



عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

مجلة دورية تصدر سنّ مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرية في الجمهورية العربية السورية. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين النظري والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

أيلول-تشرين الأول 2002

السنة السابعة عشرة

العدد الواحد والثمانون

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسام (رئيس هيئة التحرير)

الدكتور فؤاد العجل

الدكتور محمد قعقع

الدكتور محمد فؤاد الرباط

الدكتور أحمد الحاج سعيد

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

- 1- ترسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحرر بخط واضح، على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- 2- يُكتب على ورقةٍ مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف والمترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.
- 3- يُقدم المؤلف أو المترجم في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية «Key Words» (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز عشر عبارات باللغتين العربية والإنكليزية.
- 4- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة. ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية، إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.
- 5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمعة من مصادر عدّة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول «تأليف، جمع، إعداد، مراجعة...» ويرفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استفاد منها.
- 6- إذا تضمنت المادة صوراً وأشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحرر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة 4)، مرقمة حسب أماكن ورودها.
- 7- يرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية، الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18).
- 8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يُكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أم مختصراً. وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية 1, 2, 3، أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار. وإذا ورد في نص معادلةٍ أو قانونٍ أحرف أجنبية وأرقام فتكتب المعادلة أو القانون كما في الأصل الأجنبي.
- 9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (* , + , x , 0 ...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [] .
- 10- تُرقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.
- 11- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.
- 12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا تُرد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- 13- يمنع كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.
- 14- توجه المراسلات باسم رئيس هيئة التحرير إلى العنوان التالي:

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

رسوم الاشتراك

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

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

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

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرية السورية

يمكن للمقيمين داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرة - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرية السورية - دمشق - ص. ب 6091

مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة - دمشق - شارع 17 نيسان

سعر الحسط الواحد

سورية 50 ل.س / لبنان 3000 ل.ل / الأردن 2 دينار / مصر 3 جنيه / الجزائر 100 دينار / السعودية 10 ريال / 6 دولارات في البلدان الأخرى.

تود مجلة عالم الذرة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها.

للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية الكتابة إلينا على العنوان التالي:

هيئة الطاقة الذرية السورية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر

دمشق ص.ب 6091 - الجمهورية العربية السورية

أو الاتصال على رقم الهاتف/7/6111926 - فاكس 6112289

- 7 إعادة كتابة قوانين الضوئيات ب. رودجرز، ف. جاميسون
ترجمة هيئة التحرير
- 9 قهر حدّ الانعراج ف. ساندوغدار
ترجمة هيئة التحرير
- 16 ترويض الضوء بالذرات الباردة. ل. فيسترغارد هاو
ترجمة هيئة التحرير
- 23 من كيمياء الفمتو إلى فيزياء الأتو ف. كراوسز
ترجمة هيئة التحرير
- 29 مواد الكهرمغناطيسية تدخل عصر السلبية ج. بندري
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

36. الأصفر هو الأبرد
38. بزوغ فيزياء جديدة
40. ضوء يعمي البصر
42. اللغة السريّة للخلايا
47. البوزترونات تكشف تفاصيل السطوح

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

- 50 طريقة جديدة لتعيين لاتناحي المقاومة د. عادل نادر
في المركبات المتطبقة ذات الناقلية الفائقة
- 54 توليد المدرج الثاني في دليل الموجة المشكّل على عبد القادر جزماتي وآخرون
بلورة جرمانات الزيموت المطعّمة بعنصر ترابي نادر
- 58 تطبيق التحليل الآلي بالتنشيط التروني وطرائق الإحصاء د. إلياس حنا بكرجي وآخرون
المتعدّدة المتغيرات على عيّنات سيراميك أثرية سورية
63. بقع أنودية في انفراغ توهجي لمزيج هليوم - نيون د. شريف الحواط
- 70 تحوي الخواص الكهربائية للطبقات الفسفاتية. د. جمال أصفهاني، رندة محمد
الإشعاعية في مناجم الشرقية - سورية
- 77 تراكيز هرمون البروجسترون في مصّل الدم بوساطة معزز زرقاوي، أحمد سكوتي
المقايسة المناعية الإشعاعية خلال دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي المحلي

التقارير العلمية

(أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- 83 د. رامي درويش، د. محمد خير صبرة
دراسة تأثير الحقل الكهربائي على معدلات الأسر للعيوب العميقة في عتبات من فُسفيد الأنديموم من النوع p
- 84 د. جمال سطاس ، د. محمد غفر
دراسة حاسوبية لمعدّات اليورانيوم في أوساط حمض الفسفور.
- 86 د. محمد سعيد المصري،
سامر ماميش، يوسف بدير
دراسة بعض الطحالب البحرية المنتشرة على الشاطئ السوري كيميائياً وإشعاعياً
- 87 د. حازم سومان،
د. محمد حسان خريطة
محاكاة توهين أشعة X باستخدام الكود MCNP وحساب المكافئ الرصاصي لبلوك البناء السوري
- 89 د. أحمد عثمان بتول جزائري،
دراسة الاستجابات المناعية في غياب الخمج
- 91 د. محمد العودات.
دراسة العناصر الثقيلة في البيئة وتأثيراتها في الإنسان بارعة قجيحان -

كتب حديثة مختارة

- 95 (تأليف: ر. م. بارنيت، هـ. موهري، هـ. كوين)
(عرض وتحليل: م. لوكو، ت. ج. ديفلين)
سحر الكواركات الغريبة: أسرار
فيزياء الجسيمات وتطوراتها الجذرية
- 96 (تأليف: ف. فيرهيست)
(عرض وتحليل: د. وينسكي)
أمواج في بلازما الفضاء المغبرّ.

104. ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد.

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.

إعادة كتابة قوانين الضوئيات*

ب. رودجرز، ف. جاميسون

ملخص

تجارب جديدة تدفع فهمنا للضوء والبصريات نحو حدود بعيدة، كما تفتح مجالات جديدة للفيزياء والتطبيقات العصرية.

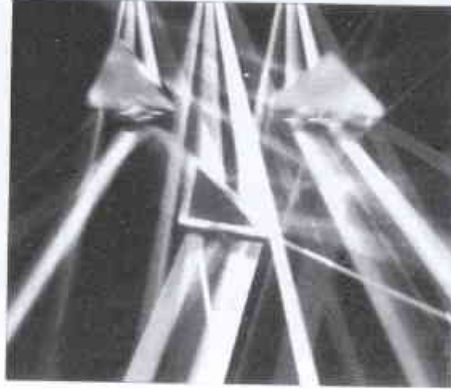
الكلمات المفتاحية: نبضات الأتو ثانية، المجهر الضوئي الماسح ذو الحقل القريب، الميزر، ليزر سبر، قرينة انكسار سالبة،

اللاخطية كي يتوصلوا إلى نظام الأتو ثانية (1 أتو ثانية attosecond تساوي 10^{-18} ثانية).

كذلك، تُعدّ الأطوال الموجية الأقصر ضرورةً من أجل الحصول على مَيَزٍ أفضل في تطبيقات التصوير. وبالفعل، كان الاعتقاد السائد لسنوات عديدة أن الميزر محدود لأية أداة ضوئية ولا يتعدى ثلث الطول الموجي للأشعة المستخدمة. وفي البدايات، استُخدم المجهر الإلكتروني الماسح، الذي يوظف أطوال أمواج دوبروي القصيرة جداً للجسيمات،

للوصول إلى أجزاء لا تستطيع المجاهر الضوئية العادية الوصول إليها. أتى بعد ذلك استخدام مجاهر القوة الذرية والمجاهر النفقية الماسحة atomic - force and scanning - tunnelling microscopes؛ لكنه، حسبما جاء في شرح الباحث فاهيد ساندوغدار V. Sandoghdar، في الصفحة 9 من هذا العدد، لا يزال هنالك للضوء دور يلعبه في مجال البحث عن مَيَزٍ جزيئي؛ فمثلاً، عند استخدام الجزيئات المفردة كمصادر ضوئية داخل ما يدعى "بالمجاهر الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب scanning near - field optical microscopes" أضحي بالإمكان تحقيق مَيَزٍ قدره 180 نانومتر، كما أمكن، لاستخدامات محددة، الحصول على مَيَزٍ يقع في حدود 10 نانومتر.

يسير الضوء في الخلاء بسرعة قدرها 299792458 متر في الثانية؛ وليس غريباً أن يتباطأ عندما يصادف أي شيء في مساره سواءً أكان قطعة من الزجاج أم غازاً من ذرات الصوديوم. لكن إذا وضعت ذرات الصوديوم في حالة كمومية محددة بواسطة ليزر اقتران coupling laser يصبح ممكناً إحداث تباطؤ كبير للنبضات الصادرة عن ليزر سبر probe laser ثانٍ يعمل عند طول موجي اختير بعناية. وكما يُنْ لِين فسترغارد هو L. Vestergaard Hau في الصفحة 16 من هذا العدد، من الممكن تحت شروط معينة، إقلال سرعة نبضة السبر إلى الصفر! وتعتمد هذه الحيلة على تغير قرينة انكسار الغاز مع الطول الموجي. وعلى نحو ملفت للنظر، من الممكن استخدام حيلة مماثلة من أجل زيادة سرعة المسبار إلى مئات المرات من سرعة الضوء (Physics World. Sept. 2000, p. 21).



كانت الضوئيات، على الدوام، أكثر حقول علم الفيزياء معالجة لمواضيع بحثية وأخرى تطبيقية؛ ويُعدّ هذا صحيحاً في الوقت الراهن، كما يُعدّ صحيحاً في أية حقبة زمنية من التاريخ. فمنذ عهد نيوتن وموشوره، وحتى عصر الليزرزات نصف الناقل والألياف الضوئية التي شكلت البنية التحتية للاتصالات العالمية، كان الضوء ولا يزال ظاهرة تفتن بسحرها الفيزيائيين وتمهد الطريق أمام ظهور صناعات جديدة برمتها.

وكما هو العهد في جميع التطبيقات لأحدث ما توصلت إليه العلوم، تعتمد الاتصالات اللبيفية، والتصوير الطبي، وأمثلة أخرى للتقانة الضوئية، على الضوء الذي يتخذ سلوكاً ذا نمط يمكن التنبؤ به بدرجة عالية من الدقة. ولابدّ للضوء - الذي يمكن اعتباره موجة أو جسيماً أو شعاعاً - من أن يتبع قوانين الضوء. لكن القوانين وُجدت من أجل أن تُخرق، أو على الأقل من أجل أن تُخرّف عن نهجها الأصلي؛ وكما يتضح من فحوى مقالات هذا العدد، لايشكل الضوء استثناءً لهذه المقولة.

قدوم الليزر

أدى اكتشاف الليزر في عام 1960 إلى إحداث ثورة في البصريات ولا يزال التأثير الناجم عن ذلك محسوساً حتى وقتنا الحاضر. وتقدم البحوث الحديثة لليزر على عديد من الجبهات: فبعض الفيزيائيين يتطلعون إلى شدات وطاقات نبضية أعلى، في حين ينشغل الآخرون في محاولة لزيادة كفاءة الليزرزات نصف الناقل. يصف فيرنس كراوسز F. Krausz في الصفحة 23 من هذا العدد، بحثاً تقع عند حدود أخرى للمعرفة، وهي البحث عن نبضات قصيرة إلى أبعد الحدود. ومن جهة ثانية، ستحوي الأطوال الموجية الضوئية، ذات النبضة 5 فمتو ثانية على سبيل المثال، دورتين أو ثلاث دورات كاملة فقط للحقل الليزري. لكن الكثير من العمليات - كما هو الحال في حركة الإلكترونات داخل الذرات - يمكن حدوثها في سلالم زمنية أسرع من ذلك. لذلك، كان لزاماً على الباحثين اللجوء إلى أطوال موجية أقصر وإلى عدد متنوع من التقنيات

* نشرت هذه المقدمة في مجلة Physics World, September 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

وهناك المزيد...

ماسبق ذكره يمثل أربعة مجالات يسعى الفيزيائيون فيها إلى دفع قوانين الضوئيات إلى الحد الأقصى؛ وإن كان هنالك الكثير والمزيد من هذه المجالات. فعلى سبيل المثال، أعلن الفيزيائيون في الشهر الماضي أنهم أنجزوا بناء ساعة ضوئية لا بد وأن تكون، إلى حد بعيد، أعظم دقة من أفضل الساعات الذرية المتوفرة في العالم. وتتمتع هذه الساعة الجديدة على استخدام قطعة لا صلة لها تماماً بالأبحاث الفيزيائية، بل هي اكتشاف لألياف بلورية فوتونية photonic crystal fibres. وهذا الاكتشاف ليس إلا منذ سنتين فقط. و هنالك تطورات حديثة أخرى تتضمن أول تقنية تعتمد كلياً على الضوئيات لصنع كثافة بوز Bose condensate، وكذلك اقتراحات لاستخدام "فوتونات متشابكة entangled photons" من أجل تحسين كفاءة تحديد المسافة الليزرية وتجهيزات الطباعة الحجرية.

وفي الوقت الراهن، تنشر المجالات مقالات تتعلق بالليزرات والبصريات تكثر فيها "الكليشات" (اللقطات التصويرية الفورية الشائعة) المعبرة عن مستقبل لامع وأضواء خيالية سحرية..؛ لكن، ولأول مرة، تغدو هذه "الكليشات" حقيقة واقعة. وبالفعل، يُعدّ المستقبل واعداً ولامعاً جداً بالنسبة لليزرات والبصريات. ■

كيف تعمل هذه الحيل؟ تعلّمنا من أسس الضوئيات أن سرعة الضوء تتغير من c إلى c/n عندما يخترق هذا الضوء مادة لها قرينة انكسار قدرها n ، وفي الوقت نفسه يتغير الطول الموجي من λ إلى λ/n . كذلك، تعلّمنا أن قرينة الانكسار هي أيضاً تابع للطول الموجي أو للتواتر. من جهة ثانية، عندما تخترق نبضة ضوئية - والتي لا بد لها، بحسب تعريفها، أن تحوي مجالاً من الأطوال الموجية - مادة ما فإنها تتباطأ بعامل يتعلق بتغير قرينة الانكسار مع التواتر؛ والتحكم في هذا التغير هو السبب وراء تغيير سرعة نبضة السبر probe pulse.

وتعلّمنا أسس الضوئيات أيضاً أن قرينة الانكسار تسبب انحناء الشعاع الضوئي باتجاه الناظم. ومن ناحية أخرى، وكما بين جون بندري J. Pendry في الصفحة 29 من هذا العدد، لا يمكن اعتبار المقولة السابقة صحيحة على الدوام، حيث أضحى ممكناً في السنوات الأخيرة إنشاء بُنى لها خواص كهربائية ومغناطيسية سالبة. ومن أغرب هذه البنى مواد لها قرينة انكسار سالبة؛ ويمكن للمواد المنبثقة عن الأبحاث المذكورة أن تقود إلى تطبيقات شتى في الاتصالات والإلكترونيات والتصوير الطبي، وفي فروع أخرى للضوئيات قد يصبح بالإمكان التوصل إلى ما يدعى "بالعدسة المثالية perfect lens".



قهر حد الانعراج*

ف. ساندوغدار

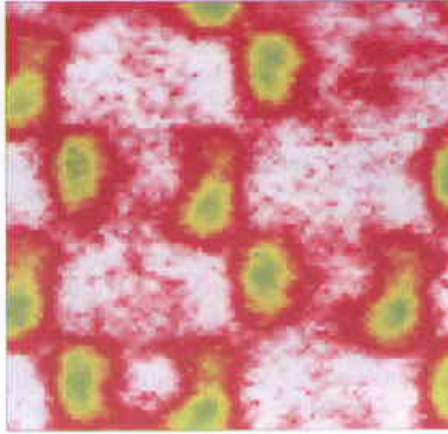
المدرسة العليا للهندسة الكهربائية ETH - زيورخ - سويسرا

ملخص

في فترة ما، كان يُظن أن ميز الأجهزة البصرية محدود بالطول الموجي للضوء الذي تستخدمه، لكن أشكالاً حديثة من المجهرات تمكنت من خرق تلك المحدودية.

الكلمات المفتاحية: حد الانعراج، المجهر الضوئي، الميز، المجهرية الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب، المجهر النفقي الماسخ، تقنيات الحقل البعيد.

تتطابق عندها أول نهاية صفري في شكل الانعراج لأحد الجسمين مع قمة الانعراج المركزية للجسم الثاني. وفي هذه الحالة، تتمتع الإشارة الإجمالية بانخفاض واضح في المنتصف (الشكل 1). ويتطلب هذا الشرط أن تكون المسافة الفاصلة بين الجسمين أكبر من $(2 \sin \theta) \lambda / 1.22$ ، حيث تمثل 20° الزاوية التي يتجمع الضوء عبرها بالأداة البصرية. ينطوي هذا المعيار على شيء من الاعطابية؛ ورغم أنه غالباً ما صيغ كتعريف لميز أداة، إلا أنه لا يمكن اعتباره بحال من الأحوال حداً قاسياً لا يمكن اختراقه.



يصور الضوء الصادر من جزيء مفرد نمطاً لثلاث، كل واحد منها أصغر من حد الانعراج.

ربما كان المجهر الضوئي الأداة العلمية الوحيدة التي أُلْفها التلاميذ الصغار، ويحتمل أنها كانت الوحيدة أيضاً التي أمكن شراؤها من مخزن يبيع لعب الأطفال. وفي المدرسة، نظر معظمنا إلى هذه المجاهر كأدوات تحقق الكثير من التوقعات وكلنا أمل في أن نرى تفصيلات لا يمكن تصورها في ورقة لنبات ما أو في ذبابة ميتة. وغالباً ما خابت آمالنا عندما كنا لا نستطيع رؤية المزيد... أين هي تلك الذرات والجزيئات التي يُفترض بأنها تدخل في تركيب كل شيء؟ وعندما كنا نشكو للأستاذ خيبة أملنا، كانت إجابته المألوفة هي أن المرء لا يستطيع بواسطة المجهر الضوئي رؤية الأشياء الصغيرة جداً.. وحتى عهد قريب ظل الأستاذ مصيباً في إجابته تلك، لكنه لم يعد مصيباً فيها بعد هذا اليوم.

الانعراج هو المحدد

لقد قام إرنست آبي Ernst Abbe، الذي كلفته شركة كارل زايس Carl Zeiss في أوائل السبعينيات من القرن التاسع عشر بالبحث عن طرائق لتحسين أداء المجاهر الضوئية، بصياغة معيار دقيق لميز جسمين. استنتج آبي أنه ليس بالإمكان ميز جسمين ثنارين إلا إذا كانا منفصلين عن بعضهما بمسافة d ، أكبر من $\lambda / (2 \sin \theta)$. اعتمد تعبيره هذا على حقيقة أنه من الممكن تصوّر العينة كمجموعة للعديد من شبكات انعراج ذات أدوار مختلفة وأن الضوء من كل شبكة سينتشر فقط إذا كانت شقوقها مفصولة بمسافات أكبر من $\lambda / 2 \sin \theta$ (الشكل 1b).

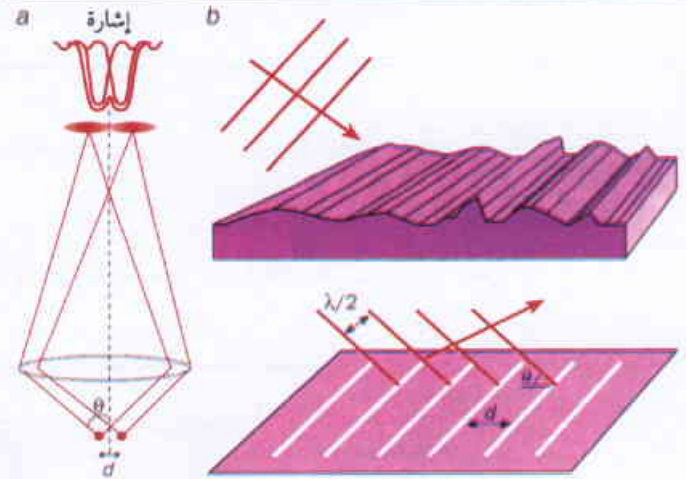
بعد فهم الطبيعة الجوهرية لما أطلق عليه اسم حد الانعراج في المجهرات، فقد العلماء الأمل بتحسين الميز إلى حين ظهور ميكانيك الكم وإدراك أن المادة تسلك أيضاً سلوكاً موجياً. وبالفعل، يمكن لطول موجة دو بروي de Broglie للجسيمات الكتلية، مثل الإلكترونات، أن يكون أقصر كثيراً من الطول الموجي للضوء. هذا يعني أن الميز الذي ينخفض إلى 10^{-10} متر يمكنه التعايش بسلام مع حد الانعراج.

اعتقد العلماء جازمين، ولفترة تزيد على 100 سنة، أن ميز المجهر يصل حده الأدنى إلى حوالي نصف الطول الموجي للضوء المستخدم في إنارة العينة. ويعود السبب في ذلك إلى الطبيعة الموجية للضوء - وليس إلى قوانين الضوئيات الشعاعية - التي تُملي عملية تشكل الصور. وبناء على ذلك، فإن الصورة لجسم نقطي هي بقعة متناهية القد وليست نقطة. ولزيادة الطين بلة، تتألف البقعة من أهداب تتولد بالانعراج عند حواف العدسات والعناصر الضوئية الأخرى داخل المجهر. وإذا راقبنا جسمين نقطيين يتحركان ليصبحا قريبين من بعضهما، فسوف نرى أن صورتيهما تندفعان باتجاه بعضهما البعض وسوف تأتي مرحلة لا نستطيع بعدها التمييز بينهما.

وعندما يتطلب الأمر إيجاد مقياس كمي لوصف جسمين على وشك أن يصبحا قابلين للميز، اقترح لورد رايلي Lord Rayleigh المسافة التي

* نشر هذا المقال في مجلة Physics World, September, 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

1 حدود الانعراج



(a) - إن صورة جسم نقطي، في أداة بصرية، هي بقعة متناهية وليست بنقطة، وتكون مترافقة بأهداب انعراج. تفيد المناقشة البسيطة لرابلي بأنه لتمييز جسمين شبه نقطيين لا بد من وجود انخفاض واضح في الصورة المشكلة بواسطة تداخل البقعين الفرديين (أحمر). ورغم أن هذا المعيار يقدم قياساً كمياً للميز، إلا أنه لا يُعد شرطاً دقيقاً جداً.

(b) - يمكن اعتبار جسم معقد، له تغيرات في طوبوغرافية السطح وتباين ضوئي جانبي، مؤلفاً من شبكات انعراج لها أدوار مختلفة. ونظراً لعدم وجود انعراج من المكونات ذات الأدوار الصغيرة، نجد أن المرء لا يستطيع أن يحصل من الملامح الصغيرة جداً للجسم على أي معلومات في الحقل البعيد. هذا هو الأساس لمعيار أبي وهو $d > \lambda / (2 \sin \theta)$. وأفضل ميز يمكن تحقيقه في المجهر الضوئي يقع عند حوالي $\lambda/3$ باستخدام زيت تغطيس له قرينة انكسار $n \sim 1.5$ من أجل إنقاص الطول الموجي من λ إلى λ/n . وعند استخدام الضوء المرئي سيقع الميز في المدى ما بين 130 - 250 نانومتر، أي بعامل يزيد بمقدار 100 - 1000 ضعف عن المسافة بين جزيئين فرديين.

ورغم ميزه العالي، فشل المجهر الإلكتروني أن يقوم مقام المجهر الضوئي لعدة أسباب. تتمتع المجاهر الضوئية بالعديد من المزايا: فهي تستطيع إيصال معلومات طيفية غالباً ما تساعد على تحديد هوية المواد، وتعمل في ظروف المحيط، وتقدم معلومات بشأن العينة ذات علاقة بالعمق، ويمكن استخدامها لمتابعة عمليات حية لأن الملاحظات فيها غير مُخرّبة للعينة، كما يمكن تجميعها مع تقنيات أخرى. وأخيراً تُعدّ المجاهر الضوئية غير مكلفة وسهلة التشغيل.

كانت مشكلة الميز في المجهرات محطّ اهتمام كبير لعلماء البيولوجيا خلال القرن الماضي. وفي الآونة الأخيرة، عاودت هذه المشكلة جذب اهتمام الفيزيائيين الذين وظفوا الطباعة الحجرية الضوئية لإيجاد بُنى متناهية في الصغر في أنصاف النواقل تلبية طلب صناعة الإلكترونيات المكونية من أجل إنتاج نبائط أسرع.

تشمل الخطوة الحرجة في الطباعة الحجرية الضوئية إنارة مقاوم يخضع لتفاعل كيميائي ضوئي عندما يتعرض لضوء من خلال قناع. ويتحدد نجاح هذه التقنية بكمية الصور أو القسامات التي يمكن أن نكتبها على القناع، وبالتالي بالانعراج. وحتى تاريخه، سارت صناعة الإلكترونيات المكونية بمحاذاة حدّ الانعراج من خلال استخدام ضوء ذي أطوال موجية يتناقص باستمرار؛ لكن هذا المنحى سيتوقف قريباً في المجال البعيد من

الأشعة فوق البنفسجية حيث تغدو المكونات البصرية والمنابع الضوئية شيئاً نادراً.

ومن حيث المبدأ، تمنح حزم الإلكترونات أو الأيونات أو الذرات للميز مزيداً من المكاسب، ولو أن ذلك يواجه اعتبارات اقتصادية لا تشجع هذا المنحى. وللمرة الثانية، يظل المنحى الضوئي الطريقة المفضلة، لكننا هل نستطيع حمايته من حد الانعراج؟

مسح في الحقل القريب

في عام 1984، تم اكتشاف "المجهرات الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب scanning near-field optical microscopy (SNOM) Dieter Pohl من قبل مجموعتين مستقلتين هما: مجموعة داير بول (Dieter Pohl) وزملائه العاملة لدى مختبر البحوث التابعة لشركة IBM في زيورخ، ومجموعة آرون لويس Aaron Lewis ومساعديه العاملة لدى جامعة كورنل في الولايات المتحدة. وقد أوضحت هذه التقنية أنه ليس لحد الانعراج الكلمة الأخيرة في المجهرات الضوئية.

ولفهم تقنية SNOM يجب علينا العودة إلى طريقة أبي في معاملة عينة ما تحت المجهر. فإذا أنيرت بالضوء نقطتان تفصل بينهما مسافة أقل من $\lambda/2 \sin \theta$ ستكون النتيجة، عندئذ، موجة لا منتشرة في الجوار القريب من العينة. وبينما تُقدّم ما يسمى بالحقول القريبة هذه معلومات دقيقة حول التباين الضوئي الموضوعي للعينة، نجد أن قوتها تتناقص أسياً كتابع للمسافة من السطح. وبالفعل، يُعدّ طول الاضمحلال للحقول القريبة أقصر كثيراً من طول موجي مفرد.

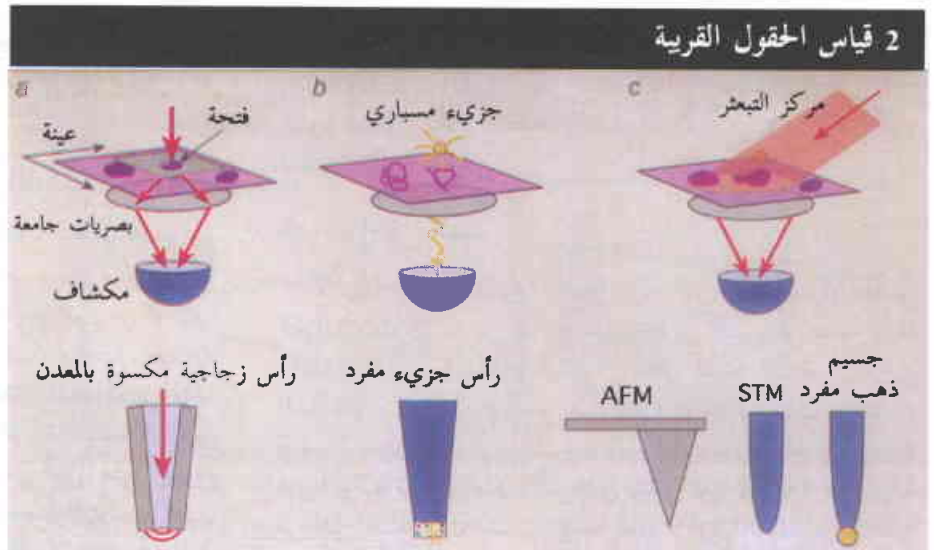
في التجارب الأولية، قامت مجموعتا IBM وكورنل بإطلاق ضوء عبر رأس كهربائي حادة مغطاة بمعدن وجرى توضيعها تماماً فوق سطح العينة. ومن فتحة بمقياس تحت - طول موجي عند نهاية الرأس الحادة تم توليد أمواج متموضعة لا منتشرة. وحُوّلت هذه الأمواج إلى أمواج منتشرة عندما جرت بعثتها من ملامح نانوية السلم على العينة. وكانت هذه الأمواج قابلة للقياس ضمن مكشاف تقليدي ذي حقل بعيد (انظر الشكل 2a). وبالعودة إلى عام 1928، نجد أن إدوارد هتشينسون سينغ Edward Hutchinson Synge قد اقترح التقنية ذاتها من أجل التغلب على حد الانعراج، لكن اقتراحه هذا كان مبتسراً إلى أبعد الحدود إذا ما قُورن بالتقانة التي كانت تسود في ذلك العصر، الأمر الذي جعل اقتراحه منسياً بعد فترة وجيزة. وتلى ذلك، في عقدي الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين، بضعة تلميحات حول إمكانية تجاوز حد الانعراج؛ لكن أولى التجارب الناجحة للحقل القريب كانت تلك التي ظهرت عام 1972 والتي أجراها إريك أش Eric Ash وج. نيكولاس G. Nicolls، من الكلية الجامعية في لندن، واستخدما خلالها الأمواج المكونية.

وانقضى ما يزيد على عقد من الزمن قبل أن تنخفض تكلفة التقانة بقدر كافٍ من أجل النموذج الضوئي لمجهر الحقل القريب. وكان التحدي الأكبر هو مسح فتحة صغيرة جداً تقع على بعد بضعة نانومترات فقط فوق سطح العينة مع ضمان أن تبقى الفتحة في الحقل القريب دون أن تتحطم داخل العينة. وقد تم حل هذه المشكلة في عام 1982 عقب اختراع

2 قياس الحقول القريبة

في الصغر بصورة كيفية في مسبار زجاجي مكسو بالمعدن. ويعود السبب في هذا إلى أن الضوء المار عبر المسبار سيتسرب إلى داخل المعدن بعمق محدود يُدعى بالعمق القشري skin depth، والذي يُقدر للألمنيوم بحوالي 7 نانومتر؛ وهذا يعني أنه لا بد للقطر الفعّال للفتحة أن يكون أوسع بمقدار 14 نانومتر على الأقل من القدر الفيزيائي للفتحة.

إن أحد الحلول البديهيّة لهذه المشكلة هو استبدال الفتحة بمنبع للضوء بالغ الصغر. وبالفعل، نحن نعلم أنه يمكن للمنبع الضوئي أن يكون صغيراً كصغر ذرة مفردة أو جزيء مفرد. لماذا، إذن، لا نسمح جزيئاً متألّفاً مفرداً عبر عينة ثم نجمع الضوء المبعثر كما هو الحال في تقنية SNOM التقليدية (انظر الشكل 2b)؟ لقد قام باقتراح هذه الفكرة لأول مرة لويس Lewis ومساعدوه في عام 1991، ثم حققتهما مجموعتنا العاملة لدى جامعة كونزاتنس في عام 1999 وذلك من خلال الجمع ما بين مجهرات المسبار الماسح ومطيافية الليزر وحيد الجزيء عند درجات حرارة منخفضة.



(a) بلجأ، في الشكل الأكثر شيوعاً للمجهرات الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب (SNOM)، إلى إنارة (سهم أحمر) العينة (باللون الأرجواني) من خلال فتحة. وعملياً، يتم أولاً شحذ ليف ضوئي ليشكل رأساً مستدقة تُكسى بعد ذلك بغلاف من الألمنيوم من أجل إيجاد فوهة بأبعاد تحت الطول الموجي عند نهايتها. وتشكل الصورة بتحرك العينة أسفل الفتحة؛ لكن الحاجة إلى التحكم في فصل العينة والرأس المستدقة يعني أن تشكل الصورة قد يستغرق وقتاً طويلاً.

(b) من الممكن أيضاً استخدام جزيء مفرد (كرة برتقالية اللون) كمنبع ضوئي نانومتري الحجم. وفي تجربة حديثة، قامت مجموعتنا العاملة في كونزاتنس، بإثارة جزيء مفرد داخل بلورة مكروية تم تركيبها عند نهاية الرأس المستدقة. وللمرة الثانية، تشكلت الصورة من خلال تحريك العينة.

(c) من الممكن أيضاً تطبيق تقنية SNOM باستخدام جسم في غاية الصغر لبعثرة الحقول اللامنتشرة (باللون الأحمر) على السطح. وتستخدم معظم التجارب الحالية مادة كهرنافذة مؤنّعة أو رأساً معدنية مستدقة مزودة عند نهايتها بكرة نانوية من الذهب تساعد في التمييز ضد التبثر الخلفي. ومرة أخرى، يتم تشكيل الصورة من خلال تحريك العينة.

كانت خطواتنا الأولى أن نظور طرائق

لربط بلورة مكروية مطعمة بجزيئات صبغية إلى نهاية ليف ضوئي. وفي ركازة صلبة، يجري تعديل طاقة الحالتين الأساسية والمثارة لكل جزيء بواسطة البيئة الموضوعية. هذا يعني أن كل جزيء يمتص ويصدر ضوءاً عند تواترات انتقال مختلفة قليلاً عن بعضها البعض. وعند درجة حرارة الغرفة تغدو هذه الاختلافات مهمة لأن سويات الطاقة تكون مشوهة بالتأثيرات الحرارية. من جهة ثانية، نجد أنه، عند درجات حرارة الهليوم السائل (أقل من 2K)، تصبح سويات الطاقة ضيقة إلى درجة لا تستطيع بعدها أن تتراكب، كما يمكن عندها إثارة الجزيئات الصبغية الإفرادية عن طريق توليف التواتر الليزري.

ومن المهم الإشارة إلى أنه ليس لدينا أي معلومات مكانية دقيقة بشأن الجزيء، إذ لا نعرف سوى أن التفلور ينشأ من جزيء مفرد يتوضع في مكان ما داخل بلورة مكروية صغيرة عند نهاية الرأس المستدقة. على أي حال، لم يكن الميز الذي حصلنا عليه (180 نانومتر) جزيئياً لأنه من المرهق جداً - كما يعد محض صدفة - أن يُثار جزيء يتوضع تماماً على الحافة الخارجية للبلورة كي يحصل استغلال تام للحقول القريبة.

وفي تجارب أجريت مؤخراً، استبدلنا البلورات المكروية ببلورات نانوية عرضها بحدود 200 نانومتر، وذلك كي نتاح للضوء الصادر عن أي من الجزيئات فرصة الوصول إلى الحقول القريبة للركازة. ورغم أن هذه التجربة تمثل شيئاً من التحدي إلا أن هناك احتمالاً بأن يحقق توجعنا هذا الهدف النهائي في التوصل إلى ميز جزيئي. عند هذا الحد، لم يعد بعد الآن ممكناً

المجهر النفقي الماسح (STM) scanning tunneling microscope الذي أتاح مسح رأس مستدقة ناقلّة تقع على مسافة تقدر بجزء من النانومتر فوق ركازة ناقلّة. وفي أوائل التسعينيات، تم اختراع طريقة جديدة أخرى تعرف باسم "مجاهرات قوة القص shear-force microscopy" والتي سمحت بتثبيت المسافة ما بين العينة والمسبار حتى بالنسبة للسطوح غير الناقلّة. وهذه التقنية - التي جرى تطويرها بشكل مستقل من قبل إيريك بتزيغ Eric Betzig العامل لدى مختبر Bel في الولايات المتحدة، ومهدي فايز إرافاني Mehdi Vaez Irvani الذي يعمل حالياً لدى KLA Tencor في كاليفورنيا - تعتمد على التخميد بحيث أن الاهتزازات الجانبية للرأس تكشف بالضبط بضعة نانومترات فوق السطح.

تحديات وحلول

يعتمد نجاح القياس بتقنية SNOM عملياً على قَدّ وسطوع الفتحة التي تعتمد بدورها على نوعية عملية تصنيع المسبار. وإلى حد ما، يبدو عجبياً في هذا العصر من التقانة النانوية - حيث يمكن فيه تحريك ذرات فردية حول سطح ما - أن يظل أمراً صعباً إيجاد طريقة محكمة وفعالة لتصنيع مسبار ذات فتحات تقع أقطارها في حدود 50 نانومتر.

وسبق أن اقترحت واخترت العديد من الأساليب غير أن لكل منها مساوئه أو معيقاته الخاصة به الأمر الذي ترك أفضل الميز في مجال ما بين 100 و 50 نانومتر. وحتى في حال إزالة جميع العوائق التقانية سيبقى غير ممكن تحقيق حلم الوصول إلى ميز جزيئي؛ إذ لا يمكن صنع فتحة متناهية

أنه من الناحية العملية لا يزال المرء يكافح ضد العجز في قابلية التكرار reproducibility والفهم الكمي للتنتائج، ذلك لأن التفاصيل المجهرية - النانوية لشكل الرأس المستدقة والاستجابة الضوئية للمادة تبقى أموراً مجهولة أو غير معروفة.

تقنيات الحقل البعيد

لا تزال المجهرات الضوئية الماسحة ذات الحقل القريب تمثل واحداً من حقول البحث الحديثة التي لم تبلغ بعد مرحلة من النضج كي تصبح سهلة التطبيق. كذلك، يقود التأثير الميكانيكي اللازم لضبط المسافة بين الرأس المستدقة والعينة إلى سرعة مسح بطيئة تقع دون 10 ميكرونات في الثانية؛ أو بعبارة أخرى، سيستغرق ذلك زمناً قدره ثلاث سنوات لتصوير مساحة قدرها بوصة مربعة واحدة، الأمر الذي يجعل تقنية SNOM غير جذابة من أجل استخدامات صناعية. وبناء عليه، لا يزال العديد من الباحثين يتطلعون إلى تحقيق صور عالية الميز باستخدام طرائق الحقل البعيد.

وأقدم التقنيات وأكثرها انتشاراً هي المجهرات الضوئية الماسحة متحدة البؤرة scanning confocal optical microscopy والتي تم اكتشافها في الخمسينيات من القرن الماضي من قبل مارفن منسكي Marvin Minsky من جامعة هارفارد. وحسب ما ورد في الاقتراح الأصلي للباحث منسكي، يجري تمرير الضوء الصادر عن منبع ضوئي عبر ثقب إبري ثم يجري تبثيره فوق العينة حيث يشكل بقعة محدودة الانعراج. ويُعمل ثقب إبري ثانٍ قرب المكشاف على إعاقة أي ضوء خارج عن البؤرة، مما يضمن بالتالي أن الضوء الذي سيكشف هو فقط ذلك المَبَار الصادر عن عمق خاص (الشكل 3). والفائدة الرئيسة للمجهرات متحدة البؤرة، التي تميزها عن المجهرات التقليدية ذات الحقل الواسع، هي قدرتها على فحص الجسم من أعماق مختلفة، وبالتالي بناء صورة ثلاثية البعد.

ونضجت تقنية المجهرات متحدة البؤرة وتحولت إلى أداة تجارية عقب اختراع الليزر حيث قَدِّمَتْ حزمًا مُبَارَةً بإحكام ذات نوعية عالية مقترنة بشدات عالية ضمن عدد متنوع من عصابات الطيف الضيقة. وعند أطوال موجية مرئية، يمكن للمجهرات متحدة البؤرة أن تحقق ميزاً محدود الانعراج من رتبة 300 نانومتر - وهذا يُعدُّ أسوأ ثلاث مرات من الميز الذي ينجم عن قياس روثيني يُؤخذ بتقنية SNOM - ولو أنها تُقدِّمُ تصويراً ثلاثي البعد. وعند استخدام المجهرات متحدة البؤرة، يجري مسح العينة وهي تحت بقعة الضوء كما هو الحال عند مسحها بتقنية SNOM، لكن الفارق هو أن سرعة المسح تكون أعلى كثيراً نظراً لأن المسبار (ذا البقعة الليزرية) والعينة ليسا في وضع تماس ميكانيكي.

وإحدى المشاكل التي تلازم المجهرات متحدة البؤرة هي إثارة حجم واسع من العينة رغم أن الضوء الوحيد المجمع هو ذلك الموجود في البؤرة. وهذا التعرض الشديد لأشعة الليزر قد "يُفْضِرُ" أو يخفف من لون الجزيئات الصبغية المفلورة والتي تستخدم عادة لوسم العينات الحيوية. ولتحقيق أقل قدر من تأثير التعرض للضوء، لجأ وات وب Watt Webb ومساعدوه، من جامعة كورنل في الولايات المتحدة، إلى استغلال عملية امتصاص فوتونين اثنين. في هذه الحالة تُثار الجزيئات الصبغية فقط عند امتصاصها لاثنتين من فوتونات الطول الموجي الطويل في الوقت ذاته.

أن تطبق عملياً الخواص المجهرية للمواد والسطوح، كقربنة الانكسار مثلاً، بل يجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار التأثير الضوئي بين المسبار وكل جزءي ضمن العينة بشكل إفرادي.

ذروة الرؤوس المستدقة لمجهرات الحقل القريب

توجد طريقة أخرى لتنفيذ تجارب SNOM بدون فتحات تعتمد على تبثر الحقول اللامنتشرة التي تتولد عند إثارة جسم ذي قسمات بالغة الصغر (الشكل 2c). وكان الرُّؤَادُ الأوَّلُ في إجراء هذا النوع من التجارب هم الباحثون ضمن مجموعة كومار فيكراماسينغ Kumar Wickramasinghe، العاملة لدى مختبرات IBM للبحوث في مدينة يوركتاون هايتس "Yorktown Hights" في الولايات المتحدة، الذين استخدموا الرأس المستدقة لمجهر القوة الذرية من أجل بعثرة الأمواج وتحويلها إلى أمواج منتشرة يمكن كشفها. وقامت مجموعات بحثية أخرى بإجراء تجارب مماثلة مستخدمين فيها رؤوساً مستدقة معدنية؛ غير أن جميع هذه التجارب استخدمت إثارة الحقل القريب فوق مساحة كبيرة وهذا يؤدي إلى تبثر مشوش صادر عن العينة أو عن جذع الرأس المستدقة. ونتيجة لذلك، فإن نسبة الإشارة إلى الضجيج تكون غير مؤاتية جداً مما يجعل القيام بدراسات منهجية أمراً صعباً للغاية.

