز معقد الذهب $AuCl_4^-$ في عمود التبادل وعدم إمكانية غسله منه. جربت محاليل الغسل التالية ولكن دون جدوى: هيدروكسيد الصوديوم (2,4,6M)، نترات الأمونيوم (1,2,3,4M)، حمض الليمون (0.5,1,2M)، حمض الخل (1 M) ثيوريا (0.3M في 0.1MHCl)، أسيتون: حمض HCl 1M (5:2)، حمض الأسكوربيك 5g + H_2O_2، هيدروكينونين 5g+H_2O_2، هيدروكينونين 5g + 3g سلفات الهيدرازين، (5:2) أسيتون: حمض الأسكوربيك (0.3M)، $K_2S_2O_8$ والأسيتون: حمض الآزوت: ماء، حمض كلور الماء (0.5-6M) فكانت الطريقة الوحيدة الناجعة هي إخراج المبادل من العمود وترميده ولهذا السبب استبدلت زمرة البروم (-Br) بزمرة الكلور (-Cl) وذلك بخض المبادل مع محلول حمض بروم الماء (6M) على رجاج كهربائي بمعدل (250 دورة/دقيقة) لمدة ليلة كاملة ثم نُقِلَ المبادل ذي الزمرة الجديدة -Br مع محلول حمض بروم الماء إلى خمسة عشر عموداً من البولي إيتيلين (ارتفاع كل عمود 10cm وقطره الداخلي 0.5cm). بعد استقرار المبادل في العمود وضعت فوقه طبقة رقيقة من الصوف الزجاجي. قسمت الأعمدة إلى خمس مجموعات تتضمن كل منها ثلاثة أعمدة، غُسِلَ كل عمود بحجم 30ml من محلول (6M)HBr ومن ثم غُسِلَ كل عمود بـ 50ml من الماء المقطر بعد ذلك غُسِلَ كل عمود من أعمدة المجموعة الأولى 50ml من محلول (0.05M)HBr وكل عمود من أعمدة المجموعة الثانية بالحجم نفسه من محلول (0.2M)HBr وكل عمود من أعمدة المجموعة الثالثة بالحجم نفسه من محلول (1M)HBr وكل عمود من أعمدة المجموعة الرابعة بالحجم نفسه من (2M)HBr وكل عمود من أعمدة المجموعة الخامسة بالحجم نفسه من (4M)HBr. أخذ خمسة عشر مكرراً 1ml ($1\mu g.ml^{-1}$) من محاليل معيارية من الذهب وقسمت إلى خمس مجموعات وحُضِّرت كل مجموعة بإحدى المولايات التالية (0.05,0.2,1,2,4M) من HBr على الترتيب، ونقل كل محلول معياري إلى عمود تبادل بنفس المولية من HBr ثم غسل كل عمود بـ 50ml من حمض بروم الماء بنفس مولية العمود. بُخّر محلول الغسل الناتج من كل عمود إلى 25ml ثم أضيف لكل محلول 5ml من محلول $K_2S_2O_8$ و2ml من (35%)H_2O_2 وبخر المزيج مرة ثانية حتى الجفاف تقريباً. وحُلَّ الناتج المتبقي بـ 5ml من الماء المقطر لتعيينه بالمطيافية اللونية على شكل معقّد مع. rhodamine-B استخدمت محاليل الغسل المذكورة أعلاه لغسل الذهب من الأعمدة ذات المولايات (0.2,1,2,4M)HBr بتدفق $1ml.min^{-1}$ ولكن بدون فائدة باستثناء محلول الغسل (10 ml) من $K_2S_2O_8$ في240ml من أسيتون: ماء: حمض الآزوت [125,5,5] الذي غسل الذهب بشكل كمي من الأعمدة ذات المولية (0.2,1M)HBr كما هو مدوّن في الجدول 1، لذلك اعتمدت مولية عمود التبادل (0.2M)HBr خلال هذه الدراسة. لقد نُشِّط المبادل في كل عمود بـ 50ml من محلول (6M)HBr ومن ثم بماء مقطر حتى تعديل pH الوسط إلى pH=7 وأخيراً بـ 50ml من محلول (0.2M)HBr.

لقد أنتج قفاء الذهب المشع ^{198}Au ذو عمر النصف 2.7 يوم بمفاعل البحث (MNSR) في هيئة الطاقة الذرّية السورية على الشكل التالي: حقن 0.5ml(500μg) من محلول معياري من نترات الذهب على ورقة سيللوز في كبسولة تشعيع وشعّعت على مرحلتين لمدة ساعتين ونصف كل

الجدول 1. سلوك الذهب في المبادل في وسط من HBr.

Molarity of HBr	0.05	0.2	1	2	4
Taken gold ($\mu g.\ ml^{-1}$)	10	10	10	10	10
Taken ^{198}Au (C/1000sec)	-	1 037 247±1867	-	-	-
Passed gold ($\mu g.\ ml^{-1}$)	9.97	0.05	0.5	0.98	0.99
Passed ^{198}Au (C/1000sec)	-	~ B.G.	-	-	-
Eluted gold ($\mu g.\ ml^{-1}$)	0.06	9.97	9.20	<0.02	<0.02
Eluted ^{198}Au (C/1000sec)		1 108 178±2882			

النتائج هي وسطي ثلاثة مكررات.

مرة بتدفق نتروني 10^{12} نترون/ سم^2/ثانية، بُرّدت الكبسولات المشعة لمدة عشرة أيام ثم أخذت ورقة السيللوز ووضعت في بيشر صغير وأضيف إليها 2ml من كل من حمض الآزوت وماء أكسجيني وبخر المزيج حتى الجفاف تقريباً، ثم أضيف على مرحلتين 5ml كل مرة من الماء المقطر وبخر المزيج حتى الجفاف تقريباً، وحُلّ الراسب المتبقي في (0.2M) حمض بروم الماء ثم أكمل الحجم إلى 25ml بـ HBr(0.2M) وأخذ بعد ذلك منه 5ml وعدّت لمدة 1000 ثانية بمطيافية غاما عند طاقة تساوي 412keV[28] بعد انتهاء العّد نقل هذا المحلول إلى عمود التبادل وغسل العمود بـ 50ml في حمض بروم الماء (0.2M) ثم غسل النظير ^{198}Au من العمود، بخر هذا المحلول لقرب الجفاف وحل الناتج المتبقي في HBr(0.2M)25ml ثم أخذ 5ml من هذا المحلول وعّدت لمدة 1000 ثانية. توجد النتائج في الجدول 1.

الجدول 2. تأثير كاتيونات الركازة على تعيين تركيز الذهب على شكل بروداميـن B بالمطيافية الضوئية.

Au taken µg.ml^{-1}	Ion added	Added ion (µg.ml^{-1})	Au measured (µg.ml^{-1})	Error %
1	V^{+4}	20	0.88±0.03	-11.5
1	Sb^{+5}	20	0.76±0.04	-24.0
1	Fe^{+3}	40	1.14±0.03	14.0
1	Fe^{+3}	50	1.27±0.04	27.0
1	Fe^{+3}	60	1.33±0.04	32.5
1	Fe^{+3}	70	1.46±0.05	46.0
1	Fe^{+3}	100	1.51±0.05	51.0
1	Fe^{+3}	200	1.94±0.06	94.0
1	Fe^{+3}	300	2.18±0.07	118.0
1	Ag^{+1}	20	0.98±0.01	-1.50
1	Cu^{+2}	20	0.99±0.01	-1.00
1	Cu^{+1}	20	0.99±0.01	-1.00
1	Cd^{+2}	20	0.99±0.01	-1.00
1	Ti^{+4}	20	0.98±0.01	-1.50

النتائج هي وسطي ثلاثة مكررات.

تأثير كاتيونات الركازة على تعيين الذهب

حقن كل محلول معياري للذهب 1µg.ml^{-1} بتركيز معين من الحديد وبـ 20 ضعفاً من كل من العناصر المتوقع أن تتداخل أثناء تعيين تركيز الذهب وهي (V, Sb, Ag, Cu, Cd, Ti) وعيّن تركيز الذهب على شكل معقّد مع rhodamine-B، تبين النتائج في الجدول 2 أن الحديد والأنتيموان والفاناديوم تسبب تداخلاً كبيراً، في حين لا يتداخل النحاس والفضة والكادميوم والتيتانيوم، لذلك لابد من إجراء فصل الذهب قبل التعيين وبشكل خاص عن الحديد والأنتيموان والفاناديوم.

حضرت تسعة محاليل معيارية للذهب تركيز كل محلول 1µg في HBr(0.2M) ثم قسمت إلى ثلاث مجموعات في كل مجموعة ثلاثة محاليل، وأضيف 300µg من الحديد إلى كل محلول من المجموعة الأولى و 20µg من الأنتيموان إلى كل محلول من المجموعة الثانية و20µg من الفاناديوم إلى كل محلول من المجموعة الثالثة ونقل كل محلول إلى عمود تبادل وأنجزت عملية الفصل. تظهر النتائج في الجدول 3 أن الحديد والأنتيموان والفاناديوم مرّت عبر العمود مع محلول التغذية HBr(0.2M) في حين احتجز الذهب ضمن العمود وقد تم غسله كمياً بمحلول الغسل المستخدم.

تحضير عينات خامات الحديد

تم الحصول على عينات خام الحديد من المؤسسة السورية للجيولوجيا والثروة المعدنية، حيث طحنت حتى 100 mesh وهزت لمدة ثماني ساعات على رجاجة ميكانيكية ثلاثية الأبعاد ودرست منرولوجياً بتقنية الانعراج بأشعة ـ X. بينت النتائج أن العينات هي خام حديد (هيماتيت) يتراوح تركيز الحديد فيها بين 570- 800mg.g^{-1}، جففت العينات لمدة ساعتين على الدرجة 105°C، أخذ من كل عينة ومن العينة المرجعية (DGP-M1) ثلاث عينات جزئية، ووضعت كل منها في بيشر تفلوني وأضيف لكل منها 3ml HF (48%) و 3ml HNO3 (65%) وهضّمت على سخانة كهربائية عند الدرجة 80°C حتى الجفاف، ثم أضيف لكل بيشر 3ml $HClO_4$ (60%) و 3ml HNO3 (65%)، وجفف المزيج حتى الجفاف ثم حُلّ الراسب

الجدول 3. فصل الذهب بالتبادل الأيوني عن الكاتيونات المتداخلة في وسط HBr.

Elements	Taken (µg. g^{-1})	Activity taken (C/1000sec)	Passed from 0.2M HBr (µg. g^{-1})	Activity Passed from 0.2M HBr (C/1000sec)	Gold eluted with used eluent (µg. g^{-1})	Activity eluted with used eluent (C/1000sec)
Au	10		≤0.03		0.983 ± 0.05	
^{198}Au		10 37 247 ±1867		~ B.G	-	1 108 178 ± 2882
Fe	300		298 ± 45			
Sb	20		19.1 ± 0.5			
V	20		19.4 ± 0.5			

كل نتيجة هي وسطي لخمسة مكررات و B.G هي الخلفية الأرضية.

الجدول 4. تركيز الذهب والحديد في عينات خامات الحديد المدروسة.

Sample	Au ($\mu g.g^{-1}$) after separation	Fe in separated Au solution ($\mu g.ml^{-1}$)	Fe in the samples ($mg.g^{-1}$)	Certified concentration of Au ($\mu g.g^{-1}$)	Experimental result of Au ($\mu g.g^{-1}$)
DGP-M1				0.73	0.71 ± 0.03
X-1	4.16 ± 0.04	≤0.30	23.20 ± 1.10		
X-2	2.91 ± 0.03	≤0.30	99.80 ± 1.10		
X-3	0. 91 ± 0.01	≤0.30	390.00 ± 1.10		
X-4	1.49 ± 0.02	≤0.30	502.00 ± 1.10		
X-5	4.71± 0.09	≤0.30	72.10 ± 1.10		
Ferric magnetic oxide	≤0.03	≤0.30	780.50 ± 1.10		
Spiked ferric Magnetic oxide	0.97±0.01	≤0.30	785 ± 1.10		

كل نتيجة هي وسطي لخمسة مكررات.

المتبقي بـ HBr (0.2M) بالتسخين. نقل كل محلول إلى عمود تبادل وأنجزت عملية الفصل ثم عين تركيز الذهب بالمطيافية الضوئية على شكل معقّد مع rhodamine-B كما عين في كل محلول تركيز الحديد بتقنية الامتصاص الذرّي. كما هضمت عينات جزئية أخرى من العينات المذكورة أعلاه وعيّن فيها تركيز الحديد بشكل مباشر دون المرور عبر عمود الفصل ويبين الجدول 4 هذه النتائج.

الطريقة التحليلية

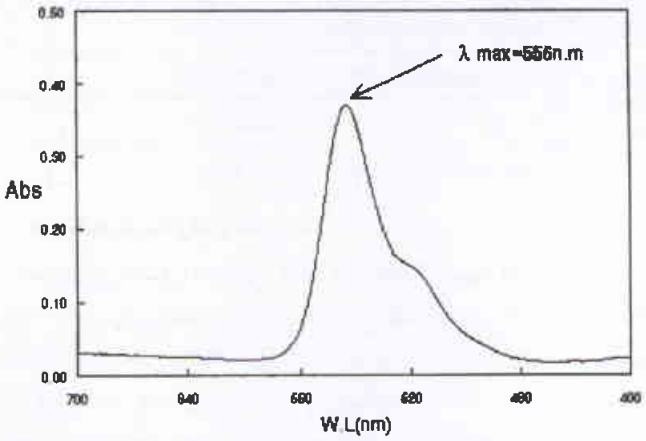
وضع في قمع فصل من البيركس حجم ما من محلول العينة الناتج من الفصل الذي يحوي ذهباً أقل من $2\mu g$ وأضيف إلى القمع 2ml من (2.4M) حمض كلور الماء و 5ml من محلول كلور الأمونيوم (5.6M) و1ml من محلول rhodamine-B (40mg تحل في 100ml من ماء مقطر). خُضَّ القمع لمدة خمس دقائق على رجاجة كهربائية ثم أضيف 2ml من ثنائي ايزو بروبيل ايتر وخض المزيج بعنف لمدة خمس دقائق، وأخيراً جرى مسح لامتصاصية الطور العضوي مقابل الشاهد في خلايا من الكوارتز طول المسار الضوئي لها 1cm وقد وجد أن طول موجة الامتصاص الأعظمي هي عند 555.6 nm كما هو موضح في الشكل 1. لقد حضرت محاليل معيارية بتراكيز (0.05,0.10,0.20,0.50,0.70,1.00,1.25,1.50,2.0,2.5)$\mu g.ml^{-1}$ وقيست امتصاصية كل منها ورسم منحني المعايرة كما هو مبين في الشكل 2.

النتائج والمناقشة

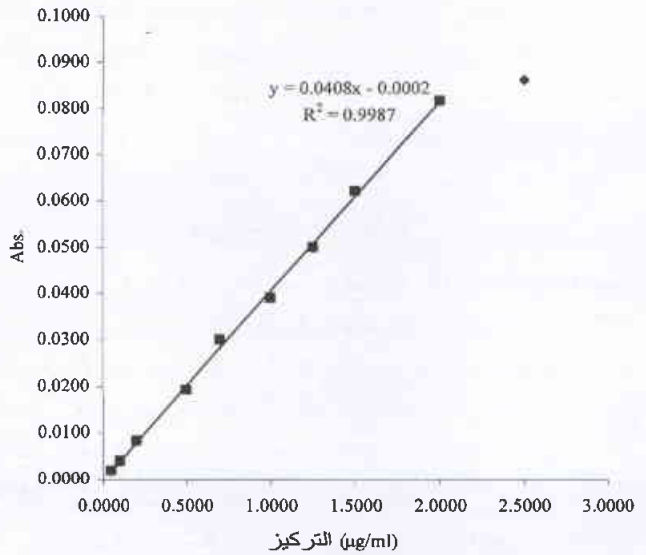
إجراء الفصل

نظراً لحقيقة أن الحديد يترافق دائماً مع الذهب خلال الفصل بطريقتي السيانيد أو الترسيب فلا بد من البحث عن طريقة أخرى. من المعروف أن المبادلات الأيونية قد أصبحت أداة لا يستغنى عنها بالنسبة للكيميائيين التحليليين في الوقت الحاضر ولهذا تم تبنّيها في هذا العمل.

يُشكّل الحديد في وسط حمض كلور الماء المعقّد $FeCl_4^-$ الذي يحتجز مع معقّد الذهب $AuCl_4^-$ في عمود التبادل (Dowex 1x4 Cl^- form). إن قوة ارتباط المعقد $AuCl_4^-$ بالمبادل يجعل غسله منه شبه مستحيل مما يفرض استخدام مبادل ذي زمرة تبادل تحتجز الذهب وتجعل عملية غسله من العمود سهلة ولا تحجز في الوقت نفسه الحديد، وقد كان أيون البروم هو الزمرة المنشودة لذلك استبدلت زمرة الكلور بزمرة البروم. درست كفاءة المبادل بالزمرة الجديدة



الشكل 1. مسح طيفي لمعقد ذهب-Rhodamine B.



الشكل 2. خطية الطريقة التحليلية.

Br^- باستخدام المادة المرجعية DGP- M1 والقفاء ^{198}Au ومحلول معياري للذهب وقد وجد أن كفاءة فصل الذهب عن الحديد عالية وتساوي $K_{Fe}^{Au} \approx 6.4\times10^{11}$ حيث استخدمت التقنيات التحليلية التالية: المطيافية الضوئية، مطيافية غاما، الامتصاص الذرّي في تعيين تركيز الكاتيونات المفصولة، يبين الجدول 3 هذه النتائج.

لقد وجد كما هو مبين في الجدول 1 أن الذهب يُحتجز في المبادل في وسط حمض بروم الماء اعتباراً من 0.2M ويغسل بشكل كمّي من حمض بروم الماء (0.2 -1M) بمحلول غسل من $K_2S_2O_8$ والأسيتون: ماء: حمض الآزوت. جمعت أجزاء المحلول المعياري للذهب المغسول وقفّاء الذهب المشع ^{198}Au في حجوم 50ml ووجد أن 250ml كافية لغسل الذهب من العمود (الجدول 5).

الجدول 5. أجزاء حجم غسل الذهب.

partial volumes of eluted solutions ml	Amount of gold (µg) in each fraction
First fraction (50)	2.70±0.075
Second fraction (+50)	14.73±0.32
Third fraction (+50)	25.64±0.45
Fourth fraction (+50)	46.64±0.83
Fifth fraction (+50)	8.33±0.22

كل نتيجة هي وسطي لخمس مكررات.

ينتج لون أصفر برتقالي مائل إلى الحمرة عند إضافة محلول أيون البروم إلى محلول رباعي كلور الذهب حسب المعادلة التالية [29]:

$$AuCl_4^- + 4Br^- \rightarrow AuBr_4^- + 4Cl^-$$

يعني هذا أن الذهب يوجد في وسط من حمض بروم الماء على الشكل AuBr- في حين يبقى كل من الحديد والأنتيموان والفاناديوم على الشكل الكاتيوني، ولذلك فهي تمر عبر عمود التبادل مع محلول التغذية (0.2M) حمض بروم الماء ولكن الذهب يحتجز في المبادل الذي من المحتمل أن يغسل من العمود على الشكل $[H^+AuBr_4^-]$.

حسب معامل الانتقائية (K) لفصل الذهب عن الحديد تحت الشروط المطبقة كما يلي:

$$K_{Fe}^{Au} = \frac{(C_{Au})_r^{Z_{Fe}} . (C_{Fe})_s^{Z_{Au}}}{(C_{Au})_s^{Z_{Fe}} . (C_{Fe})_r^{Z_{Au}}} = \frac{(9.83)^3 . (2980)^3}{(0.17)^3 . (20)^3} = 6.4\times10^{11}$$

حيث s،r وz هي المبادل الأيوني والمحلول والقيمة المطلقة لشحنة الأيونات على التوالي [22,21] وهذا يعني أن الذهب يحتجز بشكل كمّي في العمود من وسط (0.2M) حمض بروم الماء ويغسل بمحلول الغسل المذكور سابقاً، لقد قيست تجريبياً سعة المبادل من أجل رباعي بروم الذهب $AuBr_4^-$ وقد وجدت أنها تساوي إلى1.2 ملي مكافئ/1غ مبادل.

تعمل طريقة rhodamine-B فقط من أجل الذهب في درجة الأكسدة الثلاثية لذلك استخدم كل من $K_2S_2O_8$ والماء الأكسجيني أثناء مرحلة تحضير العينة، ووجد أيضاً أن رجّ قمع الفصل لمدة خمس دقائق قبل إضافة ثنائي ايزو بروبيل ايتر أمر ضروري وإلا فإن معقد الذهب مع rhodamine-B لن يتشكل، وقد وجد أن حمض الآزوت يسبب تداخلاً كبيرًا في طريقة تعيين تركيز الذهب، في حين لا يتشكل معقد الذهب مع rhodamine-B بوجود حمض فوق الكلور. على الرغم من ذكر المحاليل التالية في الأدبيات (أسيتون - ثيوريا - نشادر- حمض كلور الماء، أسيتون - حمض كلور الماء، ثيوريا- حمض كلور الماء، يود البوتاسيوم - ميتانول، حمض كلور الماء - كربونات الصوديوم - يود البوتاسيوم - حمض الأسكوربيك - أمونيا، سيانيد البوتاسيوم) لغسل الذهب من مبادلات أيونية مختلفة (26,7,4)، إلا أن هذا العمل قد أظهر أن محلول الغسل المؤلف من $K_2S_2O_8$ وأسيتون: ماء: حمض الآزوت [125:5:5] هو أكثر محاليل الغسل نجاحاً من بين النسب الأخرى (الجدول 6). يبين الجدول 7 أن امتصاصية محاليل معيارية للذهب قبل المرور عبر عمود التبادل وبعد المرور منه متطابقة، ويعني هذا أن عمليتي الاحتجاز والغسل كميتان.