ولإجراء تحسين على هذه التقنية بدأنا بتجارب تمَّ فيها ربط كرة نانوية من الذهب أو الفضة في نهاية رأس الليف الزجاجي ومن ثمَّ تمَّ استخدامها كمبعثر نانوي واضح المعالم. ولثل هذا المسبار فوائد عدَّة تتيح إجراء دراسة منهجية لآلية التصوير في هذا النوع من تقنية SNOM. الفائدة الأولى، هي أن المرء يستطيع، باختياره لحجم ومادة الكرة النانوية، أن يتحكم، وبدرجة عالية جداً، في الاستجابة الضوئية للمسبار. والفائدة الثانية هي أننا نستطيع استغلال إجمالي اهتزازات الإلكترونات داخل الكرة النانوية والتي تشكل تجاوباً عند أطوال موجية خاصة. وبالفعل، تتيح لنا تباعية الطول الموجي للتبعثر من الجسم النانوي أن نفصل إسهامه عن ذلك الخاص بكل من جذع الرأس المستدقة والعينة. إضافة لما سبق، يُبدي المسبار آتف الذكر دوراً واعداً في التصوير ثلاثي الأبعاد.

وإضافة إلى كون الرأس المستدقة تبثر الأمواج ببساطة فإنها تستطيع أيضاً أن تعزز الحقول الكهربائية. ويُعزى التأثير الأخير، والذي يعرف عادة باسم تأثير "قضيب الصواعق lightning rod" إلى حقيقة أن الحقل الكهربائي يصبح قوياً بالقرب من الحواف المستدقة لأجسام معدنية. وفي ظروف ملائمة، يغدو ممكناً تحقيق مزيد من التعزيز لهذا الحقل الكهربائي بسبب التجاوبات البلازمونية plasmon resonances في الرأس المعدنية المستدقة. وفي عام 1999، استخدم سني زاي Sunny Xie ومساعدوه، العاملون لدى مختبرات شركة Pacific Northwest في الولايات المتحدة، رأساً معدنية مستدقة لإثارة عملية امتصاص فوتونين اثنين عند سلاط طولية قدرها حوالي 10 نانومتر. وفي الفترة ذاتها استخدم الباحثان فريتز كايلمان Fritz Keilmann وبرنهارد نول Bernhard Knoll، لدى معهد ماكس بلانك للكيمياء الحيوية في مدينة Martiensried بألمانيا، ترتيباً مماثلاً لما سبق ذكره من أجل إجراء قياسات طيفية على خليط بوليمير الذي له ميز مكاني يبلغ حوالي 100 نانومتر في مجال الأشعة تحت الحمراء. ويُعدُّ الجمع بين التبثر الموضعي وتعزير الحقل إجراءً واعداً، ولو

وقد أدى التداخل بين الحزم على جانبي العينة إلى ظهور توزع لشدة موجة مستقرة على طول محور جسمية المجهر (انظر الشكل 4). وتُعدّل هذه الموجة المستقرة شدة الضوء مما يقلل بالتالي من نطاق المنطقة التي تسهم في الإشارة عند مقارنتها بالحزمة المنتشرة. وقد حسّنت التقنية المذكورة آنفاً الميز ليصبح في حدود 100 - 150 نانومتر متجاوزاً بذلك إلى حدٍ كبير الميز الخاص بالمجهر متحد البؤرة.

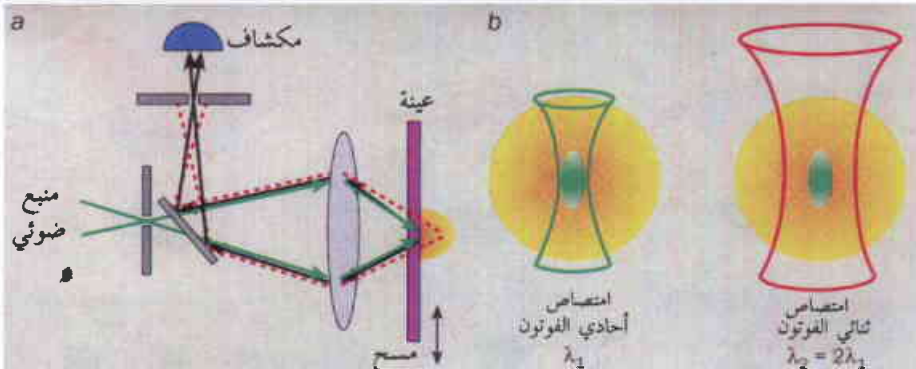
ومنذ فترة قصيرة جداً، استخدم هيل وزملاؤه خطةً ذكية أخرى لتحسين ميز المجهرات متحدة البؤرة الماسحة بالفلورة fluorescence scanning confocal microscopy. فلجؤوا أولاً، إلى إنارة الجزيئات الصبغية في العينة مستخدمين حزمة ليزرية مزودة ببقعة محدودة الانعراج، ثم قاموا بتوجيه حزمة ليزرية ثانية على نقطة مجاورة بحيث أضحت البقعتان متداخلتين جزئياً. وقد أُجبرت الحزمة الثانية أي جزيء

مثار ضمن منطقة التداخل أن يتحول إلى حالته الأساسية من خلال إصدار محرض - وهي عملية تحدث بسرعة أعظم كثيراً من عمر التفلور للمادة الصبغية-. وبعد فترة تأخير قصيرة، كشفوا الضوء المُضدّر من الجزيئات المتبقية عندما تُزال الإثارة طبيعياً. ونظراً لأن هذه الجزيئات قد أتت من منطقة أصغر من قَد البقعة الأصلية، تمكنت مجموعة غوتنغن من قهر حد الانعراج بطريقة بارعة. وبالفعل، استطاعت المجموعة، عند مسحها للعينة، أن تحقق ميّزاً من مرتبة $\lambda/10$.

سبق أن نوقشت في الأدبيات العلمية طريقة أخرى تستخدم مجهرات الحقل البعيد ويمكنها أن تفرق حتى بين جزيئين يفصل بينهما بعداً لا يتعدى 1 نانومتر. وعلى الرغم من أن صورة الجزيء هي بقعة محدودة الحجم، إلا أننا نستطيع تحديد مركز الصورة بدقة جيدة ومتحكم بها إذا كانت البقعة ساطعة جداً. ولو أمكننا فعل الشيء ذاته لجزيء ثانٍ، فإننا نستمكن بصورة آلية من فصلهما، أو بعبارة أخرى، ستمكّن من التفريق بينهما.

وإذا كان الجزئان لا متمايزين، فمن البديهي، عندئذ، أن تتمزج صورتاهما وأن لا نستطيع تمييز أحدهما عن الآخر؛ وهذا تماماً ما أشار إليه رايلي. لكن الحالة ستكون مختلفة إذا تعاملنا مع جزيئين لهما خصائص متميزة قابلة للفصل داخل محلل (انظر الشكل 5a)، كأن يكون للجزيئين - على سبيل المثال - أطوال موجية امتصاص أو إصدار، مختلفة أو أنهما يتمتعان باستقطابي امتصاص أو إصدار متمايزين، أو أن يكونا متباينين في عمر التفلور. وعملياً، تبلغ الدقة في تحديد موضع جزيء ما حوالي 30 نانومتر (حوالي $\lambda/20$)، وهي دقة محدودة بالاستقرار الضوئي الضعيف لجزيئات الصبغة عند درجة حرارة الغرفة.

3 تقنيات تصوير الحقل البعيد



(a) في المجهرات متحدة البؤرة، تُثار العينة عبر ثقب إبري (خطوط خضراء)، كما يجري كشف إشارة الفلورة من الحجم ذاته عبر ثقب إبري ثانٍ (خطوط سوداء). والمرآة في الجهاز هي لوانانية، أي أنها تنفذ بالطول الموجي للإثارة وتنعكس بالطول الموجي للفلورة. هذه التقنية شائعة الاستخدام في علم الأحياء حيث يتم استعمال الجزيئات الصبغية المفلورة كواسمات. هذا، ولا يصل إلى المكشاف سوى الضوء الصادر من حجم صغير وعمق محدد، في حين لا يستطيع الضوء الصادر من مكان آخر أن يمر عبر الثقب الإبري الثاني (خطوط حمراء منقطعة). ويستخدم المجهر متحد البؤرة الأكثر حداثة حزمة ليزرية غوسية Gaussian laser beam.

(b) يتطلب المجهر متحد البؤرة ثنائي الفوتون (إلى اليمين) فوتونين اثنين لإثارة الجزيئات، وهكذا يكون الطول الموجي للإثارة أطول بمرتين مما هو عليه في المجهر متحد البؤرة أحادي الفوتون. لكن الطبيعة اللاخطية لعملية الإثارة تعني أن الجزيئات التي سُتار هي فقط تلك التي من الحجم الصغير (المنطقة الخضراء) حول محيط بؤرة الليزر. هذا يعني أن الميز هو ذاته في الحالتين رغم أن البؤرة في حالة الفوتون الثنائي (أحمر) تكون أضخم مما هي عليه في حالة الفوتون المفرد (أخضر).

ونظراً لأن سرعة امتصاص الفوتونين تكون متناسبة مع مربع شدة الليزر، يغدو تبخير الحزمة ممكناً بحيث لا تحدث الإثارة إلا في مركز البؤرة تماماً. وبناء عليه، لن يتأثر لون الجزيئات الصبغية التي تكون خارج نطاق البؤرة.

وللمجهرات ثنائية الفوتون بعض، من المزايا الأخرى. فالبصريات فيها تكون أبسط وأسهل كثيراً في تراصفها لأن الإشارة تأتي من حجم بالغ الصغر بحيث لا يتطلب الأمر وجود ثقب إبري. كذلك يتضمن هذا النوع من المجهرات قدراً من المكونات البصرية ذات النوعية العالية من أجل أطوال موجية طويلة في مجالي الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريب أعظم من ذلك القدر الخاص بالأشعة فوق البنفسجية. من ناحية أخرى لا يمنح المجهر ثنائي الفوتون أي فائدة بدلالة الميز، ذلك لأن كسب الميز الحاصل عبر العملية اللاخطية يضعف بسبب حقيقة عدم إمكانية إجراء تبخير محكم للإثارة بأطوال موجية طويلة (انظر الشكل 3b).

توجه ذكي إلى مجهرات الحقل البعيد

رغم أن المجاهر متحدة البؤرة وثنائية الفوتون قد استحوذت على الكثير من الاهتمام إلا أن ميزها بقي محدوداً بالانعراج. لكن مجموعات بحثية عديدة تعمل حالياً على تطوير طرائق جديدة من أجل مدّ وتحسين مجهرات الحقل البعيد التقليدية إلى ما وراء حدّ الانعراج. وأكثر هذه المجموعات نشاطاً في هذا المجال هي تلك التي يقودها ستيفان هيل Stefan Hell لدى معهد ماكس بلانك للكيمياء الفيزياء الحيوية في مدينة غوتنغن بألمانيا. ومن خلال التقنيات المعروفة باسم "مجهرات 4Pi"، قام هيل ومساعدوه بجمع وإثارة الضوء الصادر عن عينة عبر اثنتين من العدسات الجسمية للمجهر.

ويبين المثال الأخير كيف يمكن لآلية انتقال الطاقة بين الجزيئات المتقبلة والمانحة، المعروفة باسم "فورستر Föster لنقل الطاقة، أن تُظهر الحركة الجزيئية والانفصالات الحاصلة عند سلالمة أدنى من 10 نانومتر. وكان أول من استخدم هذه الطريقة عند سوية الجزيء المفرد سيمون وايزر Shimom Weiss ومساعدوه العاملون لدى مختبر لورنس بركلي الوطني. وتستخدمها في الوقت الراهن، مجموعات أخرى. تُؤسّم نهايتا البروتينين بآئين من الجزيئات الصبغية الخاصة المنتقاة بحيث تتساوى طاقة الإصدار للجزيء المانح مع طاقة الامتصاص للجزيء المتقبل (الشكل 5b).

وعندما يغير جزيء البروتين شكله بحيث تغدو نهايتاه على مسافة 10 نانومتر من بعضهما، عندئذ ستؤدي التأثيرات بين الجزيئات المانحة والمتقبلة إلى انتقال الطاقة. وإن كشف الضوء عند الطول الموجي الإصداري للمتقبل يُعدّ بمثابة إشارة واضحة على أن نهايتي البروتين أصبحتا قريبتين من بعضهما.

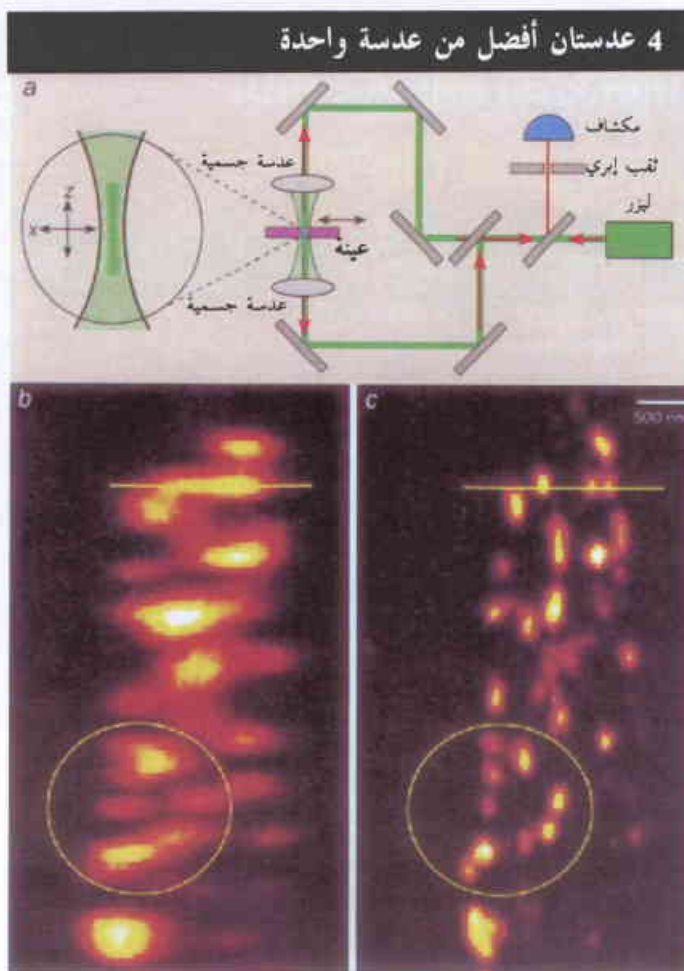
توقعات لمستقبل ساطع

تضمن المجهرات التقليدية إنارة العينة ومن ثم كشف الضوء المنعكس أو النافذ أو المبعثر؛ وكما أشار آبي قبل حوالي 100 سنة، عندما تحدث هاتان العمليتان في الحقل البعيد يتحدد الميز بقوانين الانعراج ليصل في أفضل الأحوال إلى $\lambda/3$. لكن المرء يستطيع من خلال سير الحقول القريبة غير المنتشرة، أن يتغلب على حدّ الانعراج ويحصل كفيّاً على ميز جيد. وحتى نفع ذلك، تلزمنا إشارة على قدر كافٍ من الضخامة تنجم عن تأثير مسبار المجهر النانوي مع العينة عند الفصل الصغير جداً.

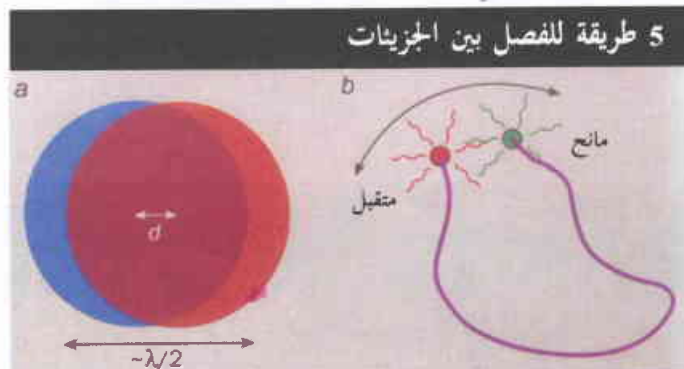
وحتى وقتنا الراهن، لا يزال الميز المعلن عنه في الأدبيات العلمية يتراوح ما بين $\lambda/5$ ولغاية $\lambda/100$. ورغم عدم وجود حدّ أساسي أعلى للميز المتاح بتقنية SNOM، تظل هناك بعض المشاكل التقنية الواجب حلها قبل أن تصبح هذه التقنية أداة روتينية. ومع ذلك، قدّمت تقنية SNOM للمجتمع العلمي إسهاماً لا يقدر بثمن، إذ استطاعت اختراق سلطان حدّ الانعراج كما مهّدت الطريق أمام توجهات أو طرائق جريئة من أجل الحصول على ميز دون الطول الموجي حتى في مجهرات الحقل البعيد.

إن الهدف من معظم استخدامات المجهرات الضوئية، هو تعلم المزيد أو دراسة بعض السمات المحددة للعينة (بشكل مفصل ودقيق) معتمدين بذلك على مبدأ فحصها نقطة فنقطة. ولا شك بأن حرية الوصول إلى معلومات طيفية بشأن المنظومة هو موضوع دراسة وسيفتح الباب إلى سلالمة أطوال أصغر جداً من تلك التي يسمح بها حدّ الانعراج. في الوقت ذاته، تبقى إمكانية الجمع بين عدة تقنيات مجالاً للبحث والاكتشاف، كأن يجري مثلاً الجمع ما بين مجهرات القوة الذرية بالحقل القريب أو التصوير الضوئي بالحقل البعيد.

وفي هذه المرحلة، تتطلب الجهود السابق ذكرها باحثين مهرةً بالإضافة إلى أجهزة ومواد يجري تصميمها وفقاً للمواصفات واحتياجات



(a) في مجهرات 4Pi، توضع العينة بين العدستين الجسيتين للمجهر. ويتداخل الضوء في الذراعين بشكل مترابط محدثاً نمطاً لموجة مستقرة تتراكب على بروفيل الليزر العرفي. (b) صورة مأخوذة بمجهر عادي متحد البؤرة للأنيبيبات ضمن خلايا الأرومة الليفية لفأر في المستوى Z-X. (c) صورة مأخوذة بمجهر 4Pi متحد البؤرة للأنيبيبات ذاتها تظهر قدرأ أعظم من التفصيلات الأمر الذي يعكس تحسناً في الميز.



(a) تتراكب صورتا الجزيئين إذا كان فصلهما أصغر بكثير من $\lambda/2$. لكننا نستطيع تمييز البقعين والتفريق بينهما عندما يُصدر الجزيئان الضوء بطولين موجيين مختلفين. (b) نستطيع دراسة بعض من خواص جزيئات البروتين، عند سلالمة في حدود 10 نانومتر، عن طريق ربط جزيء متقبل إلى إحدى نهايتي البروتين وجزيء مانح إلى النهاية الأخرى. عندما تصحح المسافة بين النهايتين المذكورتين أقل من حوالي 10 نانومتر، يمكن للجزيء المتقبل أن يتلقى طاقة من الحالة المثارة للجزيء المانح، وبالتالي يعيد الجزيء المتقبل إلى تحوير هذه الطاقة كضوء له طول موجي مميز. لذلك، تُعدّ ملاحظة الضوء المذكور أنفاً دليلاً على تحرك نهايتي جزيء البروتين إلى تقارب وثيق من بعضهما البعض.

إضافة إلى منابع ليزرية أرخص وأعظم اندماجاً، سيساعد كثيراً على دعم هذه العملية. ومع ذلك، يجب علينا أن نتذكر بأن فن المجهرات أصبح حقلاً شديداً الاختصاص إلى حدٍّ لا يُحتمل فيه أن تتمكن تقنية واحدة بمفردها من الإجابة على مشاكلنا كافة.

من جهة ثانية لو أتيح لنا إعطاء فكرة صحيحة عن سرعة تقدم هذا الحقل خلال العقد الماضي، فإننا سوف نتوقع الكثير من الفرص الجديدة في مجال دراسة الظواهر الضوئية عند السلم النانوي. وإن استنباط جزيئات صبغية ذات استقرار ضوئي أشد أو مواد متألفة جديدة،

REFERENCES

المراجع

- [1] P. French 1999 Biomedical optics Physics World June pp41-46.
- [2] T. Klar et al. 2000 Fluorescence microscopy with diffraction resolution barrier broken by stimulated emission Proc. Natl Acad. Sci. 97 8206-8210.
- [3] M. Paesler and P. Moyer 1996 Near-field Optics: Theory Instrumentation and Application (John Wiley & Sons).
- [4] V. Sandoghdar 2001 Trends and developments in scanning near-field optical microscopy Proc. Int. School of Physics Enrico Fermi (ed) M. Allegrini, N. Garcia and O. Marti (IOS Press, Amsterdam) pp65-120.
- [5] S. Weiss 1996 Fluorescence spectroscopy of single biomolecules Science 283 1676-1683.■



ترويض الضوء بالذرات الباردة*

ل. فيسترغارد هار
جامعة هارفرد - الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

يمكن أن تؤدي قابلية إيقاف الضوء في مساراته أثناء إمراره خلال ذرات فائقة البرودة إلى تقنيات جديدة في الحزن الضوئي. الكلمات المفتاحية: ليزر اقتران، خطوط تأخر، تبريد تبخيري، الفضاء الحر، مولاس ضوئي، شديد الانحدار، فائق البرودة.

ومع ذلك، يجب علينا إذا أردنا حقاً دفع الحدود أو التوسع في الاتصالات الضوئية، أن نثبّع كامل السبل الجديدة للتطوير وبذلك تكون تلك السبل أكثر من كونها اضطرابات في التقدم الذي رأيناه حتى الآن. ومن المحتمل أن تلعب منظومات الميكانيك الكومومي غير الكلاسيكي دوراً مهماً. إذ أنها ستقدم إمكانات جديدة كلية في الأوساط الضوئية، وأتنبأ بأننا سنرى تقدماً كبيراً عند المنطقة البيئية بين الفيزياء والفيزياء التطبيقية والهندسية.

إن الإمكانية المثيرة جداً في الاتصالات الضوئية ذات الصلة بالاكتشاف الحديث هي أنه من الممكن تبطيء الضوء بعدة مراتب من المقادير - وحتى يمكن إيصاله إلى التوقف التام - في سحابة من الذرات فائقة البرودة. ويمكن أن تقود قابلية إيقاف الضوء في مساراته إلى طرائق جديدة وجديرة بالملاحظة لحزن وتداول الإشارات الضوئية وحتى يمكن أنها تقود إلى تقنيات جديدة للحوسيب الكومومية وللاتصالات.

تبطيء الضوء حتى التوقف التام

تقول لين هار L. Hau أن القصة بدأت منذ ثلاث سنوات في شهر آب من عام 1998 عندما نجح فريق أبحاثها في معهد رولاند في كامبردج، ماساشوستس، في تخفيض سرعة نبضة ضوئية إلى 38 ميل في الساعة فقط - وهي حوالي سرعة راكب دراجة في سباق الدراجات في فرنسا - وما فعلناه كان تبريد ذرات الصوديوم إلى 50 جزءاً من البليون من الدرجة فوق الصفر المطلق ومن ثم إنارتها بحزمة ليزر مولفة بعناية. عُيّر "ليزر الاقتران" هذا الخواص الضوئية للذرات بشكل دراماتيكي بحيث نجد أنه عندما أرسلت نبضة ليزرية منفصلة خلال السحابة الذرية، انخفضت سرعتها بعامل 20 مليون تقريباً. تأثر حجم نبضة الضوء أيضاً إذ تقلص من



مركبة بطيئة - لين هار مع منظومة الليزر التي استخدمتها مجموعتها لجمع الضوء بتوقف تاماً.

ستدرك مثل أي إنسان يستخدم الإنترنت - شبكة الاتصالات العالمية بالحاسوب - أن السنوات العشر الأخيرة قد أظهرت بعض التطورات التي لاتصدق بالاتصالات. فنحن نستطيع الآن أن نرسل بريداً إلكترونياً لأصدقائنا الذين يبعدون عنا آلاف الأميال، وأن ننقل أوراق البحوث من مسافات بعيدة إلى حاسوب صغير بشوان. ويعود كثير من هذا التقدم الرائع إلى التحسينات التي حصلت في الاتصالات الضوئية. وبالرغم من التقارير الحديثة عن الانكماش في النشاط المالي في قطاع القناة الضوئية فإننا نقف حالياً عند مرحلة مثيرة جداً إذا اقتصر الأمر على القناة في حد ذاتها.

ومع ذلك، فإن الطريقة التي نتواصل فيها ضوئياً لاتزال في الواقع نمطاً قديماً. حيث نرسل نبضات ضوئية عبر ليف، ومن ثم نحول في كل منطقة تقاطع مهمة، المعلومة إلى إشارات إلكترونية. ثم بعدئذ نعالج المعلومة إلكترونياً قبل تحويلها ثانية إلى إشارات ضوئية ونرسلها في طريقها ثانية عبر ليف ضوئي آخر.

وإذا أردنا الاستمرار في تحسين السرعة التي نتواصل بها، فعلىنا أن نجد السبل لتجنب هذه الخطوات التحويلية بحيث نستطيع معالجة المعلومة ضوئياً. وإحدى الطرائق لتحقيق هذا الأمر تكون من خلال الضوئيات اللاخطية - التي يتم فيها استخدام حزمة ليزرية واحدة في تحويل الخواص الضوئية لحزمة ليزرية أخرى. وبالرغم من أن الضوئيات اللاخطية قد جرى بحثها تقليدياً ككأثير غير مرغوب فيه، لأنها تجعل النبضات تنتشر وبذلك تُتلف المعلومة، فإن هذا التصور قد تغيّر الآن. ويمكن، في المستقبل، استخدام الضوئيات اللاخطية لصنع مبدلات ضوئية، وخطوط تأخير، ودويرات ومعدلات الطور - وستبقى هذه الأمور مطلوبة من أجل المعالجة الضوئية الصرفة.

* نشر هذا المقال في مجلة Physics World, September 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

نقترحها فيما يتعلق بخطوط التأخير هي أنه من الممكن تعديل التأخيرات باستمرار حتى نصل إلى التأخيرات المطلوبة وذلك بتغيير شدة ليزر الاقتران بكل سهولة.

توليد سحب الذرات الفائقة البرودة

كيف نولد هذا الوسط غير الطبيعي إلى حد ما والذي يستطيع أن يُطَيء الضوء أو حتى يوقفه؟ إن ما نفعله هو تبريد الذرات المأسورة في مغنطيس كهربائي إلى درجات حرارة منخفضة - وهذا ما يمكن تسميته بـ "براد ذري" - (الشكل 1a). يتم توليد الذرات من منبع حزمة ذرية مصمّم على شكل شمعدان. ولقد سُئني بذلك لأنه يعمل كما تعمل الشمعة. تسحب الذرات بفعل الخاصية الشعرية من حوض من الصوديوم السائل فوق فولاذي ناعم مطلي بالذهب (الفتيلة) إلى مسخّن يقوم على تبريدها. (الشكل 1b) يخرج الفيض الشديد من ذرات الصوديوم الساخنة بعدئذٍ بحف من ثقب صغير بسرعة وسطية تبلغ 700 ms^{-1} . إن هذه الذرات سريعة جداً إلى حد لا يمكن استخدامها مباشرة، ولهذا تُجأبه فوراً من الأمام بحزمة ليزر باستخدام ضغط الإشعاع لتبطيء الذرات في نبضة طولها 1m تُعرف باسم "مُطَيء زيمان". تكون النبضة فعالة إلى حد أنه بعد ملي ثانية تتباطأ الذرات إلى 50 ms^{-1} تماماً.

نُحَلّل الذرات عند هذه المرحلة على "مولاس ضوئي" - وهي المنطقة الواقعة في وسط حجرة الخلاء فوق العالي الرئيسية - حيث تقارب الثلاثة أزواج من حزم الليزر الصفراء المتعاكسة الانتشار، والمولّفة إلى ما تحت التجاوِب الذري تماماً. تتزاح تلك الذرات التي تستقبل الضوء بفعل دوِبلر إلى تواتر تستطيع به أن تمتص وترتد من ركلات الاندفاع الصغيرة للفوتونات الممتصة، متباطئة بذلك ومبرودة في نهاية العملية. وفي غضون بضعة ثوانٍ يحمل المولاس الضوئي حوالي 10 بليون ذرة مبرودة إلى 50 جزء من المليون من الدرجة فوق الصفر المطلق. إن هذه الذرات باردة إلى حد بعيد، ولكن ما نريده هو أن تكون العينة باردة إلى حد أبعد.

ومن أجل خطوة التبريد التالية نوقف جميع حزم الليزر ولذلك يكون المختبر في ظلام دامس. ونرسل في الوقت نفسه تياراً شدته 1000 أمبير في مغنطيس كهربائي "4 Dee" وهو على شكل أربعة أحرف D. ولما كان لذرات الصوديوم عزم ثنائي قطب مغنطيسي، فإننا نستطيع أسرها في حقل مغنطيسي أصغري يقع عند منتصف المغنطيس الكهربائي.

نبدأ بعد ذلك بعملية "التبريد التبخيري" التي تعمل إلى حد ما بالطريقة نفسها التي يبرد فيها كوب من القهوة. تهرب الذرات الأكثر سخونة تاركة الذرات الباقية وراءها للتصادم وتعيد توازنها في درجات حرارة أخفض قبل أن ترحل المجموعة الثانية من الذرات الساخنة وبالتالي تبرد الذرات الباقية أكثر. على كلٍ سوف لانتظر عملياً كي ترحل الذرات الأكثر سخونة. إننا نساعد هذه الذرات في شق طريقها مستخدمين "مطيافة التجاوِب المغنطيسي". ويتطبيق حقل تواتر راديوي وبمسح التواترات بطريقة منسقة بعناية، فإننا نستمر في طرد الذرات الأكثر سخونة حتى تبقى عينة من الذرات المأسورة مغنطيسياً والباردة إلى حد يمكن لأطوال أمواج "دو بروي" لها أن تقارن مع المسافة بين الذرات.

كيلومتر واحد في الفضاء الحر إلى 0.05 mm فقط داخل الوسط. لقد تم احتواء النبضة بشكل كامل في داخل سحابة ذرية فائقة البرودة طولها 0.1mm ولها شكل السيجار.

يقع التطبيق المتعمق والمفيد للضوء الفائق البُطء في الأخطيات الضوئية الكبيرة التي تولّد عندما يتم تبطيء الضوء إلى مثل هذه السرعات البطيئة جداً. وتتطلب الضوئيات اللاخطية - التي يمكن أن تُستخدم، على سبيل المثال، في زيادة تواتر ضوء الليزر - عادة حقولاً ليزرية قوية. على كلٍ، لقد توصلنا بالدليل إلى "قرينة انكسار لاخطية" - وهي قياس الحد الذي تستطيع فيه حزمة ليزر أن تُغير الخواص الضوئية للوسط كما تُرى بحزمة ليزر أخرى - أكبر بمقدار 14 مرتبة منها في الليف الضوئي. بالفعل إنهما قرينة الانكسار الأكبر التي تم قياسها في أي وقت، وهو أكبر بعامل مليون. لقد أماط عملنا اللثام عن نظام جديد من الضوئيات اللاخطية عند سويات ضوء منخفض إلى حد كبير. في الواقع إن الضوئيات اللاخطية القريبة من سوية الفوتون المفرد ممكنة أيضاً.

لقد خطونا حالياً خطوة أبعد، فلم نكتفِ بتبطيء الضوء بل استطعنا حقيقة أن نوقفه ونحجزه ونولّد ثانية نبضات ضوء فردية. وبكلمة أخرى، لقد وجدنا طريقة لحزن واسترداد المعلومة الضوئية - بما فيها معلومة الطور - باستخدام وسط ذري وبكفاءة تصل إلى 100% في عمليات القراءة والكتابة. لقد حصلنا على سرعات الضوء المنخفضة هذه - وأوقنا الضوء نفسه - في وسط ضوئي جديد مشكّل من منظومة معقدة من ذرات فائقة البرودة وليزر اقتران. ويمكن للخواص الضوئية لهذه المنظومة المقترنة أن تُغيّر بواسطة تعديل بسيط في شدة وفي تواتر ليزر الاقتران. ولابد من الإشارة إلى أنّ ميزات المنظومة تعتمد بشكل أساسي على تأثيرات الميكانيك الكومومي الهشّة.

يمكن استخدام الضوء البطيء مثلاً لابتكار مبدلات ضوئية حساسة جداً. وباستخدام ليزر اقتران لجعل سحابة من الذرات الباردة شفافة في البدء لنبضات الضوء، ومن ثمّ يمكن استخدام حزمة ليزر ثالثة لمراقبة فيما إذا كانت النبضات تمر خلال السحابة أم لا. إن فتح - أي تشغيل - الليزر الثالث سوف يمنع النبضات من أن تكون قد أرسلت، وإغلاقه - أي توقيفه - سيؤدي إلى إرسال النبضات مرة ثانية. وفي هذه الحالة يمكن للطاقة الضرورية لقب المنظومة بين الحالتين أن تكون صغيرة بقدر طاقة الفوتونين فقط، بينما من الممكن التحكم بعملية سرعة التبديل بتعديل شدة ليزر الاقتران أو بتعديل شكل وكثافة سحابة الذرات الباردة المأسورة.

والإمكانية الأخرى المثيرة للاهتمام والتي لا تقل قيمة عما سبق هي توليد "خطوط التأخير الضوئية" - وهي نائط تستطيع تأخير المعلومة الضوئية إذا ما وصل كثير منها في الوقت نفسه. (تستطيع أيضاً إجبار النبضات الضوئية لتشكّل "نموذج تجميع"، تماماً كما تتجمع الطائرات بأشكال مختلفة في السماء إلى أن يصبح المدرج في المطار المزدحم ملائماً لهبوط الطائرات). ونستطيع بذرات فائقة البرودة وبضوء فائق البُطء أن نحصل على تأخير يتراوح مقداره بين ميكروثانية وملي ثانية في وسط طوله 0.1mm فقط. ورغم أننا نستطيع بإرسال ضوء عبر ليف ضوئي أن نحصل على تأخيرات كبيرة مشابهة، فإن الليف يجب أن يصل طوله إلى عدة مئات من الكيلومترات. ومن المظاهر الأخرى المهمة جداً التي

1 بزاد ذري

تبطيء الضوء - السير

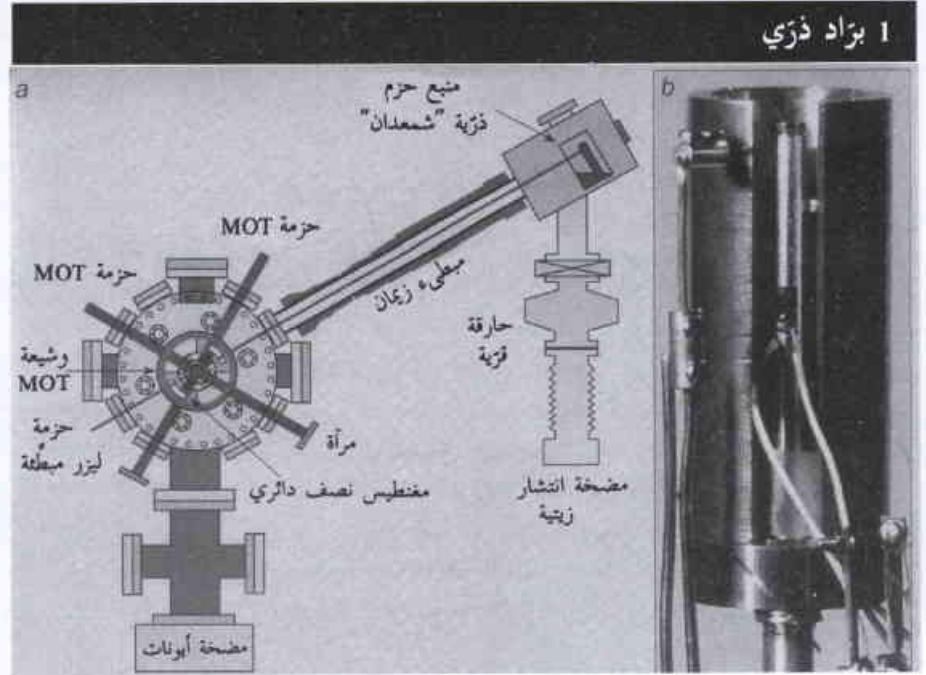
لدينا الآن ذرات فائقة البرودة، وبالتالي ما يجب معرفته هو كيف يمكن استخدام هذه الذرات لتبطيء الضوء؟ يمكن للمواد التقليدية مثل كتلة من الزجاج أن تبطيء الضوء بنسبة 30% أو 40% بالمقارنة مع سرعتها في الحلاء. على كل، لتبطيء الضوء بمقدار ست أو سبع مراتب لانستطيع أن نعزل بصورة كاملة على الميكانيك الكلاسيكي بل علينا بدلاً من ذلك العودة إلى الميكانيك الكومومي من أجل المساعدة في إيجاد الحل.

بعد أن توصلنا إلى تبريد ذرات الصوديوم بالتبخير، أصبحت جميع هذه الذرات في حالة كمومية داخلية واحدة، 1 (الشكل 2b). إن هذه نقطة مهمة: فالحقل المغنطيسي، الذي يأمر الذرات في الوقت الذي يأخذ التبخير دوره، يقوم بدور المرشح. إن الذرات التي تكون على هذه الحالة هي فقط التي يجري أسرها في المغنطيس. وحالما نحصل على سحابة ذرات باردة مأسورة بين أقطاب المغنطيس الكهربائي - يكون طول السحابة التي هي بشكل السيجار عادة من 0.1mm إلى 0.2mm وبقطر يبلغ 0.05mm - فإننا نديرها من جانبيها بحزمة ليزر اقتران. (ليس من الضروري أن تكون السحابة كثافة بوز - أينشتاين، إلا أننا نحصل على أكثر التأثيرات دراماتيكية إذا كانت في هذه الحالة الخاصة).

يتم اختيار تواتر ليزر الاقتران للملاءمة لفرجة الطاقة بين حالتي الطاقة الأعلى للذرات المرزمتين ب 2 و 3 (الشكل 2). وهذا يعني أن الحالات الثلاث 1 و 2 و 3 تشكل غالباً منظومة مغلقة لها السمة الخاصة بأنها لاتنفخ إلى سويا ت أخرى عندما يكون ليزر الاقتران أو ليزر السير موجوداً. يتطلب هذا أن يكون التحكم في اتجاه الانتشار والاستقطاب وتواتر الحزم الليزرية جيداً جداً.

وكما يوحي اسمها، فإن ليزر الاقتران يربط أو "يقرن" الحالتين 2 و 3 معاً، مما يعني بأننا علينا أن نعتبر مزيج الذرات وضوء ليزر الاقتران كمنظومة تامة واحدة. يشطر ليزر الاقتران سوية الطاقة المفردة المقابلة لحالة الطاقة 3 إلى سويتين متجاورتين. يكون الانشطار متناسباً مع الجذرتين التريعي لشدة ليزر الاقتران، مما يعني بأننا نملك طريقة للتحكم بسويات طاقة منظومة الاقتران ليزر - ذرة، ومن ثمّ خواصها الضوئية.

نطلق الآن نبضة السير الليزرية التي نود أن تُبطأ في السحابة الذرية. يعدّل تواتر ليزر السير حتى يكون متجاوياً، أو متجاوياً تقريباً، مع الانتقال 3 → 1. تتغير عندئذ قرينة انكسار السحابة الذرية، كما تُبَيّن ذلك حزمة ليزر السير، بطريقة غريبة مع تواتر السير. يكون لها ذبذبتان "متمركزتان



(a) نحتاج لتبطيء الضوء أن تولّد سحابة من الذرات فائقة البرودة. يتم أولاً تبطيء الذرات الساخنة الصادرة من مصدر حزمة ذرية "شمعدان" بواسطة ضغط إشعاعي من حزمة ليزر "تبطيء" من مطبوع زيمان Zeeman طوله 1 متر. ثم يتم بعدئذ تحميلها في داخل "المولاس الضوئي" - منطقة من الحلاء ولدت بست حزم ليزرية (أحمر) من مصائد ضوئية مغنطيسية (MOT) متعاكسة الانتشار. (لا يظهر الزوج الثالث الذي هو متعامد مع سطح الورقة). وبعد أن يُبرّد الليزر الذرات إلى درجة حرارة تبلغ ميكروكلفن. توقف عمل الليزر وتدخل الذرات في أربعة مغناط نصف دائرية حيث يتم "تبريدها" تخبيرياً إلى درجات حرارة تبلغ نانو كلفن.

(b) يعمل مصدر الحزمة الذرية "شمعدان" التي استخدمناها لإيصال ذرات الصوديوم إلى تجربت وتعمل مثل عمل الشمعة تماماً. تسحب "الشمعة" من الفولاذ العديم الصدأ المغلف بالذهب الذرات من مستودع سائل الصوديوم الموجود في قاع أسطوانة نحاسية إلى ثقب إصدار موجود في أسطوانة جوفاء من الموليبدنوم مملوءة بشبك من الفولاذ العديم الصدأ وموضوعة في داخل قدر نحاسي. تولّد عند الثقب نقطة متوسطة درجة حرارتها 350°C التي تجعل سرعة إصدار ذرات الصوديوم عالية. لا يهرب إلى تركيبتها إلا الذرات التي تمر من ثقب التسديد الصغير الموجود في الأسطوانة النحاسية فقط - أما الذرات الباقية فتصدم جدار النحاس البطين أيضاً بشبك من الفولاذ العديم الصدأ، وتُثقل عائدة إلى المستودع بفعل الفعالة.

نستطيع عند هذه النقطة، وعندما تُبرّد السحابة الذرية إلى درجة حرارة تبلغ حوالي 500 جزء من البليون جزء من الدرجة فوق الصفر المطلق (500 nK) أن نبدأ في تشكيل "كثافة بوز - أينشتاين". إن هذه الحالة شاذة جداً من المادة التي تسلك فيها عدة ملايين من الذرات سلوكاً مترابطاً تماماً يشبه ذرة فائقة (انظر المقال: كثافات بوز تجعل الكوموم يقفز ويرتبط (مجلة Physics World آب 1999 صفحة 37-42)). إنها حالة من المادة التي لها خواص شبيهة بخواص النواقل الفائقة والموائع الفائقة. لقد تمّ التنبؤ بها أول الأمر في العشرينيات من القرن الماضي، ولوحظت كثافات بوز - أينشتاين في النهاية عام 1995 من قِبَل أريك كورنيل E. Cornell و كارل وايم C. Wieman ومعاونيه في مختبر JILA في بولدير - كولورادو.