الجدول 6. نسب الغسل المستعملة (240 mL) لغسل (1 µg) ذهب 10mL من $K_2S_2O_8$.

Acetone: Nitric acid: Water (240ml)	Measured concentration of eluted gold (µg)
65:5:5	0.678±0.019
80:4:4	0.821±0.022
100:5:5	0.980±0.023
110:5:5	0.983±0.023
125:5:5	0.987±0.022

كل نتيجة هي وسطي لخمسة مكررات.

الخواص التحليلية

يبين الشكل 2 أن المنحني المعياري خطي حتى $1.0\mu g.ml^{-1}$، وقد قدّر الحد الأدنى للكشف على أساس ثلاثة أضعاف الانحراف المعياري لتسعة قياسات لعينة تحوي سبعة أضعاف الانحراف المعياري (S.D) للشاهد وقد وجد أنه يساوي $0.018\ \mu g.ml^{-1}$ [30]. لتقييم دقة طريقة الفصل وطريقة تعيين تركيز الذهب استخدمت العينة المرجعية DGP-M1، وأكسيد الحديد المغنطيسي المحقون بـ$1.0\ \mu g$ من الذهب و$20\ \mu g$ من كل من فاناديوم - أنتيموان - نحاس - فضة - كادميوم - وتيتانيوم حيث وجد أن الخطأ النسبي كان 3% كحدٍّ أقصى الجدول 4 وقد حسبت الدقة من الانحراف المعياري (S.D) الناتج من عشرة قياسات لمحلول عينة يحوي تركيزاً معلوماً من الذهب ووجدت أنها تساوي $0.009\mu g.ml^{-1}$.

الاستنتاجات

ركز هذا العمل على الفصل الانتقائي للذهب عن الحديد (الكاتيون الرئيس في الركازة) وبعض الكاتيونات (الفاناديوم - الأنتيموان) التي تتداخل أثناء التعيين والموجودة في عينات خامات الحديد

الجدول 7. امتصاصية محلول معياري للذهب قبل وبعد المرور عبر عمود مبادل الراتنج الأيوني.

Au^{+3} taken $\mu g.ml^{-1}$	Mean absorption of direct measurement	Mean absorption after passing resin
0.2	0.0081	0.0079
0.5	0.0190	0.0189
0.8	0.0325	0.0316
1.2	0.0488	0.0476
1.5	0.0609	0.0595
2.0	0.0813	0.0802
2.5	0.0863	0.0845

باستخدام عملية الفصل باستخدام مبادل أيوني في أوساط حمض بروم الماء، $K_2S_2O_8$ وأسيتون: ماء: حمض الآزوت. يبين استخدام العينة المرجعية ومحلول الذهب المعياري والقفاء المشع للذهب Au^{198} أن كفاءة الفصل عالية جداً وأن معامل الانتقائية لفصل الذهب عن الحديد يساوي $K_{Fe}^{Au} \approx 6.4\times10^{11}$ وقيست تجريبياً أيضاً سعة المبادل من أجل رباعي بروميد الذهب ووجدت أنها تساوي 1.2 ملي مكافئ/1غ مبادل. لقد درست طريقة تعيين تركيز الذهب بالمطيافية الضوئية على شكل معقد للذهب/rhodamine-B ووجد أن البارامترات المثالية كانت على الشكل التالي: 2ml من محلول rhodamine-B، خض قمع الفصل لمدة خمس دقائق قبل إضافة diisopropyl ether، انتظار 15/ دقيقة لفصل الطور العضوي عن الطور المائي، طول موجة الامتصاص الأعظمي عند 555.6 nm. وقد وجد أيضاً أن حمض الآزوت يتداخل بشكل كبير وأن المعقد بين الذهب و rhodamine-B لا يتشكل بوجود حمض فوق الكلور. وتبعاً لذلك يمكن استنتاج أن الطريقة المقترحة هي طريقة انتقائية ورخيصة من أجل فصل الذهب عن عينات خام الحديد مقارنة بالطريقة المستعملة حالياً. ويمكن تطبيق هذه الطريقة في استعادة الذهب من خام الحديد.

المراجع REFERENCES

[1] N. R., Das, S. N. Bhattacharyya, Talanta, 23,1976, 535-540.
[2] V. Eckelmans, E. Graauwmans, S. DeJaegere, Talanta, 21, 1974, 715-722.
[3] C. L. Bao, Z.W. Li, , K. Zhang, Q. Z. Shun, , Y. Z. Chen, Microchem. J., 54,1996, 1-7.
[4] M. Ochsenknehn- Petropulu, P. Schramel, Mikrochim Acta, 119, 1995, 265-267.
[5] H. Zhang, D.B. Dreisinger, Hydrometallurgy 66 (2002) 59-68.
[6] P. Kula, Z. Navratilova, Electroanalysis 13 (2001) 795-798.
[7] F. M. El-Zawawy, M. F. Elshahat, A. A. Mohamed, M. T. M. Zaki, Analyst, 120, 1995, 549-554.
[8] C. Agrawal, M. Shrivastava, R. K. Mishra, , K. S. Patel, Anal Chim Acta, 237, 1990, 491- 496.
[9] T. N. Lokhande, S. H. Gaikwad, A. Anuse, M. B. Chavan, Ann. Chim. (Rome) 92 (2002) 615-622.
[10] H. Niskavaara, E. Kontas, Anal Chim Acta, 231, 1990, 273-282.
[11] V.S. Nguyen, J. Radioanal. Nucl. Chem. 187, 1994, 67-71.
[12] R. Juvonen, E. Kontas, J Geochemical Exploration. 65, 1999, 219-229.
[13] G. Chakrapani, P. Mahanta, D. S. R. Murty, B. Gomathy, Talanta, 53, 2001, 1139-1147.
[14] G.S. Reddi, C.R.M. Rao, Analyst, 124, 1999, 1531-1540.
[15] T. A. Hoang, L. R. Mullings, D. N. Phillips, I. D. Sills, Atomic Spectroscopy, 19, 1998, 10-13.
[16] I. Jarvis, M. M. Totland, K. E. Jarvis, Analyst, 122, 1997, 19-26.
[17] M.A.M. daSilva, V.L.A. Frescura, A.J. Curtius, Spectrochim. Acta, Part-B 56B (2001) 1941-1949.
[18] G. Koelbl, K. Kalcher, A. Voulgaropoulos, Fresenius, J. Anal. Chem., 342, 1992, 83-86.
[19] S. Peraniemi, J. Parkkinen, K. Smolander, H. Mustalahti, M. Ahlgren, Fresenius, J. Anal. Chem., 343,1992, 292-296.
[20] Z. L. Jiang, Talanta, 40,1993, 1823-1827.
[21] K. M. Ochsenkuehn, P. M. Ochsenkuehn, N. N. Papadopulos, G. Parissakis, J. Radioanal. Nucl. Chem. 212, 1996, 121-129.
[22] V. Nadejda, O. M. Kolytcheva, N. V. Petrukhin, B. Filipjeva, B. F. M. Spivakov, Anal. Chim. Acta., 357, 1997, 231-238.
[23] K. Dorfner (Ed.), Ion Exchangers. Walter de Gruyter, Berlin New York, 1991 .
[24] C. E. Harland, Ion Exchange, Theory and Practice. Royal Society of chemistry, Cambridge UK., 1994.
[25] J. Korkischin, Handbook of Ion Exchange Resins, Their Application to Inorganic Analytical Chemistry. VI, Florida, CRC Press. Inc., 1989.
[26] A. Tunceli, A. R. Turker, Analyst, 122, 1997, 239-242.
[27] H. Koshima, H. Onishi, Anal. Sci., 6,1990, 421-424.
[28] F. Addams, R. Dams, Applied Gamma Spectrometry.International Series Analytical Chemistry 41, 2nd , 1970.
[29] W. A. E. Mcbryde. Yoe John II. Anal. Chem., 20, 1948, 1094-1099.
[30] J. C. Miller, J. N. Miller, Statistic for Analytical Chemistry. 3 d edition, Ellis Horwood PTR, prentice Hall, New York, 1993.

تباين الفوعة المرضية بين عزلات الفطر pyrenophora teres والعامل المسبب لمرض التلطخ الشبكي لدى نبات الشعير*

د. محمد عماد الدين عرابي ـ د. بسام الصفدي ـ د. طريف شربجي
قسم التقانة الحيوية والبيولوجية الجزيئية ـ هيئة الطاقة الذرية
ص.ب 6091 ـ دمشق ـ سورية

ملخص

جمعت عزلات من العامل الممرض P.teres المسبب لمرض التلطخ الشبكي في نبات الشعير والممثلة لمناطق مختلفة في سورية وفرنسا. جرى تقويم طيف شدتها المرضية باستخدام أحد عشر طرازاً وراثياً من نبات الشعير. استجابت الطرز الوراثية بسلوكية مستمرة تمثلت بمجال متتال من شديد إلى متوسط الحساسية .اعتبر متوسط الإصابة 3.7 كنقطة فصل بين تفاعلي الشدة المرضية العالية والمنخفضة. امتلكت العزلات S6-2، R5، S5 تواتراً في الشدة المرضية يعتبر الأعلى بين العزلات المدروسة، في حين حازت العزلات R-ICA31 و R-HAS-6 على التواتر الأخفض في الشدة المرضية .أشار التحليل العنقودي إلى امتلاك عزلات العامل الممرض قيماً تفريقية متميزة في الشدة المرضية وجرى التوصل إلى تمييزها ضمن خمس مجموعات. تميزت العزلات الفرنسية R5، S6-2، S5، بارتفاع قيمة متوسط الشدة المرضية مع تباين ضعيف وذلك عبر جميع طرز الشعير المدروسة.

لم يمتز أي من طرز الشعير الوراثية المختبرة بمقاومة عالية تجاه جميع عزلات العامل الممرض المستخدمة في هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: الشعير، العامل الممرض Drechslera teres، الفوعة المرضية، التلطخ الشبكي.

مقدمة

يعتبر التلطخ الشبكي مرضاً بذرياً يصيب أوراق الشعير(1) ويسببه الفطر Drechslera teres وهو الحالة الكونيدية لـ Pyrenophora teres. ويشتد حدوث المرض في المناطق الدافئة ذات معدلات الهطل المرتفعة مع ارتفاع الرطوبة النسبية، على الرغم من حدوث إصابات في مناطق ذات معدلات هطل منخفضة [3،2]. تمّ في العقود الأخيرة، وفي عديد من البلدان، تسجيل زيادة في نسبة حدوث هذا المرض بسبب الزراعات التي تعتمد على إعادة زراعة المحصول في الموقع ذاته.

وصل المرض في فرنسا إلى الحالة الوبائية في عام 1992 مسبباً فقداً في الغلة بنسبة تراوحت بين 15-25% [4].

وقد ازدادت في الآونة الأخيرة حالات انتشار المرض في العديد من دول شمال أفريقيا والشرق الأوسط [8،7،6،5]. يعزا الانخفاض في الغلة الحبية بشكل أساسي إلى انخفاض في وزن الألف حبة بالإضافة إلى انخفاض في عدد البذور بالسنبلة [9].

يُعدّ العامل الممرض ذا تنوع كبير بحيث يتضمن عدة أنماط للشدة المرضية. قام [10] بفصل عزلات الشرق الأوسط إلى سبعة أنماط تبعاً للشدة المرضية كما فصل عزلات مقاطعة Montana إلى خمسة أنماط. وأعلن [11] عن وجود أربع مجموعات بين عزلات منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط.

أشارت الدراسات الوراثية في أغلب أصناف الشعير المدروسة إلى أن مقاومة التلطخ الشبكي مرتبطة بواحدة إلى ثلاث مورثات ذات تأثير أساسي [13،12،3]. مع ذلك أظهرت الأبحاث [16،15،14،1] أن المقاومة الجزئية للمرض ومتوسط تأثير الأليلات يمكن توريثهما وهذا بدوره يُعدّ عاملاً مهماً في الهيمنة على المقاومة والمحافظة عليها تجاه العامل الممرض P. teres.

أوضح [17] أن الشعير الأثيوبي بالإضافة إلى أصناف أخرى كانت مصادر وراثية ممتازة لمقاومة عزلات مرضية تم الحصول عليها في كل من كندا، والمكسيك، والولايات المتحدة الأمريكية. هذا، ويعتبر الطراز الوراثي CI-5791، مقاوماً للعزلات الأسترالية [18] والفرنسية [14] ولمعظم العزلات الكندية [19]، كما كان فعّالاً في مقاومة العزلات السويدية [12]. يكوّن شكلا المرض (Pyrenophora teres f. sp. teres و P. teres f. sp-maculata) عدداً كبيراً من الأنماط المرضية، ولا تتوافق عادة المقاومة تجاه شكلي المرض [22،21،20،19،3].

إن إدخال مستوى مقاومة مقبول إلى أصناف الشعير المنتظرة يعتمد بالأساس على تقويم الطرز الوراثية للشعير تجاه عزلات مرضية تعبر عن طيف واسع من الشدة المرضية. لذا كان الهدف

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة J. Phytopathology 151, 1-7 (2003)

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

الأساسي من البحث هو التقصي، تحت شروط تجربة محكمة، عن طيف الشدة المرضية لعزلات العامل الممرض P .teres تم جمعها من مناطق مختلفة من سوريا وفرنسا، وبالتالي الكشف عن مواد وراثية مقاومة يمكن توظيفها في برامج التحسين الوراثي بغية تسهيل إقحام مقاومة فعالة ضد هذا المرض في أصناف الشعير المزمع تحسينها.

المواد وطرائق العمل

العائل النباتي

اختبرت طرز الشعير المستخدمة في هذا البحث اعتماداً على مواصفاتها الزراعية وعلى تنوع مصادرها بالإضافة إلى تغايرها الوراثي تجاه المقاومة للمرض. كما تضمن البحث الطراز الوراثي CI-5791 وهو طراز وراثي من الحبشة معروف عالمياً بمقاومة المرض.

جرى تعقيم البذور ضمن محلول هيبوكلوريد الصوديوم تركيز 5% وذلك لمدة خمس دقائق ثم غسلت ثلاث مرات في ماء مقطر ومعقم. زرعت البذور على سطور، وفي أحواض بلاستيكية قياس (8×40×60) سم ملئت بالتورب المعقم. بلغت المسافة بين البذور 2 سم و6 سم بين السطور ووضعت هذه البذور على عمق اسم.

ضم كل حوض بلاستيكي جميع الطرز الوراثية (11 طرازاً). تكونت الوحدة التجريبية من سطر يضم 20 بادرة لكل طراز شعير تم اختباره. تضمن المكرر 11 طرازاً وراثياً من الشعير جرى تلقيحها بكل عزلة من العزلات الثلاث والعشرين. ووضعت الأحواض البلاستيكية ضمن غرفة نمو في درجة حرارة 23°C نهاراً و 18°C ليلاً و12 ساعة إضاءة يومية وفي ظروف رطوبة نسبية بلغت 85-95 %. جرت سقاية التجربة بمحلول Knop (1غ من $NaNo_3$ و 0.25غ من KNO_3 و0.25غ من $MgSO4.\ 7H_2O$ و0.25غ من KH_2PO_4 و10 ملغ من FeCl3 وذلك في 1 لتر ماء). صممت التجربة بثلاثة مكررات وأعيدت ثلاث مرات.

انتخاب العزلات

جرى خلال عدة سنوات جمع أكثر من 200 عزلة من العامل الممرض P. teres (120 عزلة من سوريا، و 80 عزلة من فرنسا) وذلك من أوراق شعير تُظهر الأعراض المرضية لشكلي المرض البقعي (spot-type) والشبكي (net – type)، اللذين يسببهما على التوالي العاملان الممرضان:

Pyeronphora. teres f. sp. maculata (PSB)

و P .teres f. sp. teres (PNB)

جرى انتخاب عزلات المرض اعتماداً على معياري الصفات الشكلية والفيزيولوجية وذلك للتقويم اللاحق على أصناف الشعير. وفي دراسات أولية لتقصي مجموعات مختلفة للشدة المرضية، تمّ تلقيح 25 طرازاً وراثياً، من الولايات المتحدة الأمريكية، والحبشة وسوريا وفرنسا وبلجيكا وألمانيا، بعزلات العامل الممرض المسببة لمرضي PSB و NPB وجرى تقويم تفاعلها مع العائل النباتي. جرى التركيز على انتخاب عزلات تُظهر تفاعلاً تفريقياً مع أصناف شعير خاصة. وبناءً عليه، تم انتخاب 23 عزلة من شكلي المرض من أجل تقييمها على 11 طرازاً وراثياً للشعير (الجدول 1).

سميت عزلات المرض تبعاً لكونها عزلات أحادية البوغ أو متعددة البوغ حيث يشير الحرف إلى نوع الإصابة المرضية؛ فيشير الحرف S إلى الشكل البقعي (PSB) والحرف R إلى الشكل الشبكي (PNB).

فيما يتعلق بالعزلات متعددة البوغ، يشير الرقم الوحيد إلى رقم العزلة. أما وجود رقمين فيدل على عزلات أحادية البوغ منتخبة من عزلات متعددة البوغ. وتم العزل وفق الطريقة التالية:

عقمت أوراق الشعير ضمن محلول هيبوكلوريد الصوديوم تركيز 5% وذلك لمدة 5 دقائق ثم غمست بعد ذلك ثلاث مرات ضمن ماء مقطر معقم مرة كل خمس دقائق. قطعت أجزاء الورقة التي تظهر عليها أعراض المرض إلى قطع صغيرة (3-1 مم × 5-3)، ثم جففت ضمن أوراق ترشيح، ثم نقلت إلى أطباق بترية تحوي 1.5% آغار مضافاً إليها 10% من عصير V-8 (Campbell's soup) وأتبعت بفترة حضانة لمدة 10 أيام على درجة حرارة 22±1 °C في الظلام التام وذلك للسماح بنمو المشيجة الفطرية. بنهاية فترة الحضن جرت

الجدول 1. طرز الشعير الوراثية المستخدمة لتحديد اختلافات القوعة المرضية لعزلات العامل الممرض Pyrenophora teres

المصدر	عدد الصفوف	الطراز الوراثي
France	6	Thibaut
Syria	2	Arabi Abiad
Syria	2	Arabi Aswad
Syria	6	Furat 1
ICARDA	6	79-SIO-9
England	2	Golf
**ICARDA	6	79-SIO-16
Ethiopia	2	CI-5 791
ICARDA	6	79-SIO-10
Syria	6	*AECS-71
U. S. A	6	Arrivate

الموقع	المنطقة	الصنف/المصدر	العزلة
Limoge	South-west	France (Thibaut)	S4; S5; S6-2;R5
Toulouse	South-west	France (Thibaut)	R10; R10-2
Aleppo	North	Syria (Arabi Abiad)	R-HA 1; R-HA2; R-ICA 31
Alraqua	North	Syria (Arabi Asswad)	R-AL-13; R4-1; R3-1; R4-8; R33; R2-1
Al hassake	North-East	Syria (Furat 1)	R-HAS-6; R1; R5-8; R2; R83; R103
Daraa	South-west	Syria (Furat 1)	R-EZR5; R11

*هيئة الطاقة الذرّية السورية.

**ICARDA، المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة، حلب - سوريا.

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

إعادة استزراع للمشيمة النامية بهدف التنقية. نقلت قطع من البيئة عليها مقدار من المشيجة والحوامل الكونيدية والكونيدات إلى بيئة فقيرة الكربون (بيئة Czapek)، وحضنت لمدة أربعة أيام بذات الشروط المذكورة آنفاً ومن ثم لمدة 12 يوماً على درجة حرارة 22±1°C مع تبادل فترة ظلمة وإضاءة مقدارها 12 ساعة.

جرى الحصول على عزلات العامل الممرض أحادية البوغ باتباع طريقة التخفيف وحفظت على بيئة V-8 آغار بنسبة 10% وذلك من أجل دراسات لاحقة.

تحضير الملقح

جرى تحضير الملقح بنقل أربع قطع آغار (كل منها بمساحة 0.5 سم²) عليها نموات مشيجية إلى دورق سعة 250 مل احتوى على عصير (V-8) بتركيز 10% ومن ثم حضنها على درجة حرارة 22±1 °C بظلمة تامة.

جرى ترشيح محتويات الدوارق بعد حضنها لمدة 10 أيام وذلك باستخدام مرشحة سريعة (Durieux No-111). فصلت المشائج الفطرية بنتيجة عملية الترشيح وأخذ منها 10غ (وزن رطب)، وأضيف إليها 100 مل ماء مقطر ومعقم، ثم أخضعت إلى عملية تفتيت باستخدام مجانس (Ultra Turax) وذلك لمدة دقيقة واحدة ثم أضيفت إلى المعلق مادة Tween 20 بمعدل 0.1 مل لكل 100 مل معلق مشيجي.

تمّ ضبط المعلق المشيجي بتركيز 3000 قطعة مشيجية في 1 مل حسب [23]. تبيَّن من تجربة أولية أن هذا التركيز هو الأمثل لإحداث إصابة متجانسة.

التلقيح

أجريت جميع تجارب غرفة النمو على درجة حرارة 23/ 18°C (نهاراً/ليلاً). استخدمت طريقة [24] في تلقيح النباتات. حيث لقحت بادرات الشعير في مرحلة الورقة الثانية أي بطور النمو (GS-11-12) حسب [25] وذلك على طاولة دوّارة وبمضخة رذاذية وذلك حتى سقوط قطيرات من المعلق المشيجي منزلقة على سطح الورقة (معدل 25 مل لكل طبق من المعلق البوغي). جرت المحافظة على رطوبة نسبية قريبة من الإشباع 100% وذلك خلال الـ 48 ساعة التي تلت تلقيح النباتات.

قياس مستوى المرض

قيس رد فعل النبات تجاه الإصابة بعزلات العامل الممرض لكل بادرة على حدة بعد 8 أيام من التلقيح. جرى القياس على الورقة الأولى مستعملين سلم قياس يتراوح بين 1 (عالي المقاومة) و 9 (شديد الحساسية) وذلك تبعاً للنسبة المئوية لسطح الورقة المصاب بمظاهر المرض [24] حيث 1=(0-2.5%)؛ 2=(2.6-5%)؛ 3=(6-10%)؛ 4=(11-20%)؛ 5=(21-30%)؛ 6=(31-40%)؛ 7=(41-50%)؛ 8=(51-75%)؛ 9=(76-100%) من سطح الورقة المصاب. استخدم سلم الحساسية ذو المستويات التسعة في تحديد المجموعات التالية:

0-2= عالي المقاومة؛ 2-3= مقاوم إلى متوسط المقاومة؛ 4-5= متوسط الحساسية؛ 5-7 حساس (قابل للإصابة)؛ 7-9= حساس جداً (شديد القابلية للإصابة).

التحاليل الإحصائية

أخضعت المعطيات إلى برنامج تحليل عنقودي [26]، مستخدمين متوسط الإصابة المرضية للطرز الوراثية وذلك عبر المكررات الثلاثة للتجربة. حسبت نقطة الفصل للمقاومة المرضية وللشدة المرضية وذلك بأخذ متوسط القيمة المرضية للعنقودين المتوسطين ومن ثم إضافة قيمة الانحراف المعياري للمتوسطات [27].

بلغت القيمة المتوسطة للعنقودين المتوسطين 3.65 حسب سلم الحساسية. حسب الانحراف المعياري عبر تقسيم قيمة الجذر التربيعي للخطأ على الجذر التربيعي للمكرر فبلغ 0.076. وبالتالي كانت نقطة الفصل النهائية 3.56+0.076=3.7. عُدّ الطراز الوراثي للشعير الذي سجل قابلية إصابة أعلى من 3.7 طرازاً حساساً (قابلاً للإصابة). وذاك الأخفض من 3.7 عُدَّ طرازاً مقاوماً. حسب تواتر الشدة المرضية لكل عزلة منفردة وذلك بتقسيم عدد من طرز الشعير الوراثية ذات التفاعل القابل للإصابة (حساس) على العدد الكلي للطرز الوراثية (11 طرازاً وراثياً).

وظف البرنامج الإحصائي STAT-ITCF [28] بغية تحديد التأثر بين عزلات العامل الممرض وطرز الشعير الوراثية مستخدمين اختبار Student- Newman - Keuls.

النتائج

فيما يتعلق بالاستزراعات المرتبطة بمظاهر مرضية تخص الشكل البقعي للمرض والتي جمعت من مناطق مختلفة من سوريا، بيّنت النتائج عدم وجود أي عزلة تمثل الشكل البقعي PSB وكان العامل الممرض في جميع هذه العزلات هو Cochliobolus sativus. أما العينات التي جمعت من فرنسا على أنها تمثل الشكل البقعي فقد كانت جميعها إيجابية وممثلة فعلاً للشكل البقعي للمرض (PSB).

فيما يتعلق بالعينات المرضية التي جمعت من فرنسا وسوريا على أنها تمثل الشكل الشبكي للمرض فقد كانت إيجابية وممثلة لهذا الشكل (PNB).

إن عدد البقع المرضية في التلقيح الصنعي للمرض، يكون بشكل عام متماثلاً في جميع العينات النباتية الملقحة سواء أكان الطراز الوراثي مقاوماً أم حساساً للمرض [29]، ومع ذلك يكون تموت الأنسجة (النيكروز) والحالة الاصفرارية المحيطة به أكثر تطوراً في الطراز الوراثي الحساس عنه في الطراز الوراثي المقاوم. لوحظ تشكل مساحات امتزاز مائي على نصل الورقة وذلك بعد 18- 36 ساعة من التلقيح الصنعي بالعامل الممرض، انبثقت بقع نيكروزية مرضية بشكل واضح وذلك بعد 3 إلى 5 أيام من التلقيح.

الجدول 2. التحليل العنقودي لمتوسط الإصابة بـ 23 عزلة على 11 طراز شعير وراثي

العنقود	العزلات في العنقود	حجم البقعه الأولية (mm)	تواتر الشدة المرضية %	متوسط سلم الشدة المرضية**
1	R5	2×10	82	5.3 a*
2	S6 –2; S5	5×5	77	4.45 sb
3	R1;R2-1;R AL-13;R4-1 R3- 1; R3-3; R10-2;R4-8	2×4	59	4.0 c
4	R1-1;RE2R-5;R103;R5-8	1×3	49	3.3 d
5	R83;R-HA1; R2; R-HA2; S4; R10 R-ICA-31;R-HAS-2.35e	printpoint-1×16	9	2.35 e

* تختلف المتوسطات المتبوعة بأحرف مختلفة معنوياً على مستوى P<0.001 وفقاً لاختبار Newman-Keuls.

**القيم هي متوسطات سلم الشدة المرضية لـ 11 طرازاً وراثياً من الشعير كُرِّرت ثلاث مرات؛ وحسبت اعتماداً على سلم يراوح مداه من 1- 9 [29].

حيث كانت البقع الأولية الخاصة بعزلات الشكل البقعي (PSB) مائلة إلى اللون الرمادي أو البني الفاتح و بأشكال مختلفة منها الدائري أو الخطي أو عديم الشكل أو المربع أو النقطي. أما عزلات الشكل الشبكي PNB فشكلت في البداية بقعاً مرضية صغيرة دائرية إلى إهليليجية الشكل، لاتلبث أن تتطور سريعاً إلى خطوط ضيقة، بنية غامقة وطويلة أو متراكبة بعضها مع بعض مشكلة بذلك صفات الشكل الشبكي النهائي.

تباين شكل البقع الناتجة من العزلات السورية من الشكل الشبكي بين نقطية إلى رقعة بعرض 1–2 مم وطول 1–4 مم باستثناء العزلتين R-AL13، R-HA2 اللتين تميزتا ببقع أكثر تطوراً واتساعاً من المقاييس المذكورة آنفاً.

من ناحية أخرى، تشابهت العزلات الفرنسية الناتجة من الشكل الشبكي مع تلك السورية مع اختلاف بأنها بشكل عام أطول (بطول 3–10 مم). تباينت العزلات الفرنسية الممثلة للشكل البقعي للمرض في القطر (1–5 مم) وفي الطول (2–8 مم) (الجدول 2). نجم عن العزلات الفرنسية، وبخاصة الشكل البقعي منها، تلون بالأصفر وتموّت في الأنسجة (نيكروز) أكثر من العزلات السورية وذلك بعد 6–7 أيام من لحظة التلقيح.

فصلت العزلات إلى خمس مجموعات عنقودية وذلك عند إخضاعها للتحليل العنقودي (الجدول 2). حيث ضم العنقود الأول عزلة واحدة هي R5. تميز هذا العنقود بمستوى شدة مرضية أعلى بين العزلات بمتوسط قيمة بلغ 5.3 على سلم الحساسية وتواتر في الشدة المرضية بلغ 82%. اشتمل العنقودان 2 و 3 على عزلتين وثماني عزلات بمتوسط قيمة مرضية 4.45، 4.0 على التوالي، بينما تكوّن العنقود الرابع من عشر عزلات بشدة مرضية متوسطة و 3.3 كقيمة وسطية للإصابة على سلم الحساسية. اتصفت العزلتان السوريتان R-HAS-6،R-ICA-31 بأخفض نسبة تواتر للشدة المرضية حيث بلغت 9% فقط.

أظهر تحليل التباين فروقاً معنوية عالية (P<0.001) بين طرز الشعير الوراثية وبين عزلات العامل الممرض وبين تآثراتهما (الجدول 3). وجرى تصنيف طرز الشعير الوراثية الملقحة بعزلات العامل الممرض Pyrenophora teres وفقاً لمجموعات المقاومة المحددة سابقاً اعتماداً على سلم الحساسية (الجدول 4)، حيث كانت طرز الشعير: Thibaut، وعربي أبيض، وعربي أسود حساسة. في حين كانت الطرز: فرات1، و GOLF، و 79-SIO-9، و 79-SIO-16 متوسطة الحساسية للمرض. أما CI- 5791 فقد كان متوسط المقاومة في حين بلغت المقاومة قيمتها العليا لدى الطرز الثلاثة 79-SIO-10 و AECS-71 و Arrivate. مع ذلك تبين في كل مجموعة وجود فروق معنوية بين بعض الطرز الوراثية (الجدول 4). كذلك، أظهرت النتائج وجود تباين كبير بين شدة عزلات العامل الممرض، مع ذلك تبيّن أن العزلة 5R كانت خارج هذه المجموعة لكونها شديدة الشدة المرضية وذلك مقابل جميع الطرز الوراثية المدروسة عدا سلالة الشعير السورية AECS-71 والتي أظهرت درجة تحمل عالية تجاه هذه العزلة حيث بلغت القيمة الوسطية للإصابة 2.3 فقط على سلم الحساسية من 1-9.

أظهرت الطرز التالية: 79-SIO-10، Arrivate و CI-5791، والتي تعتبر بشكل عام مقاومة إلى متوسطة المقاومة، نسبة إصابة أعلى عندما لقحت بالأنماط المرضية S5، R5. تراوحت الشدة المرضية للعزلات المرضية عندما اختبرت على 11 طراز شعير وراثي بين 0.66_5.7.

الجدول 3. تحليل التباين لمتوسط الإصابة بـ 23 عزلة من العامل الممرض على 11 طراز وراثي من الشعير Pyrenophora teres

مصدر التباين	درجة الحرية	مربع المتوسطات
الطراز الوراثي	10	130.4 *
العزلة	22	14.7 *
الطراز الوراثي × العزلة	220	2.6 *
الخطأ	504	0.2

*معنوي على مستوى P<0.001.

كانت لجميع العزلات الفرنسية شـــدة مرضية عالية تجاه الصنف الفرنسي Thibaut (الجدول 5). ولم يكن للعزلات الفرنسية من الشكل الشبكي (PNB) فوعة مرضية تجاه طرازي الشعير 79-SIO-10 و AECS-71، كما لم يكن هنالك فوعة مرضية للعزلات الفرنسية من الشكل البقعي (PSB) عند اختبارها تجاه طراز الشعير AECS-71. وغابت الفوعة المرضية للعزلات السورية عندما اختبرت مع طرز الشعير: Arrivate و AECS-71 و CI-5791. ولوحظ وجود شدة مرضية تفريقية للعزلات السورية من الشكل PNB تجاه كـل مـن طـرز الشـعير Thibaut، عربـي أبيض، عربي أســود، فرات1، 79-SIO-16، Golf، 79-SIO-9، 79-SIO-10 (الجدول 5).

الإصابة يعتمد على كمية الأبواغ (الكونيدات) والوقت اللازم للتبوغ. أما في دراستنا هذه، فقد تمّ التركيز على الكمية النسبية من الكلوروز و النيكروز والسطح الورقي المصاب كمعيار لتحديد نوع المرض وشدة الإصابة (الحساسية).

وفي دراستنا، التي جرت بشروط محكمة وبطور مورفولوجي محدد، تبين لنا عدم وجود مناعة تامة تجاه المرض في أي من طرز الشعير المدروسة، ومع ذلك أظهرت بعض الطرز الوراثية الشرق أوسطية مثل 79-SIO-10 و AECS-71 والأمريكية مثل Arrivate مستوى مقاومة أعلى من الطراز المرجعي CI-5791 والذي عرف بأنه مقاوم

الجدول 4. المتوسط لسلم الشدة المرضية لـ : بـ 23 عزلة من العامل الممرض *Pyrenophora teres* على 11 طرازاً وراثياً من الشعير.

العزلة	الطراز الوراثي											Variance[b]	Mean
	Arrivate	AECS-71	79-SIO-10	CI-5791	79-SIO-9	79-SIO-16	Golf	Furat 1	عربي أسود	Thibaut	عربي أبيض		
R 5	a 4.5E	bc 2.3 G	c 3.5 F	a 5.7 CD	ab 4.8 DE	ab 6.6 B	a 7.1 AB	de 4.7 DE	bc 5.5 CD	a 7.4 A	ab 6.3 BC	2.4	a 5.3
S 5	a 4.2 B	cd2.0 C	b 4.3 B	B 4.5 B	cd 4.6 B	cd 4.4 B	cd 4.7 B	ab 5.7 A	cd 4.8 B	bc 5.8 A	bc 4.9 B	0.98	b 4.5
S6-2	bc 2.5 E	ab 2.7 E	de 2.1 E	bc 3.6 D	a 5.5 B	cd 4.5 C	cd 4.7 C	cd 4.9 C	bc 5.7 AB	b 6.3 A	ab 5.9 AB	2.15	b 4.4
R4-1	de 1.5 E	cd 1.9 E	d 2.3 E	ef 2.5 E	ef 4.1 D	a 7.0 A	a 6.6 AB	ab 5.8 BC	de 4.0 D	cd 4.9 CD	bc 4.8 CD	3.6	c 4.1
R10-2	bc 2.5 C	cd 1.6 D	d 2.5 C	bc 3.7 B	ef 4.0 B	bc 5.5 A	de 4.1 B	ef 4.0 B	bc 5.3 A	bc 6.0 A	ab 5.5 A	2.05	cd 4.1
R3-1	de 1.5 D	cd 2.2 CD	de 1.5 D	de 2.8 CD	fg 3.4 C	de 3.5 C	bc 5.1 B	ab 5.7 AB	ab 6.8 A	b 6.3 AB	ab 5.7 AB	3.79	cd 4.1
R4-8	de 1.5 E	cd 1.5 E	de 2.1 E	ef 2.2 E	ef 3.6 D	ab 6.5 A	a 6.5 A	ab 5.7 AB	cd 4.8 BC	de 4.5 C	ab 5.5 AB	3.8	cd 4.0
R33	e 1.2 E	cd 1.6 E	h 1.1 E	ef 1.1 E	g 3.1 D	bc 5.6 B	b 5.7 B	a 6.3 B	a 7.3 A	de 4.7 C	ab 6.0 B	5.73	cd 4.0
R-AL-13	de 1.6 C	a 3.0 D	fg 2.0 E	a 5.0 BC	a 5.3 B	ef 2.7 D	de 4.1 C	ef 4.0 C	a 7.3 A	de 4.5 BC	cd 4.1 C	2.63	cd 4.0
R2-1	cd 1.4 D	cd 1.4 D	de 1.6 D	ef 2.3 D	de 4.3 BC	de 3.5 C	bc 5.4 AB	bc 5.3 AB	ab 6.0 A	bc 5.7 A	ab 6.0 A	3.85	cd 3.9
R1	b 3.1 C	cd 1.4 D	de 2.1 D	ef 2.3 C	ef 3.5 BC	cd 4.5 AB	de 4.5 AB	ef 4.1 AB	cd 4.5 AB	cd 5.1 A	bc 4.9 AB	1.37	de 3.8
R5-8	e 1.3 C	cd 1.9 C	de 1.5 C	ef 2.3 C	ef 3.7 B	de 4.0 B	de 4.4 B	de 4.7 B	cd 4.9 B	ef 4.1 B	ab 6.4 A	2.61	ef 3.6
R-HA2	e 1.1 F	bc 2.4 E	f 1.0 F	h 1.0 F	ab 5.2 C	de 3.3 D	gh 2.8 DE	a 6.4 B	e 2.8 DE	a 8.2 A	bc 4.9 C	5.58	ef 3.5
R2	de 1.5 G	cd 1.9 FG	de 1.5 G	ef 2.7 EF	fg 3.4 DE	cd 4.4 BC	de4.0 CD	de 4.7 AB	cd 5.2 AB	f 3.7 CD	ab 5.5 A	2.06	ef 3.5
R10	cd 2.3 CD	cd 1.7 D	de 1.9 CD	ef 2.4 C	fg 3.3 B	de 3.8 B	fg 3.6 B	ef 3.7 B	cd 5.3 A	cd 4.8 A	bc 4.8 A	2.75	fg 3.4
S4	de 1.6 E	ab 2.4 D	de 1.8 E	cd 3.1 C	g 3.1 C	ef 2.9 CD	ef 3.7 B	de 4.7 AB	de 4.6 A	cd 4.7 A	bc 4.7 A	1.38	fg 3.4
R-HA1	e 1.0 D	cd 2.0 CD	de 1.5 CD	ef 1.0 D	ab 5.1 B	f 2.0 CD	h 2.3 C	ef 4.4 B	cd 5.0 B	cd 5.2 B	ab 6.3 A	3.81	fg 3.3
R83	e 1.2 D	cd 1.4 C	de 1.2 D	ef 1.0 D	ef 3.7 C	de 4.0 C	cd 4.7 B	ef 4.3 BC	bc 5.7 A	f 3.7 C	bc 4.8 B	2.91	fg 3.2
R103	e 1.0 C	cd 1.4 C	de 1.5 C	ef 1.0 D	ef 3.7 B	de 3.9 B	ef 3.8 B	ef 4.0 C	cd 5.1 A	f 3.7 B	bc 4.7 AB	2.1	gh 3.1
R-EZR-5	e 1.0 E	e 1.0 E	de 1.6 E	h 1.0 E	bc 4.7 BC	ef 2.7 D	I 1.4 E	ef 4.0 C	cd 5.2 B	de 4.2 BC	a 6.6 A	3.97	h 3.0
R11	e 1.0 D	e 1.0 D	de 1.5 D	fg 1.8 D	fg 3.5 BC	cd 4.5 AB	de 4.1 AB	fg 3.2 C	cd 4.9 A	f 3.5 BC	cd 4.2 AB	2.07	h 3.0
R-HAS-6	de 1.6 D	bc 2.3 CD	de 1.6 D	fg 1.7 D	h 2.1 CD	f 1.7 D	h 2.3 CD	g 3.2 BC	de 4.0 B	f 2.6 A	e 2.9 BC	1.37	I 2.6
R-ICA-31	e 1.0 D	bc 2.4 BC	de 1.6 D	ef 1.1 D	h 2.0 C	f 2.0 C	gh 2.8 AB	h 1.8 CD	e 3.0 AB	f 2.6 A	de 3.3 AB	0.66	j 2.1
Mean	1.8 F	1.9 F	2.0 F	2.4 E	3.9 D	4.1 D	4.3 C	4.6 B	5.1 A	5.1 A	5.2 A		

(a) سلم الشدة المرضية من 1-9: (انظر إلى النص) (b) القيم هي متوسط الشدة المرضية على 11 طرازاً وراثياً من الشعير.

تختلف القيم المسبوقة بأحرف صغيرة مختلفة (ضمن العمود) و المتبوعة بأحرف كبيرة (ضمن السطر) معنوياً على مستوى $P<0.001$ حسب اختبار Student-Newman-Keuls.

المناقشة

يتعرّض نبات الشعير للعديد من الأمراض التي تصيب الأوراق، وبالتالي يمكن للشكل البقعي الذي يسببه الفطر Pyrenophora teres f. sp. maculata أن يتشابه مع مرض التلطخ البقعي الذي يسببه العامل الممرض C.sativus أو مع نمط مقاومة عالٍ تجاه المرض ولكن من الشكل الشبكي الذي يسببه الفطر P. teres f. sp. teres. لذا وجد أن جميع العينات المرضية التي تمثل مظهرياً الشكل البقعي للمرض والتي عزلت من مناطق مختلفة في سوريا، كانت ناتجة من العامل الممرض C.sativus. كذلك تبين أن العزلات الفرنسية من الشكل الشبكي للمرض تختلف عن تلك السورية وذلك بالاعتماد على التطور النهائي للكلوروز (الاصفرار) والنيكروز (تماوت الأنسجة). وفي هذا السياق بيّن [30] أن معدل

في العديد من الدول [6, 12, 13, 31, 32, 33, 34]. وهذا يؤكد الأهمية الجغرافية للشرق الأوسط كمصدر للشعير المقاوم لمرض التلطخ الشبكي. هذا، ويمكن نقل معطيات نتائج هذه الدراسة مباشرةً إلى الحقل، حيث أفاد [14] في دراسة أجراها بنظام تصالبي عكسي بأن المقاومة المعبّر عنها في طور البادرة سيُعبَّر عنها أيضاً في طور النبات الكامل (طور الإسبال).