تحتوي سحابات الذرات الباردة ذرات معتدلة والتي - بعكس الأيونات - تتأثر فقط بشكل ضعيف مع ما يحيط بها. وهكذا حتى عندما يتم تبريد سحابة الذرات إلى 500 nK فإن بقية المنظومة - بما فيها حجرة الحلاء في الجوار القريب للذرات الباردة - يمكن إبقاؤها في درجة حرارة الغرفة. إن هذا الأمر مهم من أجل التطبيقات العملية الممكنة لوسطنا الضوئي الجديد.

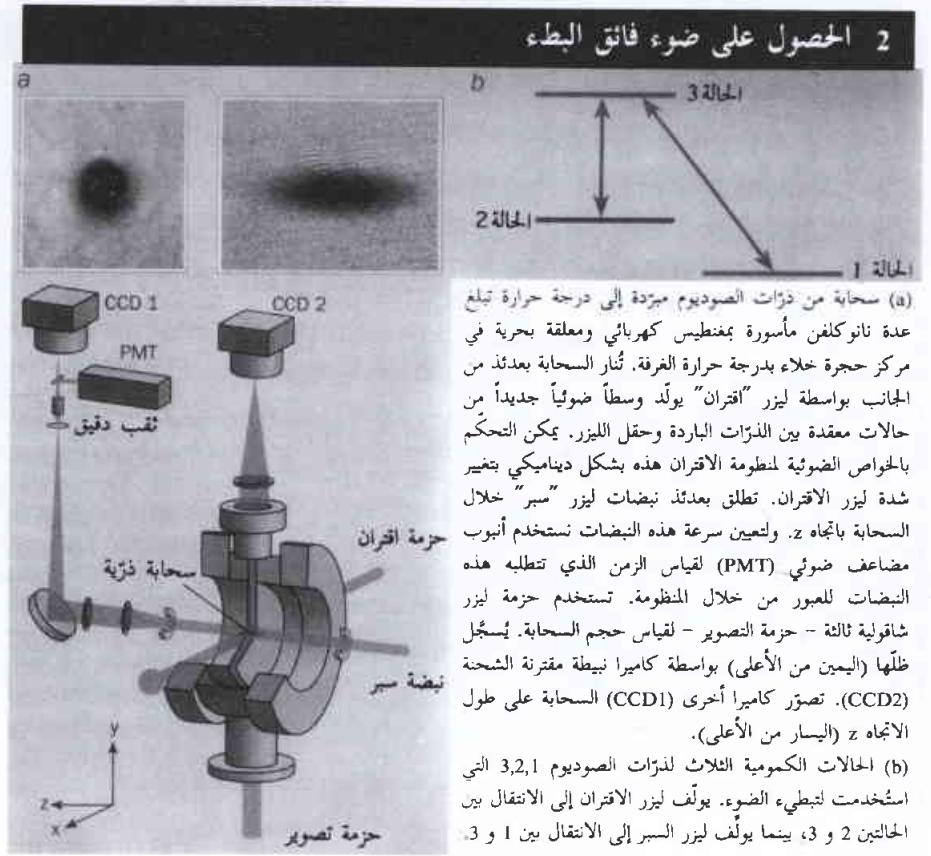
عندما نستخدم نماذج باردة حقاً، فإن الذرات تتحرك بأي حال بصعوبة، ولا تختفي سويات طاقتها نظراً لتأثيرات دوبلر. ويعني هذا أن سويات طاقة منظومة الاقتران ليزر - ذرة يمكن في الواقع تقرب بعضها من بعض إلى حد كبير دون حدوث أي تراكم. ومن المهم أن ندرك أيضاً أن قرينة الانكسار تبقى قريبة من الواحد بالنسبة إلى جميع مركبات التواتر في النبضة. وإذا جربنا أن نبطيء الضوء بتوليد مادة لها قرينة انكسار كبيرة - ونُقل أكبر بعامل يبلغ عدة عشرات المليون مما هي في الفضاء الحر - فإن نبضة ليزر السبر لدينا سوف تنعكس إلى خارج المادة. وببساطة سوف لن تكون قادرة على الدخول في المادة في المكان الأول. وحقبة أن قرينة الانكسار تبقى قريبة من الواحد أيضاً تعني أن طول موجة نبضة الضوء وشدة الحقل الكهربائي عند الذروة هما نفسهما في داخل الوسط وخارجه.

تأثيرات الاقتران

هنالك نقطة مهمة أخرى لهذه التجارب وهي أنه إذا لم يكن لدينا اقتران فإن سحابتنا الذرية الباردة الكثيفة ستكون معتممة تماماً بالنسبة لنبضات ليزر السبر. فلا يصبح الوسط شفافاً إلا بوجود ليزر الاقتران فقط. وأول ما لوحظ هذا التأثير المعروف باسم "الشفافية المحرّضة كهرومغناطيسياً" من قِبَل ستيف هاريس S. Harris ومعاونيه في جامعة ستانفورد في كاليفورنيا في بداية التسعينيات من القرن الماضي.

وهكذا كيف يقوم ليزر الاقتران بإجهاز هذا العمل البارع؟ والجواب على ذلك هو أن الاقتران وليزرات السبر تولّد "تداخلاً" كمومياً في المنظومة. لا تستطيع الذرات، التي تكون في البداية في الحالة 1، أن تمتص حزمة الاقتران بسبب أنها مولّفة عند فرق الطاقة بين الحالتين 2 و 3. على كل، عندما تصل نبضة السبر، تُزيح الحزمتان الذرات إلى تراكم كمومي للحالتين 1 و 2. وإذا بقيت الذرات في الحالة 1 فإنها ستمتص ضوء السبر الذي يولف عند فرق الطاقة بين الحالتين 1 و 3. وإذا كانت جميع الذرات في الحالة 2 فإنها تكون قد امتصت حزمة ليزر الاقتران. (إن الذرات في كلتا الحالتين تكون قد قفزت إلى الحالة 3 وبالتالي أعادت إصدار الفوتونات تلقائياً في اتجاه عشوائي وعندئذ ستوهج السحابة بلون أصفر).

ولما كانت المنظومة في حالة تراكم كمومي، فإن عمليتي الامتصاص تحذف كل منهما الأخرى. وتدعى حالة التراكم هذه بـ "الحالة السوداء". حيث لا يتم امتصاص أي من نبضة السبر أو حقل ليزر الاقتران: والمنظومة تكون شفافة. إن هذا التداخل الكمومي أيضاً هو المسؤول عن حقيقة أننا



(a) سحابة من ذرات الصوديوم مبرّدة إلى درجة حرارة تبلغ عدة نانوكلفن مأسورة بمغناطيس كهربائي ومعلقة بحرية في مركز حجرة خلاء بدرجة حرارة العرفة. تُثار السحابة بعدئذ من الجانب بواسطة ليزر "اقتران" يولّد وسطاً ضوئياً جديداً من حالات معقدة بين الذرات الباردة وحقل الليزر. يمكن التحكم بالخواص الضوئية لمنظومة الاقتران هذه بشكل ديناميكي بتغيير شدة ليزر الاقتران. تطلق بعدئذ نبضات ليزر "سبر" خلال السحابة باتجاه z. ولتعيين سرعة هذه النبضات نستخدم أنبوب مضاعف ضوئي (PMT) لقياس الزمن الذي تتطلبه هذه النبضات للعبور من خلال المنظومة. تستخدم حزمة ليزر شاقولية ثالثة - حزمة التصوير - لقياس حجم السحابة. يُسجّل ظلها (اليمين من الأعلى) بواسطة كاميرا نبضات ممتزجة الشحنة (CCD2). تصوّر كاميرا أخرى (CCD1) السحابة على طول الاتجاه z (اليسار من الأعلى).

(b) الحالات الكمومية الثلاث لذرّات الصوديوم 3,2,1 التي استُخدمت لتبطيء الضوء. يولّف ليزر الاقتران إلى الانتقال بين الحالتين 2 و 3، بينما يولّف ليزر السبر إلى الانتقال بين 1 و 3.

على التواترين المقابلين لفرق الطاقة بين 1 و 3 وسويتي الطاقة المنشطتين الجديتين (الشكل 3). وعلاوة على ذلك. وعند التجاوب 3→1 تماماً - وعندما يولّف ليزر السبر بدقة في منتصف الطريق بين سويتي الطاقة المنشطتين - تكون قرينة الانكسار مساوية تماماً 1 كما هو عليه الحال في الفضاء الحر. تتجلى النقطة المفتاحية في أن لسيماة قرينة الانكسار مِثْل أو انحدار شديد جداً حول التجاوب. وبكلمة أخرى، لاستطيع تبطيء الضوء بخلق وسط له قرينة انكسار كبيرة بشكل مطلق. إن "السبر" هو على الأصح في خلق مِثْل شديد جداً في سيماء قرينة الانكسار حول التجاوب. إن السرعة التي تنتشر بها النبضة - التي تدعى سرعة المجموعة - متناسبة عكساً مع المِثْل. ويمكن أن نحصل على المِثْل الأشد - وبالتالي على الضوء الأبطأ - بتصغير المسافة بين سويات الطاقة المنشطرة لمنظومة الخليط ذرة - ضوء، أي بتطبيق ليزر اقتران ضعيف جداً.

من المهم ملاحظة أن نبضة ضوء السبر ليس لها تواتر واحد محدد تماماً. إنه في الحقيقة تراكم أمواج مستوية متقدمة لها توزع من التواترات. تعيّن سرعة كل موجة مستوية - والتي تدعى سرعة الطور - بقرينة الانكسار عند ذلك التواتر. وتكون سرعة الطور في منظومتنا، التي تبلغ فيها القرينة حوالي 1، قريبة جداً من السرعة في الفضاء الحر أي 300 000 كم / الثانية. وحول التجاوب، حيث تتباين قرائن الانكسار بشكل كبير جداً، تكون لجميع الأمواج المستوية المتباينة سرعات طور مختلفة قليلاً. تنضاف هذه الأمواج المستوية لتشكّل نبضة الضوء، وتحدد نقطة التداخل البناء العظمى بين جميع المكونات ذروة النبضة. إنها سرعة المجموعة - سرعة ذروة النبضة هذه - التي يتم تبطيئها حتى التوقف تقريباً.

صوت فائق الإضاءة

ليس إيصال الضوء إلى حالة التوقف هو التأثير الوحيد الذي يستطيع الغاز الذري المعالج بالليزر أن يحدثه على نبضة الضوء. ففي السنة الماضية رفع ليجون وانغ L. Wang ومعاونوه في معهد أبحاث NEC في برنستون، نيو جيرسي، سرعة نبضة إلكترومغناطيسية إلى قيمة أكبر من سرعة الضوء في الحلاء وذلك بإمرار النبضة خلال حجرة مملوءة بغاز السيزيوم (L.J. Wang, A. Kuzmich and Dogoriu 2000 Nature). لوحظ من قبل انتشار فائق الإضاءة من قبل ستيفن تشو S. Chu من جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة وفلاديلين ليتوكهوف V. Letokhov من أكاديمية العلوم الروسية في ترويسك وراي تشيو R. Chiao من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، كل على حدة.

أنار الباحثون في برنستون خلية من ذرات السيزيوم طولها 6 سنتيمترات بضخ ليزرين تواترهما مختلفان قليلاً جداً ومولف كل منهما على قيمة بعيدة قليلاً عن التجاوب الذري (انظر مقالة "لا يوجد شيء أسرع من الضوء" للمؤلف آيفرايم م. تشاينبرغ، مجلة عالم الفيزياء، عدد أيلول 2000 رقم الصفحات 21-22). تم الحصول على شكل قرينة انكسار لها انحدار معاكس للانحدار الموجود في الشكل 3. وإذا ما أطلقت بعد ذلك نبضة سير مولفة بعناية في داخل الوسط، فإن سرعتها ستصبح أكبر من سرعة الضوء في الحلاء. الحقيقة أن النبضة تظهر خارجة من الوسط بـ 60 نانوثانية قبل دخولها إليه.

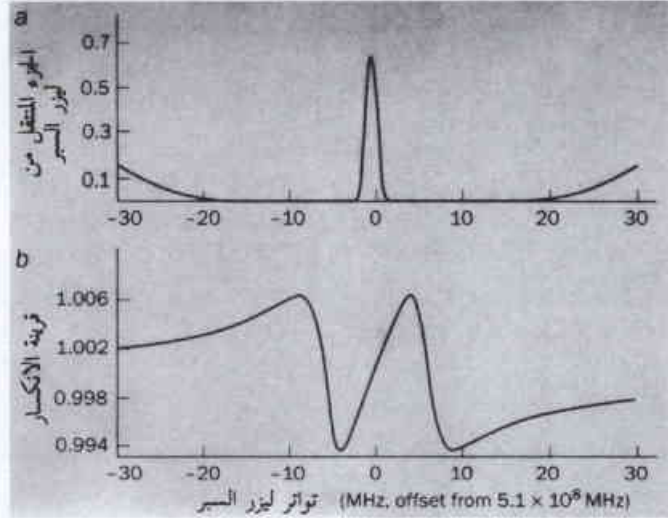
ومع ذلك، فإن نظرية أينشتاين النسبية العامة لم تنتهك لأن المعلومة - حسب التقلبات الكمومية - لا يمكن تحميلها أبعد من سرعة ضوء الحلاء، حتى ولو بنبضات ضوئية فائقة الإضاءة.

النبضة. ويكون جزء من تلك الطاقة المفقودة مخزوناً بصورة مؤقتة في الذرات، ولكن معظمها ينتقل إلى حقل ليزر الاقتران من خلال إصدار محروس. وعلى كل، عندما تترك النبضة الوسط. تنتقل الطاقة راجعة إلى النبضة الضوئية وتستعيد النبضة شكلها السابق قبل دخولها إلى الوسط رغم أنها تأخرت إلى حد كبير.

لقد قمنا انتقل الطاقة هذا مباشرةً بمراقبة في حقل ليزر الاقتران بواسطة مكشاف ضوئي. وعندما تتقدم نبضة ليزر السير ببطء خلال الوسط فإن الذرات ضمن منطقة نبضة الضوء المتوضعة والمضغوطة ستكون في أي وقت في حالة تراكب قائمة، إن التوزيع المكاني للحالات القائمة يحاكي التوزيع المكاني لنبضة السير.

إن قياس سرعة الضوء الفائت البطء سهل نسبياً. لقد قمنا بإضاءة السحابة من الجانب بواسطة ليزر الاقتران وأطلقنا نبضة ليزر السير في سحابة الذرات على طول محورها الطويل، وجلسنا ببساطة خلف السحابة نتنظر صدور نبضة الضوء. استخدمنا أنبوب مضاعف ضوئي لقياس زمن الوصول (الشكل 4). وكل ما كان علينا فعله لإيجاد سرعة نبضة الضوء هو قياس طول السحابة الذرية الذي أجريناه بواسطة حرمة ليزر ثلاثة يطلق عليها اسم "حرمة التصوير" (الشكل 2 a). ينتشر هذا

3 أسرار الصوت الطي،



(a) مقدار ضوء السير المرسل يسحابة من ذرات الصوديوم الفائقة البرودة وبوجود "ليزر اقتران". يجعل حقل ليزر الاقتران السحابة شفافاً بالنسبة لليزر السير ضمن مجال ضيق جداً من التواترات.

(b) قرينة انكسار السحابة تتابع لتواتر ليزر السير. تتناسب سرعة المجموعة لنبضة السير عكسياً مع ميل قرينة الانكسار - وكلما كان الميل أكثر انحداراً كانت سرعة الضوء أبطأ. وعندما يولف السير إلى تواتر الانتقال بين الحالتين 1 و 3، عندئذ تكون قرينة الانكسار 1.0 - وهي تساوي قرينة الانكسار في الحلاء الحر.

نستطيع الاحتفاظ بسيماء قرينة الانكسار الشديدة الانحدار بوجود تخميد الإشعاع التلقائي من الحالة 3.

تغير الحخصص النسبية الضرورية للحالتين 1 و 2 من أجل جعل المنظومة قائمة طبقاً لنسبة شدة الحقل الكهربائي للمسبار إلى شدة ليزرات الاقتران. إن المنظومة في الحقيقة قائمة حتى قبل أن نشغل ليزر السير بسبب أن جميع الذرات تبدأ من الحالة 1 التي لا يستطيع أن تمتص ليزر الاقتران. ويمكن بعدئذ الاحتفاظ بالذرات "قائمة" بتشغيل نبضة السير ببطء يكفي للسماح بتعديل حالة التراكب باستمرار، وكلما كانت لدينا شدة السير أكبر، سيكون عدد الذرات في الحالة 2 أكبر.

تأثيرات الانضغاطات

ليس التبييء الهائل لنبضات الضوء هو الشكل المؤثر في هذه التجارب فقط، فحقيقة ضغط النبضات إلى هذا الحد من الكبر لا يقل أهمية عن ذلك. إن الذي يحدث عندما تدخل النبضة السحابة الذرية، مضاعة بليزر الاقتران، هو أن الحد الأمامي للنبضة يبطء، بينما يكون الحد الخلفي الباقي في الفضاء الحر والذي سرعته 300000 كم/ثانية - لاحقاً به. تبدأ النبضة بالانضغاط كالأكورديون. وأما في وسط السحابة، حيث تكون الكثافة الذرية هي الأكبر، تكون السرعة والامتداد المكاني لنبضة الضوء في أقل قيمتهما. وتنضغط النبضة مكانياً أثناء تبطينها بالنسبة نفسها.

ولما كانت السعة العظمى للحقل الكهربائي للنبضة تبقى ذاتها عند مرورها في السحابة الذرية، فمن الواضح أن تكون الطاقة مفقودة من

وأخيراً عندما نشغل ليزر الاقتران ثانية فإن المعلومة المتبقية في الذرات - "الشبيكة" - تُملي كيف يجب إعادة توليد نبضة الضوء. وإذا ما شغلنا ليزر الاقتران بالشدة نفسها التي كانت عليها قبل إيقافها، فإننا نولد نسخة دقيقة عن نبضة الضوء التي خزناها في السحابة. يكون لها الشكل نفسه وطول الموجة نفسه. على كل حال، نستطيع بتشغيل ليزر الاقتران بشدة أعلى أن نولد نبضة ضوء نشطة وأكثر شدة من تلك التي أرسلناها، والأكثر من ذلك تكون مضغوطة زمنياً (أعني أفسر). وتشغيل وإيقاف ليزر الاقتران بسرعة على عدة مرات، فإننا نستطيع توليد نبضتي ضوء صغيرتين أو حتى ثلاث نبضات من مجرد نبضة واحدة مرسله في الوسط. لقد نجحنا في تخزين النبضة في الوسط لفترات طويلة جداً من الزمن: عدة أجزاء من ألف من الثانية. وأثناء ذلك الزمن، ستجتاز نبضة الضوء المتقلبة بالسرعة العادية مسافة مئات من الأميال. إن عملية توقيف وتخزين وتنشيط الضوء عملية شاقّة وعنيفة جداً، ونحن نستطيع أن نشغل ونوقف ليزر الاقتران بعنف، وتكيف المنظومة ذاتياً - وبشكل غريب غالباً - لتجنب امتصاص وفقد المعلومة.

لقد استفربنا أن تجاربنا في تبطين الضوء أحدثت ذلك الكم الكبير من الفيزياء على النطاق النظري والتجريبي فقد تم الحصول على الضوء البطيء في الغازات وفي درجة حرارة الغرفة من قبل مارلان سكلي M. Scully وفريقه في جامعة A & M في تكساس ومن قبل ديمتري بودكر D. Budker ومعاونيه في جامعة كاليفورنيا في بيركلي. وفي الوقت نفسه، حصل رون وولزورث R. Walsworth وميخائيل لوكين M. Lukin في مركز هارفرد - سميت سونيان للفيزياء الفلكية في الولايات المتحدة على ضوء متوقف بطريقة تشبه طريقتنا، ولكن مع مسبار منتشر معاً وحزم ليزر اقتران في غاز ساخن. وتدبر باحثون آخرون أيضاً توليد ضوء ينتقل بصورة أسرع من سرعته في الخلاء (انظر المؤطر "ضوء فائق الإنارة").

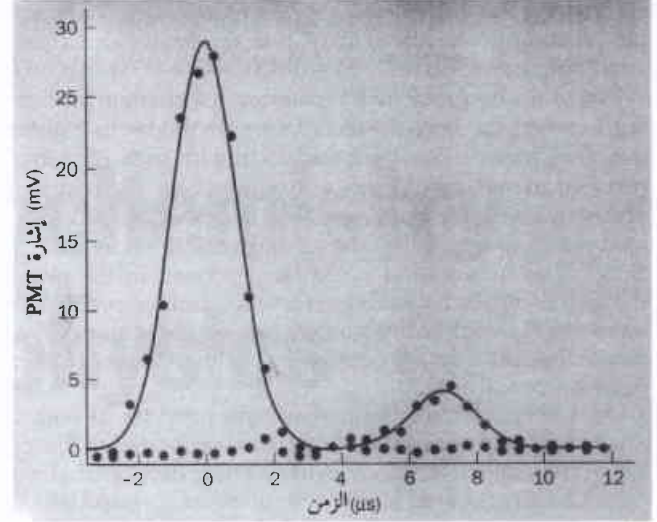
تراعي منظومة الذرة الباردة سيماء قرينة الانكسار الأكثر انحداراً وبالتالي فإنها تهمل من أجل أكثر التأثيرات دراماتيكية كتأثيرات دوبلر. وبالإضافة إلى ذلك، تقدم الذرات الباردة مرونة عظمى في اختيار هندسة الحزمة. وهذا أمر مهم مثلاً في تخزين واسترداد النبضات المضاعفة للمعلومة الضوئية في وسط ذري، كما ستسمح للنبضات الفردية بأن يتم توجيهها بصورة انتقائية.

التطبيقات المستقبلية

للضوء البطيء والمتوقف تطبيقاتاً كامنة عديدة في الاتصالات والمعالجات بما فيها تخزين المعلومة والمبدلات الضوئية فائقة الحساسية وخطوط التأخير الضوئية. ويمكن أن يُستخدم الضوء البطيء أيضاً في معالجة المعلومات الكمومية التي تستخدم المعلومة الكمومية لأغراض الحوسبة والاتصالات. تستطيع الحواسيب الكمومية أن تحل المشاكل - مثل علم التعمية - التي لا يمكن حلها على أساس مقاييس زمن حقيقية بحواسيب تقليدية فقط.

وعلى كل، فإن إحدى المسائل المهمة من أجل معالجة المعلومات الكمومية كانت في حقيقة أننا غير قادرين على نقل المعلومة الكمومية ذهاباً وإياباً بكفاءة عالية بين حقل ضوئي ومنظومة ذرية. ولكن بقدرتنا

4 قياس سرعة النبضة والتأخر



يقدم هذا الشكل دليلاً قوياً على أنه من الممكن تبطين الضوء إلى سرعات منخفضة جداً. يُرسل أولاً الضوء المرجع إلى تركيبة التجربة بدون وجود أي من الذرات. إنه يحدد نقطة الصفر على محور الزمن حيث تُقاس منها التأخيرات. وتقاس شدة نبضة التيار بعد انبثاقها من المنظومة بواسطة أنبوب مضاعف ضوئي. وبدلاً من ذلك تدخل المنظومة، ويُزدها، وترسل نبضة ضوء سير أخرى التي تقبضها بعد عبورها خلال السحابة الذرية (الخط الأحمر). لقد تم تأخير هذه النبضة أكثر من 7 ميكروثانية في السحابة التي طولها 0.2 ميليمتر - مُعطية سرعة ضوء مقدارها 32 ميليمتر/ثانية. ويتغير شدة ليزر الاقتران نستطيع التحكم في سرعة النبضة والزمن الذي تستغرقه في السحابة. يمكن ليزر الاقتران أيضاً نبضة السير أن تمر خلال ما يكون من ناحية أخرى وسطاً معتماً.

الليزر مشكلاً زوايا قائمة مع حزمتي ليزر السير و ليزر الاقتران، ماراً بصورة شاقولية خلال السحابة. تولد الذرات "ظل امتصاص" في حزمة التصوير يجري تسجيلها بواسطة كاميرا تأخذ لقطات للسحابة .

إيقاف نبضة الضوء

بعد معرفتنا بكيفية جعل نبضات الضوء تُبطئ في خطوط سيرها - و ضغطها حتى يتم احتواؤها كلية في سحب الذرات فائقة البرودة - قررنا إجراء تجربة مختلفة. عندما وصلت نبضة الضوء البطيئة مركز السحابة أوقفنا ليزر الاقتران فجأةً و كانت النتيجة أنه لم تخرج أي نبضة و عندما أعادنا تشغيل ليزر الاقتران بعد ذلك تولدت نبضة الضوء ثانية و خرجت من السحابة.

ما يحدث عندما تُبطئ نبضة الضوء هو أنها تُضغَط بعامل قدره يضع عشرات الملايين ، مع بقاء كمية ضئيلة تقريباً من الطاقة في النبضة. (تحتوي النبضة في الخلاء الحر على 25000 فوتون و عندما تُضغَط فإنها تحتوي فقط على 1/400 من فوتون الفضاء الحر). وعندما نوقف ليزر الاقتران فجأةً يصيب نبضة الليزر توقف تام و تترك الذرات في داخل منطقة النبضة المتوضعة في "حالاتها القائمة" المتراكبة. و في هذه الحالات تشكل الحصص النسبية للذاتين 1 و 2 مقياس نسبة الحقل الكهربائي بين نبضة الضوء و ليزر الاقتران قبل الإيقاف. و باختصار فإننا نطبع شبكة طور في سحابة الذرة كما لو أننا نسجل مصوراً تجسيمياً (هولوغرام).

الانضغاط وفائقة البطء والتي قادت فيما بعد إلى تشكيل "موجات صدم كمومية" في كثافة بوز - أينشتاين. وحتى أنه من الممكن استخدام الضوء البطيء في دراسة علم الكون في مختبرات هنا على الأرض. تبنياً أولف ليونهارت U. Leonhardt من جامعة سانت أندروز في المملكة المتحدة مثلاً بأنه من الممكن أن توجد مضاهايات للثقوب السوداء في منظومة كهذه.

لقد فتح الضوء فائق البطء عالماً جديداً من التطبيقات ومن المسارات في الأبحاث الأساسية. وأعتقد أننا لانرى منها إلا ذروة الجبل الجليدي فقط. ■

على إيقاف وحجز وإعادة تنشيط الضوء استطعنا استخدام نبضات الضوء الموقفة لأن نطبع معلومة كمومية على سحابة ذرية. يمكن أن تتم معالجة المعلومة في السحابة عن طريق تأثيرات ذرية متحكم بها، ونستطيع بعد ذلك إعادة تنشيط نبضات الضوء وإعادة قراءة المعلومة الكمومية المعالجة في الحقل الضوئي حيث يمكن إرسالها إلى أبعد من ذلك في الليف الضوئي.

وفي مسلك مختلف جداً، يزدادنا الضوء البطيء بطريقة جديدة تماماً لسير الخواص غير العادية لكثافات بوز - أينشتاين. وقد طوّرننا منذ فترة قريبة جداً "عقبة طريق" ضوئي واستخدامها لتوليد نبضات ضوئية فائقة



من كيمياء الفمتو إلى فيزياء الأتو*

ف. كراوسز
معهد الفوتونيات - جامعة فيينا التقنية، النمسا.

ملخص

يستمر الفيزيائيون نبضات الضوء الفمتو ثانية بشكل روتيني في تقفي حركة الذرات في الجزيئات، ويقومون حالياً بتطوير منابع تُصدِر كذلك دقائق أقصر من أشعة - X من أجل الدراسة والتحكم في حركة الإلكترونات داخل الذرات.

الكلمات المفتاحية: أتو ثانية، تعرّض، توليد توافقي، نبضة الضخ، نبضة السبر، مَيَز، تأخر زمني.

المرتبطة بالذرات والجزيئات المثارة بسلاسل زمنية ما بين 10 إلى 100 أتو ثانية ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$) وبالتالي تتطلب مسابير أتو ثانية.

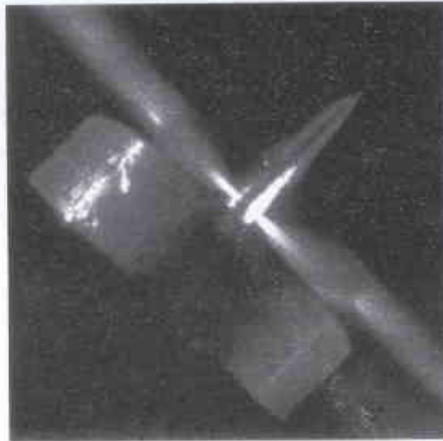
يقتضي أخذ لقطات جامدة الإطار للذرات تعرّضات أقصر بما يزيد بمليون مرة عن تلك التي تقدمها أسرع الكاميرات الفائقة السرعة. لقد تمّ جسر هذه الفرجة الهائلة في العقد الأخير بفضل اختراع الليزر التي تنتج ومضات من الضوء تدوم عدة فمتو ثانية فقط.

الذرات في حركة بطيئة

يستطيع الفيزيائيون في الوقت الحالي أخذ لقطات للمنظومات الذرية التي هي في حالة تطور، بدقة بالغة وذلك باستخدام ومضات ضوئية فائقة القصر لكل من قادح الديناميات وإنارة المنظومة. يمكن تحقيق ذلك بشرط كل نبضة ليزرية بمرّة نافذة جزئياً وتأخير نبضة "السبر" الأقل طاقة بالنسبة للإثارة الأقوى أو نبضة "الضخ" (الشكل 1). وبهذه الطريقة تستطيع نبضة ليزر فمتو ثانية قوية أن تمهّد لبداية عملية مجهرية مشابهة في ملايين الجزيئات أو المواقع في الشبيكة البلورية. ويستطيع الجزء الأضعف من النبضة (أو النسخة المطابقة المنزاحة التواتر) عندئذ سير الديناميات بقياس التغيرات في الخواص الضوئية للمنظومة (مثل الامتصاص) في لحظة لاحقة.

يمكننا إعادة تمثيل الديناميات الذرية أو الجزيئية بالحركة البطيئة من خلال استخدام سلسلة من نبضات الفمتو ثانية وزيادة التأخير بين نبضات الضخ ونبضات السبر المتتابعة. تُعرف هذه المقاربة بمطابقة الميز الزمني أو مطابقة الضخ - السبر، وهذا حالياً هو الطريق الوحيد لدراسة الديناميات المجهرية. إن الميز الزمني محدّد فقط بالأمد بين نبضتي الضخ والسبر.

يستطيع الفيزيائيون حالياً وبشكل روتيني توليد نبضات أقصر من 10 فمتو ثانية باستخدام الليزر المغلقة الذاتية النمط التي تمّ اختراعها عام 1990 من قبل ولسون سيبيت W. Sibbett في جامعة أندروز باسكتلندا.



تولّد نبضات أشعة - X الفائقة السرعة عندما تُشعّ ذرات النيون المحتواة في أنبوب هذه المادة بواسطة ليزر فمتو ثانية.

أصيب كثير من هواة التصوير بخيبة الأمل عندما اكتشفوا أن لقطاتهم التصويرية للأجسام المتحركة بسرعة مشوشة وغير واضحة للدرجة يصعب التعرف عليها. إن السبب الأكثر احتمالاً لهذا هو أن زمن التعرض لم يكن قصيراً بالكفاية لتجميد الحركة. وفي المقابل، إن الكاميرات (آلات التصوير) الحديثة الفائقة السرعة تستطيع أن تأخذ حتى مليون صورة في كل ثانية وأن تلتقط حركة لاتدركها العين البشرية عادة. وبإسقاط الصور على شاشة بالتتابع يمكن إعادة العمل بحركة بطيئة. وفي حين أن هذه التقنيات تُعدّ مثالية من أجل دراسة الأجسام المجهرية، فكيف نستطيع بأية حال تتبع حركة الذرات والإلكترونات؟

تُستمدّ دوافع المقدرة على تتبع حركة الذرات والإلكترونات من عدة حقول علمية وتقانية. إن النظر بعناية إلى العمليات الكيميائية أو الكيميائية الحيوية متطلّبت أساسية من أجل تفاعلات التوجيه، في حين يكون التبصر في ديناميات الإلكترونات والثقوب في بنى أنصاف النواقل أمراً مهماً وحاسماً في رفع سرعة النبايط الإلكترونية. وعند سوية أساسية أعلى، يكون تتبع حركة الإلكترونات في الذرات ضرورياً وأساسياً إذا أردنا معرفة ماذا يحصل داخل الذرات المثارة واستثمار هذه العمليات في تطبيقات مثل ليزرات أشعة - X.

وهكذا إلى أي مدى يجب أن يكون زمن التعرض قصيراً من أجل أسر ديناميات الذرات والإلكترونات؟ من المدهش أن الجواب مرتكز على الفيزياء الكلاسيكية ومحدّد بكتلة الذرة وقوة كولون Coulomb الممارسة عليها من جيرانها. يمكن تتبع حركة النوى في البنية الجزيئية أو الشبيكة البلورية مثلاً بمسبار يدوم من 10 إلى 100 فمتو ثانية ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$). وفي غضون ذلك، فإن كتلة الإلكترونات الأصغر تجعلها في الواقع متحركات مفاجئة أو سريعة. وبالفعل، تتطور حركة الإلكترونات

* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, September 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

الذرات المستقرة بواسطة الضوء المرئي بسبب حد الانعراج، إلا أن نبضات الفمتو ثانية تكون قادرة على تتبع الذرات المتحركة المنزاحة بقدر 0.01 نانومتر في الزمن الحقيقي وذلك لأن الذرات تتحرك ببطء مقارنة مع سرعة الضوء.

كيمياء الفمتو ثانية وديناميات أنصاف النواقل

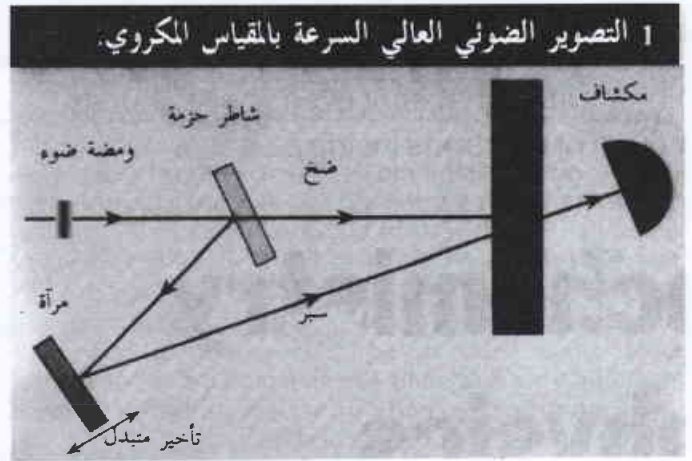
إن تشكيل وتحطيم الروابط الكيميائية بين الذرات في الجزيئات هو إحدى العمليات المجهرية المهمة التي تؤثر على حياتنا. تتيح نبضات الليزر الفائقة السرعة للفيزيائيين والكيميائيين متابعة عمليات الفمتو ثانية هذه وذلك باقتفاء انزياحات الذرات، كما تم إثبات ذلك لأول مرة في نهاية الثمانينيات من القرن الماضي من قبل أحمد زيوال A. Zewail في معهد كاليفورنيا للثقافة. تخوض هذه الانزياحات تغيرات في الخواص الضوئية للإلكترونات التكافؤ المرتبطة بشكل ضعيف والتي يمكن أن تُكشف فوراً بمسبار ضوء مرئي. وعلى أية حال، يمكن للحركة الذرية في المنظومات المعقدة أن تتحدّد بدقة أكثر من خلال دراسة الإلكترونات اللبنة القريبة من نواة الذرة، ولكن ذلك يتطلب استخدام أطوال أمواج أشعة X.

تسمح لنا نبضات الليزر الفائقة السرعة أيضاً بقياس التواترات التي تتمدد فيها الروابط الكيميائية وتتقلص. ومن ناحية ثانية، يمكن قياس الاهتزازات الجزيئية بسهولة أكبر في نطاق التواتر باستخدام التقنيات الموجودة حالياً، مثلاً بقياس امتصاص الإشعاع تحت الأحمر كتابع للتواتر. وهكذا ماهي مزايا الليزر الفائق السرعة؟

بعكس تقنيات نطاق التواتر، تقدم الليزر الفائق السرعة مدخلاً إلى الطور النسبي للأتماط الاهتزازية التي تكون حاسمة من أجل إعادة بناء التغيرات الدينامية في بنية الجزيء. فمثلاً يمكن لقياسات نطاق الزمن أن تحدد أي الرابطة الكيميائية التي تحطمت أولاً وكذلك أن تحدد مسار التفاعل الكيميائي. وفوق ذلك، تستطيع نبضات الفمتو ثانية حتى التحكم في التفاعلات الكيميائية كما أثبت ذلك حالياً جوستاف غيرير G. Gerber وتوماس بوميرت T. Baumert من جامعة فورسبورغ في ألمانيا.

ومنذ ذلك الحين أصبحت هذه الليزر متاحة بشكل واسع، واستخدمت ليزرات البيكو ثانية وليزر الفمتو ثانية في التحري عن ديناميات حاملات الشحنة في أنصاف النواقل. وقد سمحت الرؤيا الجديدة في الظاهرة الأساسية، التي تحدد سرعة الدارات المتكاملة، للفيزيائيين توسيع حدود الإلكترونيات العالية السرعة. يمكن استخدام النبضات الضوئية الفائقة القصير لاستكشاف حدود الإلكترونيات بسبب كونها أسرع بكثير من أسرع البياض الإلكترونية الموجودة حالياً.

وفوق ذلك، فإن الحقول الكهربائية من رتبة التيراهايرتز التي تُنتج بالنبضات الضوئية الفائقة القصير تستطيع أن تحوّل التيارات في الدارات المتكاملة وتتحكم فيها بسلام زمنية يتعدى بلوغها في الأجهزة الإلكترونية. ستساعد هذه القدرة على تسريع الحواسيب بعامل ألف بالمقارنة مع ما هو موجود حالياً. وحتى عندما تصبح الإلكترونيات التيراهايرتز حقيقة واقعة، فإن نبضات الليزر الفمتو ثانية ستبقى سريعة بشكل كافٍ لدفع حدود تقانة أنصاف النواقل.



حتى يمكن مَدّ التصوير الضوئي العالي السرعة إلى العمليات المجهرية، تُشطر نبضة ليزر فائقة القصر إلى قسمين عند شاطرة الحزمة. تقوم الإثارة أو نبضة الضخ بإطلاق الديناميات، مثلاً تحطيم رابطة كيميائية في حين تأسر نبضة السبر أي تتغير في الخواص الضوئية لاحقاً. يمكن تحقيق سلسلة القياسات بتغيير التأخر بين نبضات الضخ ونبضات السبر باستخدام مرآة قابلة للتحريك. ويمكن من تغير الخواص الضوئية (مثلاً الامتصاص) مقابل التأخر، إعادة بناء الديناميات (مثلاً الحركة الذرية). يعيّن أمد الومضات الضوئية ميز هذا "المجهر الزمني".

وتشارك في هذا النمط من الليزر الحقل الكهربائي مع جميع التواترات المختلفة أو الأتماط التي يمكن أن توجد داخل تجويف الليزر التي تنضاف بشكل بناء في نقطة ما و بشكلٍ هدام في أي مكان لتوليد نبضة عابرة عالية الشدة.

كان من الصعب بناء وتشغيل الليزر السابقة المغلقة النمط التي انتشرت في السبعينيات من القرن الماضي. وفي المقابل، يتم الحصول على الإغلاق الذاتي النمط بصورة طبيعية في تجاويف الليزر المصمّمة بعناية التي يدمج فيها مضخّم صلب مثل السفير (الياقوت الأزرق) المطعم بالثيتانيوم - وهو وسط ليزر طوره بيتر مولتون P. Moulton في الثمانينيات من القرن الماضي في معهد ماساشوستس للثقافة. وفي غضون ذلك، تستطيع المرايا المسقسفة المتخصصة، التي صمّمها روبرت سزيوكس R. Szipöcs عام 1993 في معهد أبحاث فيزياء الحالة الصلبة والبصريات في بودابست وكتب المقال الحالي، أن تضغط النبضات إلى حدٍّ أبعد.

وباستخدام هذه التقنيات، طور يورسولا كيلر U. Keller في ETH زيوريخ وبصورة مستقلة فرانتس كارتنر F. Kärtner ومعاونوه في MIT، هزازات تنتج نبضات تدوم 5 fs فقط طول موجتها 800 نانومتر. وبكلمة أخرى، تحتوي هذه النبضات على دورتين فقط من الحقل الليزري. ولما كان الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية، فإن نبضات الليزر لا تستطيع أن تكون أقصر من "الطول الموجي الحامل" λ الذي من أجل ذلك يحدد دوام النبضة إلى λ/c ، حيث c سرعة الضوء.

يعني هذا الأمر أن طول موجة الضوء يحدد الميز الذي يمكن فيه أن تُرى الذرات في الوقت المناسب، إضافة إلى تحديد الميز المكاني. وبصورة ممتعة، يستطيع الفيزيائيون ميز الذرات، عندما تكون متحركة بسهولة أكثر مما هي عليه عندما تكون ثابتة أو مستقرة. وبينما يكون من المستحيل رؤية

دون نطاق حاجز الفمتو ثانية

وهاتان الظاهرتان هما تبعثر رامان محوَّض وتوليد توافقية عالي الرتبة. و لكي نبقي تبعثر الضوء فوق البنفسجي و امتصاص الأطوال الموجية على أقل قدر ممكن يجب أن نقوم بالعملتين في غاز.