آخذين بعين الاعتبار التنوع الوراثي للعامل الممرض المسبب للمرض، فإن مستويات مختلفة من الشدة المرضية قد دُونت في هذه الدراسة وفي دراسات سابقة توافقت معها [24, 31, 32, 33, 35].

وقد برهنت معطياتنا وجود تنوع معنوي في الفوعة المرضية للعامل الممرض P. teres وذلك عبر العزلات الفرنسية والسورية، والذي يمكن عزوه إلى التآثر بين طرز الشعير الوراثية وإلى الافتراض بوجود العديد من المورثات التي تتدخل في النظام المرضي.

الجدول 5. مقارنة الشدة المرضية لعزلات *Pyrenophora teres* الفرنسية و السورية من الشكلين المرضيين البقعي (PSB) والشبكي (PNB)

طراز وراثي	عزلات ذات شدة مرضية تفريقية				متوسط الإصابة *			
	سوري	فرنسي		سوري	فرنسي		كل العزلات ذات شدة مرضية عالية	كل العزلات ذات الشدة
		PSB	PNB		PSB	PNB	PNB	PNB
Thibaut	5.43							5.7
Arabi Abiad	5.36							5.75
Arabi Aswad	5.34							5.13
Furat 1	4.98		4.47					
79 -SIO 9	4.78	5.05	4.4					
Golf	4.95	4.7	5.2					
79 -SIO 16	5.05	4.45						4.98
CI 5791		4.5	5.7	1.95				
79 -SIO 10	5.1	4.3			2.35			
Arrivate		4.2	4.5	1.37				
AECS 71				1.64	2.37	1.88		

*الشدة المرضية أعظم من 3.7= فوعة مرضية عالية.

إن مستوى مقاومة المرض لدى طرز الشعير Arrivate و 79-SIO-10 و CI-5791 التي سبق اعتبارها مقاومة [12, 13, 24] قد انكسرت عندما لقحت بالعزلتين الفرنسيتين R5, S5، وبالتالي يمكن اعتبار هاتين العزلتين كسلالة فيزيولوجية للعامل الممرض. أشار [35] إلى أن المقاومة في طراز الشعير CI-5791 تتحكم بها مورثة واحدة ذات سيادة تامة، في حين أشار [31] إلى أنها تتعلق بمورثتين لا بمورثة واحدة. وقد تؤدي أيضاً أسباب أخرى إلى التنوع في النتائج قد تكون مرتبطة بتغاير شروط الاختبار أو أساليب تبويب المقاومة؛ حيث أظهر [36] كيف يمكن أن يتحكم في مقاومة التلطخ الشبكي مورثة أو مورثتان أو ثلاث مورثات وذلك تبعاً للعزلة المستخدمة. هذا، ويمكن الاعتماد على الطراز الوراثي AECS-71 الذي أبدى مقاومة تجاه جميع العزلات كمصدر مستقبلي للمقاومة يوظف في برامج التحسين الوراثي سواءً في سوريا أو في فرنسا. كما أن الطرز الوراثية AECS-71 و Arrivate و CI-5791 التي أبدت جميع العزلات السورية تجاهها شدة مرضية معدومة، يمكن أن تكون ذات فائدة في برامج التربية في سوريا، خاصةً في حالة دمج مقاومتها مع مصادر للمقاومة مستمدة من مصادر وراثية أخرى.

أشارت نتائجنا إلى الحاجة الملحة لرصد حالة الشدة المرضية في P. teres وستسهل إجراء دراسات على قابلية توريث مقاومة هذا العامل الممرض، وبالتالي انبثاق استراتيجية خاصة لتحسين مقاومة هذا المرض.

REFERENCES المراجع

[1] Douglas, G. B., I. L. Gordon (1985): Quantitative genetics of net blotch resistance in barley. N. Z. J. Agric. Res. 28, 157-164.

[2] Steffension, B .J., R . K .Webster, L. F. Jackson (1991): Reduction in yield loss using incomplete resistance to Pyrenophora teres f. sp. teres in barley. Plant Dis. 75, 96-100.

[3] Steffension, B .J., R .K .Webster (1992): Pathotype diversity of Pyrenophora teres f. Sp. teres on barley . Phytopathology 82, 170 - 177.

[4] Albertini, L., G .Barrault, A. Sarrafi, D . Caron (1995): Investigations on the ethiology, biology, epidemiology and control of the causal agents of barley leaf blights in France. Rachis. 14, 13-25.

[5] Bockelman, H. E., E.L .Sharp, M. E. Bjarko (1983): Isolates of Pyrenophora teres from Montana and the Mediterranean region that produce spot-type lesions on barley. Plant Dis. 67, 696-697.

[6] Karki, C. B., E .L. Sharp(1986: Pathogenic variation in some of Pyrenophora teres f. sp. maculata isolates on barley . Plant Dis. 70, 684-687.

[7] Cherif, M., M. Harrabi(1993) : Transgressive segregation for resistance to Pyrenophora teres in barley. Plant Pathol. 42, 617- 621.

[8] Douiyssi, A., D. C. Rasmusson, R. D. Wilcoxson (1996): Inheritance of resistance to net blotch in barley in Morocco. Plant Dis. 80, 1269-1272

[9] Deimel, H., G. M. Hoffmann (1991): Grundlagen der Schadwirkung der Netzfleckenkrankheit an Gerste. Z. Pflkrankh. Pflschutz 98,137-161.

[10] Bjarko, M. E (1979): Sources of and genetic action of resistance in barley to different virulence types of Pyrenophora teres, the causal organism of net blotch. M. S. thesis. Montana Stat University, Bozeman, 97, pp.

[11] Harrabi, M. (1990): Virulence spectrum to barley in some isolates of Pyrenophora teres from the Mediterranean region. Plant Dis. 74, 230-232

[12] Jonson, R., T. Sall, T. Kraft, M. Gustafsson (1999): Inheritance of resistance to Pyrenophora teres f. sp. teres in spring barley. Plant Breed.118, 313-317.

[13] Williams, K. J., A. Lichon, P. Gianquitto, J. M. Kretschmer, A. Karakousis, S. Manning, P. Langridge, H. Wallwork (1999): Identification and mapping of a gene conferring resistance to the spot form of net blotch (Pyrenophora teres f. sp. maculata) in barley. Theor. Appl. Genet. 99, 323-327.

[14] Arabi, M .I .E., A . Sarrafi, G. Barrault, L. Albertini (1990): Inheritance of partial resistance to net blotch in barley. Plant Breed. 105, 150-155.

[15]Robinson, J., M. Jalli (1997): Quantitative resistance to Pyrenophora teres in Nordic spring barleys. Euphytica. 94, 201-208.

[16]-Robinson, J.(1999): Diallel analysis of net blotch resistance in doubled haploid lines of Nordic spring barley. Euphytica. 110, 175 – 180.

[17] Buchannon, K.W., W. C. McDonald (1965): Sources of resistance in barley to Pyrenophora teres. Can. J. Plant – Sci 45, 189 – 193.

[18] Khan, T. N. :(1969) Inheritance of resistance to net blotch in barley. I. Factors affecting the penetrance and expressivity of gene (s) conditioning host resistance, Can. J. Gene. Cytol 11, 587 – 591.

[19] Tekauz, A.(1990): Characterization and distribution of pathogenic variation in Pyrenophora teres f. sp. teres and P. teres f. sp. maulata from Western Canada . Can. J. Plant. Pathol .12, 141-148.

[20] Afanasenko, O. S., H. Hartleb, N. N. Guseva, V. Minarikova, M. Janosheva (1995): A set of differentials to charactereize populations of Pyrenophora teres Drechs. For international use. J.Phytopathol. 143, 501-507.

[21] Jones, E. R. L., B. C. Clifford (1995): Net blotch of barley, UK Cereal Pathogen Virulence Survey, 1994 Annual Report, 61-66. The UK Cereal Pathogen Virulence Survey Committee, Cambridge.

[22] Jonson, R., T. Bryngelsson, M. Gustafsson (1997): Virulence studies of Swedish net blotch isolates (Drechslera teres) and identification of resistant barley lines. Euphytica. 94, 209-218.

[23] Barrault, G., S. Singla, L. Albertini, M. Petitprez, M.Mustafa (1982): Mise au point d´une methode de contamination artificielle de l´orge avec Helminthosporium teres. Application ل l´etude de la sensibilité variétale . Annales de la Société Universitaire de Reims 18, 13-16.

[24] Arabi, M. I.E., G. Barrault, A. Sarrafi, L. Albertini (1992): Variation in the resistance of barley genotypes and in the pathogenicity of Drechslera teres f. sp. maculata and P. teres f. sp. teres isolates from France. Plant Patho. 41, 180 – 186.

[25] Zadoks, J. C, T.T. Chang, C . F .Konzak (1974): A decimal code for the growth stages of cereals, Weed Res. 14, 415 – 442.

[26] Fitch, W. M., E. Margoliash(1967): Construction of phylogenetic trees. Science 155, 279 – 284.

[27] Eyal, Z., A. L. Scharen, M. D. Huffman, J. M. Prescott (1985): Global insights into virulence frequencies of Mycospharella graminicola . Phytopathology 75, 1459 – 1462.

[28] Anonymous (1988): STATITCF programme MICROSTA, realized by ECOSOFT. Second version. pp. 4-55.

[29] Arabi, M. I.E. (1991): Amélioration de la resistance génétique de l'orge à Drechslera teres (Sacc) Shoem. par hybridation et mutation. These Doctorat de l' Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 165 pp.

[30] Tekauz, A., K. W. Buchannon: (1977) Distribution and sources of resistance to biotypes of Pyrenophora teres in Western Canada. Can .J. Plant. Sci 57, 389 – 395.

[31] Khan, T. N., W. J. R . Boyd (1969): Physiological specialization in Prechslera teres. Aus. J. Biol. Sci. 99, 1229-1235.

[32] Tekauz, A., J. T. Mills (1974): New types of virulence in Pyrenophora teres in Canada. Can. J . Plant. Sci. 54 , 731 – 734.

[33] Khan, T. N., A.Tekauz(1982): Occurrence and pathogenicity of Drechslera teres isolates causing spot-type symptoms on barley in Western Australia. Plant Dis 66, 423 – 425.

[34] Khan, T. N. (1982): Changes in barley genotypes grown in Western Australia. PlantDis 66, 655-656.

[35] McDonald, W. C., K. W. Buchannon (1962): The inheritance of variability in Pyrenophora teres. Barley News letter 6, 40.

[36] Ho, K. M., A. Tekauz, T. M. Choo, R. A. Martin (1996): Genetic studies on net blotch resistance in a Sbarley cross. Can. J. Plant. Sci. 76, 715-719 .

* * *

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

التعدّدية الشكلية للغليادين والتحليل العنقودي لأصناف القمح القاسية المزروعة في سوريا*

د. نزار ميرعلي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق- سوريا.

ملخص

دُرس187 نمطاً جينياً من الأقماح الرباعية (102 طفرة، 15 سلالة محلية، 22 سلالة من أكساد و 48 سلالة من إيكاردا). استُخدمت تقنية الرحلان الكهربائي لهلامة متعدّدة الأكريلاميد في وسط حامضي polyacrylamide gel electrophoresis under acidic conditions of pH 3.1 (A-PAGE) لفصل مجموعات الغليادين (بروتينات تخزين) بهدف تحديد وتصنيف الطرز المدروسة. أشارت النتائج إلى أن أوميغا غليادين كانت الأوسع مدى في عدد العُصابات من جميع صفوف الغليادين الأخرى (ألفا، وبيتا وغاما). وَضَعَ التحليل العنقودي لمتوسط المجاميع الزوجية غير المزانة Unweighted Pair Group Mean Average (UPGMA) الطرز الجينية للمجموعات المختلفة في شجرة القرابة على أساس توزع عُصابات الغليادين. تمّ الحصول على ثلاث فئات: الأولى كان فيها توافق تام بين أنساب الطرز وعلاقاتها في الشجرة مما يعكس أهمية الغليادين كمؤشر لوضع الطرز في العنقود. والثانية اتسمت بوجود بعض الطرز التي لها أنماط العُصابات ذاتها ولكنها غير قريبة بنسبها. والثالثة حوت طرزاً نجمت عن التهجين ذاته ولكنها غير قريبة بالشجرة. استُنتج أن رسم شجرات القرابة اعتماداً على أنماط ترحيل الغليادين قد يُستخدم كوسيلة إضافية في الكشف عن علاقات القربى الوراثية بين الطرز المدروسة. من جهة ثانية، يجب الانتباه إلى العوامل المختلفة التي قد تؤثر على الشجرة الناتجة وتشمل هذه العوامل وجود تغاير وراثي في بعض الطرز، أو عدم توصيف العُصابات، أو وجود أخطاء في أنساب البعض الآخر.

الكلمات المفتاحية: التحليل العنقودي، القمح الرباعي، الغليادين، A-PAGE.

مقدمة

الغليادينات هي بروتينات التخزين في القمح المسؤولة عن لزوجة العجين [1]. تُفصل الغليادينات بنظام الرحلان الكهربائي تحت الظروف الحامضية (A-PAGE) بشكل جيد [2]. والناحية الوراثية منها معروفة وموثقة، فهنالك ستة مواقع رئيسة على الذراع القصيرة من المجموعة الصبغية الأولى (Gli-1) والسادسة (Gli-2)، إضافة إلى عدد من المواقع الثانوية التي سبق ذكرها [4،3]. تعتبر الغليادينات واسمات مفيدة لدراسات مصادر القمح الوراثية [5] ولتحديد أصناف القمح بسبب احتوائها قدراً عالياً من التغاير الوراثي فيها بين الأنماط الجينية [6]، كما أنها استُخدمت في الكشف عن التغاير الوراثي ضمن طرز القمح الوراثية ولتحديد فيما إذا كان هذا الخلط وراثياً أم ميكانيكياً [7].

اختُبرت فوائد عُصابات الغليادينات الناجمة عن طريقة الرحلان الكهربائي A-PAGE من قِبَل باحثين [8] لتقدير درجة التشابه الوراثي في الأقماح الطرية. استخدم هؤلاء الباحثون طريقة المتوسط الحسابي للمجموعات الزوجية غير المزانة (UPGMA) لوضع 38 صنفاً هندياً في شجرة قرابة استناداً إلى وجود أو غياب عُصابات الغليادين. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن الأصناف التي لها أنماط عُصابات متشابهة للغليادين يمكن أن تتجمع بنفس العنقود واقترحوا هذه الطريقة لقياس درجة التشابه الوراثية بين الأصناف ومجاميعها. وفي الآونة الأخيرة، استخدمنا [9] الاستراتيجية ذاتها على 96 نمطاً جينياً من الأقماح الطرية ووجدنا أن التوافق لم يتحقق دائماً بين أنساب الطرز والعلاقات ضمن شجرة القرابة.

كان الهدف من هذه الدراسة تحديد أصناف القمح الرباعية المزروعة في سوريا باستخدام تقنية A-PAGE ومناقشة إمكانية استخدام التحليل العنقودي اعتماداً على حزم الغليادين لتقدير العلاقات بين هذه الأصناف.

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Plant Breeding and Seed Science, Volume 46 No.2 - 2002.

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

المـــواد و الطرائـــق

المادة النباتية

استُخدم في هذا البحث 187 نمطاً جينياً من القمح الرباعي (الجدول 1)، شملت 102 سلالة طافرة نجمت أساساً عن برنامج تربية بالتطفر [10،11]، و 15 صنفاً محلياً ومدخلاً، و 22 سلالة من أكساد و 48 سلالة من إيكاردا. زُرعت جميع الطرز عام 1998 تحت الظروف الزراعية الطبيعية في موقع تجريبي قرب دمشق.

الجدول 1 - قائمة بالأنماط الجينية المستخدمة وأنسابها

مجموعة 1: السلالات الطافرة		مجموعة 4: سلالات إيكاردا		
L1-L34	Hamari type mutant	LR1	Walmez-1	ICD86-0838-ABL-0TR-13AP-0TR-7AP-0TR
L35-L53	Semi-dwarf mutant	LR2	Mrb5 (Check)	
L54-L68	Hamari type mutant	LR3	Khbl/4/Mrb3	ICD85-0145-ABL-11AP-0TR-2AP-0TR
L69-L73	T.aestivum X T.durum	LR4	Stojorci-3	ICD83-0050-3AP-4AP-TR-1AP-0TR
L74-L89	T.durum X T.dicoccoides	LR5	Genil-3	ICD86-0615-ABL-0TR-2AP-0TR-8AP-0TR
		LR6	Aw12/Bit	ICD84-0322-ABL-7AP-TR-AP-20AP-TR-1AP-0T
مجموعة 2: السلالات المحلية و المدخلة		LR7	Stork (Check)	
Cham3	Released variety	LR8	Genil-5	ICD86-0615-ABL-0TR-2AP-0TR-9AP-0TR
Cham5	Released variety	LR9	Omguer-6	ICD85-0988-15AP-TR-2AP-0TR
Buhuth1	Released variety	LR10	Guerou 1	ICD79-1463-1AP-2AP-4AP-0AP
Buhuth5	Released variety	LR11	Korifla(Check)	
OmRa5	Introduced line	LR12	Mrb3/Heider	ICD86-1601-ABL-0TR-15AP-0TR-9AP-0TR
OmRa9	Introduced line	LR13	Heider//Mt	ICD86-0414-ABL-0TR-2AP-0TR-8AP-0TR
OmRa3	Released variety	LR14	Geruma-1	ICD86-0348-ABL-0TR-1AP-0TR-1AP-0TR
Gdzbate	Introduced line	LR15	Genil-2	ICD86-0615-ABL-0TR-2AP-0TR-12AP-0TR
Gdzbar	Introduced line	LR16	Waha(Check)	
Daki	Introduced line	LR17	Omlahn-4	ICD85-0642-ABL-11AP-0TR-2AP-0TR-4AP-0TR
D15149	Introduced line	LR18	Genil-1	ICD86-0615-ABL-0TR-4AP-0TR
D12690	Introduced line	LR19	Omruf-1	ICD86-0436-ABL-0TR-9AP-0TR-1AP-0TR
D11526	Introduced line	LR20	Omsnima-1	ICD85-0538-ABL-TR-9AP-0TR
H300	Introduced line	LR21	GdoVZ 512	ICD86-0759-ABL-0TR-2AP-0TR-2AP-0TR
Jez17	Released variety	LR22	Horani(Check)	
		LR23	Mrb3	L0589-4L-2AP-3AP-0AP
مجموعة 3: سلالات أكساد		LR24	Mrb16/Ru	ICD85-1505-ABL-4AP-0TR
A65	StorkXGdavz469-AA-Stork	MR25	Stojorci-3	ICD83-0050-3Ap-4AP-TR-1AP-0TR
A297	Gediz-BAR/EgeXRuff-FG	MR26	Mrb5 (Check)	
A299	(MZAX21563')X(GTAX21563)	MR27	Aw12/Bit	ICD84-0322-ABL-7AP-TR-AP-21AP-0TR
A323	CD14432 X CD10521	MR28	Omruf-2	ICD86-0436-ABL-0TR-9AP-0TR-4AP-0TR
A357	DA 6 XOVI/CP//FG'S'/12884-5L	MR29	Awalbit-8	ICD84-0322-ABL-7AP-TR-AP-20AP-0TR
A363	A 65XG-VZ-469-CRS	MR30	Stojorci-6	ICD83-0050-4AP-14AP-TR-3AP-0TR
A737	GERARDO 574 X Sahil 1/102	MR31	Horani(Check)	
A1031		MR32	Genil-4	ICD86-0615-ABL-0TR-2AP-0TR-11AP-0TR
A1033		MR33	Omruf-3	ICD86-0436-ABL-0TR-3AP-0TR
A1037	(IZ.S 45 X A 71) X SEBO	MR34	Awalbit-6	ICD84-0322-ABL-5AP-TR-AP-15AP-0TR
A1073	A 65X ROHO'S' 7177/84	MR35	Korifla(Check)	
A1075	A 65X MEXI 75 - 7178/109	MR36	Genil-1	ICD86-0615-ABL-0TR-4AP-0TR
A1077	A 65XMEXI 75 - 7178/113	MR37	Stojorci-7	ICD83-0050-4AP-14AP-TR-8AP-0TR
A1085	A 71X SEBO-7187/9	MR38	Stojorci-5	ICD83-0050-4AP-14AP-TR-2AP-0TR
A1087	A 71X SEBO-7187/11	MR39	Walmez-6	ICD86-0838-ABL-0TR-13AP-0TR-11AP-0TR
A1095	A 71X dwarf-15-/Cr/3///CII/RD	MR40	Waha(Check)	
A1099	MEXI 75 X 300H	MR41	Mrb6	L0589-3L-1AP-2AP-1AP-0SH
A1101	CHAM 1X HAZAR	MR42	Walmez-2	ICD86-0838-ABL-0TR-4AP-0TR
A1103	Bel X CD 26820-.7284/11	MR43	Belikh 2	L 92-6AP-1AP-1AP-0AP
A1105	Bel X CD 26820-.7284/12	MR44	Stojorci-9	ICD83-0050-3AP-6AP-0TR
A1107	BelX CD 26820-.7284/13	MR45	Walmez-5	ICD86-0838-ABL-0TR-13AP-0TR-8AP-0TR
A1109	IZ'S'-103/3-140/2-1	MR46	Stork(Check)	
		MR47	Mrb3	L0589-4L-2AP-3AP-0AP
		MR48	Heider	ICD86-0414-ABL-0TR-4AP-0TR-14AP-0TR

الطرائق التحليلية

استخدمت تقنية A-PAGE لفصل الغليادين حسب [2] مع تعديلات طفيفة. استُخدم من كل نمط جيني حوالي 50 ملغ من الحبوب المطحونة (باستخدام المدقة والهاون). استُخلص الغليادين بإضافة 180 ميكرولتر كحول إيثيلي 70%. رُجَّ المزيج لمدة ساعتين ثم ثُفل لمدة 15 دقيقة في مثفلة إيبندورف بسرعة 14000 دورة بالدقيقة. أُخذ 100 ميكرولتر من الرشاحة وأضيف له 85 ميكرولتر من الغليسيرين 60% ثم وضع 40 ميكرولتر من المزيج على هلامة 6% من الأكريلاميد بأبعاد (160× 180× 1.5 ملم)، واستُخدم لذلك تيار كهربائي شدته 50 ملّي أمبير لمدة 3.5 ساعة. احتوت كل هلامة على 13 نمطاً جينياً إضافة للصنف الكندي ماركيز كشاهد. أُعطيت العُصابة الوسطى الغامقة من ماركيز درجة ترحيل نسبية شدتها 50(RM) [2]، وحُسبت درجات الترحيل النسبية لكل العُصابات في كل الهلامات استناداً لذلك. سُجِّلت العُصابات على أساس: (1) موجودة أو (0) غائبة لكل الطرز.

و من خلال البرنامج الإحصائي الحاسوبي Statistica أُخضعت البيانات إلى تحليل عنقودي يضع شجرة القرابة باستخدام طريقة المتوسط الحسابي للمجموعات الزوجية غير المزانة ونسبة اللاملاءمة UPGMA.

النتائج

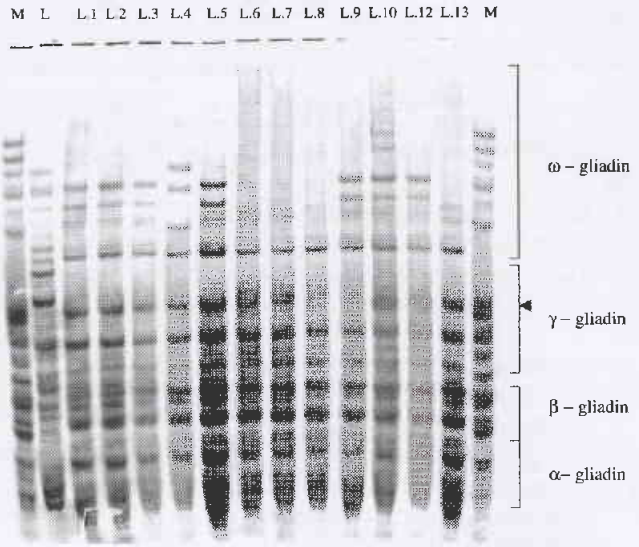
سمحت طريقة A-PAGE بفصل الغليادينات إلى أربع مجموعات رئيسة وذلك بحسب درجة ترحيلها النسبية Relative mobility (RM): أوميغا ω غليادين ترحل حتى RM 39، وغاما γ غليادين (RM 40-56)، وبيتا β غليادين (RM 57-68)، وألفا α غليادين (RM 69-80). يُظهر الجدول 2 أعداد الطرز ومدى عدد وتوزع عُصابات الغليادينات المختلفة داخل كل مجموعة من طرز الأقماح الرباعية موضع الدراسة.

السلالات الطافرة

يُظهر الشكل 1 أنماط الغليادين لبعض السلالات الطافرة، باستثناء بعض السلالات من L71 حتى L89 التي حملت أحياناً عُصابات ذات درجة ترحيل نسبية RM=12، ظهرت أولى العُصابات عند RM=20 أو أكثر. تراوح عدد عُصابات الغليادين في هذه المجموعة بين 15 (السلالة L6) و 25 عصابة (السلالة L71 -5)، وكانت مجموعة ω غليادين الأكثر تغايراً، حيث تراوح عددها بين 3 و 11 عصابة على حين كانت مجموعات الغليادين الثلاث الأخرى أقل تغايراً حيث تراوح عدد العُصابات فيها بين 3 و 4 لمجموعة β غليادين وبين 3 و5 لمجموعة γ غليادين وبين 3 و 6 لمجموعة α غليادين.

يبيّن الشكل 2 نتائج التحليل العنقودي باستخدام متوسط المجاميع الزوجية غير

الشكل 1- هلامة 6% أكريلاميد تظهر أنماط الغليادين لبعض الطفرات حيث تظهر مجموعة الـ ω-gliadins أنها الأكثر تغايراً. M: Marquis ، L: Langdon، والبقية سلالات طافرة عن صنف القمح القاسي السوري حماري (انظر النص).



المزانة (UPGMA) الذي استطاع فصل هذه السلالات إلى ثلاث مجموعات رئيسة: المجموعة الأولى وتحوي النمط الأساسي لعُصابات الصنف الحماري الأم L1 حتى L34، والمجموعة الثانية الأكثر قرابة والتي تشمل الطرز من L35 حتى L53 نجمت بمجملها عن طفرة شبه مقصرة في الجيل الثاني M2 من القمح الحماري [11]. كانت المجموعة الثالثة غير متجانسة إلى حدٍّ بعيد وحوت طرزاً ناجمة عن تهجين بين الصنف الحماري والقمح السداسي (هجين بين فالشيتو × مكسيكاني × محمودي) (L69 حتى L73) وكذلك نواتج تهجين بين الصنف الحماري والقمح البري T.dicoccoides وتشمل الطرز L74 حتى L87 [11].

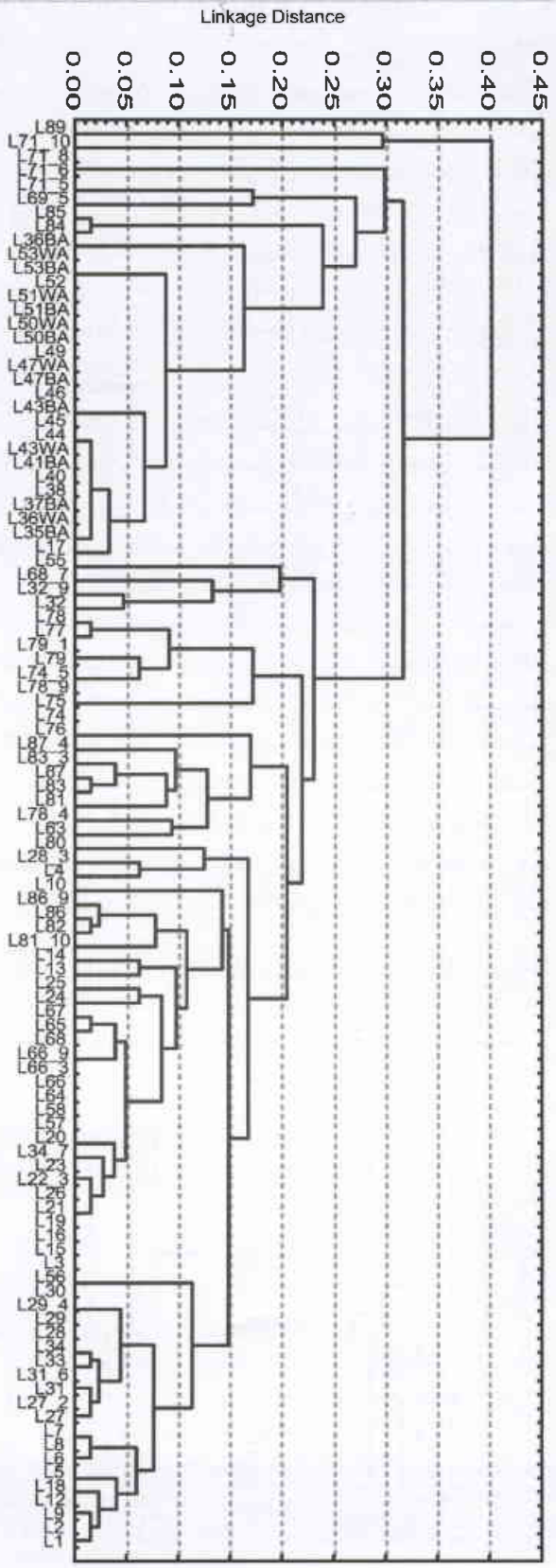
الأصناف المحلية و الطرز المدخلة

أعطت هذه المجموعة أكبر مجال لعدد العُصابات الناجمة عن الرحلان بطريقة A-PAGE، حيث تراوح عدد العُصابات بين 12 (أم الربيع 5) و 26 (جزيرة 17). علاوة على ذلك، لم يكن هنالك فروقات كبيرة في مدى تفاوت عدد العُصابات ضمن كل منطقة من مناطق الغليادين، حيث تراوح عدد العُصابات في منطقة ω غليادين بين 3 و8 و في γ غليادين بين 4 و 7، في حين كان عدد العُصابات في β غليادين بين 2 و 6 وفي α بين 2 و 7 (الجدول 2).

الجدول 2 - مدى عدد العُصابات لكل مجموعة غليادين ضمن المجموعات الأربع من طرز القمح القاسي المدروسة.

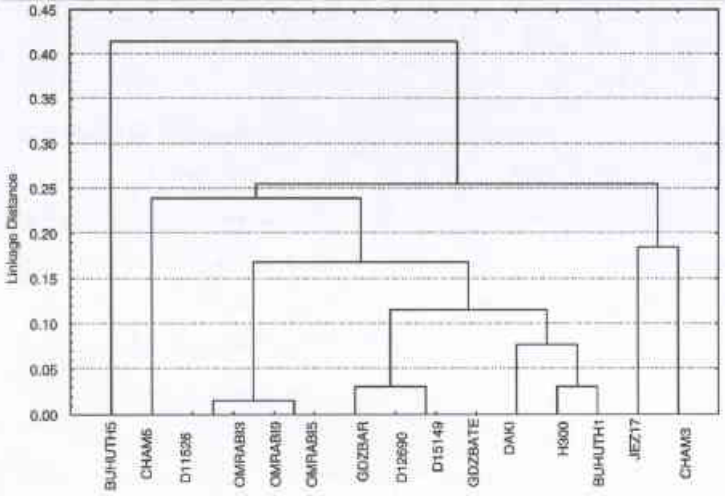
المجموعات الأربع من طرز القمح القاسي المدروسة	n	مدى عدد العصابات	مجموعات الغليادين			
			α	β	γ	ω
1- Mutants	102	15-25	3-6	3-4	3-5	3-11
2- Local varieties	15	12-26	2-7	2-6	4-7	3-8
3- ACSAD	22	12-17	1-2	2-4	4-5	3-9
4- ICARDA	48	12-20	1-2	2-5	3-6	4-9

الشكل 2- شجرة القرابة لـ 102 سلالة طافرة وهجنها من القمح القاسي باستخدام متوسط المجموعات الزوجية غير المزانة (UPGMA) ونسبة اللاملاءمة، {distance (x,y)=(Number of xi≠yi)/i }



أظهرت نتائج التحليل العنقودي لهذه الطرز قرابة شديدة بين مجموعة سلالات أم الربيع 5،3 و9 و السلالة دوما 11526، وكذلك قرابة جيدة بين جيدزبيت Gdzbate وسلالتي دوما 15149 و 12690. وكانت السلالات الثلاث على قرابة جيدة مع سلالة جيدزبارGdzbar. من ناحية أخرى وجدت قرابة جيدة بين صنف بحوث1 و H300 وكلاهما يرتبط بالشجرة بشكل متوسط مع الصنف داكي. لم توجد قرابة كبيرة بين الصنفين شام3 و شام5 (25% عدم توافق) وكان الصنف بحوث5 بعيداً جداً بنمطه عن بقية السلالات والأنماط المدروسة (40% عدم توافق) (الشكل 3).

الشكل 3 - شجرة القرابة لـ 15 سلالة محلية ومدخلة من القمح القاسي باستخدام متوسط المجموعات الزوجية غير المزانة (UPGMA) ونسبة اللاملاءمة
{distance (x,y)=(Number of xi≠yi)/i }

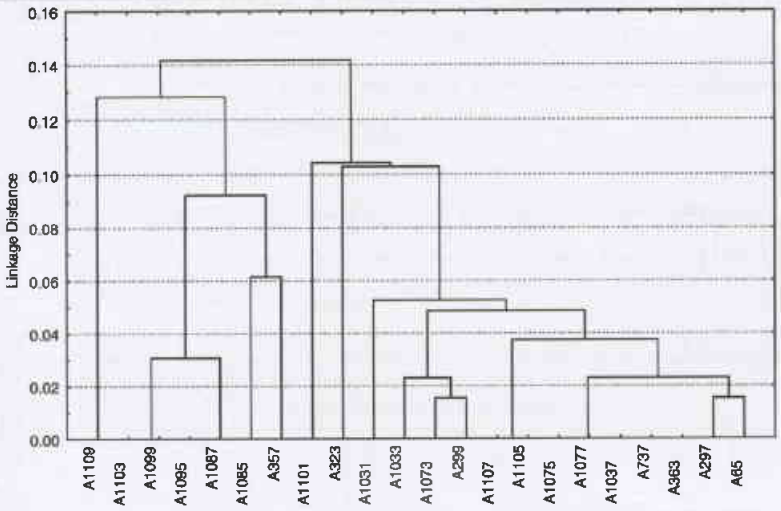


الأنماط الجينية أكساد

تميزت هذه المجموعة بأعداد قليلة من العُصابات بمقارنتها مع المجموعات الأخرى (12-17)، وكانت منطقة ω غلياديين الأوسع مدى حيث تراوح عدد العُصابات فيها بين 3 و9. احتوت منطقة γ غلياديين بين 4 و 5 في حين كان عدد العُصابات في β غلياديين بين 2 و 4 ولم يظهر في α غلياديين أكثر من عُصابتين.

أظهرت نتائج التحليل العنقودي أن سلالات هذه المجموعة كانت الأكثر تجانساً (أعلى نسبة عدم توافق = 0.15%) (الشكل 4). لم يكن ممكناً تمييز السلالتين A363, A737 عن بعضهما ووجد أنهما تشتركان بالأب جيراردو Gerardo. وبشكل مشابه، نجم A1075 وA1077 عن التهجين ذاته (A65 × Mexi75) وكانا متطابقين في أنماط الترحيل. من ناحية أخرى، كان A65 و A297 قريبين من بعضهما في الشجرة ولم يظهر في نسبهما أي أب مشترك. كانت السلالات A1087، A1085 وA1095 بعيدة عن بعضها نسبياً بالرغم من وجود أب مشترك بينها (A71). أيضاً نجم A1031 و A1033 عن تهجين واحد (A299× سيبو) ولكنهما كانا بعيدين عن بعضهما في الشجرة.

الشكل 4 - شجرة القرابة لـ 22 سلالة أكساد من القمح القاسي باستخدام متوسط المجموعات الزوجية غير المزانة (UPGMA) ونسبة اللاملاءمة { distance (x,y)=(Number of xi≠yi)/i}



طرز إيكاردا القاسية

تراوح عدد العُصابات بين 12 و 20 و كانت منطقة ω غليادين الأكثر تغايراً بين جميع المناطق، حيث تراوح عدد العُصابات فيها بين 4 و9. كانت منطقتا γ وβ غليادين متشابهتين في درجة التغاير، حيث تراوح عدد العُصابات في الأولى بين 3 و 6 وفي الثانية بين 2 و 5، في حين لم يكن هنالك اختلافات تذكر في عدد عُصابات منطقة α غليادين، حيث تراوح العدد بين 1 و2 (الجدول 2).

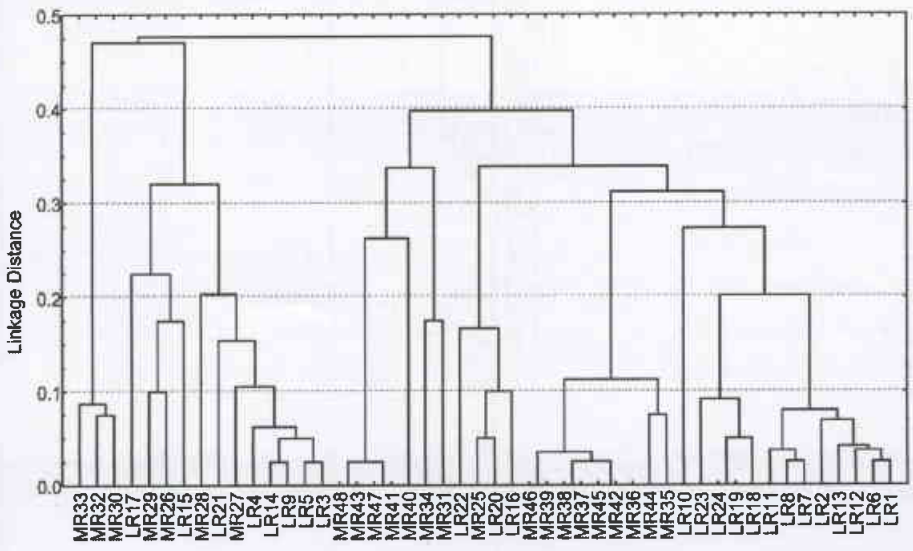
أشارت نتائج التحليل العنقودي إلى تغايرات كبيرة في هذه الطرز، حيث وجد عنقودان رئيسان بدرجة عدم توافق 50% أحدهما احتوى على 33 و الآخر على 15 نمطاً وراثياً (الشكل 5). وجدت سلالات ضمن هذه المجموعة قريبة من بعضها في الشجرة وذات صلة قريبة بنسبها مثل MR37، MR38 وMR44 (ناجمة عن التهجين ذاته سلسلة ستوجورسي Stojorci). من ناحية أخرى، كانت MR36 (Genil-1) و MR42 (وادي الميز2) متطابقتين تماماً ووجد أنهما تشتركان في خمسة آباء من أصل ستة داخلة في نسبها. تموضعت سلالات Genil الأخرى في العنقود الرئيسي الثاني بعيداً عن بعضها البعض (LR5=Genil3 .(LR15=Genil2, MR32=Genil4

عُرض 50 نمطاً جينياً تمثل كل المجموعات للتحليل العنقودي لأخذ فكرة عن أهلية legitimacy المجموعات المدروسة هنا. عُرضت النتائج في الشكل 6، حيث وضعها التحليل في عنقودين رئيسين (على نسبة 37% عدم توافق) وكان الطرازان L71-5 و L89 هما الأكثر بعداً. احتوى العنقود الرئيسي الأول على ستة عناقيد صغيرة: شمل أحدها أربع سلالات مدخلة (جيدزبيت، جيدزبار، دوما 15149 ودوما 12690)، وشمل الثاني والثالث سلالات أكساد و إيكاردا على التوالي، في حين لم تكن للعناقيد الثلاثة الصغيرة الأخرى درجة القرابة ذاتها، حيث شملت طرزاً تمثل كل المجموعات. احتوى العنقود الرئيسي الثاني على عنقودين صغيرين: الأول تضمّن السلالات الطافرة المهجّنة مع الأقماح البرية أو مع الأقماح السداسية، والثاني تضمّن السلالات الطافرة الناجمة عن صنف القمح القاسي المحلّي حماري.

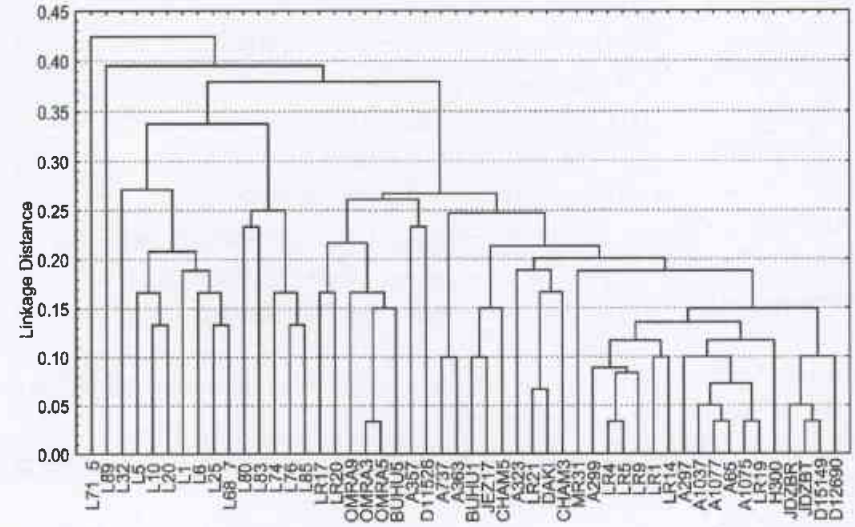
المناقشة

تتميز الأصناف القاسية بظهور العُصابة الأولى على درجة ترحيل نسبية (RM<20) [12]. في المجموعة الأولى المدروسة من الأقماح القاسية، والتي شملت طفرات وهجن مع الأقماح الطرية والأقماح الرباعية البرية T.dicoccoides، لوحظ أن كل الطفرات القاسية لم تشذ عن القاعدة وإنما لوحظت بعض السلالات التي تحمل أحياناً عُصابات ذات درجة ترحيل نسبية (RM=12). الحالة الأولى غير مستغربة، حيث يمكن فهم انعزالات تحمل عُصابات تنتمي للجينوم D والذي نجم عن القمح السداسي (دخل كائم في التهجينات). أما أن تحمل الطرز الناجمة عن تهجينات مع الأقماح البرية التي تحمل نفس جينومي الأقماح القاسية المستزرعة العُصابات ذات RM أقل من 20 فذلك يعني أنها ليست حكراً على الجينوم D ولابد أن تكون ناجمة في هذه الحالة عن الجينوم A أو الجينوم B. يبدو أن هذه الحالة وإن كانت

الشكل 5 - شجرة القرابة لـ 48 سلالة إيكاردا من القمح القاسي باستخدام متوسط المجموعات الزوجية غير المزانة (UPGMA) ونسبة اللاملاءمة { distance (x,y)=(Number of xi≠yi)/i}



الشكل 6 - شجرة القرابة لـ 50 سلالة من المجموعات الأربع من القمح القاسي باستخدام متوسط المجموعات الزوجية غير المزانة (UPGMA) ونسبة اللاملاءمة (distance (x,y)=(Number of xiyi/i)



غير معروفة في الأقماح الرباعية المستزرعة فهي شائعة في الأقماح البرية، فقد كشف [10] في دراسته عليها عن وجود عدد كبير من العُصابات ذات RM<20 وبكثافة شديدة (منطقة ω غليادين) والتي يبدو أنها اختفت أثناء عملية الاستزراع domestication. هذا العدد الكبير من العُصابات ناجم عن زيادة نسبة البروتين في الأقماح البرية بالدرجة الأولى مما ينجم عنه زيادة في نسبة الغليادين إلى الغلوتينين والتي تعطي نتائج عكسية على قوة العجين كلما زادت [13].