يحصل تبعثر رامان عندما يمر الضوء خلال غاز من الجزيئات. يستطيع الضوء أن يثير سويات طاقة اهتزازية أو دورانية في الجزيئات و التي بدورها تعُدِّل الإشعاع الليزري. لقد تمَّ إثبات قدرة تبعثر رامان المحوَّض من أجل توليد سلسلة من نبضات دون الفمتو ثانية من قِبَل عدة مجموعات بما فيها أليكس سوكولوف A. Sokolov و ستيفن هاريس S. Harris من جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة. لقد أثاروا اهتزازات ارتجاجية في جزيئات الدوتريوم باستخدام ليزرين ضيقَي الفصاة تمَّ اختيارهما بحيث أن التباين في التواتر بين الحزمتين وافق تواتر اهتزاز الجزيئات. تؤثر الحركة الدورية لنوى الدوتريوم في المدى الذي تتزاح فيه الإلكترونات بواسطة الليزر. تقود الحركة الدورية هذه إلى عُصايات جانبية مترابطة الطور وتكون مزاحة التواتر بالنسبة لأموال الليزر الواردة بتواتر اهتزازي مقداره $(\Delta\nu \approx 90 \text{ THz})$. يمتد طيف أنماط رامان المترابطة والمتسامتة (واقعة على الخط نفسه) من الضوء ما تحت الأحمر إلى فوق البنفسجي (الشكل 3a). نحتاج إلى جزء صغير فقط من هذا الطيف - يتضمن الخطوط الزرقاء والبنفسجية وما فوق البنفسجية - لتوليد سلسلة النبضات دون الفمتو ثانية مفصولة بـ $1/\Delta\nu \approx 11 \text{ fs}$ ، شريطة أن يتم تعديل الطور النسبي لأنماط رامان بشكل جيد ودقيق.

ومن الممكن الحصول حتى على نبضات أقصر بواسطة إزاحة تواتر الليزر إلى الحدِّ الأبعد للضوء فوق البنفسجي باستخدام التوليد التوافقي العالي الرتبة. تحصل هذه الظاهرة عندما تمر حزمة عالية القدرة من نبضات ليزر فمتو ثانية مستقطبة خطأً من خلال غاز دزّي. يمكن للحقل الكهربائي الشديد لنبضة الضوء أن يدفع إلكترونات بعيداً عن الذرة ويسرعه. وعندما يعكس الحقل الضوئي في نصف الدورة التالي يمكن للإلكترون أن يندفع راجعاً إلى داخل الأيون معطياً طاقته على شكل فوتون أشعة - X. يتم تكرار هذه العملية كل نصف دورة من حقل الليزر مفضياً بذلك إلى نشوء خطوط منفصلة في الطيف فوق البنفسجي البعيد وطيف أشعة X. تكون تواترات هذه "التوافقيات العالية الرتبة" منفصلة بما يعادل ضعف تواتر حقل الليزر المسوّق وتتحد بعضها مع بعض لإنتاج سلسلة من نبضات الأتو ثانية (الشكل 3b).

لقد تمَّ الحصول على إثبات تجريبي حاسم بوجود سلسلة النبضات هذه منذ وقت قريب فقط نتيجة التعاون بين الفيزيائيين الفرنسيين والهولنديين بقيادة هارم غيرت مولر H. G. Muller من معهد FOM للفيزياء الذرية والجزيئية في أمستردام و بيير أغوستيني P. Agostini من مركز Etudes de Saclay قرب باريس. بينت التجربة توليد سلسلة من 250 نبضة باستخدام نبضات ضحك 40 fs من ليزر تيتانيوم - سفير.

مطيافية دون الفمتو ثانية

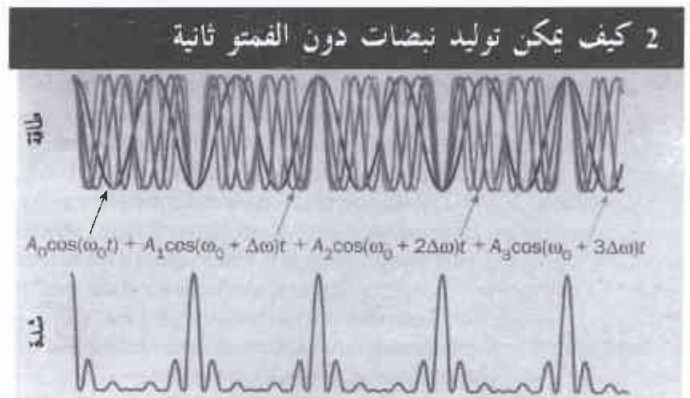
لسوء الحظ يوجد لتبعثر رامان المحوَّض وللتوليد التوافقي العالي عواقبهما من أجل مطيافية السير - الضحك. إن الفترات الفاصلة بين النبضات - 11 فمتو ثانية في تجربة ستانفورد و 1.3 فمتو ثانية في عمل أمستردام - باريس - قصيرة جداً بحيث أن العمليات الفيزيائية

هل في مقدورنا، بالتالي، كسب أي شيء آخر بتحسين ميز مطيافية الضحك - السير إلى ما دون الفمتو ثانية؟ الجواب بوضوح نعم - إن نبضات ما دون الفمتو ثانية متمكننا لأول مرة من تتبع مسار العمليات في داخل الذرة. تتم الخطوة الأولى في هذا الاتجاه بتوليد وقياس نبضات ما دون الفمتو ثانية أو نبضات الأتو ثانية. يجب على هذه النبضات أن تكون أقصر من دورة موجة الضوء المرئي التي تدوم حوالي 2 فمتو ثانية في حالة الضوء الأحمر. ونتيجة لذلك، نحن بحاجة إلى أطوال موجية أقصر أو أعلى "تواترات حامل" لتوليد نبضات ضوء دون الفمتو ثانية.

يمكن، من حيث المبدأ، الحصول بسهولة على تتابع نبضات ضوء أقصر من λ/c بجمع أمواج معاً تهتز بتواتر زاوي مقداره $\omega_0 + N\Delta\omega$ ، حيث تدل $\Delta\omega$ على الانزياح الثابت بالنسبة لموجة الليزر الأساسية، $\omega_0 = 2\pi c/\lambda$ و N عدد صحيح (الشكل 2). وتكون النتيجة عبارة عن سلسلة من نبضات عابرة شديدة منفصلة زمنياً بمقدار $1/\Delta\nu = 2\pi/\Delta\omega$.

يتناسب دوام هذه النبضات العابرة عكسياً مع كل من انزياح التواتر $\Delta\nu$ وعدد الأمواج التي جمعت معاً. وهذا يعني أنه من أجل توليد نبضات دون الفمتو ثانية باستخدام عدد محدود من الأمواج يجب أن تكون $\Delta\nu$ ماثلة لتواتر الضوء المرئي. وكفكرة عامة، إن هذه التقنية ترتبط بشكل وثيق مع طريقة قفل النمط التي تستخدم عموماً في توليد نبضات الفمتو ثانية في مجاوبات الليزر. وعلى أية حال، إن الاختلاف المهم هو أن $\Delta\nu$ من أجل نبضة دون الفمتو ثانية يجب أن تكون أكبر بعدة مراتب من المقادير من تباعد التواتر بين الأنماط المتجاورة لمجاوب الليزر. في الحقيقة، إن $\Delta\nu$ يجب أن يكون كبيراً بحيث لا يستطيع أي ليزر أن يضخَّ جميع هذه الأمواج المزاحة التواتر. و الطريقة الوحيدة التي يمكنها توليد هذه الأمواج تكون باستخدام تقنيات ضوئية لاختطية لا تشكل جزءاً من مجاوب الليزر الفمتو ثانية نفسه.

وبصورة عامة، يمكن استثمار ظاهرتين ضوئيتين لاختطيتين في توليد أمواج مترابطة الطور مع حزمة الليزر الواردة لكن تواتراتها أعلى بكثير

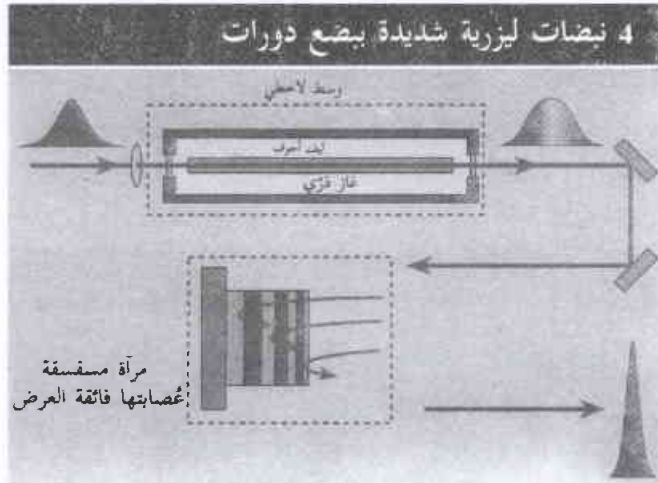


يمكن أن يعطي تراكب عدّة موجات ضوئية عند التواترات المتساوية المسافة (الشكل الطولي) في المنطقة فوق البنفسجية سلسلة نبضات عابرة دون الفمتو ثانية (الشكل السفلي) إذا عُدِّلت أطوار الأمواج بشكل مناسب. تُعطي سرعة إعادة النبضات العابرة بالعلاقة $\Delta\nu = \Delta\omega/2\pi$ حيث تدل $\Delta\omega$ على فرق التواتر الزاوي بين المكونات المتجاورة.

Ti تبلغ عدة نانو جول وليست ملي جول. ويصل تضخيم هذه الطاقة مليون مرة على حساب تمديد النبضات زمنياً إلى حوالي 20 فمتو ثانية.

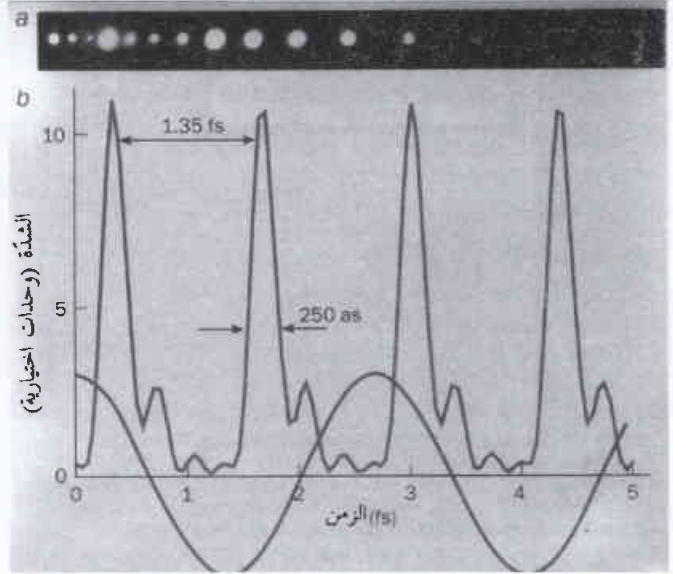
إحدى الطرائق لحل هذه المسألة هي في أخذ نبضات الـ 20 فمتو ثانية الشديدة وتمريرها خلال دليل موجة أجوف مملوء بالغاز، وهو نبضة تم اختراعها عام 1995 من قبل أورازيو سيفيلتو O. Svelto وساندرودي سيلفستري S. De Silvestri من بوليتكنيك ميلانو في إيطاليا. ولما كانت قرينة الانكسار للغاز تتغير مع الشدة، يصبح تواتر النبضة عريضاً - ينزاح الطرف الأمامي من النبضة إلى تواتر أخفض في حين ينزاح الطرف الخلفي إلى تواتر أعلى. تُضغَط هذه النبضات المعرضة التواتر (frequency broadened) بعد ذلك في الوقت المناسب باستخدام "مرايا مسسقة متعددة الطبقات" فائقة التعريض التي اخترعتها مجموعتنا في فيينا وباشون من بودابست (الشكل 4). لقد صُممت هذه المرايا بصورة خاصة بحيث أن الضوء الأحمر المنزاح عند الطرف الأمامي للنبضة يتغلغل إلى مسافة أبعد قبل أن ينعكس بشكل أكثر من الضوء الأزرق المنزاح عند الطرف الخلفي. تدوم النبضة المنبعثة أقل من 10 فمتو ثانية ولها شدة ذروة تتجاوز 100 جيجاواط. لقد أفسحت النبضات بهذه المميزات الطريق إلى توليد نبضات مفردة دون الفمتو ثانية.

اتخذت الخطوات الناجحة الأولى في هذا الاتجاه حديثاً باستغلال كل من تبشر رامان والتوليد التوافقي العالي. مرّر جورج كورن G. Korn ومعاونوه من معهد ماكس بورن - برلين نبضات مدتها 15 فمتو ثانية من الضوء البنفسجي خلال جزيئات من الفلوريد والكبريت المثار سابقاً بتواتر اهتزازي قدره 23 تيراهرتز. تم توليد عُصابتان جانبية أفضت إلى انبعاث نبضات مفردة طول موجتها 400 نانومتر دامت 4 فمتو ثانية فقط.



لتحصول على نبضات ضوئية عالية الطاقة تحوي أقل من ثلاث دورات موجية، يتم أولاً نشر نبضات 20 فمتو ثانية من ليزر سفير Ti خلال دليل موجي فارغ اللب مملوء بغاز النيون. تقوم قرينة انكسار الغاز التي تعتمد على الشدة بتوليف النبضة، منتجة انبعاثات مكونة تواتر جديدة. يكون الحد الأمامي من النبضة "أحمر الانزياح" إلى التواترات الأخفض، في حين يكون حد المؤخرة "أزرق الانزياح" إلى التواترات الأعلى. عندما تصطدم هذه النبضات على مرآة متعددة الطبقات "مسسقة" ومصممة بشكل خاص، تنغفل المكونات الحمراء الانزياح في الطرف الأمامي بشكل أكثر عمقاً قبل انعكاسها من المكونات الزرقاء الانزياح في الطرف الخلفي. تضغَط هذه المرآة نبضات التواتر المعرضة في الوقت المناسب. نستطيع المنظومة أن تعطي 5 نبضات الفمتو ثانية باستطاعة ذروة مقدارها 0.1 تيراواط.

3 عُصابتان رامان جانبية وتوافقيات عالية



(a) الطيف الذي حصل عليه أنكسي سوكولوف ومعاونوه في ستانفورد باستخدام مودل رامان متسامت. من اليسار: العُصابتان الجانبيتان الأوليتان تكونان عند الأطوال الموجية تحت الحمراء، في حين تكون العُصابتان الأربعة الباقية عند الطيف المرئي بدءاً من الأحمر فالأخضر فالأزرق فالبنفسجي. تكون العُصابتان الجانبيتان التاليتان عند المجال فوق البنفسجي وتكونان مرتين فقط من الفلورة التي تولدانهما. العُصابتان المولدتان بالاهتزازات الجزيئية المثارة عند الفرق بين تواتري الليزر مترابطتان، وتراوح أطولهما الموجية من 2.94 ميكرومتر إلى 195 نانومتر.

(b) عُضُضت سلسلة نبضات الأتو ثانية (الأحمر التنبأ بظهورها عند تعريض دق من غاز الأرجون إلى نبضات ليزر شدتها 40 فمتو ثانية وطول موجي يبلغ 800 نانومتر. تُضاف التوافقيات المولدة الـ 11th و 13th و 15th و 17th و 19th بعضها إلى بعض للحصول على نبضات فائقة القصر. يبلغ طول الموجة الحاملة لسلسلة نبضة الأتو ثانية 53 نانومتر، ويكون مقدار طول السلسلة 10 فمتو ثانية. يمثل الخط الأخضر الحقل الكهربائي لليزر القائد.

والكيميائية والبيولوجية موضوع الدراسة لا تجد الوقت الكافي للاضمحلال نهائياً والعودة إلى حالتها الأولية قبل أن تصل النبضة التالية. ولهذا فإن سرعة الإعادة العالية للنبضات تفرض قيوداً قاسية غير مقبولة على العمليات التي يمكن دراستها.

من الواضح أن مطيافية الضخ - السبر تستطيع أن تستفيد من هذه المصادر الفائقة السرعة إذا أمكن اختيار نبضة مفردة من السلسلة كما أشار بذلك بول كوركوم P. Corkum، من معهد ستيفسي للعلوم الجزيئية في أونتاريو - كندا، في اقتراحه الرائد من أجل ضوئيات الأتو ثانية. إن الطريقة الأكثر وعداً من أجل عزل مثل هذه النبضة هي في سوق الجزيئات التي تُنتج خطوط رامان - أو الذرات التي تُصدر التوافقيات العالية - لوقت قصير كهذا بحيث تنشأ بصورة طبيعية نبضة مفردة من عملية التوليد. وبهذا يمكن تجنب العمل الهائل لاختيار نبضات وحيدة من سلسلة التيراهرتز المتعددة.

تتطلب هذه المقاربة أن لا تدوم نبضات ليزر السفير: Ti أكثر من 5-10 فمتو ثانية وأنه يجب أن تكون طاقتها حوالي ملي جول لتوليد دقة مفردة دون الفمتو ثانية من الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة X- . ولكن طاقة النبضات 5 - 10 فمتو ثانية التي تثبت مباشرة من هزاز ليزر السفير:

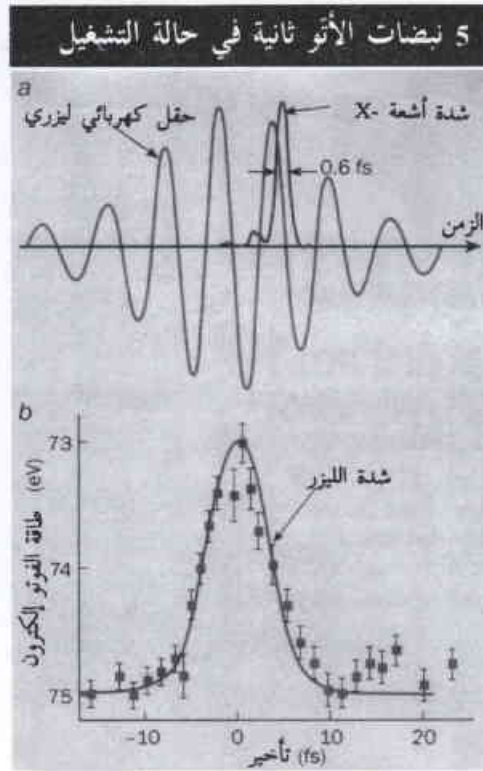
حاوية عدة دورات من الحقل الضوئي لدفع حزمة أمواج إلكترونية من لب الذرة وتحريكها بدقة زمنية مشابهة.

تعتمد البنية الزمنية النوعية لكلا العمليتين على تحويل الحقل الليزري خلال الدورة الضوئية. يتأثر هذا التحويل بدوره بالطور النسبي للموجة الحاملة بالنسبة إلى المغلف السعة، وما يسمى بطور الحامل - المغلف. فعلى سبيل المثال، إذا تم انزياح طور الحامل - المغلف لنبضة الليزر في الشكل 5a بـ $\pi/2$ فإن الحقل الكهربائي عندئذ سيصل إلى حده الأعظمي عند مركز النبضة بدلاً من الصفر. ويمكن لانزياح الطور هذا في نبضة حاوية أقل من ثلاثة اهتزازات أن يعدل بشكل كبير تحويل الحقلين الكهربائي والمغناطيسي، وبالتالي يؤثر على المسارات الإلكترونية.

لوحظت أولى المؤشرات التجريبية على تبعية هذا الطور حديثاً من قبل غيرهارد باولس G. Paulus و هيربرت والذر H. Walther في معهد ماكس بلانك للضوئيات الكمومية قرب ميونخ والمتعاونين من بوليتكنكو ميلانو. وفي الوقت نفسه، اعتمد ستيفن كوندف S. Cundiff وزملاؤه في مختبر JILA في بولدير - كولورادو، وتعاون بين الباحثين في فيينا و ميونخ، بصورة مستقلة، على الفكرة الحاذقة لتيودور هانتش T. Hänsch في MPI ميونخ لتثبيت طور الحامل المغلف للنضبات الفائقة القصر المنخفضة الطاقة.

وعندما تصبح النضبات المضخمة العالية الشدة مع الطور المثبت متوفرة، ستسمح لنا عمليات الحقل القوي - مثل تأيين الحقل الضوئي أو التوليد التوافقي من الرتبة العالية - بقياس طور الحامل - المغلف مباشرة. إن الدخول إلى هذا البارامتر - بالإضافة إلى قياس التباين في السعة وتواتر الحقل الليزري باستخدام تقنيات معيارية - سيسمح لنا بتعيين تحويل الحقل الكهربائي في موجة الضوء والتحكم به، وحتى في اصطناع أشكال أمواج اختيارية للضوء الحاوي على دورات قليلة.

يمكن لأشكال الأمواج هذه أن تسمح لنا بالتحكم بحركة الإلكترون بعد أن يتم فصله من ذرة أو جزيء. تتضمن النتائج المباشرة للتوليد الحقيقي والتحكم بنضبات الأيونات عند أطوال أمواج الأشعة فوق البنفسجية القصوى وأشعة X-الليبية عبر التوليد التوافقي العالي الرتبة. وربما يمكن عند الشدات الأعلى بكثير تسريع النضبات الإلكترونية الأيونات ثانية ورفعها إلى طاقة عدة ميغا إلكترونات - فولت.



(a) يولد مغلف الشدة المتنبأ به لنبضة أشعة X (اللون الأحمر) في تجربة ذات رتبة توافقية عالية بغاز النيون وبنضبات ليزر الأشعة تحت الحمراء القريبة تدمم 7 فمتو ثانية (اللون الأخضر). حسب نبضة أشعة X- المعزولة بحيث تدمم 600 أتو ثانية، ويكون طول موجتها 14 نانومتر.

إن قياس مدة مثل هذه النضبات القصيرة موضع ارتياب. يحدّد القياس الأول المقدم من تعاون الفيزيائيين النمساويين والألمان والكنديين الحد الأعلى بـ 2 فمتو ثانية تقريباً. ومن الممكن إدخال تحسينات أكثر على القياسات في المستقبل.

(b) سُجِّل شكل الشدة بتابعية الزمن لنبضة ليزر 7 فمتو ثانية باستخدام نضبات أشعة X- 1.8 فمتو ثانية لقذف إلكترون خارج ذرة. يكون انزياح طاقة الإلكترون متناسباً مع شدة نبضة الليزر الأطول في لحظة امتصاص أشعة X-. وقياس هذا الانزياح للطاقة كنابع للتأخر بين نبضة الليزر وأشعة X- (النقاط)، أُعيد من جديد بناء الشدة (النقاط) بمتوسط محدد بدوام نبضة أشعة X-. إن هذا هو أول قياس "مجهر زمني" يمتدّ يقرب من الفمتو ثانية الواحدة.

وفي تجربة حديثة أخرى، ولدت مجموعتنا بالتعاون مع باحثين من جامعة يلفلد في ألمانية ومن مجلس الأبحاث الوطني في أوتوا - كندا - نبضات مفردة من أشعة X- ليته طول موجتها 14 نانومتر. انبعثت هذه الدفقات المعزولة من أشعة X- كحزمة شبيهة بالليزر مسددة من توليد توافقي عالي في غاز من ذرات النيون المعرض لنضبات شديدة حاوية عدة دورات من الحقل الليزري. لقد قمنا بقياس الحد الأعلى من حوالي 2 فمتو ثانية لمدة النبضة باستخدام دفقة أشعة X- كنبضة "ضح" لتأين غاز ذرات الكربون ضوئياً، وليزر ثان متأخر زمنياً "كمسبار".

أتاحت التقنيات التي طورناها الإمكانية لتوليد وقياس نبضات أشعة X- مفردة مدتها أتو ثانية. تتنبأ الحسابات النظرية أن نبضات أشعة X- المنبعثة من تجربتنا دامت 600 أتو ثانية، ولكن التحقق من هذه القيمة تجريبياً يتطلب إما نبضات أشعة X- ذات طاقة أعلى أو جهاز قياس أكثر كفاءة (الشكل 5a).

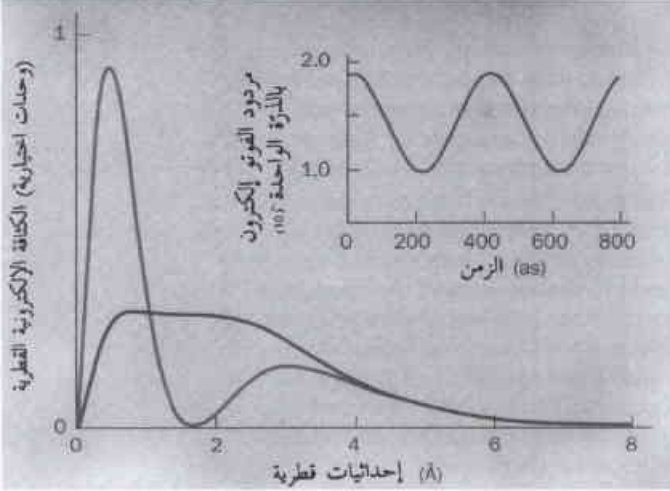
لا تعتبر أشعة X- في المادة كثيراً كنضبات الأشعة فوق البنفسجية، مما يعني أن نبضات أشعة X- التي تدمم 100 أتو ثانية تكون شديدة القوة. على أية حال، إن كفاءة إنتاجها تكون أقل بكثير من دفقات الأشعة فوق البنفسجية. و بما أنه توجد الآن تقنيات ملائمة لتوليد وقياس دفقات أشعة X- تدمم من 100 إلى 200 أتو ثانية، فيجب على الأبحاث أن تركز على تعزيز مردود أشعة X- من التوليد التوافقي العالي من أجل مطيافية الضخ - السبر الأتو ثانية الموثوقة.

استخدمنا كتطبيق أولي سلسلة من نبضات 1.8 فمتو ثانية للحصول على لقطات من ليزر 7 فمتو ثانية الذي استخدم في توليد أشعة X- (الشكل 5b). وهذا ما سمح لنا في حل سيماء الشدة لدقيقة ضوء تدمم عدة وحدات من الفمتو ثانية للمرة الأولى.

نحو فيزياء الأيونات

الفيزيائيون في الوقت الحاضر قريبون من التحكم في حركة الإلكترونات بسلم زمني أقصر واقعياً من الدور الاهتزازي للضوء المرئي. يمكن، في الحقيقة، جعل ثنائيات القطب الكهربائي لذرات النيون في تجربتنا تهتز عند الحد الأعلى من التواترات لأجل بضع مئات فقط من الأتو ثانية بواسطة ليزر شديد فائق القصر. يمكننا أيضاً استخدام نبضات

6 استراحة الأتو ثانية للذرة الهيدروجين



الكثافة الإلكترونية القطرية في حالة تراكم 2s - 1s للذرة الهيدروجين. تتنبأ معادلة شرودنغر التابعة للزمن بأن التابع الموجي يهتز بين حالي الكثافة الإلكترونية العظمى (خضراء) والصغرى (حمراء) بدور مقداره حوالي 400 أتو ثانية قرب النواة. وطبقاً للحسابات النظرية، يمكن ملاحظة هذه الظاهرة الكمومية الأساسية باستخدام نبضات أشعة X- أتو ثانية التي تؤين ذرة الهيدروجين. تتنبأ النظرية بأن مردود التأين سيُعدّل عند دور الاستراحة كتابع لتأخر الزمن بين نبضة أشعة X- الأتو ثانية ونبضة الإثارة (انظر الشكل الداخلي).

الاستفادة من الخفقات الكمومية في الطبقة الداخلية، مثل تصنيع ساعات من أجل العمليات الإلكترونية الجزيئية الفائقة السرعة المستقبلية تعمل دون 1 تيرا هرتز.

نظرة إلى المستقبل

تسمح لنا الومضات الفائقة القصر من الضوء أن نأخذ لقطات للجسيمات المجهرية وبالتالي نعيد بناء حركتها. تصدّر آخر ليزرات الفمتو ثانية الموجودة حالياً نبضات قصيرة بدرجة كافية لحل حركة الذرات في الجزيئات والأجسام الصلبة، بالإضافة إلى ديناميات حاملات الشحنة في أنصاف النواقل. وفي الوقت نفسه، تسمح نبضات الفمتو ثانية المصنّعة بشكل خاص أيضاً في التحكم بهذه العمليات واستقود إلى تطبيقات عديدة في الكيمياء والكيمياء الحيوية والإلكترونيات.

إن الحدود في كل من مطيافية المتر الزمني والتحكم في الديناميات المجهرية على وشك أن تُسّع جذرياً بسبب القدرة التقنية المنبثقة التي ستسمح لنا بتصنيع نبضات شديدة حاوية على دورات قليلة للحقل الليزري الذي يتطور بطريقة محدّدة بدقة. وسنكون بهذه التقنية قادرين بوقت قصير على التحكم في حركة الرزم الموجية الإلكترونية بسلاسل زمنية من رتبة الأتو ثانية، تماماً كما نستطيع حالياً التحكم في حركة الرزم الموجية النووية خلال عدد قليل من الفمتو ثانية. وستمكننا نبضات أشعة X- الأتو ثانية المفردة والحزم الإلكترونية الأتو ثانية، التي مستقبلياً من قدرتنا على التحكم بالرزم الموجية الإلكترونية، من سير حركة الإلكترون وتسييره بدقة غير مسبوقة.

إن إتاحة هذه الأدوات ستبشر بعهد جديد من الفيزياء التجريبية التي ستكون أساسية وواسعة الانتشار بحيث تتطلب إطلاق اسم جديد عليها. فلنكن على أهبة الاستعداد للترحيب بهذه الحقبة من فيزياء الأتو-■

ولما كانت أشعة X- هذه والنبضات الإلكترونية متزامنة مع حقل الليزر بدقة أتو ثانية، فإننا سنكون قادرين على أخذ لقطات لمراحل مختلفة من الديناميات الذرية والجزيئية والبلازمية. إن هذه العمليات ستطلق وتُقاد بواسطة الأشكال الموجية الضوئية الشديدة والمتحكم بها حقلياً وتُسير نبضات أشعة X-، مفسحة لنا الفرصة في كلي من التحكم وإعادة بناء حركة الإلكترونات عند سلّم الطول الذري وميزر الأتو ثانية. ويمكن بهذه الطريقة، على سبيل المثال، قياس مسار الرزمة الموجية من لحظة خروجها من الذرة، ويمكن تفصيلها من أجل تطبيقات مختلفة. يمكن أن تتضمن هذه التطبيقات تطوير ليزرات أشعة X- أكثر كفاءة وأقصر طول موجي، أو مصادر نبضات إلكترونية نسبية فائقة السرعة وحيدة الطاقة من أجل مسرعات الجيل القادم الخطية.

التحرّي داخل الذرات

إن نبضات أشعة X- الأتو ثانية ستمهّد الطريق نحو مراقبة حركة الإلكترونات داخل الذرات. فتتوقع مثلاً أن نكون قادرين على تتبع حركة الإلكترون خلال فمتو ثانية إذا جرى تحريره من حالة الربط بواسطة حقل ليزر شديد. ونستطيع أيضاً تتبع استرخاء الإلكترونات المرتبطة الباقية إلى حالات توازنها الجديدة بميزر أتو ثانية.

وعندما نستطيع توليد نبضات أتو ثانية بطاقات أعلى بكثير، سنكون قادرين على استخدامها كمضخات ومسار في مطيافية الضخ - السبر، ومن ثم يمكن إزاحة الإلكترونات انتقائياً من الطبقات الداخلية بنبضة أشعة X- أتو ثانية قوية، وسيزر ملء فراغ الطبقات الداخلية بدقة أكثر من 1 فمتو ثانية باستخدام نسخة متأخرة زمنياً أضعف من النبضة نفسها. فهل هنالك حاجة لذلك؟ لماذا لم نعلم ببساطة على أزمنة الاسترخاء المشتقة من قياسات عرض الخطوط؟ الجواب البسيط هو أنه لا يمكن دراسة تأثير حقل شديد فائق القصر على ديناميات الإلكترونات المرتبطة في مجال التواتر - وهذه الديناميات مهمة من أجل تطبيقات مثل ليزرات أشعة X- هذه.

أخيراً، وبالعودة إلى الأسس، يتنبأ نموذج بور البسيط للذرة الهيدروجين أن يستغرق الإلكترون حوالي 150 أتو ثانية للدوران حول البروتون. وطبقاً لقوانين ميكانيك الكم، لا تحدث أية ديناميات جديدة بالملاحظة مادام الإلكترون مقيماً في حالته الأساسية (1s). وعلى أية حال، تتغير هذه الحالة إذا حُرّض جزء من التابع الموجي للإلكترون إلى الحالة المثارة الأولى (2s). تتنبأ معادلة شرودنغر Schrödinger التابعة للزمن أن المركبتين ($1s$ و $2s$) للتابع الموجي المركب الجديد ستنبضان بتواتر مساوٍ لتواتر الانتقال بين سويي الطاقة 1s و 2s (الشكل 6).

ستسبب هذه الخفقة تعبيراً دورياً في توزيع الاحتمال القطري للإلكترون بدور يبلغ حوالي 400 أتو ثانية. يمكن اعتبار هذه "الاستراحة القصيرة" للذرة الهيدروجين كإحدى أهم المظاهر الدينامية الكمومية في الطبيعة. ولكن هل يمكن ملاحظتها؟ حسب آرمن سكرينزي A. Scrinzi وتوماس برابك T. Brabec من جامعة فيينا للتقانة يمكن كشف ذلك بالاستفادة من حقيقة أن فصل الإلكترون يكون أسهل عندما يكون أقرب إلى لب الذرة. لقد تنبؤوا أن قياس مردود التأين الضوئي بنبضات أشعة X- أقصر من 200 أتو ثانية في تجربة السبر - ضيق يمكن أن يقدم رؤيا مباشرة لهذه الديناميات الكمومية. ورغم أن هذا الأمر ليس أكثر من اهتمامات أكاديمية في الوقت الراهن، إلا أنه يمكن في نهاية المطاف،

المواد الكهرمغناطيسية تدخل عصر السلبية*

ج. بندري

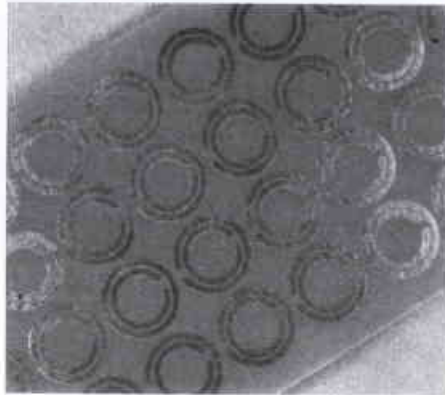
مختبر بلايكت، الكلية الملكية، لندن - المملكة المتحدة.

ملخص

مواد جديدة ذات سماحية كهربائية سالبة ونفوذية مغناطيسية سالبة تُعيد صياغة قوانين الضوء وقد تؤدي إلى عدسات مثالية ذات تميز لا يحده الطول الموجي.

الكلمات المفتاحية: مواد كهرمغناطيسية، تواتر أمواج مكروية، نفوذية مغناطيسية سالبة، سماحية كهربائية سالبة، قرينة انكسار سالبة، عدسة مثالية، حلقات مجزأة، بلازمون سطحي.

إن الإلكترونات في المادة تُستقطب لدى استجابتها إلى حقل كهربائي، وتُوصفُ الدرجة التي بلغت في فعل ذلك بالسماحية ϵ . فعند تواترات محدودة تكون ϵ عدداً عقدياً. ويصف الجزء التخيلي من ϵ امتصاص الطاقة؛ لذا يمكن أن يكون موجياً أو صفراً لكنه لا يمكن أن يكون سالباً أبداً. ومن جهة أخرى، فإن الجزء الحقيقي منه غالباً ما يكون موجياً لكنه يمكن أن يكون سالباً كذلك. تُحدد الاستجابة الضوئية لمعدن من قبل إلكترونات المعدن، التي تُشكل، في جوهرها، بلازما من جسيمات حرة مشحونة. تعني الكتلة المحدودة لهذه الإلكترونات أنها لا تستجيب أنياً للحقول الكهربائية. لكنها، تستجيب مع تغير في الطور بمقدار 90° ، وهذا يؤدي إلى القيمة السالبة لـ ϵ .



تمتنع بنية "الحلقات المجزأة" هذه بنفوذية مغناطيسية سالبة عند تواترات الأمواج المكروية وتستطيع أن تُشكلُ لَبَّةً بناءً في مواد ذات قرينة انكسار سالبة لعدد من التطبيقات. تتألف البنية من حلقات نحاسية ذات أقطار تبلغ حوالي 5 mm منقوشة على لوح دارة مطبوعة.

إن السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية مفهومان متغلغلان عميقاً في الكهرمغناطيسية. فالسماحية الكهربائية لمادة ما تُحدد استجابتها لحقل كهربائي مطبق، بينما تلخص النفوذية كيف تستجيب المادة لحقل مغناطيسي مطبق. والائتقان معاً، السماحية والنفوذية، تُحددان كيف تستجيب المادة لإشعاع كهرمغناطيسي فيه كل الأطوال الموجية. وفي الواقع، يمكن تعريف سرعة الضوء في الخلاء كما يلي: $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ ، حيث ϵ_0 هي سماحية الفضاء الحر أو الخلاء، و μ_0 هي نفوذية هذا الخلاء.

عندما تدخل حزمة من الضوء مادة ما فغالباً ما تتباطأ سرعتها وتغير جهتها. أما إلى أي درجة يتم ذلك فهذا أمر يُحدده قرينة انكسار المادة. تُعرف قرينة الانكسار n بالمعادلة

البيضاية: $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ حيث ϵ هي سماحية المادة (بالنسبة للخلاء) و μ هي النفوذية النسبية. وعليه فإن سرعة الضوء في المادة تتناقص إلى c/n ، بينما يصبح الطول الموجي للضوء λ/n ، حيث λ هي الطول الموجي في الخلاء. إن قرينة الانكسار هي في الحقيقة مقدار عقدي، ويحدد الجزء التخيلي منه شدة التوهين الذي يصيب الضوء داخل المادة.

تُعد السماحية والنفوذية وقرينة الانكسار، أي ϵ و μ و n ، بمثابة اللاعبين الثلاثة في قصتنا، وموضوع كلامنا هو عما يحدث عندما تأخذ هذه المقادير قيماً سالبة، إما بصورة منفصلة أو معاً. إن المواد التي لها ϵ سالبة موجودة بشكل طبيعي - فالمعادن، على سبيل المثال، لها ϵ سالبة عند تواترات ضوئية - بينما المواد ذات النفوذية μ السالبة لم تُشكلُ أو تُصنع في المختبرات إلا حديثاً. إن ϵ و μ السالبتين تؤديان، كما سنرى، إلى تنوعات من الفيزياء الجديدة المدهشة ولعلها تمكن من قيام تطبيقات في الاتصالات، والإلكترونيات، والبصريات والطب.

وبالمثل يمكن أن تتممظ المادة بتطبيق حقل مغناطيسي وتُحدد النفوذية المغناطيسية μ مدى هذا التمغظ. وتنطبق القواعد نفسها على القيم العقديّة لـ μ كما انطبقت على ϵ ، باستثناء أن الجزء الحقيقي من μ لا يكون سالباً أبداً في مواد موجودة بصورة طبيعية. ومن الممكن صنع مواد اصطناعية ذات نفوذية μ سالبة. إن هذه المواد ذات البنى المكروية تحتوي على وشائع من سلك على مقياس أصغر بكثير من الطول الموجي للإشعاع الوارد: أي أن الشائع أنشئت بحيث تجرّي التيارات مستجيبة لحقل مغناطيسي. إن التصميم الدقيق لهذه البنى يمكن من الوصول إلى قيم سالبة للنفوذية μ ، رغم أن هذا لم يكن ممكناً فيما مضى إلا عند تواترات أمواج مكروية.

وماذا عن قرينة الانكسار السالبة؟ أجد هذا الأمر أنه الجزء الأغرب في قصتنا. وإنني، كأغلب الفيزيائيين، ورغم أي موطن من مواطن الضعف الأخرى الموجودة في فهمي للكهرمغناطيسية، أعتقد بأنني أفهم كيف ينحني الضوء عند السطح الفاصل بين مادتين لهما قرينتا انكسار مختلفتان

* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, September 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

المرغوبة. إن مربع التواتر الذي يكون للمادة فوقه سماحية سالبة يتناسب طردياً مع كثافة الجسيمات المشحونة. في البلازما الحرة ويتناسب عكساً مع كتلتها. وعليه، كي نتيج سماحية سالبة عند تواترات أخفض نحتاج إلى أن نخفض كثافة الجسيمات المشحونة ونزيد كتلتها.

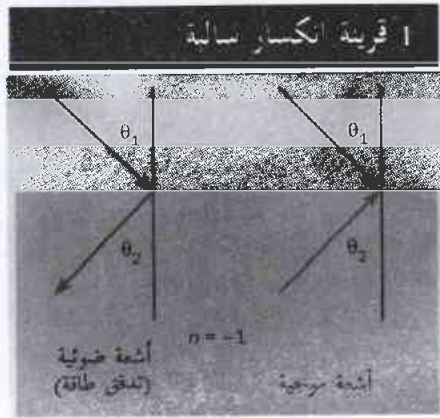
ويمكن تحقيق هذه الشروط في بنية تشمل شبكة ذات أسلاك رفيعة جداً لا يتجاوز قطرها بضع عشرات من الميكرونات وتبعد عن بعضها بضعة مليمترات. إن بنية كهذه تُقلل كثافة الإلكترونات بعامل يُقارب المليون بالمقارنة مع معدن صلب، وتنتج إلكترونات لها نفس التركيز الذي للطعوم تقريباً في نصف ناقل.

إن حقيقة أن تكون الأسلاك رفيعة، فهذا أيضاً يلعب دوراً: فالتحريضية في الأسلاك الرفيعة تزداد بسرعة مع تناقص نصف قطر السلك، وإن أي تيار يجري في الأسلاك ينبغي أن يقاوم هذه التحريضية. ويكون التأثير الصافي هو نفس ما سيكون فيما لو كانت الإلكترونات أكثر تقيلاً مما هي عليه بالفعل. وفي الحقيقة يثبت الحسابات بأن الإلكترونات في هذه البنية ثقيلة بقدر تقل ذرات التروجين.

النفوذية السالبة: خداع الحقل

إن معادلات مكسويل تناظرية بالنسبة للحقلين الكهربائي والمغناطيسي. وعليه، وما دعنا نتعامل مع مكسويل، فإن ما نستطيع عمله من أجل الكهرباء، نستطيع أيضاً أن نفعل مثله مع المغناطيسية. لذا فإن النفوذية السالبة يجب أن نعر عليها في بلازما حرة لأقطاب مغناطيسية شمالية وجنوبية. ومن سوء الحظ لا يوجد في العالم الحقيقي أقطاب مغناطيسية حرة. ورغم البحث الشامل والدقيق على مدى عدة عقود، لم يُعر على قطب مغناطيسي مفرد واحد - ونحن نحتاج إلى بلاين منها لتوليد نفوذية سالبة، والطريقة الوحيدة التي تستطيع بها المادة أن تكون ذات نفوذية سالبة هي اللجوء إلى الخدعة.