كانت منطقة ω غليادين هذه أكثر مناطق الغليادين اختلافاً من حيث عدد العُصابات. وبما أن هذه المنطقة تميّزت بوجود عدد كبير من العُصابات في الأقماح البرية فمن الممكن اعتبار أللييلات null (لا تعطي حزماً) في الأقماح القاسية دليلاً تطورياً. وفي هذا السياق، وجد باحثون [14] أنماطاً جينية تحمل الأليل في منطقة ω غليادين واقترحوا أنها يمكن أن تكون ناجمة عن حذف جزئي partial deletion أو نتيجة إسكات المورثات المسؤولة عنها gene silencing. جدير بالذكر أن ω غليادين تختلف عن أنواع الغليادين الثلاثة الأخرى α, β, γ التي تشترك فيما بينها بتماثل في النهاية الطرفية للنتروجين في تسلسلاتها، كما وجد [15] أن الأشكال الأخيرة الثلاثة من الغليادين نشأت عن صيغة مشتركة أصلية تحمل تكراريات خماسية Pro-Tyr(or Phe)-Gln-Gln-Gln، وتعتبر غنية بالكبريت على عكس ω غليادين التي تعتبر فقيرة بالكبريت [16]. علاوة على ذلك، فهي لا تحوي روابط ثنائية الكبريت على عكس α, β, γ غليادين وبالتالي ليس لها بنى مضغوطة وبنيتها الثانوية تتأثر بالهدرجة [17]. ضمن هذا السياق، وجد باحثون [18] أن لـ ω غليادين الأثر الأكبر في إضعاف قوة العجين تليها β، α ثم γ التي كان لها أقل أثر.

حاولنا في هذا البحث إتباع نهج مختلف لدراسة صحة تقسيم طرز الأقماح القاسية استناداً إلى منشئها أو إلى نسبها. أظهرت النتائج وجود ثلاث فئات فيما يتعلق بالتوافق بين النسب ووضع الطرز في الشجرة. أولاً: الحالة المثالية بوجود توافق تام بين النسب والشجرة مما يعكس أهمية محتوى الغليادين في وضع الطرز في العنقود. ثانياً: وجود طرز وراثية ذات أنماط ترحيلية متشابهة مع فروقات قليلة بدرجة الترحيل النسبية ولكنها مختلفة بنسبها. هنالك احتمالان لهذه الحالة وهما: إما وجود تغاير وراثي في أللييلات المورثات المسؤولة عن هذه البروتينات، أو أن أنساب هذه الطرز غير صحيحة. وفي هذا السياق، اعتبر باحثون [6] أن مصادفة احتواء صنفين على المحتوى الأللييلي نفسه في أصناف غير قريبة هي غير محتملة آخذين بعين الاعتبار الأعداد الكبيرة لأللييلات الغليادين في كل موقع، وبناءً عليه فإن مثل هذه المصادفة تشير إلى أخطاء بالأنساب. ثالثاً: الطرز الوراثية نجمت عن التهجين نفسه ولكنها غير قريبة في الشجرة، وهذا قد يعود إلى حقيقة أن هذه الطرز انتخبت أساساً استناداً إلى الخصائص الشكلية من الآباء. في دراسة سابقة على محتوى بعض هذه الطرز لعُصابات الغلوتينين الفرعية عالية الوزن الجزيئي [19]، وجدنا اختلافاً في المحتوى الأللييلي بين A1031 و A1033 الناجمة عن التهجين ذاته A299 X SEBO حيث احتوى الأول على العُصابتين الفرعيتين 6+8 في حين احتوى الثاني على العُصابتين الفرعيتين النظيريتين 7+8.

استُخدمت أساساً تقنية A-PAGE كطريقة لفصل الغليادينات لتساعد في تمييز أصناف القمح [20]. تعتبر هذه الواسمات البروتينية وسيلة سهلة، ورخيصة وفعّالة لتمييز أصناف القمح، وهي يمكن أن تساعد مع الواسمات البروتينية الأخرى الغلوتينين باستخدام SDS-PAGE لأخذ الصورة الكاملة لبروتينات التخزين في القمح. وباستخدام الطريقة الأخيرة كنا وجدنا [21] أن جميع أصناف القمح القاسية المزروعة في سوريا تحتوي الأللييل في موقع Glu-A1.

استُنتج أنه يمكن أن يستخدم التحليل العنقودي استناداً إلى الرحلان الكهربائي للغليادين كوسيلة إضافية في الكشف عن العلاقات الوراثية بين الطرز، وهذا مهم بشكل خاص لأنه يبدو أن المعلومات عن أنساب هذه الطرز ليست دائماً كافية لتقدير درجة القرابة بين أصناف القمح القاسي. لكن قبل التوصل إلى الاستنتاجات يجب الانتباه لعدة عوامل قد تؤثر على الشجرة الناتجة. وهذه العوامل تشمل التغاير الوراثي، وأخطاء محتملة في توصيف العُصابات إضافة إلى وجود أنساب غير أكيدة أو خاطئة.

REFERENCES المراجع

[1] Payne, P.I., Holt, L.M., Jackson, E.A. and Law, C.N. Phil. Trans. of the R. Soc. of London. B. 304, 1984, 359.

[2] Bushuk, W.& Zillman, R.R. Canadian J.of Plant Science, 58, 1978, 505.

[3] Metakovsky E.V., Annicchiarico, P., Boggini, G, and Pogna, N.E. J. of Cereal Science, 25, 1997, 229.

[4] Pogna, P.E., Metakovsky E.V., Redaelli, R., Ranieri, F. and Dachkevitch, T., Theor. & App. Genetics. 87, 1993, 359.

[5] Redaelli, R.P.K., Ng, W. and Pogna, N.E. Plant Breeding. 116, 1997, 429.

[6] Metakovsky E.V. & Branlard, G. Theor.l & Appl.Genetics, 96, 1998, 209.

[7] MirAli, N. Plant Varieties & Seeds, 13, 2000,149.

[8] Hegde, V.S. & Singhal, N.C. Plant Varieties and Seeds,13, 2000,1.

[9] MirAli, N. Genet. & Breeding, 56, 2002.

[10] MirAli, N. Ph.D Thesis, 1987, The University of Newcastle, U.K.

[11] MirAli, N. 1991. AECS-A/FRSR 40.

[12] Sapirstein, H.D. & Bushuk,W. Cereal Chem. 62, 1985, 377.

[13] Uthayakumaran, S.; Gras, P.W.; Stoddard, F.L. and Bekes, F. Cereal Chem. 76, 1999, 389.

[14] Lafiandra, D.; Colaprico,G.; Kasarda, D.D.; and Porceddu, E. Theor. Appl. Genet. 74, 1987, 610.

[15] Kasarda, D.D. Ann. Technol. Agric. 29, 1980,151.

[16] Shewry, P.R.; Tatham, A.S.; and Lazzeri, P. Journal of the Science of Food and Agriculture.73, 1997, 397.

[17] Wellner, N.K.; Belton, P.S.; and Tatham, A.S. Biochemical Journal. 319, 1996, 741.

[18] Fido, R.G.; Bekes, F.; Grast, P.W.; & Tatham, A.S. J.Cereal Sci. 26,1997, 271.

[19] MirAli, N., Arabi, M.I.E. and Al-Safadi, B . AECS-A/FRSR 101, 1995.

[20] Bean, S.R. & Lookhart, G.L. J. of Chromatography A. 881, 2000, 23.

[21] MirAli, N., Arabi, M.I.E. and Al-Safadi, B. Cereal Res, Communications, 27, 1999, 301.

* * *

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

التقارير العلمية

دراسة حاسوبية لنموذج معدّل من خمسة أطوار لجهاز البلازما المحرقية★

د. شريف الحوّاط ، د. صقر سلّوم
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

استُخدم نموذج رياضي بخمسة أطوار للبلازما المحرقية هي: الطور المحوري والطور القطري الأمامي والطور القطري المنعكس والطور القطري الانضغاطي والطور الانبساطي، لدراسة التطور الزمني لتشكل البلازما المحرقية بشكل تظهر فيه البنية الدقيقة لديناميك البلازما خلال الطور القطري، ويعطي الإصدار الإشعاعي الناتج عن البلازما خلال الطور الانضغاطي، مما يكسبه صفة النموذج الإشعاعي للبلازما المحرقية. جرى تطبيق هذا النموذج على جهاز البلازما المحرقية من نوع UNU/ICTP-PFF وجهازنا AECS-PFF، عن طريق كتابة برنامج حاسوبي بلغة الفورتران في حالة بلازما النيون، ومقارنتهما بغية تبيان إمكانيات كل جهاز بالنسبة للآخر، بما فيها إمكانية توليد أشعة سينية لينة.

الكلمات المفتاحية: البلازما المحرقية، نمذجة عددية، بلازما النيون.

تحضير نظير السترونسيوم المشع Sr-85 ★★

د. توفيق ياسين، نعمان سلمان
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

أُنتج نظير السترونسيوم Sr-85 المشع وذلك بتشعيع السترونسيوم الطبيعي في مفاعل الأبحاث MNSR، وبتدفق نتروني قدره $\theta = 1\times10^{12}\ n.cm^{-2}.s^{-1}$ تقريباً بعد إجراء عملية تنقية كيميائية للعيّنة الهدف من الشوائب قبل التشعيع، وذلك لاستخدامه كقفاء في تحديد السترونسيوم Sr-90 في العيّنات المختلفة.

دُرس طيف أشعة غاما للعيّنة بعد التشعيع لمعرفة النظائر المشعة المرافقة. فُصل النظير المشع Sr-85 عن بقية النظائر المشعة الأخرى بطرق الفصل الكيميائية المعروفة، وتمّ التأكد من عملية الفصل بقياس طيف أشعة غاما للعيّنة بعد كل عملية فصل كيميائي.

الكلمات المفتاحية: السترونسيوم، تشعيع، مفاعل أبحاث، تنقية، أشعة غاما، ترسيب، تدفق، واسم.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الكيمياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة للتعرضات المهنية في سوريا في الفترة من عام 1990 حتى عام 1999 وحساب الجرعة التجميعية في كل ممارسة★

د. محمد حسان خريطة ، عاطف البزال
قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تتعرّض مجموعة كبيرة من الأشخاص العاملين في الكثير من مجالات العمل للأشعة المؤينة، وتسمى هذه الحالة التعرُّض المهني للإشعاع، ومن الضروري مراقبة هذا التعرُّض بشكل دوري واتخاذ التدابير الوقائية اللازمة لتخفيضه إلى أقل الحدود الممكنة.

تقدّم هذه الدراسة تحليلاً مفصلاً لنتائج التعرُّض المهني خلال الفترة من عام 1990 حتى عام 1999 للعاملين المراقبين في القطر. حيث صُنِّفت الأعمال التي يتعرّض فيها الأشخاص للأشعة المؤينة إلى خمس مجموعات عمل رئيسية وضمن كل مجموعة ممارسات مختلفة ومن ثم تمّ تصنيف العاملين المراقبين حسب نوع الممارسة، وبالاعتماد على السجل الوطني للعاملين أُحصيت أعداد المراقبين خلال كل سنة على حدة وحُسبت الجرعة التجميعية والجرعة السنوية الوسطية لكل ممارسة، وعلى ضوء هذه النتائج قُدِّمت التفسيرات الممكنة لأسباب التعرُّض والمقترحات والتوصيات التي تمكّن من تخفيض التعرُّض (في بعض الحالات التي يوجد فيها تعرُّض غير مبرر) إلى أقل الحدود الممكنة.

الكلمات المفتاحية: التعرُّض المهني، العاملون المراقبون، العاملون المعرّضون، حدّ الكشف، الجرعة التجميعية.

تحضير متراكبات من البولي إستر مع كبريتات الكالسيوم بواسطة الإشعاع★★

د. زكي عجي
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

حُضِّرت متراكبات من البولي إستر (ماركة Super mastics) مع كبريتات الكالسيوم النقية، ومن البولي إستر (ماركة General) مع كبريتات الكالسيوم النقية ومع الجبصين الطبيعي، وذلك باستخدام جرعات مختلفة من أشعة غاما.

دُرست بعض الخواص الفيزيائية لهذه المتراكبات وأثر أشعة غاما عليها مثل: مقاومة الكسر، الصلابة، درجة حرارة الانتقال الزجاجي T_g، درجة حرارة التفكك الحراري بوجود الأكسجين أو الآزوت، تغير الوزن في أوساط مائية مختلفة الـ pH.

تشير النتائج إلى ارتفاع درجة حرارة الانتقال الزجاجي بدلالة الجرعة الممتصة حتى تصل إلى الثبات، كما تبدي المتراكبات المحضّرة ثباتية حرارية جيدة، ولا تؤثر الجرعة الممتصة على درجة حرارة الأكسدة الحرارية أو التفكك الحراري للمتراكبات المحضّرة.

تنخفض مقاومة الكسر للمتراكبات المحضّرة مع ازدياد نسبة المادة المالئة ولا تؤثر الجرعة الممتصة على هذه الخاصة بشكل كبير.

الكلمات المفتاحية: بولي إستر، كبريتات الكالسيوم، جبصين، متراكبات، إشعاع.

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

★★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

دراسة بيئة نهر العاصي في سوريا ولبنان★

د. محمد العودات، د. زهير قطان، د. محمد سعيد المصري، د. محمد النعمة
قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سوريا
د. عمر الصمد، د. زينب سعد، د. كمال سليم
هيئة الطاقة الذرّية اللبنانية

ملخص

جرى، ضمن إطار مذكرة التفاهم الموقعة بين هيئة الطاقة الذريّة السورية والمجلس الوطني للبحوث العلمية اللبناني ممثلاً بهيئة الطاقة الذرية، دراسة بيئة نهر العاصي، وقد شملت هذه الدراسة، النشاط الإشعاعي والعناصر المعدنية الأساسية والمعادن النزرة في المياه والرسوبيات والنباتات والحيوانات، كما شملت أيضاً دراسة نظام الجريان السطحي لنهر العاصي، والخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، إضافة إلى أنواع الطحالب على طول مجرى نهر العاصي حتى بحيرة قطينة. وقد هدفت الدراسة إلى تقويم التأثيرات التي يمكن أن تنتج من النشاطات البشرية كافة في بيئة النهر، وإلى وضع قاعدة بيانات تكون أساساً للوقوف على التغيّرات المستقبلية التي يمكن أن تطرأ على بيئة النهر.

الكلمات المفتاحية: نهر العاصي، النشاط الإشعاعي، العناصر النزرة، الخصائص النظيرية، الرسوبيات، الكائنات الحية.

دراسة التبدلات الصبغية المسبِّبة للعقم لدى ثيران مركز الإلقاح الاصطناعي في سوريا★★

د. وليد الأشقر، د. حسن الضحاك، د. عصام قاسم
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تمّ الحصول على الصيغة الصبغية للثيران المستعملة في عملية الإلقاح الصنعي في مركز الإلقاح الاصطناعي (الغزلانية) التابع لوزارة الزراعة.

زُرعت عيّنات دم لأربعة وعشرين ثوراً من سلالتي الشامي وهجين فريزيان على وسط زرع صنعي لمدة 72 ساعة. ثُبتت الانقسامات وعولجت للحصول على وسم صبغيات بطريقة العصائب G بعد المعالجة بالتربسين. سُجِّلت الانقسامات لكل ثور على معالج الانقسامات الأوتوماتيكي باستعمال برنامج شانتال المعدّل ليظهر صيغة صبغية تحوي 60 صبغياً. كما سُجِّل تعداد النطاف لكل ثور ودُرست حركيتها.

استطعنا في هذا العمل وضع تقانة زرع دم الثيران للحصول على انقسامات خلوية قيد التطبيق في القطر. وأظهرنا من خلال هذه الدراسة سلامة الصيغة الصبغية للثيران المستعملة في عملية الإلقاح الصنعي، إذ لم تظهر الصيغ الصبغية المدروسة وجود أي تبدّل صبغي مسجَّل عالمياً يسبِّب العقم.

الكلمات المفتاحية: ثيران، صيغة صبغية، تبدّلات صبغية، عقم.

★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

معالجة إحصائية لنتائج برنامج المقارنة الخارجية لتحليل عنصرَي الزنك والسيلينيوم في الدم بتقانة INAA ★

د. عادل باكير
قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا
عبد الغني شخاشيرو ، خلود حدّاد
مكتب ضمان الجودة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم مستوى أداء مخبر التحليل بالتنشيط النتروني في تحليل عنصرَي السيلينيوم والزنك في الدم من خلال المشاركة في البرنامج الدولي لفحص الأداء التحليلي INRS، حيث جرى حساب الخطأ وكذلك الخطأ النسبي في النتائج التحليلية وعرض ذلك ببطاقات ضبط إحصائي ساعدت في التوصل إلى معرفة مدى جودة تحليل هذين العنصرين، وكذلك إلى معرفة نقاط الضعف لتلافيها فيما بعد. وتبيّن هذه الدراسة آلية عمل البرنامج؛ بدءاً من وصول العيّنات إلى مكتب ضمان الجودة، مروراً بمرحلة تحليلها، وانتهاءً بإصدار النتائج وتقييمها.

وقد بيّنت الدراسة أيضاً أثر تطبيق برامج ضمان الجودة في تحسين جودة العمل التحليلي، وأهمية استقصاء أسباب الخلل وتلافيه للحصول على أفضل النتائج وضرورة الاستمرار في المشاركة في هذا البرنامج لمراقبة الأداء التحليلي وضمانة قابلية مقارنة نتائجه عالمياً.

الكلمات المفتاحية: مقارنة، تحليل الزنك والسيلينيوم في الدم، الخطأ النسبي، تقانة الـ INAA.

تركيز هرمون التستوستيرون في الدم والعوامل المؤثرة عليه في ذكور حملان العواس السوري ★★

د. معتز زرقاوي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا
د. سليمان سلهب
قسم الإنتاج الحيواني - كلية الزراعة - جامعة دمشق - دمشق - سوريا

ملخص

أشارت النتائج إلى أن هرمون التستوستيرون يوجد في دم حملان العواس النامية منذ الشهر الأول من عمرها بدون وجود فرق معنوي في تركيز هذا الهرمون في دم الحيوانات الفردية والتوءمية الولادة. وقد بدأ التركيز بالتزايد وبصورة تدريجية مع تقدم عمر هذه الحيوانات. وقد لوحظت زيادة حادة في تركيز هرمون التستوستيرون عند عمر 8 أشهر في الولادات التوءمية وفي الولادات الفردية. على أي حال، بقي الفرق الشهري في متوسط تركيز هرمون التستوستيرون منذ بداية الدراسة وحتى نهايتها بين الولادات الفردية والتوءمية غير معنوي.

بالنسبة للوزن الحي، أشارت النتائج أيضاً إلى زيادة الوزن الحي للحملان مع تقدمها بالعمر، وكان الوزن الحي للحملان

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أنجزت في قسم الطب الإشعاعي – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الفردية الولادة أعلى، ولكن بشكل غير معنوي، منه عند الحملان التوءمية الولادة طوال فترة الدراسة. كما لوحظت زيادات واضحة بين متوسط أوزان الحيوانات عند عمر 8 أشهر بالنسبة للحيوانات الفردية الولادة والحيوانات التوءمية الولادة بالمقارنة مع المتوسط العام للوزن الحي خلال فترة الدراسة.

وقد وجدت علاقة ارتباط إيجابية قوية ومعنوية ($0.0001 > P$ ،$r = 0.95$) بين تركيز هرمون التستوستيرون في مصل الدم وبين الوزن الحي للحملان خلال الأشهر العشرة الأولى بعد الولادة.

الكلمات المفتاحية: تستوستيرون، مقايسة مناعية إشعاعية، حملان، عواس سوري، ولادات فردية، ولادات توءمية، وزن الولادة، وزن الفطام، بلوغ جنسي، وزن حي.

دراسة مظاهر التكتونيك الحديث في التوضعات البليوسينية والرباعية على امتداد الساحل السوري ★

يوسف رضوان، هيثم النجار، إحسان ليّوس، د. سليمان رمّاح
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

رصدت الدراسة مظاهر التكتونيك الحديث والنشيط على امتداد الساحل السوري، وقد تمثلت بطي وبتصدع عادي وعكسي وتراكبي لصخور الإيوسين الأوسط والهلفسيان. تطور صدع اللاذقية-الجنديرية-البهلولية مع مستهل البليوسين كصدع عادي نتيجة شدٍّ محلي ممثلاً للحدّ الشمالي الغربي لحوض نهر الكبير الشمالي المنخفس. وضع سيناريو لأحداث التكتونيك الحديث والنشيط ربط صدع مرقية بصدع اللج، كجملة اتجاهها NE، وربط صدع عين الكروم-نبع الطيب بصدع الهبيط، كجملة مرافقة اتجاهها NW، وهذه الصدوع تمثل مجموعتي صدوع مضربية تشكلت خلال الميوسين قبل تشكل صدوع الغاب. كما ربطت بالتالي بركنة بانياس ببركنة الزقوم-الحميمات-جنقرة البليوسينية. لوحظت إزاحة يسارية هولوسينية قدرها 39 كم على امتداد صدوع الغاب وكذلك على صدع حارم إلى الشمال من حوض شد الغاب. تحوّل إجهاد الشدّ على امتداد صدع اللاذقية-الجنديرية-البهلولية خلال الهولوسين، إلى انضغاط مما حوّله إلى صدع تراكب ترافق مع تصدّع تراكبي وطي شديدين. يثير الثبات النسبي لخط الساحل رغم ارتفاع درجة الحرارة العالمي وارتفاع مستوى البحر المتوسط تساؤلاً حول نهوض محتمل لصفيحة شرق البحر المتوسط نتيجة لتكتونيك نشيط. ويحتمل أن الانزلاقات الأرضية المتكررة والصدوع التي تلاحظ بالقرب من بحيرات السدود أن تكون نشطة وتستحق انتباهاً خاصاً.

الكلمات المفتاحية: الساحل السوري، صدع اللاذقية-الجنديرية-البهلولية، سيناريو أحداث التكتونيك الحديث والنشيط، صدوع الغاب، بركنة بانياس، بركنة الزقوم-الحميمات، الثبات النسبي لخط الساحل.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية أنجزت في قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذريّة السورية.

كتب حديثة مختارة

1- المادة الكثيفة اللَّينة

SOFT CONDENSED MATTER★

تأليف: ر. أ. ل. جونز

عرض وتحليل: د. فايتس★★

كان تطور المادة الكثيفة بغية قبولها كحقل ثانوي من حقول الفيزياء بطيئاً وصعباً. حتى أن قبول اسم الحقل أخذ ردحاً من الزمن. فماذا تعني كلمة "لَيِّن"؟ وماذا تتضمن فيزياء المادة الكثيفة اللَّينة؟. إن فيزياء البلورات السائلة والبوليميرات هي جزء منها بالتأكيد، إلا أن دراسة تلك المواضيع قد تم ترسيخها بشكل جيد منذ زمن أبعد بكثير من المادة الكثيفة اللَّينة.

الكتب الدراسية الجيدة ضرورية لتأسيس أي حقل، فهي تساعد على توسيع ونشر الاهتمام بالحقل، وتضمن أن يتمكن الجيل القادم من الفيزيائيين من تعلّمه ودراسته. ورغم أن الكتاب التدريسي التقليدي عن المادة الكثيفة اللَّينة الذي هو مبادىء فيزياء المادة الكثيفة Principles of Condensed Matter Physics الذي ألّفه بول تشيكين P. Chaikin وتوم لوبنسكي T. Lupensky (مطابع جامعة كيمبردج 1995) لا يتضمن عنوانه كلمة "لَيِّن"، إلا أنه كان أول كتاب عام يبحث الموضوع بشكل شامل. إن ذلك الكتاب الذي ساعد حقاً على إثارة الاهتمام، ملائم لطلاب الدراسات العليا (أو للقراءة وقت النوم عن كوميديا المناسبات البريطانية مثل "الحفاظ على المظاهر"). ولكن الحاجة المطلوبة منذ أمد طويل كانت لنصوص تلائم الدارسين الجدد أو طلاب ما قبل الدراسات العليا. إن كتاب "المادة الكثيفة اللَّينة" لمؤلفه ر. أ. ل. جونز R. A. L. Jones هو أول كتاب تدريسي يلبّي هذه الحاجة. مؤلفه أستاذ فيزياء في جامعة شيفلد في المملكة المتحدة وهو عالم تجريبي له اطلاع واسع حول البوليميرات على السطوح البينية.

إن أول مهمة أساسية لكتاب عن فيزياء المادة الكثيفة اللَّينة هي تحديد مدى الحقل. إن ذلك العمل صعبٌ على وجه الخصوص لأن الحقل لا يزال حديثاً ويواصل التوسع لتحقيق أهدافه. أعتقد أن كثيراً من العلماء سيعرّفونه في هذه الأيام بشكل أكثر وضوحاً مما كان عليه الحال في السنوات الخمس الأخيرة. عرّف جونز المادة الكثيفة اللَّينة بأنها "المواد التي تكون بحالات المادة التي ليست سوائل بسيطة ولا أجساماً صلبة بلّورية من النوع الذي يُدرس في فروع أخرى من فيزياء الحالة الصلبة." لقد تبنى إلى حدٍّ ما المقاربة التقليدية في تسليط الضوء في المقام الأول على الموائع المعقدة بما فيها الغروانيات، والمحاليل الخافضة للتوتر السطحي، والمحاليل البوليميرية والبلورات السائلة. يناقش أيضاً مصاهير البوليمير، والبوليميرات المشتركة الكتلية والجزيئات الحيوية.

القرار المهم الثاني هو كيف تُنظّم مادة الكتاب. هل يجب تنظيم الكتاب حول المفاهيم التي توحّد الحقل أو حول مسائل المادة التي تعرفه؟ اختار جونز مزيجاً من الاثنين. هنالك عدة فصول تركز على المواد اللَّينة العامة وهي تشمل الغروانيات والبوليميرات والمواد البيولوجية. وأدمجت أصناف مهمة أخرى من المواد في سياق المفاهيم. وبُحثت بالتفصيل الهلامات في الفصل الذي يبحث في التهلم، وبُحثت البلورات السائلة في فصل حول الترتيب الجزئي في المواد اللَّينة، وتمّت تغطية الجزيئات المزدوجة الإلفة، من المواد الخافضة للتوتر السطحي والبوليميرات المشتركة الكتلية، في فصل عن التجميع الذاتي. وتبحث فصول إضافية مواضيع مفاهيمية مهمة أخرى مثل انتقالات الطور. يبحث الفصل التمهيدي المفاهيم المفتاحية التي تعرّف المادة الكثيفة اللَّينة بما فيها المقاييس المناسبة للطاقة والطول والزمن. ورغم أن هذا التنظيم متنوع إلا أنه يعمل عملاً جيداً معقولاً في تقديم المواد وتوحيد المفاهيم.

الكتاب الذي أعدّ لمقرر تمهيدي في المادة الكثيفة اللَّينة يُعطى في فصل واحد، وهو قصير نوعاً ما وموجز سائغ في أسلوبه. وعلى أية حال يتطلّب الإيجاز بعض الخيارات الصعبة من الموضوعات، وقد حذف جونز بعض الموضوعات المهمّة. فمثلاً لم يذكر المواد الرغوية، أو المستحلبات، أو المواد الحبيبية أو الأغشية ما بين السطحية. وتحدث قليلاً عن التقنيات التجريبية التي كانت حاسمة ومهمة بالنسبة للحقل. ولكن نظراً إلى ضرورة الاختيار، أعتقد أن جونز قد قام بعمل جيد.

صُمّم كتاب المادة الكثيفة اللَّينة بشكل جيد ككتاب تدريسي عصري بهوامشه الكبيرة التي تحتوي على معلومات إضافية وتلقي الضوء على نقاط مهمة في النص. يحتوي كل فصل على مجموعة مسائل وتوصيات تتعلق بنصوص وبحوث. تناقش التذييلات بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء الإحصائية. ولكن تبقى مقدمة عن الفيزياء الإحصائية متطلباً مسبقاً مرغوباً به جداً من أجل مقرر يعتمد على هذا الكتاب التدريسي.

إن تدريس مقرر تمهيدي عن المادة الكثيفة اللَّينة كان صعباً ويعود السبب بدرجة كبيرة إلى عدم توفر كتاب تدريسي جيد. وقد ملأ كتاب جونز هذا النقص بشكل مثير للإعجاب. وينبغي له أن يجعل التدريس أسهل بكثير الأمر الذي سيؤدي بدوره إلى تقديم مقررات أكثر عن المادة الكثيفة اللَّينة وهذا سيساعد بالتأكيد على جعل هذا الحقل ينمو بشكل أكبر.❑

★ R. A. L. Jones: Oxford U. Press, New York, 2002.

★★ د. فايتس: جامعة هارفارد – كيمبردج – ماساشوستس.

– العرض والتحليل عن مجلة ***Physics Today***, June 2003. وتمت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

2- الفيزياء المتقدّمة للحالة الصلبة

ADVANCED SOLID STATE PHYSICS★

تأليف: ف. فيليبس

عرض وتحليل: س. ساشديف★★

هناك مهمّة ذات شأن للفيزياء النظرية مفادها فهم حركة الإلكترونات في المعادن، وفي أنصاف النواقل وفي مواد أخرى ذات أهميّة تقانية. تبدو المهمة في البداية مُعقّدة كل التعقيد. فياخذ أحدهم بالحسبان النظرية الكمومية في ما يتعلّق بـ 10^{23} إلكترون يتفاعل بعضها مع بعض ومع شبكة الأيونات التي قد تكون هي نفسها تتحرك مبتعدة عن المواضع التي تمليها الشبكة البلورية. وعلى نحو رائع لافت للنظر كان الفيزيائيون قد طوّروا نظرية ناجحة ودقيقة للخواص الإلكترونية للمواد، تعتمد مبادئها الأساسية على أكثر قليلاً مما تحتويه المادة العلمية الموجودة في مقرر الميكانيك الكمومي لطلاب المرحلة الجامعية الأولى.

إن نظرية فيليكس بلوخ في المعادن – وهي أساس نظريات معظم المواد– تبدأ مع افتراض جذري ظاهري بأنّ الإلكترونات المتحركة في كمون الشبكة الدوري لا تتفاعل مع بعضها بعضا. وثمة كتب كثيرة جيدة في فيزياء الحالة الصلبة، مثل الكتابين التقليديين لتشارلز كيتل والمؤلفين نيل أشكروفت و دافيد ميرمان، تُعالج النظرية. إنها كانت أسس البحث في فيزياء الحالة الصلبة النظرية لنصف القرن المنصرم.

إن التقنيات المتطوّرة المعقّدة في فيزياء الأجسام المتعددة جرى تطويرها لكي تأخذ بالحسبان تأثرات الإلكترونات المهملة في نظرية بلوخ، وإن النتائج التي تتأتّى من تلك التقنيات تُبرّر فرضية الإلكترون المستقل لتنوّع كبير من الجمل الهامة. وتكسو التأثرات كل إلكترون بسحابة من أزواج جسيم – ثقب، ولكن بجوار سطح فرمي فإن الجسيم المكسو (أي "شبه الجسيم") يسلك إلى حدٍ بعيد سلوك إلكترون عادي. فتساوي شحنته الكليّة e-، وسبينه الإجمالي 1/2 وله تأثرات متبقيّة ضعيفة مع أشباه الجسيمات الأخرى. وتبدو تلك التأثرات كانزياحات طاقة شبه تقليدية في نظرية سائل فرمي الرائعة للعالم ليف لانداو. وتبيّن نظرية باردين كوبر– شريفر (BCS) أن التأثر الجاذب المتبقي الضعيف بين أشباه الجسيمات قد يؤدي إلى تزاوج الإلكترونات وأن تكاثف تلك الأزواج يصف الناقلية الفائقة. تُعدّ هذه التطورات المتقدّمة، هامة وضرورية بالتأكيد، لشرح التجارب شرحاً كمياً كاملاً، لكن يظل لبّها الإطار البسيط لنظرية بلوخ.

في السنوات العشرين الأخيرة تقريباً، ركّزت بحوث مثيرة على انطلاقات أكثر عمقاً من نظرية بلوخ. وغالباً ما تقتضي النظرية الممكنة إدراج تأثرات الإلكترون – الإلكترون في البداية، وليس كفكرة تخطر متأخرة. إنّ استيعاب مثل هذه النظرية يتطلب مفاهيم ونماذج جديدة كلياً. إن الطلاب الذين أتمّوا المنهاج العادي للدراسات العليا في فيزياء الحالة الصلبة لايكونون على دراية بمثل هذه التراكيب العقلية. وبدلاً من ذلك قد يتكون لديهم انطباع بأنّ نظرية الإلكترون الحر معصومة من الأخطاء، فيستعملونها استعمالاً غير مناسب.

إن فيليب فيليبس في مؤلّفه الفيزياء المتقدمة للحالة الصلبة يحاول أن يصلح ذلك الوضع وأن يعطي الطلاب وجهة نظر عصرية لا ترتبط ارتباطاً شديداً بصورة الإلكترون المستقل. إن مجال الكتاب طموح وبعيد المدى. إنّه يبدأ بنظرية بلوخ، ثم يتابع الدراسة بالطرائق الاضطرابية لنظرية الأجسام المتعددة التي تعزز نظرية بلوخ، وبعدئذ يناقش تنوعاً من الحالات الفيزيائية الهامة عادة حيث تأثرات الإلكترونات هي السائدة.

إنّ السمة المميزة الأبرز لكتاب فيليبس هي في انتخابه الجيد للموضوعات العصرية وعرضه الممتاز لها. إن نثر هذه الموضوعات بين أقسام نظرية بلوخ – لانداو – BCS التقليدية، سيساعد على وقاية الطلاب من الركون إلى نجاحات صورة الإلكترون – المستقل. يبدأ الكتاب بنظرية هارتري – فوك حول تأثرية الغاز الإلكتروني، ثم يناقش نجاح النظرية في وصف المعادن القلوية، تلي ذلك مناقشة هامة للعزوم المغنطيسية وترابطات الإلكترون غير التافهة المصاحبة لمفعول كوندو. وبالمثل، فإن مناقشة نجاحات نظرية سائل – فرمي أتبعت بمعالجة انهياره في سائل لوتنغر الوحيد البُعد. إن دراسة تلك المواضيع المتقدّمة تدخل زمرة إعادة الاستنظام وإحصاء بوز اللذين لا غنى عنهما في جعبة أي طالب نظرية. وينتهي الكتاب بإدخال موجز لمفاهيم أساسية في نظرية التموضع، وانتقالات المعدن – العازل، ونظرية انتقال الطور الكمومية، ومفعول هول الكمومي.

هذا، وليس ثمة كتاب آخر شامل كهذا، وسيُقدّر قرّاء هذا الاستعراض المختصر التطورات في نظرية الحالة الصلبة عبر قرن تقريبا. لكن إذا كانت التغطية الواسعة هي قوة الكتاب الوحيدة، فهي أيضا تقود إلى موطن الضعف. فلا يستطيع أي كتاب مختصر أن يغطي جميع المواضيع التي يحويها بأيّ عمق كان، وقد يجد القرّاء غير المبتدئين صعوبة في اعتماد هذا الكتاب لوحده. فالكتاب لايفترض مثلا وجود معرفة مسبقة بالتكميم الثاني أو بزمرة إعادة الاستنظام ولكن استعراضه السريع لتلك المفاهيم الأساسية يحتاج بالتأكيد إلى تدعيم بقراءة أخرى. ولحسن الحظ، ثمّة كتب أخرى جيدة تغطي مواضيع مماثلة، ويُزوّد فيليبس مؤلّفه بقائمة مفيدة من المراجع.

إن كتاب الفيزياء المتقدمة للحالة الصلبة يصلح أن يكون أساسا قيما لمقرر مستكمل حديث في الدراسات العليا المتقدمة. إن المواضيع الرئيسة والمفاهيم الأساسية معروضة كلّها بإيجاز. وحيث إن الدراسة سريعة، فإن الكتاب يمكن أن يكون نقطة انطلاق مفيدة لاستكشاف معمق من خلال مصادر أخرى.❑

★ P. Phillips: Westview Press, Boulder, Colo., 2003.

★★ س. ساشديف: جامعة يال – نيوهافن – كونكتيكوت.

– العرض والتحليل عن مجلة ***Physics Today***, June 2003. وتمت الترجمة في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

STUDY OF NEOTECTONIC FEATURES IN PLIOCENE AND QUATERNARY DEPOSITS ALONG THE SYRIAN COAST★

Y. RADWAN, H. AL-NAJJAR, I. LAYYOUS, S. RAMMAH

Department of geology, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Neotectonic and active tectonic features have been mapped, analyzed and evaluated along the Syrian Coast. They are represented by Middle Eocene and Helvetian folding, normal and reverse faulting and thrusting. Lattakia- Janderiyyeh- Bahlolyia Fault was first formed in Early Pliocene due to local prevailing tension as a normal fault delineating the northwestern border of the subsiding Nahr Al Kabeer Al Shimali basin. A suggested neotectonic and active tectonic events scenario linked Marqiyyeh Fault with Al Lujj Fault as a NE trending fault set, as well as Ain Al Kroum-Nabe Al Tayyeb Fault with Al Habeet Fault as a conjugate NW fault set formed during Miocene before the formation of Ghab Faults and pull-apart. It linked accordingly Banyas volcanics with Zakkoum-Hmemat-Jannakra volcanics. A Holocene 39 km sinistral movement is observed along Ghab Faults and along Harem Fault to the north of Ghab pull-apart. During Holocene, prevailing stress along Lattakia-Janderiyyeh-Bahlolyia Fault converted from tension to compression, and intensive thrusting and folding are mapped. Syrian coast line relative stability despite global warming and Mediterranean sea level rising raises the question of a possible contemporary uplifting of the Levantine Plate due to active tectonics. Frequent landslides observed near dam lakes and faults suspected to be active draws a special attention.

Key Words

Syrian Coast, Lattakia- Janderiyyeh- Bahlolyia Fault, neotectonic and active tectonic events scenario, Ghab Faults and pull-apart, Banyas volcanics, Zakkoum-Hmemat-Jannakra volcanics, coast line relative stability.

★ A short report on a scientific study in the *Department of geology*, Atomic Energy Commission of Syria

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

the implementation of correction actions to eleminate them in order to get valid analytical data.

The authers recommend to continue the participation in this international intercomparison program.

Key Words

coparision, Se and Zn analysis in blood samples, relative error, INAAtechnique.

★ A short report on a scientific study in the Department of radiation medicine & Quality Assurance Office, Atomic Energy Commission of Syria.

SERUM TESTOSTERONE LEVEL AND AFFECTING FACTORS IN SYRIAN AWASSI RAM LAMBS★

M. ZARKAWI

Department of agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

S. SALHAB

Department of Animal Produce, Faculty of Agriculture, University of Damascus.

ABSTRACT

Results showed that testosterone exists in the blood of ram lambs as early as the first month of age with no significant difference between single and twin births. This level, however, increased gradually with advancing age of ram lambs, indicating that the gonads (testes) of these growing lambs were active in secreting testosterone hormone after birth, but the rate of secretion differed with age of the lambs. A sharp increase in testosterone level was recorded at age of 8 months in twin births (5.32 ± 2.99 nmol/l) and in single births (7.26 ± 3.29 nmol/l). Throughout the study period, mean testosterone serum level was 3.29 ± 2.73 and 2.54 ± 2.15 nmol/l for single and twin births, respectively, as compared with an overall mean of 3.00 ± 2.49 nmol/l. However, the monthly difference in testosterone level between single and twin births was not significant ($P>0.05$) throughout the study period (10 months).

Results also indicated an increase in liveweight of lambs with advancing age, and liveweight in single births was higher, but not significantly, than in twin births throughout the study period. Results of the study showed a sharp increase in the mean liveweight of single births at age of 8 months (48.5 ± 9.3 kg) and that of twin births at the same age (44.1 ± 10.8 kg) as compared with an overall liveweight of the lambs (35.8 ± 15.2 and 32.7 ± 15.4 kg for single and twin births, respectively).

A positive and significant correlation ($r = 0.95$, $P>0.0001$) was found between serum testosterone level and lamb liveweight during the first 10 months of their age.

Finally and for the first time, normal serum testosterone levels in Syrian Awassi ram lambs were determined during early stages. It was concluded, based on both, testosterone level and lamb liveweight, that puberty in Awassi ram lambs could be reached at 8 months of age with a mean liveweight of around 47 kg. Type of birth, lamb birth weight or weaning weight had no significant effect on testosterone level.

Key Words

testosterone, radioimmunoassay, lambs, Syrian Awassi, single births, twin births, birth weight, weaning weight, puberty, liveweight.