لتخيل وشيعة أسطوانية طويلة جداً يغذيها تيار: يسلك طرفاها المتقابلان سلوك قطبين مغناطيسيين شمالي وجنوبي. وإذا عكسنا التيار فعندئذ يعكس القطبان موضعيهما. يبدو الأمر بالنسبة لمراقب خارجي، ليس لديه أي معرفة بعمل الوشيعة وسلوكها (وهو لا يعلم بأن الأقطاب المغناطيسية الأحادية غير موجودة)، كما لو أن بلازما من أقطاب شمالية وجنوبية تتحرك وتتجول داخل أنبوب يحتوي على الوشيعة. لذا فمن البديهي أن تستطيع التيارات الكهربائية أن تحاكي تأثير الأقطاب المغناطيسية.



مادة (باللون الأرجواني) ذات قرينة انكسار سالبة، $n = -1$ ، تحرف أشعة الضوء الوارد نحو "الجانب الخطأ" من الناظم (خطوط حمراء). في حين يشير الشعاع الموجي (خطوط خضراء) في الاتجاه المعاكس لتدفق الطاقة (الذي هو في نفس اتجاه الشعاع الضوئي). أما في المواد ذات قرينة الانكسار الموجبة، فستحرف الأشعة الضوئية نحو الناظم، ويشير كل من الشعاع الضوئي وشعاع الموجة إلى ذات الاتجاه.

(الشكل 1). إن المواد التي تجعل الضوء ينحني في الاتجاه "الخطأ" تمثل تطوراً جذرياً يتحدى كل بديهياتنا عن الضوء والكهرمغناطيسية.

سماحية سالبة: تطعيم الخلاء

تعدّ الفضة خياراً جيداً لتطبيقات تتطلب سماحية سالبة عند تواترات ضوئية لأن المقاومة فيها منخفضة جداً، والنفوذية تكاد تكون سالبة تماماً مع جزء تخيلي صغير جداً. إن لسطح المادة أهمية خاصة لأن السطح البيني للمعدن والخلاء يدعم اهتزازات في كثافة الشحنة عند السطح تُعرف باسم بلازمونات سطحية surface plasmons.

إن الخواص الضوئية للمواد التي لها سماحية سالبة، كالمعادن مثلاً، تكون في أقصى درجات الاهتمام بها عندما تكون المادة مبنية بُنية قوية ولها العديد من السطوح البينية مع الخلاء.

فالفضة، على سبيل المثال، مادة غروية في الصفائح الفوتوغرافية تبدو سوداء وهي ماص قوي للضوء لأن أنماط البلازمون السطحي تشترب الطاقة الكهرمغناطيسية الواردة.

كما أن أنماط السطوح هذه تقوم بدور بعض الحيل الأخرى. ففي عام 1998 بينَ توماس إيسين T. Ebbesen وزملاؤه، ومن بعدهم معهد أبحاث NEC في برينستون وفي جامعة لويس باستور L. Pasteur في ستراسبوغ، أنه من الممكن أن نعصر الضوء من خلال صفيقات من الثقوب في أفلام من الفضة حتى عندما تكون أنصاف أقطار الثقوب مجرد جزء من الطول الموجي للضوء. اقترح إيسين وزملاؤه بأن الضوء أيسر أولاً من قبيل بلازمون سطحي على الجانب الذي يرد عليه الضوء من الفلم، وبأن البلازمون انعصر بعد ذلك خلال الثقب وحُول بعدئذ مرة ثانية إلى ضوء على الجانب الأبعد. ولقد أكدت الدراسات النظرية ذلك.

إن هذا السطح "الذات الثاني" alter ego للضوء يفتح علم البصريات على علم نانومتري. والضوء العادي ذو الطول الموجي الذي يبلغ عدة مئات من النانومتر أعمى عن التفاصيل على سلم للقياس يبلغ بضع عشرات نانومتر. وعلى كل حال، إذا استطعنا أن نقلب الضوء إلى نمط سطحي بطول موجي أقصر بكثير، فعند ذلك ستظهر على الساحة تفاصيل دقيقة. وكما سنرى لاحقاً، فإن الاستثمار الأقصى لأنماط البلازمونات السطحية سيكون في إنشاء "عدسات مثالية" perfect lens.

ورغم أن المعادن مثل الفضة تقدم تقريباً جيداً للسماحية السالبة عند تواترات ضوئية، فإن الفقد العائد للمقاومة الكهربائية عند تواترات أخفض يعني بأن السماحية تكاد تكون تخيلية بصورة كلية في نظام الأمواج المكروية. بيد أنه من الممكن أن نصنع مادة اصطناعية بالخواص

من الإشعاع الراديوي RF وذلك عندما تُعيد اصطفاؤها مع الحقل المغنطيسي شبه السكوني. يُجمع هذا الإشعاع RF ليُشكّل الصورة. ورغم أن تميّز نبيطة MRI يتعيّن إلى حدّ كبير بتدرج الحقل شبه الساكن، لكن التحكم بحقل RF وتوجيهه هو موضع نقاش أيضاً.

أراد ويلتشير والعاملون معه أن يعرفوا فيما إذا كان بالإمكان استخدام اللفافات السويسرية المغنطيسية لتوجيه الحقول RF. تسلك اللفافات السويسرية وكأنها تحتوي على بلازما مغنطيسية ذات أقطاب شمالية وجنوبية حرّة، لذا فإنها: بالقرب من تواتر التجاوب، كالأسلاك المغنطيسية التي تنقل التدفق إلى الأماكن التي قد تحتاج إليه. هناك خاصية أخرى حاسمة وهي أن هذه اللفافات لا تستجيب إلى حقول شبه سكونية لأنها مشكّلة كلياً من مكوّنات غير مغنطيسية. وهذا يضمن بأن لانتشوش عملية التصوير. كان ويلتشير وزملاؤه قادرين على أن يبيّنوا أن رزمة من اللفافات السويسرية تنقل الحقل RF من يد المريض (على سبيل المثال) وتعطي إشارة قوية في الوشيمة المستقبلية: فبدون اللفافات السويسرية لا يمكن رؤية الصورة (الشكل 3a-C).

هناك فكرة مشابهة نشأت في "السطح ذي الممانعة العالية" اقترحتها مجموعة إيلي يابلونوفيتش E. Yablonovitch التي تعمل في جامعة كاليفورنية - لوس أنجلز.

إن ممانعة مادّة ما هي مقدار عقدي يُعبّر عن استجابتها لفولطية مهتزة: فالجزء الحقيقي هو مقاومة تقليدية للتيار الكهربائي، أما الجزء التخيلي، والذي يُعرف باسم الرديّة reactance، فيكون موجباً (سالِباً) عندما يكون طور التيار متأخراً عن (متقدماً على) الفولطية. يمتلك السطح المعدني سماحية كهربائية، ϵ كبيرة، ونفوذية مغنطيسية، μ ، من مرتبة الواحد، التي تؤدي إلى ممانعة منخفضة للإشعاع. وعلى نقيض ذلك، سيكون لسطح فيه $\epsilon \sim 1$ ونفوذية μ كبيرة ممانعة عالية.

تُبيّن هذه المواد الجديدة أنها تمتلك خصائص قيّمة عند تصميم هوائيات ذات بروفيلات منخفضة لاستخدامها في الاتصالات النّقالة. إن الحقول المغنطيسية الموازية للسطح تُحرّض تيارات في الدّارات غير المكتملة في هذه الهندسة وذلك بشحن المكثفة بين الطرفين الحرّين (الشكل 4). وهذا يعطي استجابة مغنطيسية تجاوبية كبيرة بالإضافة إلى الممانعة العالية التي تنطلق إليها.

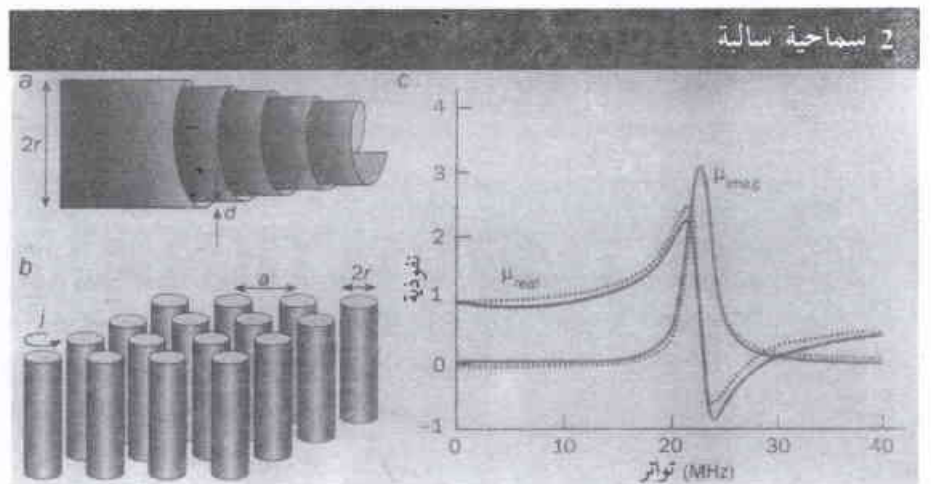
نقحة من الماضي

نشر فيكتور فيسلاغو V. Veselago، من معهد الفيزياء العامة في موسكو، ورقة علمية متميّزة في عام 1968، تناول فيها موضوع ما يترتّب عليه جعل ϵ و μ سالبتين في مواد معيّنة وبنفس الوقت. ولقد وصل إلى استنتاجات رائمة. فقد بيّن فيسلاغو أنه يمكن تبخير الضوء بواسطة شريحة من هذا الوسط. ومن النتائج المدهشة الأخرى أثر

لننظر بعد ذلك في صفيف من أسطوانات معدنية. إذا طبقنا حقلاً مغنطيسياً متناوباً يوازي محورهما المشترك، فإننا نستطيع أن نحرّض تيارات تجري حول الأسطوانات، وتستطيع هذه التيارات، بدورها، أن تولّد حقلاً مغنطيسياً. إن هذه التشكيلة الخاصة تؤدي إلى وسط ذي مغنطيسية معاكسة: وبعبارة أخرى إن التمنظت في المادة يعاكس الحقل المغنطيسي. لكن البنية التي نحصل عليها لا يكون لها، على أي حال، نفوذية سالبة لأن البلازما الافتراضية للأقطاب الحرّة داخل الأسطوانات ليس لها كتلة موجبة.

للوصول إلى ذلك نحتاج إلى أن نغيّر طور التيار بإدخال مكثفة إلى هذه البنية. ولعمل هذا نستبدل بالأسطوانات صفائح من المعدن مُبطّنة بالبلاستيك لُفّت على شكل بنية لفاقاة أسطوانية فوق بعضها مثل "السويس رول" swiss roll (اللفافة السويسرية) بحيث لا تلمس فيها سطوح المعدن بعضها بعضاً أبداً. وعندما يجري تيار في هذه البنية، فإنه يشحن المكثفة المشكّلة بين اللقات الداخلية والخارجية. تسلك هذه المنظومة الآن سلوك بلازما من أقطاب مغنطيسية ذات كتلة موجبة ولها نفوذية سالبة في مجال معين من التواترات (الشكل 2a-C).

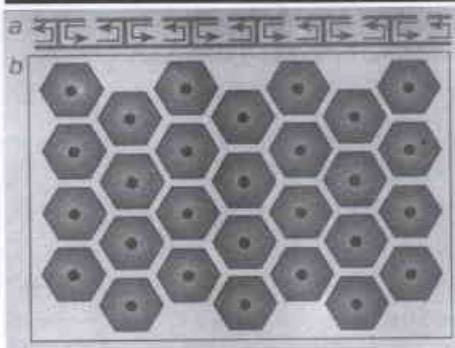
قام في العام الماضي مايك ويلتشير M. Wiltshire من ماركوني كازويل في المملكة المتحدة ومؤلف المقال وباحثون من مشفى هايمر سميث بلندن بدراسة أولية للبحث عن إمكانية إيجاد تطبيق لهذه اللفافات السويسرية المغنطيسية، في التصوير بالتجاوب المغنطيسي (MRI) magnetic resonance imaging، وهو من أكثر تقنيات التصوير استخداماً في الطب. ففي نبيطة MRI يقوم حقل مغنطيسي شبه سكوني قوي جداً بصفّ العزوم المغنطيسية الصغيرة جداً للبروتونات في جزيئات الماء. ويحدّد هذا الحقل شبه السكوني تواتر التجاوب المغنطيسي، ولهذا الحقل تدرّج صغير، وهذا يعني أن تواتر التجاوب يختلف كتابع للفضاء: وهذا ما يُعدّ رئيسياً لتشكيل الصورة. تعمل نبضة قصيرة من إشعاع ذي تواتر راديوي (RF) بتشويش هذا الاصطفاف، وتصدر البروتونات مزيداً



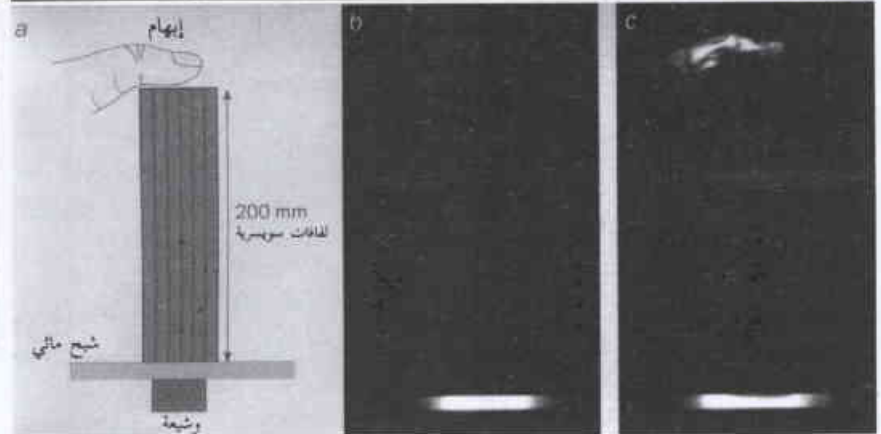
(a) صفيحة من النحاس مُبطّنة بالبلاستيك لُفّت على هيئة "لفافة سويسرية" تستجيب لحقل مغنطيسي بتيار. (b) صفيف من لفاقاة سويسرية تنتج مادة ذات نفوذية مغنطيسية سالبة (الخط الأحمر المتواصل) في مجال من التواترات. (c) إن إنقاص القفد الكهربائي في العازل (أي في البطانة البلاستيكية) يمكن أن يُقلّل الجزء التخيلي من النفوذية (اللون الأخضر) بصورة ملحوظة ويزيد من استجابة الجاوب. إن النفوذية المقيسة على اتفاق جيد مع تنبؤات النظرية (الخطوط المنقطة).

3 لفافات سويسرية مغناطيسية والتصوير بالتجارب المغناطيسية (MRI)

4 سطح ذو ممانعة عالية



(a) مقطع عرضي لسطح ذي ممانعة عالية اقترحه مجموعة UCLA. تتألف البنية من شبكة من الصفائح المعدنية موصولة بصفيحة معدنية ملبية عن طريق عمود ناقل شاقولي. تولّد الحقول المغناطيسية الكائنة في مستوي السطح تيارات (الأسهم السوداء) تشحن المكثفة الكائنة بين الصفائح العلوية والصفائح السفلية. (b) منظر علوي للسطح ذي الممانعة العالية، يبيّن شبكة مثلثية الشكل من صفائح معدنية مسدّسية.



(a) استخدم مايك ويلتشر وزملاؤه لفافة سويسرية مغناطيسية كي يوجهوا تدفق التواترات الراديوية (RF) في تجارب MRI. وُضعت وشيعة استقبال RF على بُعد 200 mm من إبهام بشري، وقد وضع شعاع مائي فوق الوشيعة مباشرة. عند وضع لوح بلاستيكي خامل بين الشعاع والإبهام، نجد أنه لا يترى إلا الشعاع (b) لكن عند استبدال اللفافة السويسرية باللوح البلاستيكي فإنه يمكن رؤية صورة الإبهام بوضوح (c).

كان من الممكن حقاً أن نصنع هذه المواد، أحيا العمل لدى سان ديغو من جديد الاهتمام في هذا المجال وحثّ على كثير من الأفكار الجديدة.

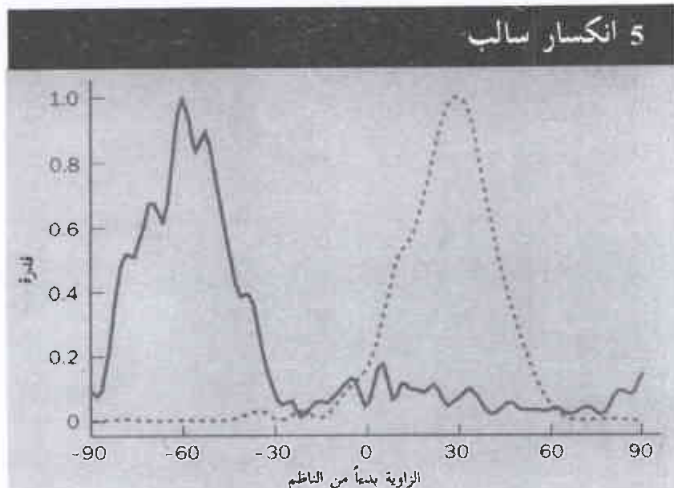
تحدي الحقل القريب: عدسة مثالية

إن الجزء الرئيسي في حقل الضوء الواسع هو قابلية التحكم في الضوء وتبثيره. وقد كان المجهر أحد التطبيقات المبكرة للضوء، وهو يعكس تفاصيل العالم الطبيعي الذي كان مخبئاً عنا من قبل. ولكن تبين في الحال أنه يوجد حدّ أو قيد طبيعي لقوة المجهر. يتعيّن هذا الحدّ بالطول الموجي للضوء ولا يمكن تمييز أي شيء أصغر من هذا (انظر في الصفحة 9 من هذا

دوبلر العكسي reversed Doppler effect وإشعاع شيرينكوف الذي ينطلق في الاتجاه المعاكس لاتجاه الجسم الوارد (انظر Physics World، حزيران 2000 صفحة 27).

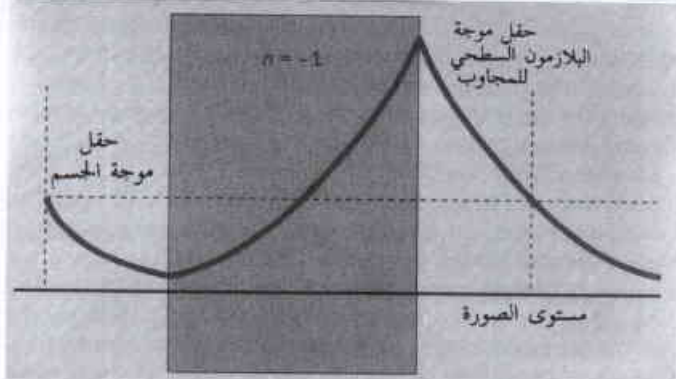
كما أشار فيسلاغو إلى أن تدفق الطاقة في موجة كهرومغناطيسية سيكون في الاتجاه المعاكس للشعاع الموجي، ممّا دعاه إلى تسمية هذه المواد بـ "اليسارية" left handed. إن الطاقة تتدفق في المواد التقليدية أو "المواد اليمينية" في اتجاه الشعاع الموجي. وتعيّن جهة تدفق الطاقة بسرعة المجموعة للإشعاع، بينما يكون الشعاع الموجي موازياً لسرعة الطور. وفي معظم المواد تكون قرينة الانكسار تابعة للتواتر، وهذا يعني أن سرعة المجموعة (وهي السرعة التي تتحرك بها نبضة من الضوء تحتوي على تواترات مختلفة) وسرعة الطور (وهي السرعة التي تتحرك بها موجة وحيدة) مختلفتان. وعلى كل حال، فهما تشيران عادةً إلى الجهة ذاتها في المواد اليمينية، لكنهما في المواد اليسارية تشيران إلى اتجاهين متعاكسين.

ومع ذلك - وبعد نشر بضع ورقات علمية أخرى - فإن عدم توفر أي مادة ذات نفوذية سالبة على الإطلاق كان يعني بأن الاهتمام بالموضوع قد انتهى وأن ورقات فيسلاغو العلمية قد أصبحت في طي النسيان. بعد سنوات عديدة، وفي عام 1999، كتب مؤلف هذا المقال، وتوني هولدن T. Holden وديفيد روبينز D. Robbins وويل ستيروات W. Stewart العاملون في ماركوفي، ورقة علمية يقترحون فيها كيف يمكن صنع مادة مغناطيسية اصطناعية لها نفوذية سالبة. حثّت هذه الورقة ديفيد سميث D. Smith وشيلدون تشولتز Sh. Schultz من جامعة كاليفورنيا في سان ديغو لإحياء الفكرة عام 2000. وبضم نفوذية سالبة وسماحية سالبة أنشؤوا أول مادة ذات قرينة انكسار سالبة. وحديثاً برهن ريك شيلبي R. Shelby، وسميث وتشولتز أن موشوراً مصنوعاً من المادة الجديدة يحرف الضوء في اتجاه سالب (الشكل 5). ويأظهار أنه



القدرة المنقولة عند التواتر. 10.5 GHz كتابع لزاوية الانكسار لعينة من التفلون (الخط الأخضر) وعينة ذات قرينة انكسار سالبة (الخط الأحمر) كما قاستها مجموعة سان ديغو. فمن أجل عينة التفلون، تتشكل قمة القدرة المنكسرة عند الزاوية 27° ، والتي تقابل $n=1.4$. أما من أجل المادة السالبة فإن القمة تقع عند الزاوية -61° ، ومنها نستنتج قرينة الانكسار $n=-2.7$.

6 تبشير الحقل القريب



ينبغي تضخيم مركبة الحقل القريب (الخط الأحمر) لجسم وذلك قبل أن تتمكن من أداء مساهمتها في الصورة، ويمكن عمل هذا بتشكيل "صورة سلبية" من البلازمونات السطحية على السطح الأسير للوح (أرجواني) ذي قرينة انكسار سالبة: يرجع التضخيم إلى التأثير التجاوبي بين هذه البلازمونات على السطح الأيمن. يؤكد الشرط $n = -1$ وجود أنماط بلازمونات سطحية عند تواتر التشغيل.

هذه الأمور يكمن في الإقرار بأن $\mu = \epsilon = -1$ هو الشرط اللازم لوجود حالات بلازمونات سطحية. وهذه الحالات متوضعة في جوار السطح.

تعمل العدسة المثالية على النحو التالي. في الخطوة الأولى، يقوم الحقل القريب، الذي هو ضعيف جداً، بإثارة بلازمونات سطحية على السطح الأمامي للوح. ننظر في هذه كأنها نوع من الصور السلبية في التصوير الضوئي - إنها بحق ليست صورة مبادرة. وفي الخطوة التالية تبدأ البلازمونات السطحية على السطح الأمامي تثاراً كهراكدياً تجاوبياً يثير بلازمونات سطحية على السطح الخلفي. ولما كان هذا التجاوب قوياً جداً، فإن الصورة تُنقل إلى السطح الخلفي في شكل مضخم تضخيماً كبيراً. إن هذا التأثير التجاوبي هو مفتاح عملية تضخيم الحقل القريب. وستظل الصورة غير مثيرة عند السطح الخلفي لأن مركبات عديدة قد ضُخمت تضخيماً زائداً وتبدأ بحيث أن الحقل الهارب من خلف اللوح سيتضاءل فقط بالمقدار الصحيح لجلب كل المركبات - أي مركبات كل من الحقل القريب والمركبات المشعة/ الحقل البعيد - إلى السعة الصحيحة بالضبط في مستوي الصورة (الشكل 6).

ولكن هل من فائدة؟

إن البحث في المواد السالبة كان منصباً فيما سبق على فهم هذه المواد الغريبة جداً ومحاولة صنع نائط عملية. لكن إحداث مساهمة يتطلب منا إيجاد تطبيقات، وهذا لن يطرح مشاكل لو كانت المواد السالبة المثالية متوفرة بسهولة. ويمكن لهذه التطبيقات أن تشمل DVDs التي تستطيع أن تخزن معطيات أكثر بمئة ضعف مما هو متوفر حالياً، وهي تصوير حجري ضوئي (ليثوغرافي) في صناعة أنصاف النواقل وبمّيز أفضل بعشرة أضعاف من النموذج الموجود حالياً. كما تشمل ماسحات بالتجاوب المغنطيسي (MRI) أرخص بعشر مرات من النماذج الحالية.

قد تكون كل هذه الأشياء ممكنة إذا توفرت المواد السالبة. أما من الناحية العملية، فإن المرحلة التالية ستكون رؤية ما الذي نستطيع أن نجنيه

(العدد). إذا أردت الحصول على مزيد من التفاصيل حول أحدث الأبحاث في موضوع التصوير فيما وراء حد الانعراج).

ومع تقدّم العلم في دراسة عالم التقانة النانوية، أضحي دور المجهر الضوئي كأداة للبحث يتضاءل شيئاً فشيئاً. وإنه لمن الخطأ أن نفترض وجود نشاط كهربائي أو مغنطيسي على مقاييس طولية قصيرة جداً. وعلى سبيل المثال، إذا تمكنا من رسم خريطة الحقول الكهربائية بالقرب من مجموعة ثنائيات القطب الذرية المصدرة للضوء المرئي، فإن الحقول سوف تكشف مواضع الذرات. وعلى أي حال، فإن ما يدعى بالحقول القريبة يتضاءل وفق $1/r^2$ ، حيث r هي البعد عن ثنائي القطب. وعلى النقيض من ذلك، فإن الاضمحلال المشع أو تضائل "الحقول البعيدة" يكون أكثر بطئاً ويتم وفق $1/r$. إن الحقول القريبة هي حقول كهربائية إلى حد كبير وتفتقر إلى المركبة المغنطيسية اللازمة للانتشار بعيداً عن ثنائي القطب على هيئة موجة كهرومغنطيسية.

تشتمل الحقول القريبة على كل التفاصيل الدقيقة حول ثنائيات القطب إلا أنها تتضاءل أيضاً وبسرعة، وهذا يعني، فيما سبق، أنها حتى الآن قد راوغت الأسر. ومن جهة ثانية فإن الحقول المشعة تكون عرضة لقيد الطول الموجي في الميّز. وفضلاً عن ذلك فإنه نظراً لغياب مركبة الحقل القريب من هذه الصورة، فإنها لن تُحلّل تفاصيل من ثنائيات القطب الذرية.

ولم يتم وضع نهاية للقصة إلا حديثاً. ففي العام الماضي سألت نفسي فيما إذا كان باستطاعة المواد ذات قرينة الانكسار السالبة أن تميّز هذا الوضع. فكلنا يعلم بأن لوحاً من مادة ذات قرينة انكسار سالبة يستطيع أن يُثير الضوء الصادر من جسم على أحد جوانب اللوح ليُشكّل خيالاً للجانب الآخر. لقد ظننتُ أنه كان من الأجدر بي لو أنني تحققت فيما إذا كانت الحقول القريبة مستبعدة من هذه الصورة تماماً كما هي غير موجودة في حال العدسة التقليدية.

لكن تبين بعد ذلك أنه سؤال سخيف لأنه كمي نبّرّ الحقول القريبة نحتاج لتضخيمها لنعوّض عن تضائلها السريع. فهل يخرق هذا حقاً مبدأ انحفاظ الطاقة؟ وفي النتيجة فإن الأمر لا يعود إلى وجود عبارة خروج: تُنقل الطاقة من جسم كلياً عن طريق الحقل المشع أو "الحقل البعيد". ولما كان الحقل القريب سكونياً، فلا يحتاج إلى تدفق طاقة كي يبقى ويستمر. وفي الحقيقة فإن حلاً دقيقاً جديداً لمعادلات مكسويل يؤدي إلى الاستنتاج التميّز الذي فقواه أنه يمكن تبشير الحقول القريبة بواسطة مادة ذات قرينة انكسار سالبة ما دامت $\epsilon = -1$ و $\mu = -1$. ورغم أن خصائص المواد السالبة تعني أن هذا لا يحدث إلا عند تواتر وحيد، فإن إشعاع هذا التواتر يُثار في نقطة هي أصغر بكثير من هذا الطول الموجي في الفضاء الحر. وللمرة الأولى تعطينا معادلات مكسويل وصفة " للعدسة المثالية"، كما أطلق عليها في الورقة العلمية للمؤلف، المنشورة في Physical Review Letters في السنة الماضية.

لابأس أن نتحقق معادلات مكسويل، لكن ما الذي يحدث داخل المادة؟ وكيف تستطيع مادة سلبية passive substance أن تسلك سلوكاً يشبه مضخماً؟ يؤول الأمر في النتيجة إلى أن داخلية مادتنا السالبة تعمل بطرق تشبه عملية التصوير الضوئي بصور سالبة وموجبة. إن مفتاح فهم

جداً. وهذا يضع قيوداً عسيرة على خواص المواد. إن مجال التطبيقات المحتملة لهذه المواد واسع. وفي الحقيقة، حتى لو فشلنا في الوصول إلى معظم أهدافنا الطموحة، فسيكون أمراً مدهشاً إذا لم تتحقق بعض هذه التطبيقات. إن النظرة المستقبلية إيجابية جداً بالنسبة للمواد السالبة. ■

بلغة المواد الحقيقية. إن استخدام أفضل التصاميم لهذه المواد الحقيقية سيكون حاسماً، لكن توجد بعض المؤشرات المشجعة: فالفضة النقية قد تكون مرشحاً جيداً لعدسات الحقل القريب. أما في مجال الأمواج الكروية فإن البنى الاصطناعية هي قيد التصميم كي تصل إلى المثالي. والمشكلة هي أن الحقل القريبة ضعيفة جداً وتحتاج إلى تضخيم قوي



أخبار علمية



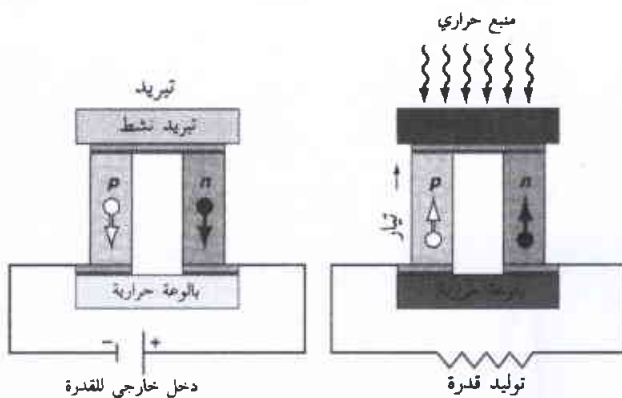
1- الأصغر هو الأبرد*

وجهة النظر الاقتصادية، منافسة للبرادات في مطابخنا سيتطلب البراد الكهرحراري قيمة $ZT \approx 3$ عند درجة حرارة الغرفة.

وفي الاجتماع الأخير لجمعية أبحاث المواد في بوسطن [3]، تم الإعلان عن عدة مواد تتمتع بقيمة $ZT > 1$ وذلك من أجل استخدامي التبريد وتوليد القدرة كليهما. وكانت النتائج وبصورة خاصة تلك التي حصل عليها فينكاتاسوبراميان Venkatasubramian (لدى معهد مثلث الأبحاث Research Triangle Institute) مثيرة، حيث بين قيمة $ZT = 2.4$ لشبيكات فائقة من النوع $p - n$ مصنعة من سبيكة Bi_2Te_3/Sb_2Te_3 عند درجة حرارة الغرفة، كما بين قيمة $ZT = 1.2$ لشبيكات فائقة من النوع $n - p$ [4]. ويجري تصنيع الشبيكة الفائقة بالترسيب المتناوب لأغشية رقيقة (1 - 4 نانومتر) لكل من: Bi_2Te_3 و Sb_2Te_3 . كذلك، أعلن هارمون Harmon (من مخابر لنكون في جامعة MIT) قيمة $ZT \geq 2$ لشبيكات فائقة ذات نقاط كمومية عند حرارة أعلى قليلاً من درجة حرارة الغرفة (انظر اللوحة اليسرى في الشكل 2) [5].

وتشير دراستا فينكاتاسوبراميان وهارمون إلى حصول زيادة في ZT عندما يغدو سمك الغشاء أو حجم النقطة الكمومية قريباً من 1 نانومتر. هذا، وتؤكد نتائج الدراستين بعضاً من الأفكار السابقة التي طرحها دريسلهاوس Dresselhaus ومعاونوه [6] الذين اقترحوا أنه بالإمكان، عبر هندسة نانوية، إنتاج قيم أعلى لـ ZT . ومن الممكن أن تستخدم أغشية كهذه في التبريد الموضعي للإلكترونيات إذا ما جرى تصنيعها سريعاً وبتكلفة منخفضة. ولعل الأكثر أهمية هو أن الدراسات المذكورة أثبتت أن إيجاد مواد كهرحرارية ذات $ZT \gg 0.9$ عند درجة حرارة الغرفة يُعدّ أمراً ممكناً.

ويُعدّ أمراً جذاباً - بل فائق الإثارة، بالنسبة لعدد متنوع من التطبيقات الإلكترونية المقترحة، استنباط براد كهرحراري مصنع كلياً من مواد صلبة



الشكل 1 - التبريد وتوليد القدرة الكهرحراريين. يري الشكل مزدوجة كهرحرارية مرتبة لإحداث تبريد (يسار الشكل) أو توليد للقدرة (يمين الشكل). المصطلحان p (موجب) و n (سالب) يشيران إلى إشارة حاملات الشحنة في كل قائمة؛ والدوائر المفرغة تمثل الثقوب والدوائر الممتلئة تمثل الإلكترونات؛ والمناطق بلون النحاس تُعبّر عن وصلات كهربائية.

يعمد معظم الناس إلى ربط كلمة "نصف ناقل" بالإلكترونيات الحديثة مثل الحاسوب الشخصي. في أوائل الخمسينيات، بدأت غالبية أبحاث نصف الناقل تركز على استخدام أنصاف النواقل، ليس في الدارات المتكاملة، وإنما في نسقات كهرحرارية من أجل التبريد المنزلي. وبسبب كفاءة تبريدها الضعيفة، لم يكن للنسقات الأخيرة أية فائدة عملية أو تطبيقية. لكن مواداً وتقنيات اصطناع جديدة أيقظت الاهتمام مرة أخرى باستخدام أنصاف النواقل في التبريد وتوليد القدرة. وإن بعض أهم البنى الكهرحرارية الحديثة الواعدة تتضمن أغشية films أو تجمعات clusters مرتبة بعناية بسلاسل طولية نانومترية.

النبائط الكهرحرارية المنوه بها على غاية من البساطة، فهي لا تتضمن أجزاء متحركة ولا تستخدم أيّاً من غازات الدفينة (انظر الشكل 1)، إنها تستخدم نوعين من قوائم نصف ناقلة يجري وصلها على التسلسل. فالإلكترونات السالبة الشحنة تحمل التيار الكهربائي داخل القائمة من النوع n ، بينما تحمل الثقوب الموجبة الشحنة التيار داخل القائمة من النوع p .

ويصبح التبريد ممكناً لأن الإلكترونات والثقوب تحمل كلاً من الحرارة والشحنة الكهربائية على حد سواء. وتقوم بطارية خارجية بإجبار الإلكترونات والثقوب الحارة على التوجه بعيداً عن الجانب البارد للنبينة (اللوحة اليسرى من الشكل 1) مما يسبب حدوث تبريد. وفي بعض النسقات الكهرحرارية المتعددة المراحل، أمكن تحقيق انخفاض في درجة الحرارة يصل إلى 160 K. وفي الوقت الراهن، يُعدّ التبريد الموضعي للإلكترونيات الاستخدام الرئيس للبرادات الكهرحرارية.

وفي حال طبقت حرارة على جانب واحد فقط من النبينة ستنشأ فولتية عبر القائمتين n و p يمكن استخدامها لتحويل جزء من الحرارة إلى قدرة كهربائية (اللوحة اليمنى من الشكل 1). هذا، وقد سبق أن استخدمت NASA هذا المبدأ لتزويد مئات الواطات من القدرة الكهربائية لمسابر الفضاء السحيق مثل: فوياجور I و II، ومهمة كاسيني Cassini إلى كوكب زحل.

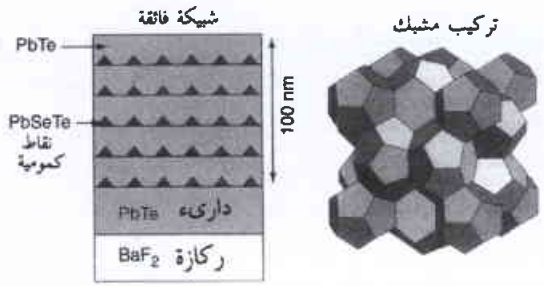
والمشكلة الرئيسة التي تعاني منها النبائط الكهرحرارية هي الكفاءة الضعيفة. وتحدد كفاءة النسقة الكهرحرارية من حيث المبدأ، بخواص المادة لأنصاف النواقل من النوعين n و p ، بغض النظر عن مدى الخدق والذكاء المسخر في هندسة هذه النسقة. وتحدد الكفاءة الأصيلة لأي مادة كهرحرارية بوساطة بارامتر لا بعدي يُدعى ZT ، حيث T هي درجة الحرارة و Z تميز خواص النقل الكهربائي والحراري للمادة. تتمتع المواد الكهرحرارية الفعالة بناقلية حرارية منخفضة، ولكن، لها ناقلية كهربائية عالية [1، 2].

وأفضل المواد الكهرحرارية المتاحة تجارياً تتمتع بقيمة $ZT \approx 0.9$ وهي قيمة مقبولة من أجل استخدامات خاصة محددة؛ لكنها حتى تكون، من

سيارتك. وإننا نتساءل هل من الممكن أن يتسع انتشار النايبات الكهروحرارية ليتجاوز مثل هذه الأماكن التسويقية؟ ربما يحصل ذلك. فالعمل الدؤوب لكثير من الباحثين عبر الخمس إلى العشر سنوات الماضية يقترح تراكيب نانوية كمعبر محتمل يوصل إلى مواد تتسم بقيمة عالية لـ ZT. وإذا استطعنا تحقيق تجميع ذاتي، وبكميات كبيرة، لأنواع البنى التي يجري حالياً تصنيعها بوساطة التنضيد بحزمة جزيئية (وهي طريقة تصنيع بطيئة ومكلفة جداً) فيمكن، عندئذ، أن تصبح الكهروحراريات صناعة تُقدَّر بعدة بلايين من الدولارات.

REFERENCES

- المراجع**
- [1] G. D. Mahan in Solid State Physics, Vol. 51 (Academic press, San Diego, CA, 1998) chap.2, pp. 81-157.
 - [2] G. S. Nolas, J. Sharp, H. J. Goldsmid, Thermoelectrics: Basic Principles and New Materials Developments (Springer-Verlag, New York, 2001).
 - [3] Most of the work discussed in this Perspective will be published in the proceedings of Symposium G, Thermoelectric Material 2001 - Research and Application, G. S/ Nolas, D. C. Johanson, D. Mandrus, Eds., Mater. Res. Soc. Proc, in press.
 - [4] R. Venkatasubramanian, E. Siilvola, T. Colpitts, B. O'Quinn, Nature 413, 597 (2001).
 - [5] T. C. Harman, P. J. Taylor, D. L. Spears, M. P. Walsh, J. Electron. Mater, 29, L1 (2000)
 - [6] L. D. Hicks, M. S. Dresselhaus, Phys. Rev. B. 47, 12727 (1993).
 - [7] D. Y. Chung et al., Science 287, 1024 (2000).
 - [8] B. C. Sales, D. Mandrus, R. K. Williams, Science 272, (1993).
 - [9] G. S. Nolas, M. Kaeser, R. T. Littleton IV, T. M. Tritt, Appl. Phys. Lett. 77, 1855 (2000).
 - [10] T. Caillat, J. P. Fleurial, A. Borshchevsky, J. Phys. Chem. Solids 58, 1119 (1997).
 - [11] J. W. Sharp, B. C. Sales, D. Mandrus, B. C. Chakoumakos, Appl. Lett. 74, 3794 (1999).
 - [12] B. Wolfing, C. Kloc, J. Teubner, E. Bucher, Phys. Rev. Lett. 86, 4350 (2001).
 - [13] G. S. Nolas, G. A. Slack, S. B. Schujman, in Semiconductors and Semimetals, vol. 69 (Academic Press, San Diego, CA, 2001), chap. 6, pp. 255-300.
 - [14] This work was announced before the presentation in the 27 November 2001 issue of the New York Times in the Technology section. ■



الشكل 2 - مواد جديدة واعدة. (في الجزء الأيسر من الشكل) يجري تحضير هذا النوع من المواد الكهروحرارية المهندسة نانويًا باستخدام تقنية التنضيد بحزمة جزيئية. (في الجزء الأيمن من الشكل) يتضمن هذا النموذج لبنة البلورة المشبكة نوعين من متعددات السطوح polyhedra التي تتألف من عنقيد أو تجمعات لعشرين أو أربعين ذرة. في مثل هذا النوع من التراكيب المجمع ذاتياً تقوم الطبيعة بعمل الهندسة النانوية.

يستطيع أن يُبرّد إلى درجة حرارة أدنى من درجة حرارة انتقال نصف ناقل نحاسي. وقد أعلن كنانزیدس Kanatzidis، من جامعة ولاية ميتشيغان، عن المادة الجرمية الجديدة الوحيدة "CsBi₄Te₆" التي لها قيم عالية لـ ZT عند درجة حرارة أدنى من درجة حرارة الغرفة (0.8 عند 225 K) [7]. ويجري حالياً تقسيم نموذج أولي لبراد كهروحراري يحوي مادة CsBi₄Te₆ وذلك لمعرفة إمكانية استخدامه عند درجات حرارة قريبة من درجة حرارة الآزوت السائل (≈ 100 K). وتنبأ سينغ Singh (لدى مخبر الأبحاث البحرية) أن بعضاً من "السكرودايتز skutterudites" * كاملة الامتلاء (وهي مواد معقدة لها الصيغة الكيميائية ReTm₄Pn₁₂، حيث تعبر كل من: Re عن مادة ترابية نادرة، و Tm عن معدن انتقالي، و Pn عن أي من العناصر P، أو As، أو Sb) سوف يكون لها خواص كهروحرارية ممتازة عند حوالي 100 K؛ لكن التنبؤ الأخير يتطلب اختباراً تجريبياً.

ومن أهم المواد الجديدة الواعدة من أجل تطبيقات توليد القدرة مركبات السكرودايتز مثل CeFe₄Sb₁₂ و Yb_{0.2}Co₄Sb₁₂ [8]، [9]، و Zn₄Sb₃ [10]، و Tl₂SnTe₅ [11]، و Tl₉BiTe₆ [12]؛ وكذلك المركبات المشبكة clathrates (انظر اللوحة اليمنى في الشكل 2)، مثل: Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ [13]. ويقوم، حالياً، كيلاات Caillat (لدى مخبر الدفع النفاث) بتقييم نسقات متعددة المراحل لتوليد القدرة تعمل على دمج كل من السكرودايتز الممتلئة و Zn₄Sb₃. وتتمتع مركبات الثاليوم بقيمة جيدة لـ ZT، لكن سمية الثاليوم تشكل عائقاً لكثير من التطبيقات.

وتركز معظم تطبيقات توليد القدرة على الأرض على تحويل الحرارة الضائعة إلى كهرباء مفيدة. ومن ناحية نظرية، يمكن لصناعتي السيارات والفضاء وللصناعات الكيميائية أن تستفيد من المولدات الكهروحرارية. وقد عرض بيتر هاغلستين P. Hagelstein (MIT) ويان كوتشميروف Y. Kucherov (Eneco) تطويراً لنبیطة محسنة لتوليد القدرة من حرارة ضائعة [14]؛ ومن المحتمل أن يكون لهذه النبیطة شأن هام في حال استطاع علماء آخرون التحقق من النتائج.

ويمكنك، في الوقت الراهن، أن تذهب إلى سوق مركزي في المحلة التي تقيم بها لتشتري مُبرّد نزهة كهروحراري مُغذّي من ولاءة السجائر في

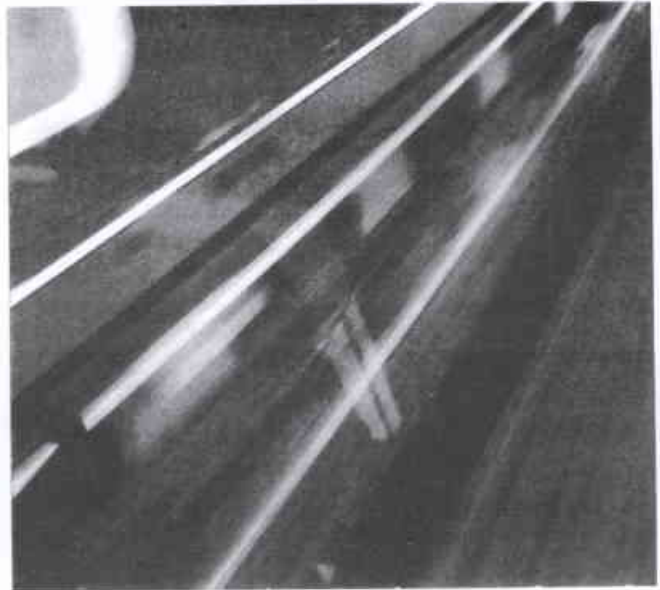
* السكرودايتز skutterudites: هو اسم يطلق على مركب أبيض كالتصدير، له بريق فلزي، يتكون من زرنخيد النيكل والكوبالت ويُعدّ خاماً نانويًا للعصرين الأخيرين.

2- بزوغ فيزياء جديدة*

نبضات فائقة القصر تكشف حركات الإلكترونات

إنها مدة قصيرة جداً بالمقارنة مع خمس عشرة ثانية كما هي الحال إذا قارنا الخمس عشرة ثانية مع عمر الكون: وهذا هو الرقم القياسي الجديد من قصر المدة للنبضات الليزرية. وهكذا يفتح حقل مراقبة للفيزيائيين والكيميائيين الذي سيمكنهم من دراسة ومراقبة حركات سريعة جداً بسرعات الإلكترونات في الذرات.

"أكبر من سرعة البرق" هذا ما يقال عادة للتعبير عن حركة أسرع من أن تُلاحظ: يمنع مكوث الصور على شبكة العين، خلال بضعة أجزاء من الثانية، من متابعة ظاهرات أقصر مثل تقدم التفريغ الكهربائي في السحب. وحتى يتخطى هذه الحدود، استنبط الإنسان أدوات تتيح قياس تطورات أكثر سرعة بصورة دائمة. وهكذا فقد قام فريق نمساوي، بالمشاركة مع باحثين كنديين وألمان، بإنتاج وقياس نبضات ضوئية خلال 650 أتوثانية attoseconds (أي 650 جزءاً من مليار مليار جزء من الثانية): وهي مدة قصيرة جداً بالمقارنة مع خمس عشرة ثانية كقصر خمس عشرة ثانية بالمقارنة مع عمر الكون [1].



يجب علينا، لملاحظة الظاهرات السريعة التي نفلت من حواسنا، أن نحمدها بأقصر زمن سكون ممكن. وآخر رقم قياسي تم التوصل إليه 650 جزءاً من مليار مليار جزء من الثانية.

في السبعينيات من القرن التاسع عشر كان المصور الأنكلوأمريكي إيدويرد مايريدج E. Muybridge، الذي رغب في وصف حركة الحصان وهو يعدو، لديه فكرة أخذ صور بفترات منتظمة على طول مسار السباق. وحتى لا تكون الصور ضبابية غير واضحة، اختار زمن تعريض قصير المدة بصورة كافية "لتجميد" الحركة. وهذا تقريباً ما يفعله الكيميائيون الذين يرغبون في تحليل ظاهرات سريعة جداً: فهم يفحصون، بمساعدة نبضات ضوئية قصيرة، حالة الجزيئات بفترات مختلفة بعد إشارة الانطلاق. فقد سمح ابتكار الليزر عام 1960، والتقدم المثير الذي طرأ على تقانة المرافقة له، بتخفيض مدة التعريض في الوقت الحاضر من ملي ثانية إلى بضعة وحدات من الفمتوثانية فقط (الفمتوثانية جزء من مليون مليار جزء من الثانية).

والفمتوثانية هو المقياس الزمني المميز لحركات الذرات في الجزيئات. وهكذا كان من الممكن ملاحظة حركة الذرات خلال التفاعلات الكيميائية "في الزمن الحقيقي". استحق هذا التقدم في عام 1999 جائزة نوبل في الكيمياء التي منحت إلى أحمد الزويل من كالتيك Caltech.

ومع ذلك فإن الإلكترونات، التي هي أخف بألف مرة من الذرات، تتحرك بسرعة أكبر: وتتطلب ملاحظتها نبضات أتوثانية. ولإعطاء دقة كبيرة، تقدر النظرية الكلاسيكية أن الإلكترون، في ذرة الهيدروجين، يدور حول البروتون خلال 150 أتوثانية.

كيف تنتج نبضات بهذا القصر؟ تلاقى تقانة الليزر هنا حدوداً أساسية: إذ لا يمكن للنبضة أن تكون أقصر من دور الموجة الكهربائية** التي تحملها. غير أن الليزر الحالي تصدر في المجال المرئي حيث يكون الدور من مرتبة 2 فمتوثانية أو عند أطوال موجية قريبة. وللتوصل إلى الأتوثانية كان لا بد من دور أقصر بوضوح، أي لا بد من استخدام أشعة X.

والشرط الثاني لإصدار نبضة فائقة القصر هو أن هذه الأخيرة يجب أن تُغطي أكبر مجال ممكن للتواتر. إننا نعلم في الواقع منذ أعمال جوزيف فورييه Joseph Fourier في بداية القرن التاسع عشر أن المدة الدنيا لنبضة ما تتناسب عكساً مع توسعها بالتواتر.

وجاء الحل من ظاهرة درسها الفيزيائيون منذ الثمانينيات لأسباب أخرى غير إنتاج النبضات القصيرة. فعندما يُبثّر نبضات ليزرية قصيرة وشديدة في غاز مثل غاز النيون، فإن هذا الأخير يُصدر ضوءاً بعدد كبير من التواترات وكلها من مضاعفات تواتر الليزر تدعى تواترات توافقية. وبدءاً من ليزر تحت أحمر نحصل إذن على إشعاع يغطي طيفاً عريضاً من التواترات، من الضوء المرئي إلى أشعة X: وهو يستوفي تماماً الشروط المسبقة لإنتاج نبضات فائقة القصر [2]، [3].

* نشر هذا الخبر في مجلة La Recherche, Mars 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

** إن دور موجة كهرومغناطيسية هو المدة التي تفصل بين ذرتين متماثلتين لحقل الموجة الكهربائي الذي يتغير جيئاً خلال الزمن. وهذا هو مقلوب التواتر.

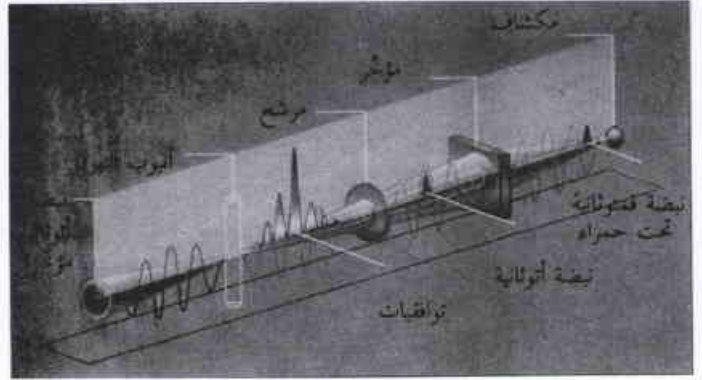
ومضة أوتوثانية من أشعة X، بفضل الطاقة المكتسبة بالإلكترونات في حقل الليزر. وتُنتج هذه العملية في كل مرة تكون فيها سعة حقل الليزر في حدها الأعظمي، أي في جميع أنصاف الأدوار، حيث لا يُقضي تداخل الموجات المتعاقبة إلا التواترات التوافقية. ومع ذلك، وبسبب غياب التأكيد التجريبي، بقيت المناقشة مفتوحة على إمكانية تصنيع نبضات أوتوثانية بهذا الأسلوب.

لم يأتِ هذا التأكيد إلا في العام 2001 مع وصف المسارات الإلكترونية عند التأثر مع الليزر [5] التي قَدَّمها فريقنا بالاشتراك مع باحثين ألماني، من جهة، ومن جهة أخرى مع القياس التجريبي الذي قام به فريق فرنسي - هولندي لدَفعة من النبضات مدة كل منها 250 أوتوثانية [6]. وأخيراً عالِم مايكل هنتشل M.Hentschel وزملاؤه المشكلة الصعبة المتعلقة بعزل نبضة واحدة [1]. ومن أجل ذلك حَرَّضُوا ذرات النيون بنبضات ليزرية تحت حمراء قصيرة جداً (7 فمتوثانية) التي لا تولِّد في الحقيقة إلا بضعة ومضات أوتوثانية. وقد أتاح لهم بعد ذلك اختيار التوافقيات الأكثر ارتفاعاً التي لا تُنتج إلا خلال جزء من اهتزاز الحقل الكهربائي لليزر، عزل ومضة واحدة. ومع ذلك لم ينتهوا من مشكلتهم، لأن أيّاً من التقنيات الموجودة لم تكن، في الواقع، دقيقة بصورة كافية لوصف هذه النبضة المنعزلة. وعليه قاموا بتحسين طريقة مبنية على تأيين غاز نادر بنبضة أشعة X بوجود نبضة ليزرية تحت حمراء. وبتغيير مدة وصول ومضة الأوتوثانية ضمن دور حقل الليزر، لاحظوا تغيراً في طاقة الإلكترونات المقذوفة. وهكذا قاموا بالقياس الأول الأدنى من الفمتوثانية واستنتجوا مدة نبضة 650 أوتوثانية بدقة قياس قدرها 150 أوتوثانية.

إنّ هذه النبضات ما تزال ضعيفة الشدة ومدتها تبلغ بضعة مئات أوتوثانية. غير أنّ استمثال ظاهرة توليد التوافقيات لا بدّ أن يتيح بسرعة الحصول على نبضات أقصر وأشدّ. وهذا ما يفتح المجال لدراسة ظواهر أساسية ومتعدّدة أو تدخل في الذرات، يمكن أن يسمح في النهاية بالتحكّم بالحركات الإلكترونية بمقياس زمني مقداره أوتوثانية. وهذا الحقل الجديد من الدراسات الذي يسمى "الحقل الأتوفيزيائي" يهيم المجموعة العلمية المتنامية. فقد أحدثت شبكة بحث أوربية تضم نحو عشرة مختبرات، الهدف منها إنتاج وقياس واستخدام نبضات الأوتوثانية. وتمتد الأعمال التي نشرتها هذه الأفرقة في العام 2001 [1، 5، 6] من الأعمال الأولى والمشجعة.

REFERENCES

- [1] M.Hentschel et al. Nature ,414 ,509 ,2001.
- [2] A.L'Huillier et al ,Phys. Rev. Lett., 70,774, 1993
- [3] J.J.Macklin et al ., Phys. Rev, Lett, 70,766, 1993
- [4] P.B.Corkum et al. , Phys. Rev. Lett. ,71 ,1994, 1993
- [5] P.Salieres et al., Science ,292, 902 ,2001.
- [6] P.M.Paul et al ., Science , 292, 1689, 2001. ■

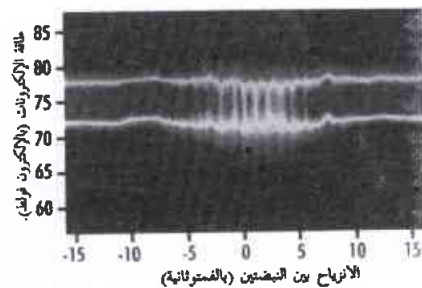


الشكل 2 - عندما يتم تحريض ذرات النيون بنبضة ليزرية تحت حمراء قصيرة وشديدة فإنها تصدر بتواترات توافقية متعددة من تواتر الحزمة الأصلية (متدرجة الألوان). ينتج جمع هذه التواترات سلسلة من نبضات أقصر. نختار بعد ذلك بالترويج نبضة واحدة من أشعة X، تقاس مدتها ضمن المكشاف.

ومع ذلك كان إصدار مثل هذه النبضات معروضاً إلى شرط أخير، وليس الأقل أهمية، فالموجات المختلفة التي تنضم فيما بينها يجب أن تكون مترابطة أي أنها، على الرغم من اهتزازها بتواترات مختلفة، يجب أن توجد جميعها؛ عند لحظة معينة، بحالة ذروة، وهذا ما يؤدي إلى إنتاج النبضة الفائقة القصير. وبالطبع فإنّ هذا الشرط، الذي كان هدفاً لمناقشات حادة في المجتمع العلمي، يكون إنجازاً أصعب كلما كان عدد تواترات "الترافص" aligner كبيراً.

أنتج الفيزيائيون تعاقباً أو سلسلة من النبضات التي مدتها بضعة مئات من الأوتوثانية قبل أن ينجحوا بعزل واحدة منها.

ومنذ العام 1993 اقترح بول كركم P. Corkum من المجلس الوطني للبحث في كندا نموذجاً حيث يتماشى إنتاج التوافقيات من مرتبة عالية مع إصدار نبضات فائقة القصير [4]. وعندما يصل الحقل الكهربائي لليزر إلى حده الأعظمي، يكون شديداً بحيث يمكنه انتزاع إلكترون واحد من ذرة النيون وتسريعه، وبعد ذلك إعادته إلى الذرة. ويصدر عند صدمة العودة



داخل المكشاف، تنتزع نبضة أشعة X الأوتوثانية إلكترونات من ذرات الكريبتون. إذا حصل هذا التأين خلال النبضة الليزرية الفمتوثانية، أي من أجل انزياح زمني ليس بالكبير، يعدل اهتزاز هذه النبضة التوزع في طاقة الإلكترونات (يزداد عدد الإلكترونات من الأخضر إلى الأحمر مروراً بالأصفر). يتيح تحليل هذا الطيف قياس زمن النبضة X.

3- ضوء يعمي البصر*

تتضمن معظم نماذج تشكيل GRB إما انهياراً عنيفاً لنجم هائل دوّار إلى ثقب أسود [7]، أو لنجم نيتروني ينتج مع ثقب أسود [8]. ونظراً لكون تنامي المادة الالتحامي إلى الثقب الأسود بشكل قرصاً دوّاراً، فإنه يعيق تدفق الكتلة نحو الخارج، لذلك فإن أي مادة هاربة تُجبر على الدخول في نفاثين ضيقين وموجهين بشكل متعاكس. وهناك ظواهر فلكية يُعتقد أنها مزودة بالطاقة عن طريق تنامي الثقوب السوداء، كالكوازارات، معروفة بإنتاج النفاثات، فلماذا لا تنتج أيضاً دقائق أشعة غاما؟ ولكن هذه المناقشات كانت تعتمد على النظرية والشابه وتفترق إلى دليل الملاحظة المباشر.

يقدم فرييل Frail وزملاؤه [1] تقريراً تجريبياً للحجم الزاوي لنفاثات GRB يعتمد على ملاحظات توهجاتها اللاحقة. ولكن حتى لو افترضنا أن الإصدار الأصلي كروي، فإن المادة التي تطلقها GRB تتسارع إلى ما يقارب سرعة الضوء، وهكذا تصدر إشعاعاً في حزمة ضيقة على طول مسارها. تقاس شدة هذا التأثير (وهي إحدى نتائج نظرية النسبية الخاصة) بعامل لورنتز Γ . ينطوي Γ الكبير على سرعة قريبة جداً من سرعة الضوء c . وهكذا فإذا كان $\Gamma \sim 200$ فهذا يعني أن المادة المصدرة للإشعاع تتحرك بسرعة $c \sim 0.999987$ ، وستركّز إشعاعها في مخروط ضيق بزاوية فح قدرها 0.28° ، وعندما يكون $\Gamma \sim 2$ لمادة ما، فهذا يعني أن المادة تتحرك بسرعة $c \sim 0.866$ ، وستصدر إشعاعاً في مخروط بزاوية 28° .

يقضي إنتاج GRB [9] أن يكون Γ أكبر من 200. لذلك فإن المادة المصدرة لأشعة غاما الأولية التي نراها لا تملأ إلا جزءاً صغيراً جداً من المادة الكلية، والبقية تُشع في مخاريط ضيقة أخرى باتجاهات مختلفة. لكن الحير حول الدفقة ليس فارغاً بحيث أنه عندما يُزال الغلاف الخارجي للمادة المصدرة للإشعاع، فإنها تتحول إلى غاز سكوني وتبثاً. وخلال أسبوع أو نحو ذلك تتباطأ بما يكفي ($\Gamma \sim 2$) لكي تتحرك المادة كلها داخل مخروط أكبر بكثير لتصبح مرئية. وبالنسبة للعديد من GRBs يستمر التوهج اللاحق أثناء طور التباطؤ هذا، لذلك نرى كل يوم المادة بزاوية أكبر من اليوم الذي سبقه.

لكن ماهو الحال إذا لم يكن إصدار GRB غلغلاً خارجياً كروياً، بل نفاثاً بشكل مخروط تتحرك قاعدته باتجاهنا (الشكل 1)؟ يحتوي المخروط مادة تتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء وتولد إشعاعاً على شكل حزمة. في البداية لانرى إلا جزءاً صغيراً من هذا المخروط وبالتالي لانستطيع أن نميز إصداره عن إصدار الكرة. لكن في النهاية يهبط Γ إلى أدنى من قيمة حرجة معينة (تعتمد على طاقة النفاث وكثافة الوسط المحيط) ونرى "حافة" النفاث. وعند هذه النقطة ثمة خطّ يائي للسطوح مقابل الزمن (منحني الضوء) يظهر تغيراً مفاجئاً في الانحدار، ويهت بسرعة أكبر لعدم ظهور مادة جديدة مصدرة للإشعاع للعيان (الشكل 1). ومثل هذا "التغير" في منحنى الضوء يحدث تلقائياً عند جميع الأطوال الموجية.

إن توقيت هذا التغير في منحنى الضوء ذي التوهج اللاحق معروف الآن بالنسبة لـ 17 GRBs تقريباً، التي من أجلها حسب فرييل وزملاؤه [2] زوايا فحة النفاث بين 25° - 2° ، وكانت حوالي 4° على الأغلب. وهناك

إذا كانت دقائق أشعة غاما تصدر طاقتها بشكل منتظم في جميع الاتجاهات، فإنها قد تكون أكثر الحوادث قوة في الكون. فالفلكيون يحاولون أن يروا أبعد من التوهج لتحديد الطاقة الفعلية.

مع أن دقائق أشعة غاما gamma ray bursts (GRBs) كانت توصف أحياناً [1] بأنها أضخم الانفجارات منذ الانفجار العظيم، فإنها تبدو ذات طاقة أقل مما كانت عليه قبل سنتين تماماً. تشير المراقبات الحديثة إلى أن الطاقة اللازمة لإنتاج GRB يمكن أن تكون أكثر من تلك التي ينتجها مستعر فائق عادي، ولكن هذه الطاقة تتركز إلى حد ما في نفاث ضيق يتحرك بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء ويتوجه مباشرة نحو الأرض. يقدم فرييل Frail وزملاؤه في بحثه المنشور في مجلة Astrophysical Journal Letters [2] دليلاً مرتكزاً على قياس حجم النفاثات مفاده أن جميع GRBs تطلق الكمية ذاتها تقريباً من الطاقة.

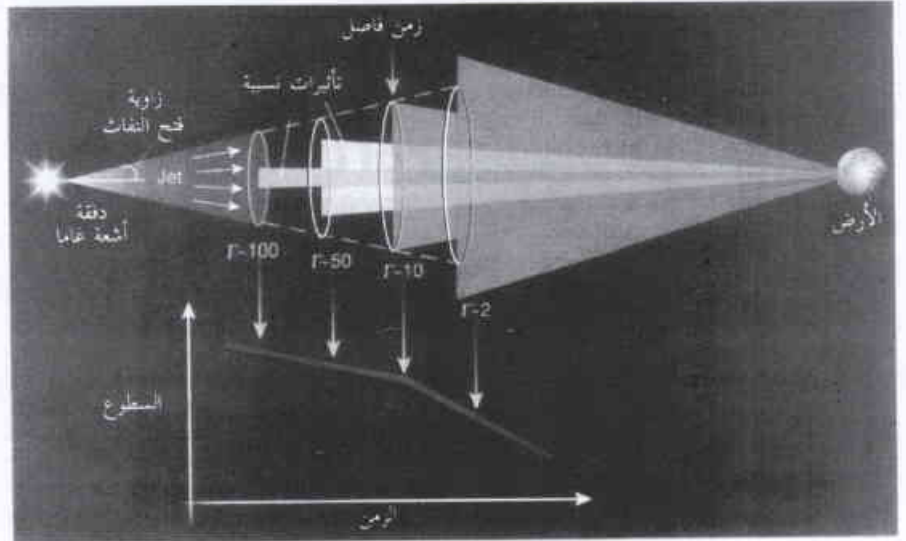
تعدّ دقائق أشعة غاما ومضات مفاجئة من أشعة غاما عالية الطاقة تصل الأرض من اتجاهات عشوائية عدة مرات في اليوم [3]. وبعد اكتشافها لأول مرة في أواخر الستينيات من قبل السواتل العسكرية الأمريكية وهي ترأب الاختيار النووي السري، تبين أن طبيعتها كانت تنطوي على لفز لفترة طويلة، ويعود السبب في ذلك إلى حدّ كبير إلى أن مقارب أشعة غاما المستخدمة لدراستها لا يمكنها أن تحدّد مواقع دقيقة. ولحسن الحظ، حتى بعد انتهاء دقائق أشعة غاما (الفترات النموذجية هي 20 ثانية)، توجد جذوات متوهجة عند أطوال موجية ضوئية، أشعة X ورايوية تستمر أسابيع أو أشهر. وينبغي على الفلكيين أن يستجيبوا بسرعة وينظروا في الاتجاه الصحيح. لكن منذ عام 1997 قاد الكشف السريع عن هذه "التوهجات اللاحقة" إلى اكتشاف أن الكثير من دقائق أشعة غاما يحدث في المجرات البعيدة، التي تبعد عادة بلايين السنين الضوئية [4].

لكن حلّ مشكلة موقع GRBs أدى إلى مشكلة أخرى. فالطاقات المستدلة هائلة تصل في بعض الحالات إلى كتلة الشمس متحولة مباشرة إلى أشعة غاما خلال بضعة ثوانٍ. وفي أواخر التسعينيات حاول واضعو النماذج إعادة إنتاج هذه الأنواع من طاقات الدفق في محاكيات حاسوبية، وتساءلوا عما إذا كانت الطاقات بهذا الكبر بالفعل، وعلى الأخص، هل تكون GRB بهذا السطوع فيما لو نُظِر إليها من زاوية أخرى؟

في العقد الماضي بدأ المتخصصون النظريون في الفيزياء الفلكية يقترحون أنه قد يتطلب الأمر كمية من الطاقة أقل بكثير لتوليد السطوع ذاته فيما لو نشرت GRBs طاقتها في مخروط ضيق نفاث [5]، [6].

المدهش أنه إذا كان النفاث منتظماً في السطوع، يفترض فرييل وزملاؤه أن زاوية الفتح لا تتغير مع الزمن وأن F لا يتغير مع الزمن أو مع زاوية الفتح، مع أن النماذج تتنبأ أن F ينخفض من وسط النفاث إلى حافته وأن الزاوية بحد ذاتها تزداد مع الزمن.

رغم ذلك ثمة استنتاجات مماثلة توصل إليها آخرون [11، 12] وتأخذ بعين الاعتبار طاقة معيارية ل GRBs، لذلك من المحتمل أن تكون GRBs "قنابل" معيارية تقريباً مع أنها ليست شموع معيارية. وكانت قيمة طاقة النفاث التي حسبها فرييل حوالي (2.5×10^{44} جول) ضعف طاقة المستعر الفائق ولكن ليس هذا سوى المادة التي تتحرك بسرعة كافية للمساهمة في التوهج اللاحق. ومن المحتمل أن يكون ل GRB990123 عدة أضعاف من هذه الكمية، ويمكن أيضاً أن يتحرر المزيد من الطاقة على شكل مادة أبطأ، لاسيما إذا كان لابد للنفاث من أن يقدمها من خلال بقايا نجمه السلف [7]. لهذا ماتزال الطاقة الفعلية الإجمالية لدفقة GRB ساطعة أكبر من طاقة مستعر فائق عادي بعشرة أضعاف مما يسمح لها بالاحتفاظ بلقب أضخم الانفجارات



الشكل 1 - حجم دفقة أشعة غاما وشكلها. تطلق الدفقة نفاثاً من مادة تتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء، بما يقابل قيمة لعامل لورنتز F ، قدرها 200. وبسبب تأثيرات النسبية الخاصة لا يستطيع المراقب على سطح الأرض مبدئياً سوى رؤية جزء صغير جداً من النفاث (الضوء الأزرق). هل هو نفاث أم كرة؟ من السابق لأوانه معرفة ذلك. عندما يمر الزمن ويندمج النفاث في المادة المحيطة فإنه يأخذ بالتباطؤ، ويستطيع المراقب على الأرض أن يرى المزيد من النفاث (الأصفر). وفي النهاية، عند الزمن الفاصل كما يسمى، يصبح النفاث بكامله مرئياً (هنا، عندما يقترب F من 10، الأخضر). وفيما وراء هذه النقطة لن تكون مادة جديدة مرئية، وسينخفض سطوع التوهج اللاحق بسرعة أكبر. عندما يكون $F \sim 2$ يتباطأ النفاث إلى حد يكفي لتصبح المادة داخل منطقة أكبر بكثير (البرتقالي) مرئية. وقد قام فرييل وزملاؤه [2] بتحليل الفواصل الزمنية للتوهج اللاحق ل 17 دفقة وحسبوا حجم نفاثاتهم. وهنا وجدوا طاقة نموذجية لدفقات أشعة غاما، التي تماثل طاقة مستعر فائق عادي.

في الطبيعة المراجع

REFERENCES

- [1] Kluger, J. Time 1 Nov. (1999).
- [2] Frail, D. et al., Astrophys. J. Lett. 562, L55-L58 (2001).
- [3] Fishman, G. & Meegan, C. Annu. Rev. Astron. Astrophys. 33, 415-458 (1995).
- [4] Costa, E. et al., Nature 387, 783-785 (1997).
- [5] Meszaros, P. & Rees, M. Mon. Not. R. Astron. Soc. 257, 29-31 (1992).
- [6] Meszaros, P. & Rees, M. Astrophys. J. 397, 570-575 (1992).
- [7] MacFadyen, A. & Woosley, S. E. Astrophys. J. 524, 262-289 (1999).
- [8] Ruffert, M. & Janka, H. T. Astron. Astrophys. 344, 573-606 (1999).
- [9] Lithwick, Y. & Sari, R. Astrophys. J. 555, 540-545 (2001).
- [10] Guetta, D., Spada, M. & Waxman, E; <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0011170>
- [11] Freedman, D. L. & Waxman, E. Astrophys. J. 547, 922-928 (2001).
- [12] Piran, T., Kumar, P., Panaitescu, A. & Piro, L. Astrophys. J. Lett (in the press). ■

علاقة قوية بين زاوية الفتح و سطوع GRB. فعلى سبيل المثال إن دفقة أشعة غاما الأكثر سطوعاً المعروفة حتى الآن، وهي GRB990123، تمتلك إحدى أصغر زوايا الفتح، 2.9° . بين فرييل وزملاؤه أن الجزء من السماء المغطى بالنفاث المضروب بالطاقة الكلية، والذي كانت ستشمله الدفقة فيما لو نشأت من كرة، يعطي قيمة طاقة ثابتة تقريباً قدرها 5×10^{43} جول. وتبدو هذه القيمة نموذجية في معظم GRBs، وهي أصغر بمدة آلاف المرات من الطاقة التي كانت ضرورية سابقاً من أجل GRB990123.

لكن إذا كانت الدفقة النموذجية مرئية بالنسبة لعدد قليل فقط من المراقبين ينبغي عندها الافتراض أن هنالك دفقات من أشعة غاما أكثر بكثير مما نلاحظه. ويدرك فرييل وزملاؤه أن هنالك لكل دفقة نشهدها حوالي 500 نقطة في اتجاه آخر. هذا يعني أنه توجد على الأقل 1.500 GRBs كل يوم في الكون المرئي، مما يتطابق تقريباً مع ولادة ثقب أسود ذي كتلة نجمية في كل دقيقة. وهذا ممكن إذا كان حوالي 1% من تلك النجوم ضخمة إلى حد كاف لموتها عندما ينتهي المستعر الفائق على شكل دفقات أشعة غاما، وهذا افتراض معقول.

ليست هذه هي القصة بأكملها - فمازالت هنالك بعض الشكوك حول كفاءة تحويل طاقة النفاثات السريعة الحركة إلى أشعة غاما [10]. يفترض فرييل وزملاؤه قيمة نموذجية بنسبة 20% تعطي طاقة نفائة قدرها 2.5×10^{44} جول. لكن يمكن توقع تباين الكفاءة من حادث إلى آخر والاعتماد على زاوية الفتح. ويفترضون أيضاً أن كثافة المادة المحيطة ب GRB ثابتة، بينما من المحتمل أن تنخفض مع المسافة. ومن

4- اللغة السرية للخلايا*

المستقبل إلى تغيير الشكل أو العقود مع المستقبلات الأخرى. وهذا يحدث شلالاً من التأثيرات البروتينية داخل الخلية، ويؤدي إما إلى تنشيط الأنزيمات الأساسية أو تعطيلها، أو إلى إطلاق أو إخماد عوامل الانتساخ transcription factors - وهي بروتينات تنظم عملية التعبير عن الجينات. وما نشاط هذه الأنزيمات أو التعبير عن هذه الجينات المستهدفة إلا ليقوم بتبديل سلوك الخلية استجابة للإشارة.

لكن هذا مجرد انطباع عما يحدث عند استقبال إشارة منفردة. في الواقع تُقذف الخلايا على نحو متواصل بمئات الإشارات المختلفة، وتكيف مع يقبها وتستجيب لها باستمرار. وكل خلية مجهزة بمجموعتها الخاصة من المستقبلات والإشارات التي تواجه دورها الخاص، مما يتيح لها الاستجابة لبعض الإشارات وتجاهل كل ماتبقى. علاوة على ذلك ونظراً لكون الخلية موجودة في متعضية متعددة الخلايا، فإن حالها يشبه إلى حد ما الوقوف عند البار في حانة مزدحمة ومليئة بالضجيج. فإذا لم تكن

جميعها تثرثر بشأنك. وهناك بلايين الأصوات الضعيفة جداً تتهاشم طوال الوقت وهي تعلق على كل شيء تقوله أو تفعله وترقب كل حركة من حركاتك. لكن ليس بالضرورة أن تخشى ذلك - وتجري هذه الثرثرات المتواصلة بين خلايا جسمك التي تعمل كفريق متكامل للحفاظ على حياتك.

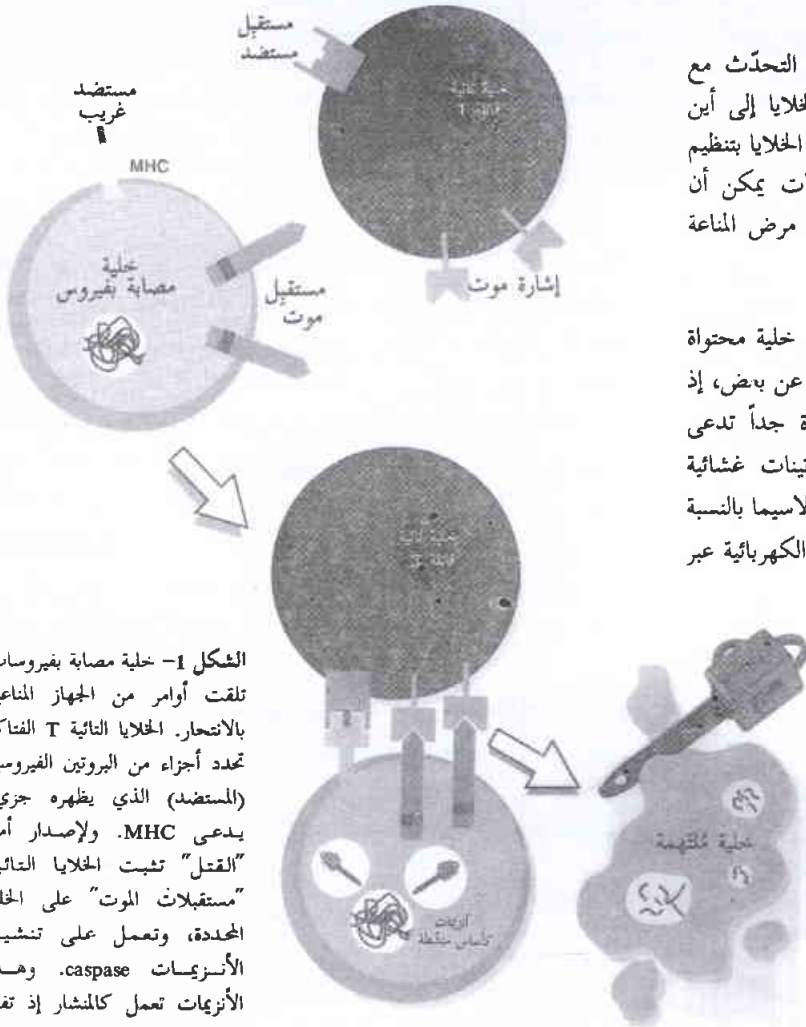
تعدّ ثرثرة الخلايا ضرورية لجميع الحيوانات المتعددة الخلايا. وبدونها ينهار التنسيق والتعاون بين ملايين الخلايا في أجسامنا. فالأمر يكاد يشبه محاولة تسيير الحياة في بلد ما بدون هواتف، أو مركز بريد، أو إنترنت حيث يكون الناس فيه غير قادرين على التحدث.

إن كل شيء تقوم به يعتمد على قدرة الخلايا على التحدث مع بعضها. والاتصال ضروري في مضغة متطورة لإخبار الخلايا إلى أين ستذهب، وماذا ستصبح ومتى ستقسم. تقوم الإشارات بين الخلايا بتنظيم شهيتك، وحركتك، وسلوكك. وعندما تعطل الاتصالات يمكن أن تكون العواقب كارثية بدءاً من التشوهات الخلقية وحتى مرض المناعة الذاتية والسرطان.

إذاً كيف يتم الاتصال بين الخلايا؟ بالرغم من أن كل خلية محتواة ضمن غشائها البلازمي، فإن الخلايا ليست منفصلة بعضها عن بعض، إذ يتصل بعضها ببعض في معظم النسيج "بقنوات" صغيرة جداً تدعى وصلات فجوية gap junctions، وهي عبارة عن بروتينات غشائية أسطوانية ذات قنوات تمر عبرها. وهذه القنوات لها أهميتها لاسيما بالنسبة لعضلة القلب لأنها تتيح للأيونات المشحونة نقل النبضات الكهربائية عبر

الخلايا بحيث تنقل في آن واحد. لكن تحتاج الخلايا إلى طريقة فعالة لإرسال الرسائل واستقبالها على مسافات أكبر بكثير. وللقيام بذلك، تستخدم آليات نقل الإشارة signal transduction لاستقبال وتفسير الرسائل الكيميائية. ومع أن هذه الرسائل تندرج في مجموعة كبيرة من الأشكال فإنها تشترك جميعاً في التفكير المنطقي الأساسي نفسه (انظر الشكل 2).

هنالك رسالة جزيئية، أو ربيطة ligand، ترتبط ببروتين مستقبل يطلق عليه اسم المستقبل receptor. إن ارتباط الربيطة يحدو البروتين



الشكل 1- خلية مصابة بفيروسات نقلت أوامر من الجهاز المناعي بالانتحار. الخلايا الناتجة T الفتاكة تحدد أجزاء من البروتين الفيروسي (المستضد) الذي يظهره جزيء MHC. والإصدار أمر "القتل" تثبت الخلايا الناتجة "مستقبلات الموت" على الخلية المهددة، وتعمل على تنشيط الأنزيمات caspase. وهذه الأنزيمات تعمل كالمشار إذ تفرم الجزيئات الرئيسة في الخلية.

سرطان الثدي تاموكسيفين tamoxifen بإعاقه مستقبل الأستروجين في محاولة منه لتبطين الخلايا السرطانية.

هنالك مئات الجزيئات المشيرة (المرسلة للإشارة) المختلفة، لكن لجعل التعامل مع هذه المجموعة المعقدة والمزلة أسهل قليلاً يمكن تصنيفها إلى خمس مجموعات: الهرمونات الستيرويدية، والغازات المنحلّة، والنواقل العصبية، والبيبتيدات والإيكوزانويدات eicosanoids.

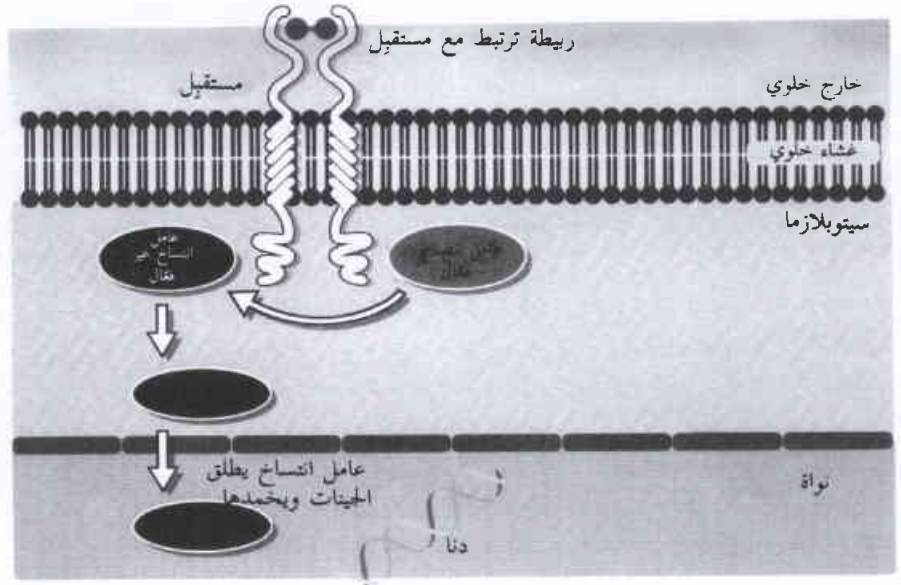
إشاعات رائجة

الهرمونات الجنسية الكارهة للماء

تعدّ الهرمونات الجنسية الأستروجين، والبروجسترون، والتستوستيرون أعضاء في مجموعة الهرمونات الستيرويدية steroid hormone التي تشمل أيضاً هرمون الضغط، الكورتيزول cortisol. ومن الخواص المميّزة لهذه الهرمونات أن مستقبلاتها غير موجودة على سطح الخلايا. فمعظم الجزيئات المرسلة للإشارة محبة للماء أو تسمى hydrophilic، لذلك فهي ليست قادرة على اختراق الغشاء الخلوي الدهني (وهذا ما يفتر حاجتها إلى مستقبل لنقل رسالتها). لكن الهرمونات الستيرويدية تتميز بأنها صغيرة، وكارهة للماء أو hydrophobic بحيث يمكنها أن تنزلق بسهولة عبر الغشاء. وعندما تكون داخل الخلية ترتبط مع مستقبلاتها الداخلية بين الخلية intercellular. وهذه في الواقع تمثل عوامل انتساح، يجعلها الارتباط تغيّر شكلها وتطلق الجينات أو تخمدنها.

ومن أكبر المفاجآت التي واجهت باحثي المشير (إرسال الإشارة) الخلوي كان اكتشاف أن الغازات المنحلّة يمكن أن تسلك سلوك رسائل في الجسم. من المحتمل أن يكون أكسيد النترريك (NO) أفضل الغازات المعروفة لإنتاج الأمطار الحامضية وكمركّب سام من دخان السجائر. لكن العلماء وجدوا أنه يعمل أيضاً كإشارة باراكرين paracrine وأوتوكرين autocrine. يتم إنتاج NO في بطانة الشرايين وينتشر في العضلة المحيطة، مسبباً ارتخاءها وتوسّع الأوعية الدموية. وهذا يفتر سبب إعطاء مرضى القلب النتروغليسرين الذي يشتهر بكونه عالي الانفجار ويستخدم في الديناميت. وفي الجسم يتحول إلى NO الذي يوسّع الأوعية الدموية وبالتالي يخفّض الضغط العالي للدم ويزيد من تدفق الدم. كما يقوم NO بتنظيم تدفق الدم في الأعضاء الجنسية.