★ A short report on a scientific study in the Department of agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

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

CHROMOSOMAL ABERRATIOS AND STERILITY STUDY IN SYRIAN CATTLE USED IN THE ARTIFICIAL INSEMINATION★

W. AL - ACHKAR, H. DAHAK, I. KASSEM

Department of Molecular Biology and Biotechnique, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Karyotype of cattle used in artificial insemination of Gezlania center (Ministry of Agriculture) were obtained. 24 Blood samples of Shamy and Frezian hybrid breeds were cultured in artificial media for 72 hours. Fixed metaphases were treated to obtain G- banding after Trypsin digestion. Metaphases from each animal were captured and analyzed on Leica workstation using Chantal software and Karyotype of 60 chromosomes was generated. Motility and sperm count were evaluated for all animals. With this work, we became able to investigate the chromosomal aberrations in cattle. Our study showed the health and safety of our cattle used in the artificial insemination where any of the common chromosomal aberrations associated to the sterility were detected.

Key Words

cattle, karyotype, chromosomal aberrations, sterility.

★ A short report on a scientific research achieved in the Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission of Syria.

STATISTICAL MANIPULATAION OF INTERNATIONAL INTERCOMPARISON DATA OF ANALYZING ZINC AND SELENIUM ELEMENTS IN BLOOD BY "INAA" TECHNIQUE★

A. BAKEER

Department of radiation medicine, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091 Damascus, Syria

A. SHAKHASHIRO, K. HADDAD

Quality Assurance Office, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091 Damascus, Syria

ABSTRACT

This study aims to evaluate the analytical performance of INAA laboratory through its participation in an iternational proficiency test INRS for Se and Zn analysis in blood samples.

Control charts were used to monitor the calculated relative error. These control charts were of a great importance to assist in evaluation of the quality of produced analytical data and to evaluate the descrepancies to be corrected.

The program management is described starting from the time the samples reaching the quality assurance office, passing by the analyzing stage and ending by issuing and evaluating of the analytical results.

In addition the study shows the effect of appilication of quality program and proficiency test in improving the quality of the analytical data.

Furthermore, the study shows that it is very necessary to track the root cause of the descrepancies and

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

PREPARATION OF POLYESTER/ CALCIUM SULFATE/ COMPOSITES USING RADIATION★

Z. AJJI
Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Different composites have been prepared using various doses of Gamma radiation. Two polyesters, Super Mastics and General, and calcium sulfate or natural gypsum have been used for preparing the composites.

Some physical properties of the composites and the influence of Gamma rays on it have been studied as: compression strength, hardness, thermal decomposition temperature in nitrogen or oxygen, and change in weight in aqua solutions with different pH.

Our results show that the glass transition temperature increases by increasing the absorbed dose up to a plateau. Further, the composites show a good thermal stability, and the absorbed dose does not affect the thermal decomposition temperature or the oxidation induction time for the prepared composites.

Compression strength of the prepared composites decreases by increasing the filler ratios, and the absorbed does not seem to influence this property significantly.

Key Words

polyester resin, calcium sulfate, gypsum, composite, radiation.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Radiation Technology*, Atomic Energy Commission of Syria.

STUDY OF ORONTES RIVER ENVIRONMENT IN SYRIA AND LEBANON★

M. AL-OUDAT, Z. KATTAN, M.S. AL- MASRI
Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria
O. EL-SAMAD, Z. SAAD, M. AL- NIMEH, K. SLIM
Atomic Energy Commission of Lebanon

ABSTRACT

The Atomic Energy Commission of Syria and the Lebanese National Council for Scientific Research represented by the Lebanese Atomic Energy Commission conducted a survey study on Orontes River environment addressing different aspects namely: Radioactivity, metals and trace elements in water, sediments, plants and animals, surface water flow system of the river, physical and chemical properties of the river`s water, species of algae. The study aimed to evaluate the possible effects of anthropogenic activities on the river environment and to establishing a basic database, which will enable to predict changes that might happen in the future.

Key Words

Orontes river, radioactivity, trace elements, isotopic properties, sediment, biota.

★ A short report on a scientific study achieved in the *Department of Protection and Safety*, Atomic Energy Commission of Syria.and Lebanon.

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

PREPARE OF RADIOACTIVE ISOTOPE STRONTIUM-85★

T. YASSINE, N. SALMAN
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission , P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Strontium-85 was produced by Neutron irradiation at MNSR reactor (AECS). Natural strontium target was prepared after purification of strontium nitrate by repeated precipitation from concentrated nitric acid, and then converted to chloride from.

The irradiation was carried out at neutron flux of about ($\Phi = 1\times10^{12}$ n.cm^{-2}.s^{-1}) for 15 hrs.

The irradiated target was repurified from radioactive impurities (eg. Ba-131) by precipitation. The resulting strontium showed high purity and it was dissolved in (1M) HCL. The final Sr-85 solution was suitable for tracer application in determination of strontium-90.

Key Words

Strontium, irradiation, search reactor, purification, γ-rays, precipitation, flux, tracer.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

OCCUPATIONAL EXPOSURES IN SYRIA DURING 1990 TO 1999 AND CALCULATION OF COLLECTIVE DOSES IN EACH PRACTICE★

M. H. KHARITA, A.BAZZAL
Department of Protection and Safety, Atomic Energy commission,
P.O. Box 6091 Damascus, Syrian

ABSTRACT

A large group of workers in many fields are exposed to ionizing radiation, this type of exposure is called occupational exposure to radiation.

It is important to monitor this exposure periodically and take the necessary protection measures to minimize this exposure to as low as reasonably achievable.

This work presents a detailed analysis of occupational exposure data during the period 1990 to 1999 for the monitored workers in Syria. The types of work for these worker have been classified into five main groups, and further classification for monitored workers have been done according to the practices.

Using the national dose record for monitored workers; the numbers of monitored workers were determined each year and the collective doses and average annual doses were calculated for each practice. Explanations for causes of exposure were given in addition to suggestions and recommendation for reduction of these exposures to as low as reasonably achievable.

Key Words

occupational exposure, monitored workers, exposed workers, detection limit, collection dose.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ABSTRACT

A total of 187 *Triticum durum* (*Desf.*) genotypes were studied. These included 102 mutants, 15 local genotypes, 22 lines from ACSAD and 48 lines from ICARDA. Polyacrylamide gel electrophoresis under acidic conditions of pH 3.1 (A-PAGE) was used to separate gliadins groups of storage proteins for the identification and the classification of the genotypes under study. Results showed that the region of ω-gliadins had a wider range for the number of bands than all other regions of gliadins (α-, β-, and γ-gliadins). Cluster analyses using the Unweighted Pair Group Mean Average (UPGMA) method put the genotypes of all groups in trees on the basis of the gliadin bands distribution. Three categories were obtained: 1st- complete correspondence of the pedigrees and the trees, reflecting the importance of the gliadins as a decisive factor for the genotype position in the cluster; 2nd -the presence of genotypes with similar banding patterns but were unrelated in their pedigrees; 3rd - the genotypes originate From the same cross but are unrelated in the tree. It was concluded that tree clustering based on gliadin electrophoregrams may be used as an additional tool in revealing genetical relations among genotypes. However, one should keep in mind that several factors may influence the resulting tree. These include heterogeneity, incorrect hand designation and uncertain or false pedigrees.

Key Words

cluster analysis, Durum wheat, Gliadins, APAGE.

★ This paper appeared in *Plant Breeding and Seed science*, 2002.

REPORTS

COMPUTATIONAL STUDY OF FIVE PHASES MODIFIED MODEL FOR PLASMA FOCUS DEVICE★

S. AL-HAWAT, S. SALOUM

Department of physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6093, Damascus. Syria

ABSTRACT

A mathematical 5-phase plasma focus model (Axial phase, inward radial phase, reflected radial phase, low compression radial phase and expanded phase) was used to study time-variation of the plasma focus formation. In such a way that it shows, the fine structure of plasma dynamics during the radial phase, and yields the emitted radiation from plasma. So this model has the characteristic of a radiation model for the plasma focus.

This model has been applied to UNU/ICTP-PFF type plasma focus device (United Nations University/ International Center for Theoretical Physics Plasma Focus Facility), and to our AECS-PFF device, by developing a FORTRAN computational program for the neon plasmas, and to show the possibilities of each one concerning the soft x-ray generation.

Key Words

plasma focus, numerical modeling, neon plasma.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

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

tetrabromoaurate $AuBr_4^-$ from the resin. Ten eluents have been tried to elute gold from the column, and it has been found that a 10 ml potassium peroxodisulfate and 240 ml acetone:water:nitric acid [125:5:51] solution fulfills the objective. The set up of the separation procedure allows quantitative adsorption of gold by the resin, while the major matrix cation (Fe) and others (Cd, Ag, Cu, V, Sb, Ti) have been passed through the column with the feeding solution (0.2 M) HBr. The resin selectivity coefficient (K) of separating Au from Fe has been found to be $K_{Fe}^{Au} \approx 6.4\times10^{11}$. The eluted Au is treated with $K_2S_2O_8$ and H_2O_2 for spectrophotometric determination as rhodamine-B complex at 555.6 nm. The linearity, detection limit, precision, and accuracy of the determination method have been found to be up to 2.0 $\mu g\ g^{-1}$, 0.018 $\mu g\ g^{-1}$, 0.009 $\mu g\ g^{-1}$ and 3%, respectively.

Key Words

gold, ion exchange resin, resin selectivity coefficient (K).

★ This paper appeared in *Microchemical Journal*, (2003).

PATHOGENIC VARIATION AMONG ISOLATES OF PYRENOPHORA TERES SP. THE CAUSAL AGENT OF BARLEY NET BLOTCH★

M. I. E. ARABL, B. AL - SAFADL, T. CHABALL

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Isolates of Pyrenophora teres, the causal agent of net blotch of barley (*Hodueum vulgure* L.) has been collected from France and Syria. Their virulence spectra were evaluated using 11 barley genotypes as differential hosts. The Genotypes exhibited a continuous range of response from highly susceptible to moderately resistant. A mean disease rating of 3.7 is considered as the separation point between a virulent and virulent reactions. The frequency of virulence wsa highest for isolates S5, R5 and S6-2 and lowest for R-ICA31 and R-HAS-6. A cluster analysis indicated that the isolates exhibited distinct differential virulence patterns and they were identified into five groups. The French isolates S5, R5 and S6-2 had a higher mean virulence and a low variance across all genotypes. None of the tested genotypes was highly resistant to investigated isolates.

Key Words

barley (*Hordeum vulgare* L.), *drechslera teres*, net blotch, pathogenicity.

★ This paper appeared in *J. Phytopathology* 151, 1-7 (2003) .

GLIADINS POLYMORPHISM AND CLUSTER ANALYSES OF SYRIAN GROWN DURUM WHEAT ★

N. MIRALI

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

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

with electron cyclotron resonance (ECR) plasma consisting of 25% H_2 and 75% N_2. Remarkable improvement in the selectivity with respect to ethyl alcohol and reduction in the sensitivity for humidity was observed after this treatment. The response and recovery time for resistive sensing were of the order of 50 and 30 second respectively. X-ray photoelectron spectroscopy and Fourier transformation infra red studies showed that the increased cross-linking of PC is responsible for the creation of new functional groups which have imparted the sensing of alcohol vapor through extrinsic doping.

Key Words

Metallophthalocyanine; electron cyclotron resonance plasma, sensors.

★ This paper appeared in *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, (2002).

EFFECT OF INTERFACE RECOMBINATION ON SOLAR CELL PARAMETERS★

M. SAAD, A. KASSIS

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A model is presented for p-n hetero-junction solar cells in which interface recombination is the dominant diode current transport mechanism. The model explains the large diode ideality factor ($n > 2$) and the increased saturation current density in terms of increased density of interface states N_{ir}. Furthermore, the model allows us to explain the non-translation between illuminated and dark *J-V* characteristics. The explanation is based on the assumption that, for high interface state density values, both the depletion layer width and the diffusion voltage in the p- and n-side of the junction are functions of N_{ir}. The interface recombination leads to lower values of the open-circuit voltage, short-circuit current density, and fill factor. These results are illustrated by numerical calculations of solar cell parameters and compared with experimental data achieved for ZnO/CdS/$CuGaSe_2$ single-crystal solar cells.

Key Words

solar cells, hetero-junction, interface states, recombination.

★ This paper appeared in *Solar Energy Materials & Solar Cells*, (2003).

SELECTIVE SEPARATION OF GOLD FROM IRON ORE SAMPLES USING ION EXCHANGE RESIN★

R. AL-MEREY, Z. HARIRI, J. ABO HILAL

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Gold in iron ore samples is separated from iron (major matrix cation), antimony and vanadium using anion exchange resin in (0.2 M) HBr, potassium peroxodisulfate and acetone:water:nitric acid media. The exchangeable anion Cl^- of the ion exchanger Dowex 1X 4 is replaced by Br^- using (6 M) HBr solution. Certified reference material DGP-M1, spiked ferric magnetic oxide, gold radioactive tracer ^{198}Au and gold standard solutions are used to study the adsorption efficiency and the yield recovery of

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

LIGHTING UP MEDICINE WITH LASERS★

M. DURRANI

ABSTRACT

Light plays a central role in modern medicene. Matin Durarani reports on the latest developments.

Key Words

Laser, biomedical optics, scanning microscopy, fluorescence microscopy, tomography, photodynamic, diagnosis.

★ This article appeared in *Physics World*, August 2003. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

WATCHING THE BRAIN AT WORK★

P. GOWLAND, S. FRANCIS, P. MORRIS AND R. BOWTELL
Magnetic Resonance Center, School of Physics and Astronomy
University of Nottingham, Nottingham, UK

ABSTRACT

Magnetic resonance imaging is helping neuroscientists to probe neural activity in the the brain and monitor the development of unborn babies.

Key Words

functional magnetic resonance imaging (fMRI); foetal fMRI; brain activation; haemodynamics; blood flow; blood volume; oxygen consumption; blood oxygen level dependent effect (BDLD); arterial spin labelling (ASL).

★ This article appeared in *Physics World*, December 2002. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

MODIFICATION OF SENSING PROPERTIES OF METALLOPHTHALOCYANINE BY AN ECR PLASMA★

M. NADDAF, S. CHAKANE, S. JAIN, S.V BHORASKAR
Department of Physics, Center for Advanced Studies in Material Science and Solid State Physics, University. University of Pune. Pune 411007

A. B. MANDALE
National Chemical Laboratory

ABSTRACT

Lead Phthalocyanine (PC) tetracarboxylie acid prepared by chemical reaction from phthalic anhydride and urea was used as sensor element for sensing humidity and alcohol vapors. The surface was treated

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

ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

AFTER EINSTEIN★

D. HARRIS
Head of Media relations at the American Physical Society

ABSTRACT

Our best description of space-time is cracking up. And even as special relativity falls apart, a controversial theory is poised to steal its crown, says David Harris.

Key Words

Doubly special relativity, inflation, speed of light, threshold.

★ This article appeared in *NewScientist*, 8 February 2003. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

SINGLE PHOTONS ON DEMAND★

P. GRANGIER
Laboratoire Charles Fabry de I'Institut d'Optique, Orsay, France
I. ABRAM
Laboratoire de Photonique et Nanostructures, Route de Nozay, Marcoussis, France

ABSTRACT

Quantum kryptography and information processing are set to benefit from developments in novel light sources that can emit photons one by one.

Key Words

quantum cryptography, quantum keys, QKD, coalescing photons, single photons.

★ This article appeared in *Physics World*, February 2003. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

DO U WAN2 TLK?★

I. SAMPLE

ABSTRACT

If you're stuck half way up the Matterhorn or just fancy a chat, your mobile is your best friend. Ian Sample explains how the little box of tricks does it.

Key Words

analogue, digital, mobile phone traffic channels, carrier wave, encryption key, cells.

★ This article appeared in *NewScientist*, February 2003. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

COMPUTATIONAL STUDY OF FIVE PHASES MODIFIED MODEL FOR PLASMA FOCUS DEVICE ..... S. AL-HAWAT, S. SALOUM 90

PREPARE OF RADIOACTIVE ISOTOPE STRONTIUM-85 ..... T. YASSINE, N. SALMAN 90

OCCUPATIONAL EXPOSURES IN SYRIA DURING 1990 TO 1999 AND CALCULATION OF COLLECTIVE DOSES IN EACH PRACTICE ..... M. H. KHARITA, A.BAZZAL 91

PREPARATION OF POLYESTER/ CALCIUM SULFATE/ COMPOSITES USING RADIATION ..... Z. AJJI 91

STUDY OF ORONTES RIVER ENVIRONMENT IN SYRIA AND LEBANON ..... M. AL-OUDAT, ET AL 92

CHROMOSOMAL ABERRATIOS AND STERILITY STUDY IN SYRIAN CATTLE USED IN THE ARTIFICIAL INSEMINATION ..... W. AL - ACHKAR, ET AL 92

STATISTICAL MANIPULATAION OF INTERNATIONAL INTERCOMPARISON DATA OF ANALYZING ZINC AND SELENIUM ELEMENTS IN BLOOD BY "INAA" TECHNIQUE ..... A. BAKEER, ET AL 93

SERUM TESTOSTERONE LEVEL AND EFFECTING FACTORS IN SYRIAN AWASSI RAM LAMBS ..... M. ZARKAWI 93

STUDY OF NEOTECTONIC FEATURES IN PLIOCENE AND QUATERNARY DEPOSITS ALONG THE SYRIAN COAST ..... Y. RADWAN, ET AL 94

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

SOFT CONDENSED MATTER ..... BY: R. A. L. JONES 97
OVERVIEW & ANALYSIS: D. A. WEITZ

ADVANCED SOLID STATE PHYSICS ..... BY: P. PHILLIPS 98
OVERVIEW & ANALYSIS: S. SACHDEV

ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 108

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

CONTENTS

ARTICLES

AFTER EINSTEIN ..... D. HARRIS 7

SINGLE PHOTONS ON DEMAND ..... P. GRANGIER & I. ABRAM 11

DO U WAN2 TLK? ..... I. SAMPLE 18

LIGHTING UP MEDICINE WITH LASERS ..... M. DURRANI 24

WATCHING THE BRAIN AT WORK ..... P. GOWLAND, ET AL 28

NEWS

GUIDE FOR METRIC PRACTICE ..... *PHYSICS TODAY* 37

STRANGE DAYS ..... *NATURE* 39

LA PHYSIQUE DE LA FUSION THERMONUCLÉAIRE ET LE PROJET ITER .... *RGN* 41

QUICKENING THE PULSE IN FUSION RESEARCH ..... *PHYSICS WORLD* 42

INTO THE FIFTH DIMENSION ..... *NATURE* 44

HOW PARTICLE PHYSICS CAN BE THERAPEUTIC ..... *PHYSICS WORLD* 46

SUPERCONDUCTING WIRE TURNS TO ELECTRICAL POWER ..... *PHYSICS WORLD* 49

FROM THE LABORATORY TO THE PATIENT ..... *PHYSICS WORLD* 50

URANIUM ..... *ANL* 52

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

MODIFICATION OF SENSING PROPERTIES OF METALLOPHTHALOCYANINE BY AN ECR PLASMA ..... M. NADDAF, ET AL 57

EFFECT OF INTERFACE RECOMBINATION ON SOLAR CELL PARAMETERS ..... M. SAAD, A. KASSIS 62

SELECTIVE SEPARATION OF GOLD FROM IRON ORE SAMPLES USING ION EXCHANGE RESIN ..... R. AL-MEREY, Z. HARIRI, J. ABU HILAL 68

PATHOGENIC VARIATION AMONG ISOLATES OF PYRENOPHORA TERES SP. THE CAUSAL AGENT OF BARLEY NET BLOTCH ..... M. I. E. ARABL, B. AL - SAFADL, T. CHABALL 74

GLIADINS POLYMORPHISM AND CLUSTER ANALYSES OF SYRIAN GROWN DURUM WHEAT ..... N. MIRALI 82

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:

Damascus, P.O.Box 6091 Phone 6111926/7,Fax 6112289, Cable; TAKA.

E-mail :aalam_al_zarra@aec.org.sy

Subscription rates, including first class postage charges : a) Individuals $ 30 for one year

b) Establishments $ 60 for one year

c) for one issue $6

It is preferable to transfer the requested amount to:

The commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012/2

Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

Managing Editor

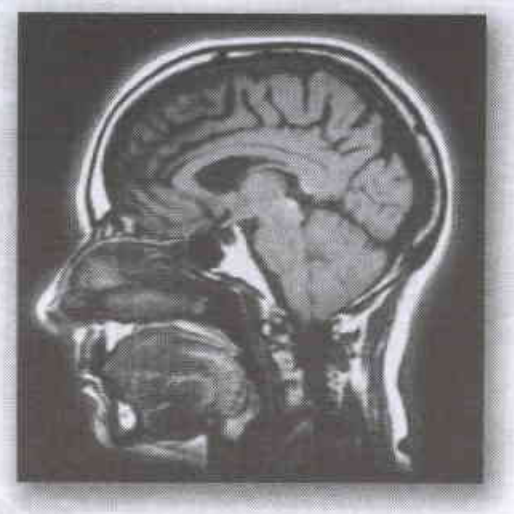
Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Adel Harfoush

Dr. Ziad Qutob



92

19 th Year /JULY-AUGUST/

2004

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