تعمل النواقل العصبية على نقل الإشارات بين العصبونات، أو بين العصبونات وأهداف من نوع آخر كالخلايا العضلية. فهي عبارة عن جزيئات صغيرة تطلق عبر فجوات صغيرة جداً، أو مشابك synapses بين العصبونات وأهدافها. وتطلق النواقل العصبية إلى المشبك عندما تصل النبضة العصبية إلى نهاية العصبون. ونظراً لكونها محبة للماء ولاتستطيع أن تعبر غشاء الخلية بنفسها، فهي تضطر إلى الارتباط بمستقبلات سطح الخلية. وبعض هذه المستقبلات تحوّل الإشارة في الخلية من أجل تنظيم



الشكل 2- مستقبلات غشائية تحدث شلالاً من التأثيرات البروتينية التي تطلق الجينات أو تخمدنها

لديك القدرة على تركيز انتباهك، فلن تسمع ما هو الشراب الذي طلبته صديقتك كي تشتريه لأن صوتها تحجبها مئات الأصوات التي تصخب لجذب الانتباه.

إن تشبيه البار يوضّح أيضاً الأنواع المختلفة من الإشارات التي يمكن استعمالها. فبعضها يحمل رسائل لمسافات طويلة - مثل صديقة لك تقف على كرسي وتصرخ لك بصوت عال في الغرفة لتعطيها كأساً من البيرة. وفي الجسم تتحرر هذه الإشارات الصماء endocrine بشكل طبيعي لتدخل إلى الدم، وتتضمن هرمونات مثل هرمونات الأستروجين oestrogen والتستوستيرون testosterone الجنسية، والأنسولين insulin لتنظيم السكر في الدم، والأدرنالين adrenaline لهيئة الحيوان من أجل الدفاع أو الهروب.

بالمقارنة، ثمّة همسة طويلة باهتة وغرية تنتهي إلى سمعك بأنهم يرغبون بتناول مشروب الفودكا مارتيني، قد تكون مثالاً عن مشير الباراكراين paracrine signaling. وهذه الإشارات تُرسل لمسافات قصيرة جداً وتتضمن عوامل النمو growth factors التي تساهم في شفاء الجروح وفي الانقسام الخلوي، والنواقل العصبية neurotransmitters التي تنقل الإشارات بين الخلايا العصبية.

وبعد هذا الوقت كلّ الذي أمضيته في الحانة من المحتمل أن تكون مخموراً قليلاً وستظل تحدّث نفسك بالذهاب إلى الحانة من أجل بضعة أكواب من الماء كي تصحو قليلاً. وهذه العملية قد تمثل مشيراً تلقائياً autocrine signaling حيث تقوم الخلية فعلياً بإرسال إشارة لنفسها. وتستخدمها الخلايا المناعية التي تدعى الخلايا التائية T لتساعد الخلايا في الانقسام عندما يواجهها بروتين غريب، بحيث يمكنها أن تزيد من قدرة الجسم الدفاعية. لكن يمكن أيضاً للخلايا السرطانية أن تستخدم المشير التلقائي كي يباح لها الانتشار طوعاً أو كرهاً. وتنتج بعض سرطانات الثدي الأستروجين للتخفيف على الانقسام الخلوي السريع. ويقوم عقار

التطوري مجالاً رئيساً آخر للتطور. وثمة هدف رئيس يتمثل بتوحيد كيفية اتصال الخلايا في مضغة متطورة، وما تقول وماذا يحدث عندما ينقطع الاتصال.

قد لا تعتقد بأن لديك الكثير من الصفات المشتركة مع الذباب أو الديدان، لكن العلماء يستخدمون الحيوانات كذبابة الفواكه *Drosophila melanogaster* والودودة *Caenorhabditis elegans* في استراق السمع على مسارات التشوير التي تثرثر باستمرار داخل المضغة. وقد تم الحفاظ على العديد منها طوال فترة التطور، لهذا نشترك مع العديد منها بمتعضيات أدنى. وكمثال على ذلك جزيء المشير *hedgehog* ويدعى هكذا لأن مضغعات الفراشة التي تفتقر إليه مغطاة بهُلب (شعيرات) صغير جداً. وفي الذبابة يقوم جزيء *hedgehog* بإخبار الخلايا في الأجنحة المتطورة عن مكانها وماهيتها - إذ أنه "يحاكي" النسيج. وعند الإنسان تشترك جزيئات مماثلة في تطوير الأطراف وفي انقسام الخلية أيضاً. وثمة شكل من سرطان الجلد عند الإنسان، يدعى *basal cell carcinoma*، ينشأ عندما يكون مستقبل النسخة البشرية من جزيء *hedgehog* معطلاً.

إذن كيف تؤثر الإشارات على الخلايا في المضغة؟ كما ذكرنا من قبل يمكنها أن تطلق عوامل الانتساح التي تبدل سلوك الخلية. تبدأ المضغة كمجموعة من خلايا متماثلة إلى حد كبير، تحوي كل منها الجينات ذاتها. ولتطوير النسيج المتمايز، كالعضلات أو الدم، تحتاج مجموعات الجينات إلى عمليتي الإطلاق والإخماد. ويعدّ التشوير الخلوي أساسياً بالنسبة لعملية التمايز هذه، وعندما يختل يتأثر التطور بشكل خطير.

وثمة مثال واضح عن ذلك حول ما سيحدث عندما يتعرض المشير الذي ينظّم عملية تطور الأطراف للانقطاع بفعل عقار الثاليدوميد *thalidomide*. فالثاليدوميد تم وصفه للنساء الحوامل في فترة الستينيات لمعالجة الغثيان الصباحي. لكن سرعان ما تبين أنه من الممكن أن تكون له آثار مدمرة على المضغة. فمعظم الأطفال وُلدوا بأطراف قصيرة - وكانت أسوأ الحالات أن الأيدي والأقدام موصولة مباشرة بالجنذع.

إخفاق الإشارة في الرحم

قصة الثاليدوميد

تتطور الأذرع والأرجل بصورة طبيعية من براعم الطرف التي تنشأ من المضغة (انظر الشكل 3). وهناك شريط من النسيج يدعى الحيد الأدمي القمّي *apical ectodermal ridge* يتوضع على نهاية البرعم. إذ يخبر الخلايا المجاورة عن مدى بُعدها عن الجزء الأساسي من الجسم بإرسال إشارات عوامل النمو ذات الأرومة الليفية (FGFs)، وبصورة طبيعية تنقسم الخلايا في نهاية البرعم في "منطقة التطور" بشكل مستمر. عندما يبدأ الانقسام تتباعد الخلايا الأقدم أكثر فأكثر عن الحيد الأدمي القمي. وتنتشر FGFs فقط على مسافة قصيرة، وتتمايز الخلايا في منطقة التطور بحسب المدة الزمنية التي تتلقى فيها الإشارات. وتصبح الخلايا، التي تتلقى إشارات FGF في أطول مدة زمنية، أيدي أو أقدام على سبيل المثال.

نشاط القنوات الأيونية، التي تتحكم بتدفق الأيونات عبر الغشاء أثناء عملية نقل النبضات العصبية. لكن العديد من المستقبلات هو عبارة عن قنوات أيونية ذات بوابات ريبطية *ligand-gated ion channels* تتغير شكلها عند ارتباط الناقل العصبي. ومثال على ذلك مستقبل الأستيل كولين *acetylcholine receptor* في خلايا العضلة الهيكلية. عندما يرتبط به الأستيل كولين الخاص بالناقل العصبي، فإن ذلك يفتح القناة مما يسمح بتدفق أيونات الصوديوم إلى الخلية. ويؤدي "كمون الفعل" الناتج - وهو يمثل الفرق في الشحنة الكهربائية عبر الغشاء - إلى تحرير أيونات الكالسيوم من مخزن داخل الخلية، ويسبب تقلص الخلية العضلية.

تقوم النواقل العصبية بدور رئيس في الدماغ. فالسيروتونين *Serotonin* يساعد في تحديد المزاج (الحالة النفسية)، والسويات الدنيا منه تؤدي إلى الاكتئاب. ويعمل العقار، أكتازي *(MDMA) Ecstasy* من خلال دعم سويات السيروتونين. وهذا ما يؤدي إلى ارتفاع حرارة متعاطيه، لكنه يسبب آثاراً جانبية. فعلى سبيل المثال، إن السويات العالية للسيروتونين في الهايوتلاموس (الوطاء) تُوقف الكلي عن إفراز السائل، مما قد يفسر سبب حدوث وفاة متعاطيه نتيجة شرب كمية كبيرة من الماء. يعتقد العديد من الباحثين أن استخدام أكتازي *Ecstasy* لمدة طويلة يضرّ بقدرة الجسم على إنتاج السيروتونين.

تعدّ الببتيدات أكبر مجموعة من الجزيئات المشيرة، وهي تتألف من حموض أمينية مرتبطة في سلسلة. تتفاوت الببتيدات في أحجامها ما بين بضعة حموض أمينية وأكثر من مئة حمض أميني، فهي تشمل الهرمونات الببتيدية *peptide hormones* كالأنسولين وعوامل النمو كعامل النمو المشتق من الصفائح *platelet-derived growth factor* الذي يساهم في شفاء الجروح. وهناك عدد من عوامل النمو يقوم بتنظيم عملية تطوير ومراقبة انقسام الخلية وإخبار الخلايا بما ستصبح عليه. وتعدّ السيتوكينات *cytokines* كالإنترفيرونات والإنترلوكينات مثلاً جيداً عن ذلك، فهي تنظّم تطوير الخلايا المناعية وتمايزها كخلية اللمفية T وB. وتفرز الخلايا المناعية السيتوكينات التي تنظّم استجابة الجسم للإصابة. ويعود سبب الآثار المدمرة لعمليات الدفاع المناعي لدى المريض إلى نقص الخلايا التائية المساعدة T نتيجة الإصابة بفيروس نقص المناعة المكتسبة *HIV*.

أما الفعّة الأخيرة من الإشارات فهي مركبات الإيكوزانويدات التي تشمل مركبات البروستاغلاندين (الموثينات). وهذه عبارة عن جزيئات دهنية، أو شحميات، تعمل موضعياً على زيادة الالتهاب وحدوث الجلطات الدموية، وتقلص العضلات المساء. فالأسبرين يعيق إفراز الإيكوزانويدات مما يفسر سبب إمكانية استخدامه لتخفيف الالتهاب والحدّ من مخاطر الصدمات.

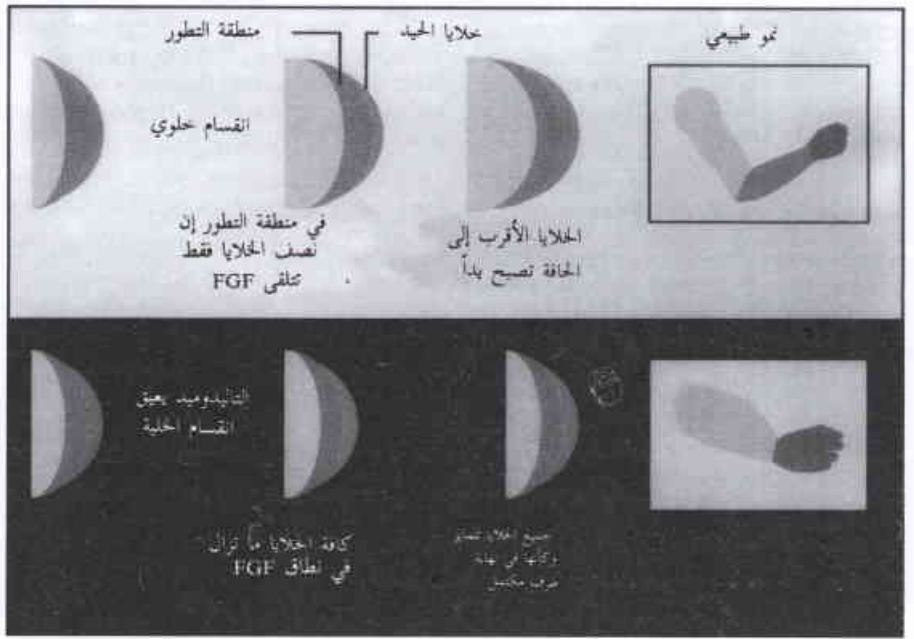
بالطبع، إن الاتصالات الخلوية لا تقتصر على الحيوانات، فالخلايا النباتية بحاجة للاتصال بعضها مع بعض، حتى الحيوانات الوحيدة الخلية، كالحماثر، ترسل رسائل إلى خلايا أخرى. ومع ذلك يتركز المزيد من الاهتمام في مجال البحوث على الدور الذي يقوم به إرسال الإشارة في الأمراض البشرية كالسرطان، والبدانة، والسكري. ويعدّ علم الأحياء

يشكل الموت موضع اهتمام آخر للأبحاث المكثفة. وما إن تقرأ هذه العبارة حتى تقوم الآلاف من خلاياك بقتل نفسها. ولكن لا ترتعب فهي تقوم بذلك لمصلحتك. ويعدّ انتحار الخلايا الذي يطلق عليه إسم الموت المبرمج للخلايا أو apoptosis ضرورياً للحياة. فعلى سبيل المثال عندما كنت تنمو في رحم أمك كان أبوتوزيس apoptosis يقوم بإزالة العصبونات الزائدة في دماغك الذي يتطور وفصل شبكات الجلد بين أصابع يديك وقدميك الآخذة بالنمو. والآن يساعد ضمنا، مقاومتك للأمراض الذاتية المناعة والسرطان، وإبعاد الإصابات الفيروسية.

يمنع أبوتوزيس حدوث السرطان من خلال العمل على كبح انقسام الخلية بشكل صارم. وثمة طريقة يستخدمها الجسم للقيام بذلك من خلال إجبار الخلايا في النسيج كالجلد للاعتماد على الإشارات الصادرة من جاراتها والوسط المحيط مباشرة لتحافظ على حياتها. وإذا لم تصل هذه الخلايا إلى غايتها (على سبيل المثال إذا بدأت خلية بالخروج من وسطها الحقيقي)، يتنشط برنامج ذاتي التخريب وتنتحر الخلية.

وهناك دور آخر يقوم به أبوتوزيس وهو تدمير الخلايا المصابة. فالخلايا التائية T المدمرة، وهي الخلايا القاتلة في الجسم، تقوم باقتفاء أثر هذه الخلايا وقتلها من خلال إعطائها أوامر بأن تملو بعضها البعض. تمتلك أغلبية الخلايا في الجسم "مستقبل موت" يدعى CD95 موجود على سطحها ويعمل مستقبلاً لأمر الموت هذا. وإذا أصيبت أي من الخلايا بفيروس على سبيل المثال، فإن الجهاز المناعي يمكن أن يستخدم CD95 لتدميرها (انظر الشكل 1).

تقوم الخلايا التائية الحفيرة patrolling القاتلة بمراقبة شديدة على الخلايا الأخرى من خلال اعتيان أجزاء بروتينية، أو مستضدات antigens بصورة مستمرة، بحيث ترفض مراقبة سطوحها بالاشترك مع مجموعة التوافق النسيجية الأساسية major histocompatibility complex أو جزيئات MHC. فإذا أصيبت خلية بفيروس، تظهر أجزاء من البروتين



الشكل 3- عقار التايدوميدي يقوم بقطع عملية التشوير التي تسيطر على تطور الطرف.

وثمة نظرية توحي بأن التايدوميدي يعيق انقسام الخلية في منطقة التطور، لذلك فإن جميع الخلايا تتلقى FGFs خلال مدة زمنية طويلة وتتمايز وكأنها متوضعة عند نهاية طرف كامل، لذلك تصبح أيدي أو أقدام.

يعدّ التمايز أيضاً العامل الأساسي في فهم السرطان. وينشأ السرطان عندما تبدأ الخلايا بالرجوع إلى حالة أقل خصوصية وأقل تمايزاً، مما يسمح لها بالانقسام والانتشار. هنالك عدة ضوابط بحاجة إلى تفكيكها قبل أن تصبح الخلية غازية (مهاجمة) وسرطانية بالفعل. لكن تنطوي إحدى الخطوات الرئيسية على فقدان التحكم بانقسام الخلية. ويمكن أن يحدث ذلك بعدة وسائل، لكن غالباً ماكتسب الخلية طفرة تؤدي أحد البروتينات المشتركة في نقل الإشارة. وكمثال على ذلك هنالك بروتين يدعى راس Ras يحرض انقسام الخلية. ويتم تنشيط هذا البروتين فقط بصورة طبيعية عندما تستقبل الخلية، من عوامل نمو محددة، إشارة بالانقسام. ولكن في العديد من السرطانات يبقى بروتين راس المختل طليقاً بصورة دائمة بحيث يجبر الخلية على الاستمرار في الانقسام.

وهناك طريقة أخرى تفرض فيها الأورام التشوير الخلوي من خلال توجيه الجسم نحو تزويدها بالدم. فالورم يمكن أن يقدو كبيراً جداً فقط قبل أن تصبح الخلايا في مركزه محرومة من المواد الغذائية والأكسجين. وللاستمرار في نموه، يحتاج لأن يحصل على مصدر أفضل من الدم ويرسل إشارات، بما في ذلك عامل النمو البطاني الوعائي vascular endothelial growth factor (VEGF)، لتعزيز نمو أوعية دموية جديدة (انظر الشكل 4). وسيقوم العلماء بدراسة الاتصالات بين الأورام وبينتها على أمل إيجاد عقاقير جديدة لإعاقه هذه الإشارات وبالتالي إيقاف الأورام.



الشكل 4- أورام متعطشة للأوكسجين تستخدم جزيئاً يدعى VEGF ليحصل عنوة على مصدر أفضل للدم.

الزيادة في الوزن ستؤدي بك إلى داء السكر

معظم الناس سمع عن مضاعفات البدانة مثل الأمراض القلبية. غير أن القليل منهم يدرك أن البدانة يمكن أن تؤدي إلى حدوث أحد أشكال داء السكري.

إن داء السكري من النمط 2، كما يدعى، هو الأكثر احتمالاً لإصابة البالغين به. فالدهون الزائدة تجعل الجسم غير قادر على الاستجابة للأنسولين حتى لو كانت البنكرياس قادرة على ذلك (بالمقابل، إن داء السكري من النمط 1 يبدأ عادة في سن الطفولة وينشأ من خلايا البنكرياس المنتجة للأنسولين نظراً لكونها تخزنت بالجهاز المناعي).

كيف تتدخل الدهون مع الأنسولين؟ يحدث تحطم الدهون لدى الأشخاص البدينين، لا سيما أولئك الذين تزداد لديهم الدهون في القسم العلوي من الجسم، بمعدل أسرع، مما يؤدي إلى ارتفاع سويات الحموض الدهنية في مجرى الدم، وهذا يتدخل في قدرة الكبد والعضلات الهيكلية على الاستجابة للأنسولين. والنتيجة هي أن النسيج تسلك وكأن سويات الأنسولين منخفضة.

في الحالة العادية يرسل الأنسولين إشارات إلى العضلات والكبد لنزع الغلوكوز الموجود في الدم وتخزينه. لكن بالنسبة للعرض البدينين يستمر الكبد في صنع الغلوكوز، ولا تمتص العضلات الغلوكوز بعد الوجبة. مبدئياً، يمكن للبنكرياس تعويض ذلك من خلال إفراز المزيد من الأنسولين. لكن عندما ترتفع سويات الحموض الدهنية، لا تستطيع البنكرياس عندها أن تعوض شيئاً، مما يؤدي إلى ارتفاع سويات السكر في الدم على نحو خطير، أو حدوث فرط سكر الدم.

يمكن معالجة المصابين بداء السكري من النمط 2 بالأدوية وينصحون بتخفيف الوزن.

تناول الوجبات ومن ثم يأخذ بالهبوط تدريجياً، مما يحث الشخص على تناول الطعام مرة أخرى.

يحمل العديد من الخلايا في الجسم مستقبلات اللبتين بما فيها تلك الموجودة في منطقة من الدماغ وتدعى الهايبوتلاموس (الوطاء) التي تتحكم بالشهية وسلوك الأكل. والأكثر من ذلك، يتمتع اللبتين بسلطة الفصل في العديد من المناطق الأخرى المهمة في الجسم، بما فيها الجهاز المناعي والجهاز التناسلي. وعندما تنخفض سوياته كثيراً، يعتقد الجسم أنه الجوع ويخفض أي شيء من شأنه أن يستنزف مصادره كالجهاز المناعي. وعند المرأة يمكن أن تتوقف الدورة الشهرية، وهذا يفتر عدم حدوثها لدى النساء اللواتي تكون كميات الدهون عندهن قليلة جداً كراقصات البالية والعداءات في سباق الماراثون.

لسوء الحظ إن آلية توزيع اللبتين في الأشخاص البدينين لا تعمل. وقد يعزى السبب في ذلك إلى أن مستقبلات اللبتين لديهم، أو المركبات الأخرى في مسارات المشير عندهم، لا تعمل بشكل صحيح، وهذا إلى حد ما نتيجة الخلل الوراثي. وإذا لم تستطع خلاياها تحويل الإشارة، فلا اعتبار لكمية اللبتين الموجودة مهما تكن. ومن المحتمل أن تكون العوامل الوراثية التي تجعل الأشخاص ميالين إلى البدانة كثيرة - فهي صفة جينية متعددة.

أما الآن وقد أنجز مشروع الجينوم البشري خطة عمله، فإن اقتفاء أثر الجينات المشيرة هذه سيكون أسهل كثيراً. غير أن العلماء مدركون جيداً أن المسارات المشيرة التي استنبطوها حتى الآن لا تمثل سوى البداية - وتبرز دلائل ودلائل على أن هذه المسارات تتقاطع وتغذي بعضها البعض. وحل خيوط هذه الشبكة التشويرية يمثل التحدي الكبير القادم بالنسبة للعلماء الذين يحاولون ترجمة اللغة السرية في اتصالات الخلية. ■

الفيروس على سطحها ليمتعرفها على أنها غريبة. وتحمل الخلية التالية أيضاً جزيماً على سطح الخلية يدعى CD95L. وعندما تدخل من أجل التدمير فإن جزيئاتها من CD95L تلتصق بمستقبلات CD95 على الخلايا المصابة. وهذا يحدث شلالاً من التأثيرات البروتينية داخل الخلية، مما يؤدي إلى إفراز أنزيمات تدعى caspases لتبدأ بالعمل. تعمل أنزيمات caspases كالمشار، إذ تفرم بروتينات رئيسة وتنشط الأنزيمات الأخرى التي تقوم بتجزئ دنا DNA الخلية المعني. ويتم التهام "ابتلاع" أجزاء الخلية الميتة بواسطة جاراتها أو الخلايا المناعية الأخرى.

يعدّ أوبوتوزيس مثلاً ممتازاً عن حماية الجسم لنفسه من المرض، لكن هنالك فترات أخرى تكون فيها أعداء ألداء لأنفسنا، بمعنى آخر عندما نتناول كميات كبيرة من الطعام. إن أكثر من نصف سكان أوربة والولايات المتحدة يميلون إلى الوزن الزائد أو إلى البدانة. وقد باتت الأمور تزداد سوءاً مما دفع العلماء إلى الاعتقاد بأن البدانة هي حالياً أكبر مشكلة صحية تواجه العالم المتطوّر (انظر الموطر). وإذا ما قمت بإيجاد مضغوطة لتقليص محيط الخصر الآخذ بالازدياد، فستشعر بأنك غني أكثر مما تحلم. إلا أن الأحلام فيما يتعلق بآليات المشير التي تتحكم بوزن الشخص وشهيته معقدة جداً ومتوازنة بالنهاية بحيث يندر أن يكون هنالك حبة سحرية واحدة لوضع حدّ للزيادة المفاجئة في الوزن.

وثمة إشارة تقوم بدور أساسي في كيفية تخزين أجسامنا للدهون، وهي عبارة عن هرمون يدعى اللبتين leptin. ولدى اختفائه في الخلايا الشحمية، أو ما يسمى adipocyte، تعتمد كمية اللبتين في مجرى الدم على كمية الدهون المخزنة في الجسم. كذلك ترتفع سويات اللبتين بعد

5- البوزترونات تكشف تفاصيل السطح*

مجموعتنا على الجانب الآخر من سلسلة الألب تكادس خبرة واسعة في البصريات لتوليد حزم إلكترونية وبوزترونية. غير أن الصناعة كانت، في تلك المرحلة، غير مستعدة لتلقي هذه التقنية؛ ولربما بدأ مشروعنا سابقاً لمصره وأوانه.

لكن الزمن تغير؛ وحقق الحقل المذكور أنفاً تقدماً عظيماً عبر السنوات العشر الماضية، وبخاصة في مجال استخلاص معلومات من أجل الاستخدام الصناعي. وقد أعلنت حالياً مجموعة ميونخ عن إنجازها أولى قياسات (العمق) بالمجهر البوزتروني الماسح.

ويعدّ المجهر البوزتروني جهازاً أكثر تعقيداً من المجهر الإلكتروني. وبالفعل، فإن أبسط جزء في هذا الجهاز هو مجهر إلكتروني له ميز رديء نسبياً ($\sim 0.5 \mu\text{m}$)، يستخدم لإلقاء نظرة عامة على العينة وكمهيد من أجل توجيه المسبار البوزتروني. ويتم، بدايةً، إنتاج بوزترونات عالية الطاقة من مصادر مشعّة، ومن ثمّ إبطاؤها بواسطة فلم رقيق من التنغستن الذي يعمل كمهيد حيث يمتص بسهولة البوزترونات معيداً إصدارها عند طاقات تقارب 1 إلكترون فولط.

بعد ذلك، تُحرّز الجسيمات المضادة عبر قسم "ما قبل التحزيم pre-bunching" حيث تبعث على شكل حزمة بقطر يصل إلى قرابة $20 \mu\text{m}$ وتدوم كل نبضة منها لفترة 2 نانوثانية. وتمر هذه النبضات، بعد ذلك، عبر مرحلة تعزيز للسطوح، يلي ذلك مرورها عبر مُحزّم نهائي يُقلّل من فترة النبضة إلى 200 بيكوثانية، ومن قطرها إلى $2 \mu\text{m}$. ويجري ربط كل جزء من الجهاز بواسطة بصريات "إلكترونية" ملائمة؛ بينما يجري تصميم البصريات داخل العمود البوزتروني بشكل يعمل على تبخير الجسيمات المضادة على العينة عبر مجال واسع من الطاقات (500-20000 eV) ودون إتلاف البنية الزمنية للحزم. وهذه المقدرة على تغيير طاقة الحزم تتيح للبوزترونات أن تنزوع على أعماق مختلفة. وبعبارة أخرى، يوفر المجهر البوزتروني الماسح طريقة لا إتلافية تماماً من أجل رسم جانبية سطح العينة بالأبعاد الثلاثة.

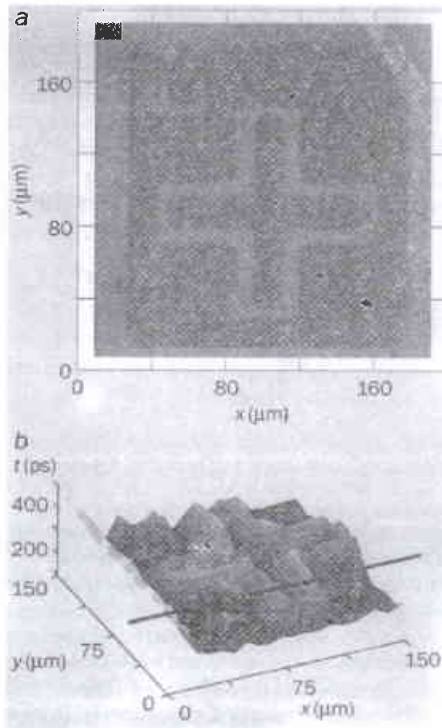
والآن، دعنا نعود إلى تعزيز سطوح الحزمة الذي يتعلق بشدة الحزمة في وحدة المساحة. فقد طورت مجموعة ميونخ طريقة معقدة لزيادة سطوح الحزمة، تعتمد أساساً على تقنية اقترحت أول مرة في عام 1980 من قبل آلن ميلز A. Mills لدى مختبرات بل Bell Labs في ولاية نيويورك. أما كوغل وزملاؤه فقد قاموا بزراعة البوزترونات ضمن بلورة مفردة من التنغستن والتي تعيد إصدار هذه البوزترونات، محققة

خلال السنوات الخمسين الأخيرة، تطوير عدد من التقنيات من أجل تحليل السطوح والطبقات قرب السطح وكذلك السطوح البينية. ولكل من هذه التقنيات خصائصها الفريدة الخاصة بها والتي تقدم رؤية مختلفة لظواهر السطح. وتمتص مطيافية فناء - البوزترون positron annihilation spectroscopy بقدرات فريدة لكشف العيوب شبه الشاغرة vacancy-like defects التي تراوح في مداها ما بين الذرات المنفردة المفقودة والفجوات المكروية micro-voids.

وعندما يجري زرع البوزترونات العالية الطاقة داخل الأجسام الصلبة فإنها تنبسط إلى طاقات حرارية. وعند مثل هذه الطاقات المنخفضة، تنجذب الجسيمات المضادة الموجبة الشحنة نحو المواقع ذات الشحنة السالبة، كالفجوات، حيث تفتني منتجة أشعة غاما. وللغوات والعيوب شبه الشاغرة الأخرى كثافة إلكترونية مخفضة تعمل على زيادة عمر البوزترونات مقارنة مع تلك التي تزرع في سطوح كاملة مثالية. لذلك، يستطيع قياس عمر البوزترون أن يقدم معلومات بشأن وجود العيوب ونوعها داخل الجسم الصلب.

وهناك تقنية ثانية متممة توظف الطيف الطاقوي لأشعة غاما. فعند مواقع العيوب، تتوسع بمفعول دوبلر إشعاعات غاما هذه بواسطة الاندفاع الحطبي للإلكترونات. وحيث يكون للإلكترونات في العيوب شبه الشاغرة توزع اندفاع أخفض مما هو عليه في مناطق خالية من العيوب؛ لذلك يصبح الخط الملاحظ للإشعاع غاما أكثر تضيقاً.

تمّ، خلال العشرين سنة الماضية، استخدام البوزترونات بشكل متزايد كأداة لفحص الأجسام الصلبة داخل المختبر. وبالفعل، فإن تطبيق تقنيات كهذه في مجال الصناعة كان السبب الرئيس وراء بدء مجموعتنا في ترنتو Trento، قبل 12 سنة، بتطوير مجهر بوزتروني ماسح بالتعاون مع مجموعة غوتفريد كوغل G. Kogel العاملة لدى جامعة بوندسوير Bundesweher University في ميونخ بألمانيا. وفي تلك الفترة، كان قد سبق لمجموعة ميونخ أن طورت تقنية لإنتاج نبضات تحت نانوثانية من بوزترونات منخفضة الطاقة. وفي الوقت ذاته، كانت



(أ) سطح رفاعة من السليكون. مصنعة بطبقة من البلاتين (الجزء المغمى) كما تشاهد ضمن مجهر إلكتروني.
(ب) الرفاعة ذاتها مصورة بأبعاد ثلاثة بواسطة مجهر بوزتروني ماسح.

في الوقت ذاته، يعتمد زمن القياس على شدة المنبع البوزتروني ذي الطاقة العالية. وفي جهاز مجموعة ميونخ، حدّد منبع الصوديوم - 22 زمن القياس ليصبح 800 ثانية لكل عنصر؛ وهذا يعرقل بشكل واضح قابلية استعمال الآلة في العمل الصناعي. وفي الوقت الراهن، يخطط كوغل ومساعدوه لاستخدام البوزترونات التي يجري توليدها في مفاعل نووي. ومع أن هذه التقنية استطاعت أن تقلل زمن القياس بعامل قدره 100 - 1000 فهي غير عملية من أجل استخدام واسع الانتشار في الصناعة.

وهناك نهج آخر يُعد بالكثير، فقبل 20 سنة، اقترح كلفن لين K. Lynn وباري مكى B. Mckee، لدى مختبر بروكهافن الوطني، ما يدعى "بمهدىء معزّز بالحقل field-enhanced moderator" يستطيع إنتاج البوزترونات بقدر يزيد 100 مرة عما تستطيع إنتاجه المهدئات المتوفرة حالياً والمستخدمة للمصدر المشع ذاته. ومن المحتمل أن يظهر هذا الابتكار في المستقبل القريب، في هذه الحالة، يمكن أن تقوم المصادر المشعة الصغيرة بالعمل المطلوب ضمن مختبر صناعي.

قبل عشر سنوات، اعتبرت تقنية العمر lifetime technique الأعظم فعالية بين تقنيات الفناء البوزتروني كافة؛ لكن الأمر تغير بعد ذلك عندما فرضت بالقوة تقنيات خفض الخلفية طريقة تعريض دوبلر التي تستطيع في الوقت الراهن أن تخبرنا بشأن الذرات المحيطة بالعييب. ومن المحتمل أن يجمع الجيل القادم من المجاهر طرائق كشف مختلفة لإنتاج مجموعة أوسع للمعلومات ضمن زمن القياس ذاته. ومن الواضح أن الزمن قد أصبح مثيراً للبوزترونات. ■

كسباً مذهلاً للسطوع قدره 3×10^5 . بما أن السطوع وشدة المنابع البوزترونية ذات مقدار أصغر بعدة مراتب من نظرائها الإلكترونيات، فإن هذه المرحلة تُعدّ على الأغلب أهم جزء من المجهز. وفي الواقع، هذا يعني أنه بالإمكان الإقلال من تبيير الحزمة لتصبح بقدر بقعة صغيرة مع عدم حدوث أي خسارة في الشدة تقريباً.

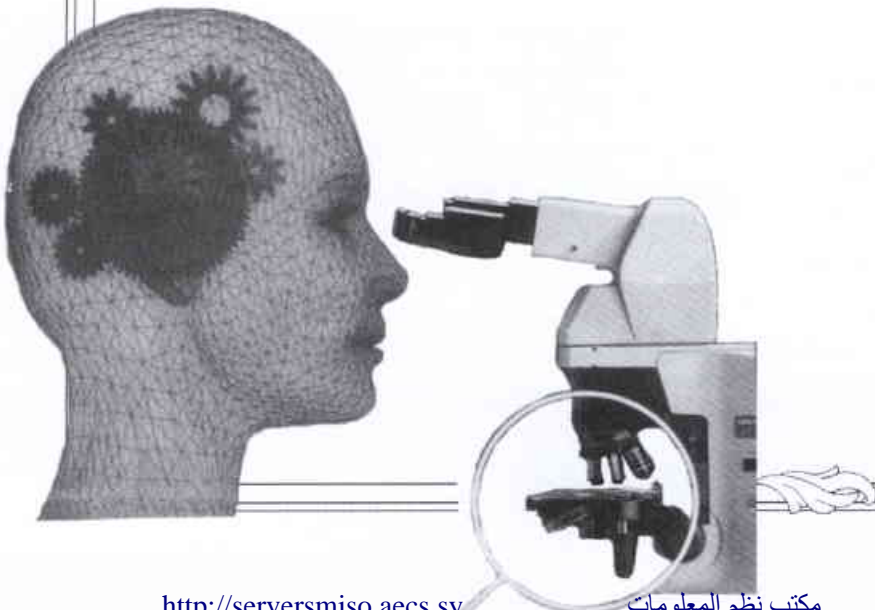
وقامت مجموعة ميونخ بفحص مجذاذة chip تمّ فيها ترسيب نمط من البلاتين فوق ركازة من أكسيد السليكون وذلك باستخدام المجهزين الإلكتروني والبوزتروني كليهما (انظر الشكل). وقد زوّد المجهز البوزتروني بمعلومات إضافية عن اندفاع الإلكترون الذي لا يمكن استخلاصه باستخدام المجهز الإلكتروني أو أيّ من تقنيات التحليل الأخرى. وقد يتّين الباحثون أيضاً أنه يمكن للبوزترونات أن تكشف مناطق العيب أو الخلل في بلورة زرنبيخيد الغاليوم المخدوشة والتي تكون غير مرئية في الصور الضوئية أو الإلكترونية.

ويقترب الوقت كي تبدأ الصناعة باستخدام التقنيات البوزترونية، كما أثبت ذلك بول كولمان P. Coleman من جامعة باث Bath أثناء ورشة العمل الأخيرة حول البوزترونات المنخفضة الطاقة والتي انعقدت هذا الصيف في مدينة "سانتا في Santa Fe" في الولايات المتحدة. لكن هناك ثلاثة شروط لا بد من تحقيقها. الشرط الأول يكمن في الحاجة إلى تصغير قَدّ بقعة الحزمة، والشرط الثاني يكمن في ضرورة تقصير زمن القياس، والشرط الثالث يكمن في الحاجة إلى معايرة كل من الآلات وإجراءات التحليل من أجل الاستخدام الصناعي.

وكان أعظم إنجاز حققته مجموعة ميونخ هو تصغيرها قَدّ البقعة ليصل إلى $2 \mu\text{m}$ بالمقارنة مع الحزم المعيارية التي يمكن أن تصل في عرضها إلى عدة مليمترات.



ورقات البحوث



طريقة جديدة لتعيين لاتناحي المقاومة في المركبات المتطبقة ذات الناقلية الفائقة

د. عادل نادر

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

لقد تم في هذا العمل عرض طريقة جديدة لتعيين لاتناحي المقاومة في المركبات المتطبقة ذات الناقلية الفائقة. الميزة الأساسية لهذه الطريقة هي أنه يتم تعيين اللاتناحي دون أن نضطر لقياس مقاومات صغيرة. حيث أدخلت مقاومة جديدة R_h . ويمكن تعيين اللاتناحي من نسبة R_h والمقاومة الطولية من أجل $\Gamma \leq 1$ ، أو نسبة R_h والمقاومة العرضية من أجل $\Gamma \geq 1$ حيث Γ هي ما يدعى باللاتناحي الفعال. إن تغيرات هاتين النسبتين محدودة، وقد استخدمت هذه الطريقة لتعيين لاتناحي المقاومة للمركب $(LaSe)_{1.14}(NbSe_2)_2$ ذي الناقلية الفائقة والطبقات غير المترافقة، وذلك عند درجة حرارة العرفة.

الكلمات المفتاحية: المقاومة الكهربائية، اللاتناحي، النواقل الفائقة ذات البنية المتطبقة.

مقدمة

بمقارنة منحني الفولطيات المقيسة بين تماسات مماثلة موضوعة على طول العينة بمنحنيات محسوبة نظرياً. إن قياس المقاومة العرضية من أجل عينات ذات Γ صغيرة هي عملية صعبة، كما هو الحال في عينات $NbSe_2$ حيث $(\rho_c/\rho_{ab})^{1/2} \approx 3$ وتكون الأبعاد عادة: $L = 1 \text{ mm}$ و $D = 50 \mu\text{m}$ عند $\Gamma \approx 0.15$ [7].

سنقوم في هذا العمل بعرض طريقة جديدة لتعيين النسبة (ρ_c/ρ_{ab}) . حيث تم تعريف مقاومة جديدة R_h ويتم تعيين اللاتناحي من خلال نسبة R_h والمقاومة الطولية من أجل عينات يكون فيها $\Gamma \leq 1$ ، ونسبة R_h والمقاومة العرضية من أجل $\Gamma \geq 1$. الميزة الأساسية لهذه الطريقة هي أن لهاتين النسبتين تحولات محدودة وبالتالي لا يتعرض المحرّب لمشكلة قياس مقاومات صغيرة عند تعيين (ρ_c/ρ_{ab}) .

النموذج

ليكن لدينا عينة شكلها متوازي السطوح، من ناقل فائق الناقلية ذي بنية متطبقة في الحالة الطبيعية، ولنفرض بأن المحور c هو بحسب الاتجاه oz . ولنفرض بأن أبعادها وفق x, y, z هي من L, b, D على الترتيب. ولنفرض أيضاً أن جميع التماسات ممتدة على طول المحور oy وأن عرضها وفق الاتجاه ox مهمل.

إن النقطة الأساسية في هذا العمل هي أن نجد توزيع الكمون $V(x,z)$ من أجل الحالة التي يحقن فيها التيار من التماس I ويخرج من التماس 4. حيث أن إحداثيات هذه التماسات هي: $(-x_0, -D/2)$ و $(x_0, D/2)$ (الشكل 1).

توزيع الكمون

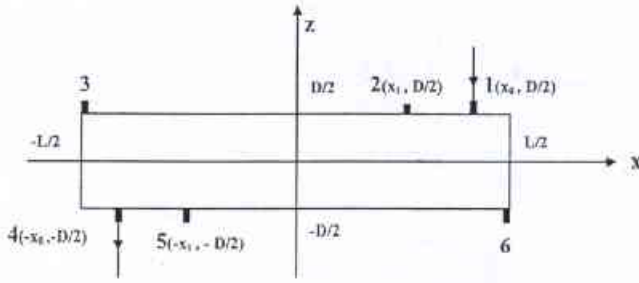
كما هو مفروض في [2] و [5] يمكن أن نجد $V(x,z)$ بحل المعادلة التفاضلية الجزئية التالية:

إن تعيين لاتناحي المقاومة في المركبات المتطبقة ذات الناقلية الفائقة هو على درجة عالية من الأهمية نظراً لعلاقته بسلوك الناقل في الحالة المختلطة [1] وبالاقتران بين الطبقات الناقلية. إن قياس ρ_c و ρ_{ab} كل على حدة لعينتين مستقلتين قد يكون حلاً ولكن وبالرغم من كون العينات على شكل وريقات رقيقة فإن قياس ρ_c يكون صعباً ويتطلب إما معرفة اللاتناحي [2] أو استخدام تماسات ممتدة [3] وذلك للتقليل من التوزيع غير المنتظم لكثافة التيار، زد على ذلك أن العينات ليست متماثلة بشكل تام. ومنه، فمن الأفضل أن نبحث عن طريقة لقياس اللاتناحي بشكل مباشر على نفس العينة. إن طريقة مونتغومري [4] هي حل تقليدي، حيث يمكن تعيين اللاتناحي الفعلي $\Gamma = (D/L)(\rho_c/\rho_{ab})^{1/2}$ (L هي طول العينة و D هي سماكتها) عن طريق نسبة المقاومة العرضية إلى المقاومة الطولية. تكمن المشكلة الأساسية لهذه الطريقة بأن هذه النسبة تتغير بشكل أسّي حين تبعد Γ عن الواحد. ومنه فإن إحدى هاتين المقاومتين تصبح صغيرة جداً وبالتالي صعبة القياس.

أدخل بوش ومساعدوه مؤخراً [5] طريقة جديدة يتم فيها استخدام ستة أقطاب تعتمد على استخدام المدرج الأول لحل معادلة لابلاس. وتقوم هذه الطريقة على حقن التيار عبر السطح العلوي للعينة، ثم يتم تعيين اللاتناحي من خلال مقارنة الفولطية المقيسة على السطح العلوي مع الفولطية المقيسة على السطح السفلي. نظراً للتقريبات المستخدمة في هذه الطريقة فإن الخطأ المرتكب يزداد كلما اقتربت Γ من الصفر. ومن جهة أخرى عندما تكون Γ كبيرة فإن الإشارة على السطح السفلي تكون صغيرة وصعبة القياس.

كما اقترح أيضاً من قبل أوارون ومساعديه طريقة أخرى [6] تعتمد على حقن التيار في اتجاه المحور C من خلال تماسين متقابلين ثم تعيين Γ

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Physica C*, 17 April, 2001. مراجعة هيئة التحرير.



الشكل 1- توضع التماسات، لقد تم افتراض أن المحور c مواز للاتجاه oz. يجب الانتباه أنه تم أخذ $x_0 = L/2$ من أجل تعيين لاتناحي المقاومة.

حيث أن $\beta = x_1/L$

يمكن هنا أن نعرف ثلاث نسب مقاومات هي: $\Psi(\Gamma, \beta) = R_d/R_L$

$$\Theta(\Gamma) = R_d/R_L \text{ و } \Lambda(\Gamma, \beta) = R_d/R_t$$

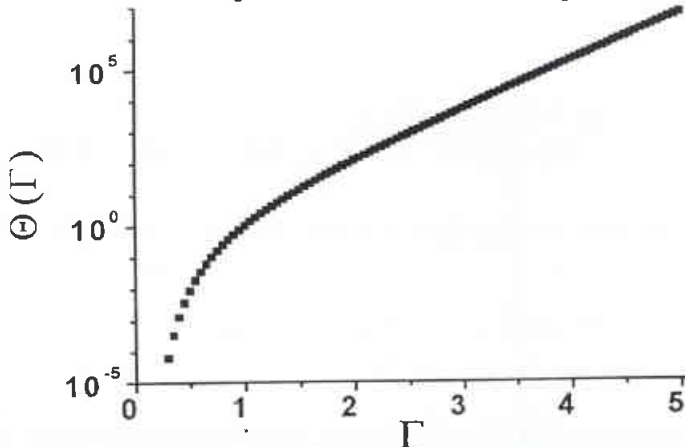
يظهر الشكل 2 تحولات $\Theta(\Gamma)$ وهو ليس إلا منحنى مونتغمري [4]. إن هذا التابع يتحول بشكل أسّي لأن كلاً من R_t و R_L تصبح صغيرة جداً من أجل $\Gamma < 1$ و $\Gamma > 1$ على الترتيب. وبالتالي فإن النسبة $\Theta(\Gamma)$ غير مناسبة لتعيين لاتناحي المقاومة عندما تبعد Γ عن الواحد.

رُسمت تغيرات كل من $\Psi(\Gamma, \beta)$ و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ من أجل $\Gamma \geq 1$ و $\Gamma \leq 1$ في الشكلين 3a و 3b على الترتيب من أجل عدة قيم موجبة ل β . ونلاحظ هنا أن التغيرات أقل جِدَّةً من تغيرات التابع $\Theta(\Gamma)$.

لنعين الآن حدود تغيرات كل من $\Psi(\Gamma, \beta)$ و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ من أجل $\Gamma \leq 1$ و $\Gamma \geq 1$ على الترتيب. يمكننا أن نجد بسهولة أن:

$$\Psi(\Gamma, \beta) \rightarrow 2\beta \text{ من أجل } \Gamma \rightarrow 0 \text{ و } \Lambda(\Gamma, \beta) \rightarrow 1 \text{ من أجل } \Gamma \rightarrow \infty$$

ومن جهة أخرى رُسمت تحولات $\Lambda(1, \beta)$ في الشكل 4، فتبين أن قيمتها لا تتعدى 65 على الإطلاق وذلك عندما تتحول β من 0 وحتى 0.4999 (لنتذكر أن $\Lambda(1, \beta) = \Psi(1, \beta)$). يمكن تفسير الزيادة الحادة ل $\Lambda(1, \beta)$ عندما تقترب β من القيمة 0.5 بأن تماسات التوتر تقترب أكثر فأكثر من تماسات التيار والتي هي النقاط ذوات التوتر الأعلى والأخفض في العينة، مما يؤدي إلى ازدياد حاد في قيمة المقاومة R_d .



الشكل 2- تحولات $\Theta(\Gamma)$. يجب الانتباه إلى أن هذه التحولات تصبح أسية عندما تبعد قيمة Γ عن الواحد.

$$\text{divj} = \frac{1}{\rho_{ab}} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho_c} \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

يجب أن نفرض هنا شرطاً حدياً طبيعياً هو:

$$j_x(\pm L/2, z) = 0 \quad (2)$$

وهو الشرط الحدي الأول.

إن التابع الذي يحقق المعادلة (1) والشرط الحدي الأول هو:

$$V(x, z) = A_0 z + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} V_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \cosh\left(\frac{n\pi z \gamma}{L}\right) + \sum_{n=2,4,6,\dots}^{\infty} U_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi z \gamma}{L}\right) \quad (3)$$

حيث: $\gamma = (\rho_c/\rho_{ab})^{1/2}$

إن الشرط الحدي الثاني هو أن التيار يحقق في النقطة $(x_0, D/2)$ ويخرج من النقطة $(-x_0, -D/2)$. باستخدام هذا الشرط يمكن حساب كل من A_0 ، V_n و U_n بطريقة فورييه كما هو مشروح في [2] ومنه يكون:

$$A_0 = I\rho_c/bL$$

$$V_n = \frac{I}{b} (\rho_{ab}\rho_c)^{1/2} \frac{2 \sin(n\pi x_0/L)}{n\pi \sinh(n\pi\Gamma/2)}$$

$$U_n = \frac{I}{b} (\rho_{ab}\rho_c)^{1/2} \frac{2 \cos(n\pi x_0/L)}{n\pi \cosh(n\pi\Gamma/2)}$$

$$V(x, z) = \frac{I\rho_c}{bL} z + \frac{2I}{b} (\rho_{ab}\rho_c)^{1/2}$$

$$\times \left[\sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sin(n\pi x_0/L)}{n\pi \sinh(n\pi\Gamma/2)} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \cosh\left(\frac{n\pi z \gamma}{L}\right) + \dots \right]$$

$$\sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{\cos(n\pi x_0/L)}{n\pi \cosh(n\pi\Gamma/2)} \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \sinh\left(\frac{n\pi z \gamma}{L}\right) \quad (4)$$

تعيين Γ :

إذا أخذنا $x_0 = L/2$ تكون المقاومة العرضية:

$R_t = V_{16}(I_{34})/I_{34}$ (انظر الشكل 1) والمقاومة الطولية $R_L = V_{64}(I_{13})/I_{13}$ كما يمكن تعريف مقاومة أخرى $R_d = V_{25}(I_{14})/I_{14}$ لقد تم حساب كل من المقاومتين: العرضية والطولية في [2] وهما من الشكل:

$$R_t = \frac{(\rho_c \rho_{ab})^{1/2}}{b} \left[\Gamma + 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(n\pi) \tanh(n\pi\Gamma/2)}{n\pi} \right] \quad (5)$$

$$R_L = \frac{(\rho_c \rho_{ab})^{1/2}}{b} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{8}{n\pi \sinh(n\pi\Gamma)} \quad (6)$$

أما R_d فيمكن حسابها من (4)، ويكون من أجل $x_0 = L/2$

$$R_d = \frac{\rho_c}{bL} D + \frac{4}{b} (\rho_{ab}\rho_c)^{1/2}$$

$$\left[\sum_{1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{n\pi} \sin(n\pi\beta) \coth(n\pi\Gamma/2) + \dots \sum_{2,4,\dots}^{\infty} \frac{\cos(n\pi/2)}{n\pi} \cos(n\pi\beta) \tanh(n\pi\Gamma/2) \right] \quad (7)$$

الحاجة لحقن تيار عالي الشدة. ولنتذكر أن β تتعين بموضع التماسات على العينة.

إلا أن تحولات كل من $\Psi(\Gamma, \beta)$ و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ من أجل $\Gamma > 1$ و $\Gamma < 1$ على الترتيب تكون سريعة ومشابهة لتغيرات $\Theta(\Gamma)$ (انظر الشكل 5). وبالتالي فمن غير المناسب استخدام $\Psi(\Gamma, \beta)$ و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ في هذه المجالات لتعيين لاتناحي المقاومة.

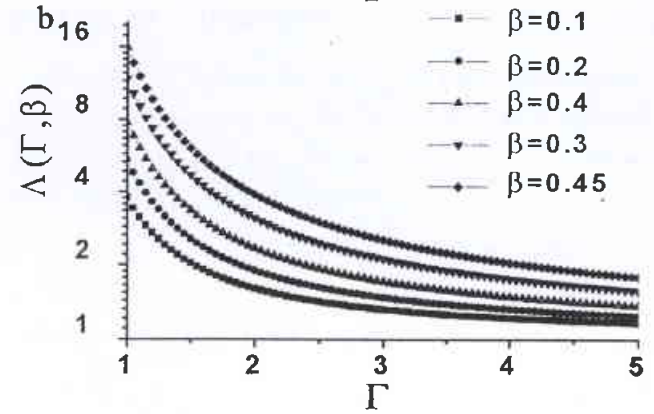
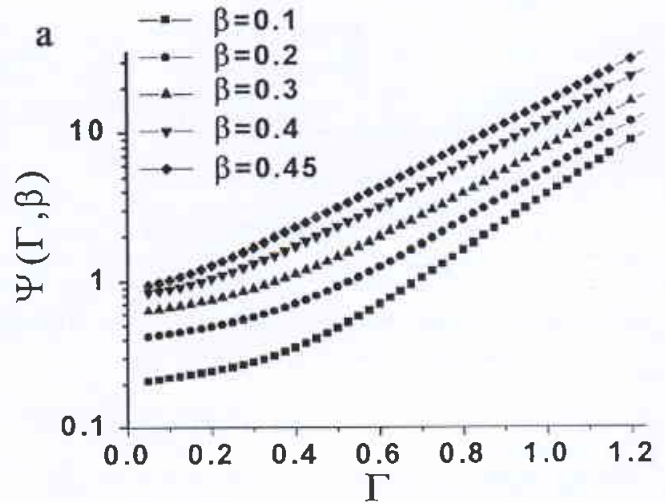
لقد تم حساب كل من R_d و R_L من أجل أول 10^5 حد، أما بالنسبة ل R_L فإن عدد الحدود الأولى p المستخدمة في الحساب قد تم اختياره بحيث يكون $\pi p \Gamma \leq 650$.

الحساسية

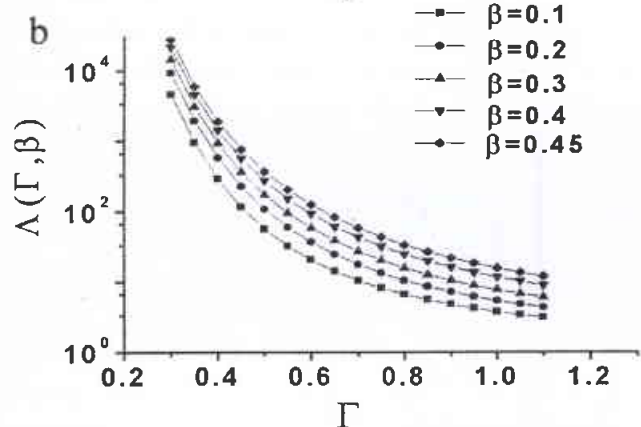
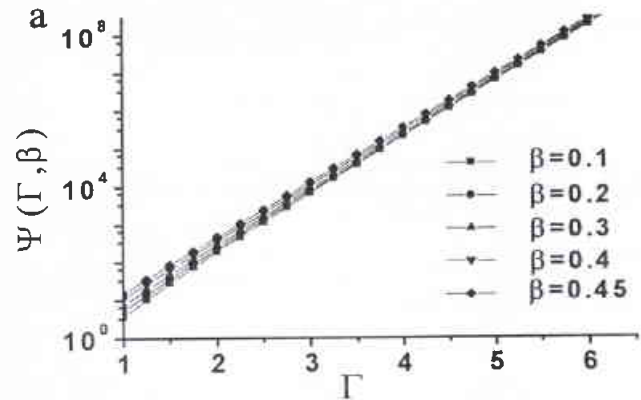
لفرض أننا نقوم بتعيين Γ باستخدام النسبة Ψ وأنه قد تم تعيين β بخطأ يمكن إهماله. يعطى الخطأ $\delta\Gamma$ في تعيين Γ بالعلاقة:

$$\delta\Gamma = \frac{\Psi}{|\partial\Psi/\partial\Gamma|} \left(\frac{\delta R_d}{R_d} + \frac{\delta R_L}{R_L} \right) \quad (8)$$

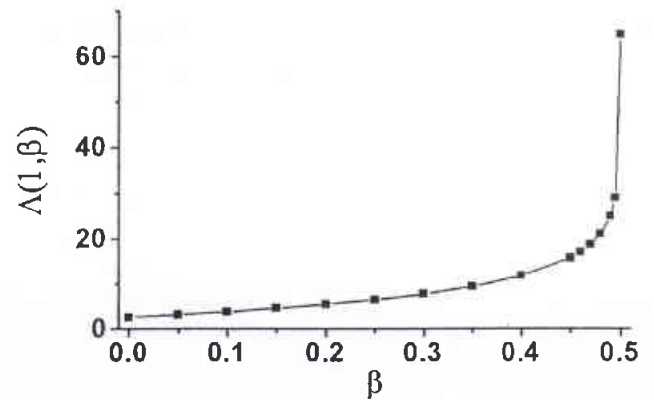
إن هذا الخطأ يتناسب عكساً مع $|\partial\Psi(\Gamma, \beta)/\partial\Gamma|$. عندما تكون قيمة $|\partial\Psi(\Gamma, \beta)/\partial\Gamma|$ أصغر من 1 فإنه يتم تضخيم الخطأ. ومن جهة أخرى، وكما يمكن أن نلاحظ من الشكلين 3a و 3b فإن المشتق الجزئي لكل من $\Psi(\Gamma, \beta)$ و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ بالنسبة ل Γ يتناقص بالقيمة المطلقة عندما تتعد Γ



الشكل 3- تحولات كل من $\Psi(\Gamma, \beta)$ (a) و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ (b) من أجل قيم مختلفة للمتحول β . يجب الانتباه إلى أن هذه التحولات بطيئة من أجل $\Gamma \geq 1$ و $\gamma \leq 1$ على الترتيب. أضيف الخط المستمر لتسهيل الملاحظة.

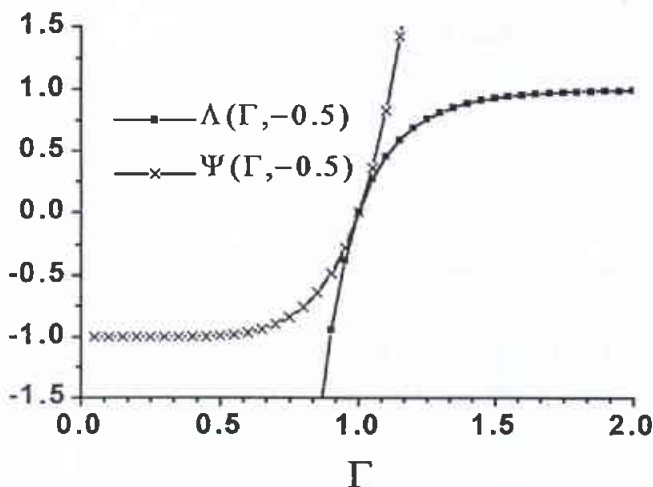


الشكل 4- تحولات كل من $\Psi(\Gamma, \beta)$ (a) و $\Lambda(\Gamma, \beta)$ (b) من أجل قيم مختلفة ل β . يجب الانتباه إلى هذه التحولات السريعة من أجل $\Gamma > 1$ و $\Gamma < 1$. أضيف الخط المستمر لتسهيل الملاحظة.



الشكل 4- تحولات $\Lambda(1, \beta)$ عندما تتحول β بين 0 و 0.4999. أضيف الخط المستمر لتسهيل الملاحظة.

ومنه نجد أن تحولات كل من Ψ و Λ محدودة من أجل $\Gamma \leq 1$ و $\Gamma \geq 1$ على الترتيب. أي إن المقاومة R_d أصبحت تسمح بتعيين لاتناحي المقاومة بقياس مقاومتين تتراوح نسبتها بين 2β و $\Lambda(1, \beta)$ من أجل $\Gamma \leq 1$ (النسبة Ψ) أو 1 و $\Lambda(1, \beta)$ من أجل $\Gamma \geq 1$ (النسبة Λ). وهذا مفيد عند إجراء قياس مستمر مما يسمح بقياس المقاومتين بدقة جيدة دون



الشكل 7- تحويلات $\Lambda(\Gamma, \beta)$ و $\Psi(\Gamma, \beta)$ من أجل $\beta = -0.5$. يجب الانتباه إلى تغير الإشارة عند $\Gamma = 1$. أضيف الخط المستمر لتسهيل الملاحظة.

لقد تم وصف بنية هذا المركب في المرجع [8]. وهي عبارة عن تنالي طبقة $|\text{LaSe}|$ شبه تكعيبية مع طبقتين شبه سداسيتين من $|\text{NbSe}_2|$ مفصولتين بفرجة فان درفالس. يتم التطبيق (تكديس الطبقات) وفق المحور c. درجة الحرارة الحرجة لهذا المركب هي 5.5 K . ولاتناحي الحقل الحرج المعين بقياس المقاومة المغنطيسية في درجة حرارة الهليوم السائل هو 35 [9] . ومنه وبحسب نموذج لورانس ودونياش [10] يكون $\gamma = 35$ في درجة الحرارة هذه.

كانت أبعاد العينة المقيسة هي $2.1 \times 1.6 \times 0.055 \text{ mm}^3$ وقد تم تعيين السماكة بخطاً قدره $0.5 \mu\text{m}$. أما باقي الأبعاد فقد كان الخطأ فيها من رتبة 0.05 mm . أما التماسات فقد كانت عبارة عن خيوط من الذهب مُنجّبة باستخدام طلاء الفضة ولم يتجاوز عرضها 0.1 mm .

وجدنا أن $\Gamma = 0.47 \pm 0.01$ وذلك في درجة حرارة الغرفة وباستخدام النسبة $\Psi(\Gamma, 0.29)$ ، ومنه تكون: $\gamma = 18 \pm 1$ و $(\rho_c/\rho_{ab}) = 324 \pm 35$. إن قيمة لاتناحي المقاومة في درجة حرارة الغرفة أخفض منها في درجة حرارة الهليوم السائل. يمكن تفسير هذا التغير بدلالة درجة الحرارة بوجود آليات تبعر وفق المحور c مختلفة عن آليات التبعر ضمن المستوي (a,b).

أما قيم المقاومات R_L ، R_H ، R_T فقد كانت $69.8 \text{ m}\Omega$ ، $91.97 \text{ m}\Omega$ و $0.37 \text{ m}\Omega$ على الترتيب. لنلاحظ أن R_H أكبر من R_L بمرتبتين.

REFERENCES

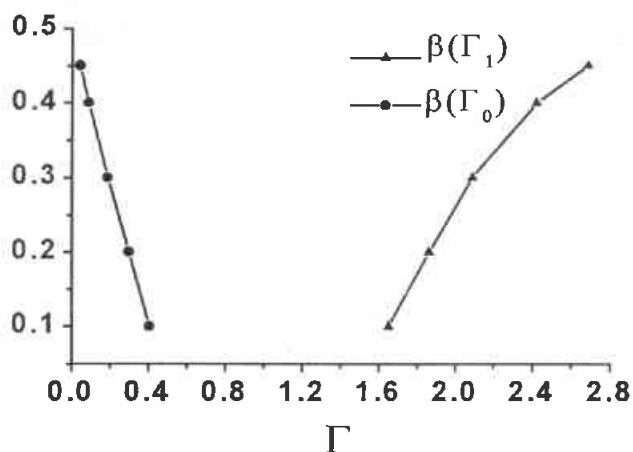
- [1] G. Blatter, M.V. Feigel'man, V.B. Geshkenbein, A.I. Larkin, V.M. Vinokur, Rev. Modern Phys. 66 (1994) 1125.
- [2] J.L. Gonzalez, J. S. Espinoza Ortiz, E. Baggio-Saitovich, Physica C 315 (1999) 271.
- [3] M. Charalambous, J. Chaussy, P. Lejay, Phys. Rev. B 45 (1992) 5091.
- [4] H.C. Montgomery, J. Appl. Phys. 42 (1971) 2971.
- [5] R. Busch, G. Ries, H. Werther, G. Kreiselmeyer, G. Saemann-Ischenko, Phys. Rev. Lett. 69 (1992) 522.

المراجع

1. من أجل هذا تمّ تعيين كل من Γ_1 و Γ_0 والتي يكون عندها على الترتيب $|\partial\Psi(\Gamma, \beta)/\partial\Gamma|$ و $|\partial\Lambda(\Gamma, \beta)/\partial\Gamma|$ مساوي للواحد وذلك من أجل قيم مختلفة للمتحوّل β . وقد تمّ رسم المنحنيين $\beta(\Gamma_1)$ و $\beta(\Gamma_0)$ في الشكل 6. لتذكّر أنه بين هذين المنحنيين كل من $|\partial\Psi(\Gamma, \beta)/\partial\Gamma|$ و $|\partial\Lambda(\Gamma, \beta)/\partial\Gamma|$ يكون أكبر من الواحد. هذا ولم يتم التطرق للحالة التي تكون فيها $\beta \leq 0$ لأنّ الحساسية تهبط بسرعة عندما تبعد Γ عن الواحد. تجدر الإشارة إلى أنّ $V_{25}(I_{14})$ يتعرض لتغير في إشارته من أجل $\beta < 0$ ومنه يجب في هذه الحالة تعريف كل من Ψ و Λ كنسب فولطيات كمون وليس كنسب مقاومات. تمّ رسم كل من Ψ و Λ في الشكل 7 من أجل $\beta = -0.5$ حيث نرى أن تغيير الإشارة واضح من أجل $\Gamma = 1$ وكذلك الهبوط السريع للحساسية.

تطبيق عملي

بغية إظهار الفائدة العملية لهذه الطريقة فقد تمّ استخدامها لتعيين لاتناحي المقاومة لبلورة من المركب المتطابق غير المتوافق ذي الناقلية الفائقة $(\text{LaSe})_{1.14}(\text{NbSe}_2)_2$ وذلك في درجة حرارة الغرفة. إن تعيين تغيرات كل من لاتناحي المقاومة والمقاومة وفق المحور c لهذا المركب بدلالة الحرارة حتى 10 K أمر قيد الإنجاز.



الشكل 6- تحويلات $\beta(\Gamma_1)$ و $\beta(\Gamma_0)$. يجب الانتباه إلى أن القيمة المطلقة للمستحق الجزئي لكل من Ψ و Λ بالنسبة لـ Γ بين هذين المنحنيين تكون أكبر من 1. أضيف الخط المستمر لتسهيل الملاحظة.

- [6] T. Aouaroun, V. Hardy, Ch. Goupil, F. Warmont, G. Villard, Ch. Simion, Supercond. Sci. Technol. 10 (1997) 572.
- [7] N. Toyota, H. Nakatsuji, K. Noto, A. Hoshi, N. Koayashi, Y. Muto, Y. Onodera, J. Low Temp. Phys. 25 (1976) 485.
- [8] R. Roesky, A. Meerschaut, J. Rouxel, J. Chen, Z. Aorg. Chem. 619 (1993) 117.
- [9] A. Nader, A. Lafond, A. Briggs, A. Meerschaut, G. Rernenyi, Synth. Met. 89 (1997) 87.
- [10] W.E. Lawrence, S. Doniach, in: E. Kanada (Ed.), Proc. 12th Int. Conf. Low Temp. Phys., Academic Press, New York, 1971. ■

توليد المدرج الثاني في دليل الموجة المشكّل على بلّورة جرمانات البيزموط المطعّمة بعنصر ترابي نادر

عبد القادر جزماتي

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية.

غلوريا فازكويكز، بيتر تاوونند

مدرسة الهندسة - جامعة ساسكس - فالمر - برايتون BN1 9QH - بريطانيا

ملخص

لقد تمّ زرع عيّنات من بلّورة جرمانات البيزموط المطعّمة بـ Nd^{3+} ، Sm^{3+} ، Eu^{3+} ، Ho^{3+} ، Er^{3+} ، Tm^{3+} عند درجة حرارة الأزوت السائل (LNT, 77 K) بأيونات من الهليوم He^+ لتشكيل دليل الموجة. طاقة وجرة الزرع الأيوني هما 2 MeV و 5×10^{16} ions/cm² على الترتيب. تمت تحمية (تلدن annealing) العيّنات في فرن لمدة ساعة عند درجات الحرارة التالية: 250°C، 350°C، 400°C، 450°C بوجود الهواء. تحسّنت شدة المدرج الثاني مع ازدياد درجة التحمية وذلك بسبب التخلص من العيوب البلّورية التي تشكّلت أثناء الزرع الأيوني. هنالك إعادة بنية في دليل الموجة الناتج عن الزرع الأيوني والذي أدى إلى تشكيل شبكة بلّورية معدّلة البنية وإلى تحسين كبير في شدة المدرج الثاني SHG. كما ازداد هذا التأثير بازدياد الفرق في القطر الأيوني بين أيونات العناصر الترابية النادرة RE والأيون المضيف Bi (البيزموط). يمكن تفسير المفعول الأخير بالقول: عدم التطابق في حجم أيون RE مع أيون Bi يؤدي إلى تشوه في البنية المكعبية لـ BGO ضمن المنطقة المزروعة (في دليل الموجة) لتصبح البنية لا متناحية بشكل خفيف، والذي بدوره يؤدي إلى تحسين شدة المدرج الثاني من طبقة دليل الموجة BGO:RE.

الكلمات المفتاحية: المدرج الثاني، جرمانات البيزموط، دليل الموجة، العناصر الترابية النادرة، الزرع الأيوني.

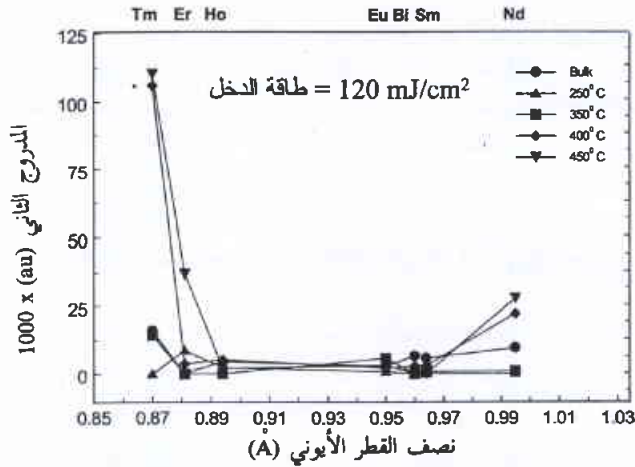
مقدمة

وأخرون [13] أطراف رامان لبلّورة BGO الجرمية مع تلك الناشئة من مجال دليل الموجة ووجد أن هنالك فروقاً مما يشير إلى تغيّر في البنية سببه الزرع الأيوني. والأكثر مفاجأة من ذلك كان وجود أثر انكسار ضوئي self-focusing قوي أدى إلى تمحرق ذاتي photo-refractive effect لليزر في مجال دليل الموجة. إن معطيات كهذه تُكسب الثقة بأن هنالك بنية متغيّرة نتيجة للزرع الأيوني، وإن دراسة ومقارنة شدة المدرج الثاني من الركازة وتلك الناشئة من دليل الموجة تُعدّ طريقة جيدة وحساسة لتفحص ذلك. وبسبب البنية اللامتناحية في مجال دليل الموجة، من المتوقع أن تزداد شدة SHG عمّا هي عليه في حالة الركازة، وهذا ما لوحظ ودوّن في هذه الورقة.

تفصيلات تجريبية

شُعّعت العيّنات عند درجة حرارة 77 K بأيونات الهليوم He^+ بطاقة قدرها 2 MeV وجرعة قدرها 5×10^{16} ions/cm² لتشكيل دليل الموجة الضوئي. يبيّن الشكل 1 المخطط التجريبي الذي استُخدم من أجل قياسات SHG لعيّنات BGO:RE. لقد استُخدم في هذه التجربة ليزر Nd:YAG الذي يعمل عند طول موجة 1064 nm بعرض نبضي قدره 7 μ s ومعدّل تكرار 10 Hz. كما حُدّدت حزمة الضوء الأساسي باستخدام حاجز ذي فتحة صغيرة ومرشحات (F1) لحجز وامتصاص أي ضوء منبثق من ضوء

تستخدم جرمانات البيزموط، $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ، بشكلٍ واسع كبلّورة وامضة scintillator crystal وهي ذات بنية مكعبية تنتمي إلى الزمرة 43 m. تُميّت هذه البلّورة لأول مرة عام 1965 [1]. وعلى أية حال، هنالك عدة أطوار تركيبية بنسب استوكيومترية stoichiometry مختلفة تُشتق من الأوكسيدات Bi_2O_3 و GeO_2 ، كما ناقش ذلك جيفاي في عام 1987 [2]. يبدى بعض هذه المركبات استجابات كهروضوئية، كما أن لبلّورات BGO المطعّمة بالعناصر الترابية النادرة أهمية في مجال تطبيقات الليزر [3-6]، ولا سيما على شكل دليل الموجة الضوئي المشكّل بطريقة زرع حزمة من أيونات الهليوم لتحديد السطح البيني لدليل الموجة مع مادة الركازة [7]. هنالك دراسات مفضّلة عن بروفيل قرينة الانكسار لدليل الموجة المشكّل من مادة BGO النقية [8-10]. في عملٍ تمّ مؤخراً [11]، وجدنا أن البنية البلّورية في مجال دليل الموجة، كما توضّح ذلك من خلال أنماط دليل الموجة في BGO:Nd بعد زرع أيونات من الهليوم بجرعة عالية ومن ثم أتبع بتلدن عند درجة حرارة 450°C، أصبحت غير متناحية. توجد فروق بين قرائن الانكسار n_o و n_e لدليل الموجة بعد التحمية. درس بارنز وأخرون [12] تأثير الشوائب على نوعية البلّورات الروامضة BGO ولاحظوا أن أثر شحنة الأيون أقل أهمية من أثر حجمه في عملية نمو بلّورة BGO عند إدخال المطعّم فيها. كما قارن بروكلسي

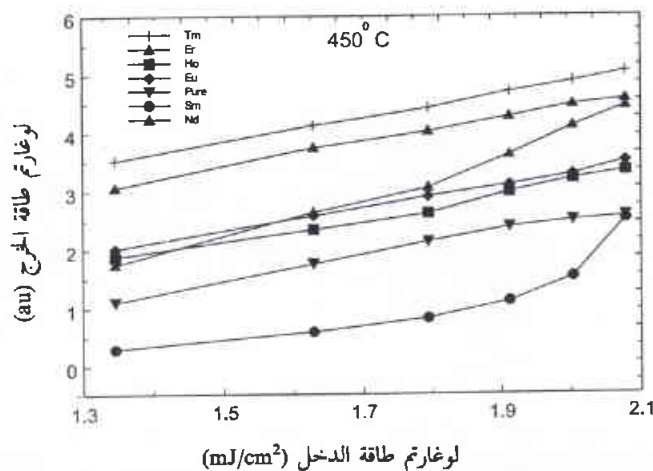


الشكل 2- تأثير درجة حرارة التلدين على شدة المردج الثاني

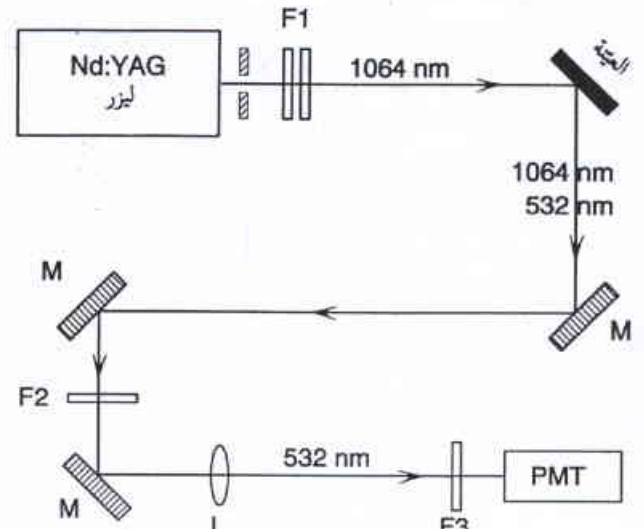
450 °C لمدة ساعة. النتائج المبيّنة في الشكل هي من أجل قيمة ثابتة لطاقة الدخول، ولكن منحنيات بيانية مشابهة سُجلت ولم تذكر هنا تؤكد ذلك بالنسبة لطاقت دخول مختلفة. الجدير بالذكر هنا أن عوامل التحسين هي أكبر ما تكون بالنسبة للأيونات الأصغر والأكبر بالمقارنة مع أيون البزموت.

2- تابعة طاقة المردج الثاني

يبين الشكل 3 منحنيات طاقة خرج SHG من سطح بلورة BGO (من دليل الموجة) كتابع لطاقة الدخول. كما هو متوقع من أجل SHG، إن العلاقة بين لوغارتيم طاقت الدخول مع لوغارتيم طاقت المخرج (Log-Log Scale) ذات طبيعة خطية ويمثل قدره اثنان تقريباً بالنسبة لكل العينات المشوبة والنقية. النتائج المبيّنة في الشكل 3 هي بالنسبة للعينات التي تمّ تلدينها وينجح من 250 °C وحتى 450 °C، والنتائج من أجل درجات حرارة تلدين أقل من 450 °C غير مدرجة هنا إلا أن لها الميل نفسه ولكن تختلف في القيم المطلقة. ونظراً لاختلاف تركيز الشوائب في العينات فقد تمّ تعديل القيم بحيث تتوافق مع قيمة التركيز 1 wt% وذلك باعتبار أن شدة SHG تتناسب خطياً مع تركيز الشوائب. من الواضح أن القيم



الشكل 3- علاقة طاقة المردج الثاني SHG من سطح الـ BGO كتابع لطاقة الدخول.



الشكل 1- المخطط التجريبي لقياس SHG

F1، F2، F3 مرشحات ضوئية، M مرايا لونية، L عدسة، PMT مضاعف ضوئي

الضخ. إن الضوء الأساسي (1064 nm) والمردج الثاني (532 nm) المتولد من سطح العينة يسيران بشكل متواز، لذا استُخدمت مجموعة مرايا لونية dichroic mirrors (M) تعكس كل منها بنسبة كبيرة فقط المردج الثاني (532 nm) وتخفف شدة الضوء الأساسي (1064 nm) المنعكس. كما استُخدم مرشح تداخلي (F2) بحيث يمر الطول الموجي 532 nm فقط. وأخيراً، سُجلت الإشارة باستخدام مضاعف ضوئي (PMT) بحيث يكون لهذا المضاعف استجابة مهملة بالنسبة للضوء الأساسي (1064 nm). كما استُخدمت مرشحات (F3) أمام فتحة المضاعف الضوئي وذلك لتجنب إشباع إشارة PMT. بالإضافة إلى ذلك، استُخدمت عدسة مقعرة الوجهين بطول محرق قدره 25 cm وذلك أيضاً لتجنب إشباع إشارة المضاعف الضوئي. استُخدم راسم إشارة قابل للتخزين لإظهار شدة نبضة SHG. إن بلورات BGO مشوبة بـ 0.4، 1.0، 1.0، 0.3، 2.0، 0.3% من Tm^{3+} ، Er^{3+} ، Ho^{3+} ، Eu^{3+} ، Sm^{3+} على الترتيب.

النتائج والملاحظات

1- تأثير درجة حرارة التلدين على شدة SHG

يبين نتائج سابقة أن دليل الموجة المشكّل بطريقة الزرع الأيوني قبل التلدين ذو قفد عالٍ، ولذلك كان التلدين الحراري مطلوباً. لقد حُسن التلدين شفافية دليل الموجة، كما عدّل بشكل قوي من بروفيل قرينة الانكسار عند درجة حرارة أعلى من 400°C (يمكن أن يكون سبب ذلك الاسترخاء في طور بلوري جديد). يبيّن الدراسات التي جرت مؤخراً [11] أن تلدين BGO:Nd عند درجة حرارة 450 °C لمدة ساعة بعد الزرع الأيوني وبجرعة عالية أدى إلى خلق طور لامتناهي البنية ضمن مجال دليل الموجة وذلك بقرينتي انكسار n_o و n_e مختلفتين من أجل أنماط دليل الموجة. إن ازدياد اللاتناحي يؤدي إلى تحسين في شدة SHG. يبيّن الشكل 2 أن هنالك زيادة وتحسناً في شدة SHG بعد التلدين. وفي معظم الحالات، إن الزيادة الأعظمية تحدث بعد التحمية إلى درجة حرارة

المناقشة

يمكن أن تُفهم النتائج المذكورة هنا باعتبار عاملين اثنين: الأول هو حجم أيونات RE بالنسبة لحجم أيون البزموت Bi، والثاني هو التعديلات في البنية البلورية BGO التي تحدث بعد زرع أيونات He^+ بجرعة عالية متبوعة بتلدين عند درجة حرارة $450^\circ C$. إن هذين العاملين يحرضان على استرخاء البنية المكعبية إلى بنية لامتناحية ضمن مجال دليل الموجة والذي بدوره يؤدي إلى زيادة مردود SHG.

عندما يكون الفرق بين نصف قطر أيونات RE ونصف قطر أيون Bi أعظم ما يمكن، فإن هذا يؤدي إلى خلق حقل إجهاد أعظم والذي بدوره يمكن أن يؤدي إلى تشوه في البنية الشبكية. بافتراض أن نصف قطر أيون البزموت Bi هو 0.096 nm فإن أنصاف أقطار الأيونات الأكبر والأصغر لـ RE تختلف بعدة نسب مئوية، أي من 0.087 nm إلى 0.0995 nm .

إن بعضاً من هذا الإجهاد موجود أصلاً في البلورات الأصلية، وإن شدة SHG الناتجة عن البلورات المطعّمة من السطح المقابل لسطح دليل الموجة (السطح من طرف الركازة) تؤكد ذلك، كما هو مبين في الشكل 2. إن عملية زرع أيونات He^+ يمكن أن تخلق، أثناء عملية الاسترخاء وإعادة تشكيل البنية، فرصاً غير ترموديناميكية، مما يساعد على تشكيل أطوار غير مستقرة ضمن البنية البلورية لـ BGO [7, 14, 2].

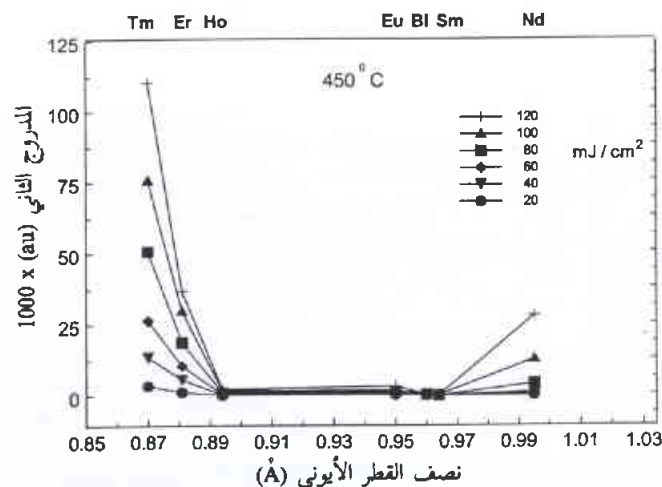
إن الاسترخاءات الطورية الناتجة عن التلدين بدرجات حرارة عالية معقدة وصعبة الفهم [15]، حيث أنه في أول عمل على دليل الموجة [8-10] اقترح أن المادة غير متجانسة باتجاه العمق في دليل الموجة وأبدت فعالية ضوئية كما تبدي ذلك بعض مركبات الـ BGO. ولكن في دراسات متأخرة تم تفسير ذلك باعتبار تشكل طبقة لامتناحية ضمن طبقة دليل الموجة وذلك بعد ملاحظة قرينتي انكسار مختلفتين n_o و n_e . إن كلا الحالتين ظهرت بعد التلدين بدرجة حرارة أعلى من $400^\circ C$. إن هذا الميول بشكل مختلف أثناء عملية الاسترخاء على طول المحور النظامي مقارنة مع مستوى دليل الموجة سيكون بالطبع مفضلاً وذلك لوجود أيونات RE التي تشوه أصلاً البنية المكعبية. هذا يتضمن بالنتيجة أن التلدين يؤكد ويبيّن أن التغيرات الأكثر فعالية في مردود المدروج الثاني هي بالنسبة لـ Tm و Er و Nd كتابع لدرجة حرارة التلدين فوق $400^\circ C$ ، كما هو موضح في الشكلين 2 و 4 بشكلي دقيق. وبشيء من التفصيل، فإن التغيرات البدائية (بدرجة حرارة تلدين منخفضة) تختلف بشكل بسيط وذلك باختلاف أيونات العناصر الترابية النادرة.

بما أن العيّنات ذات تراكيز مختلفة، ومن أجل المقارنة ورسم النتائج على المحاور نفسها، فقد اعتبرنا - وللتبسيط - أن شدة SHG تتعلق بشكل خطي مع التركيز، وعلى هذا الأساس تمت معايرة الشدات على اعتبار أن تركيز الشوائب هو 1 wt% لكل العيّنات، ولكن هذا الاعتبار قد لا يكون دقيقاً وذلك لأن توزيع الشوائب قد لا يكون متجانساً وربما تتشكل معقدات أو أطوار جزئية في الشبكة البلورية، ولا سيما في حالة التراكيز العالية، وكمثال نذكر الباقوت Ruby أو $CaSO_4:RE$ أو $Li:Mg:Ti$. كما يمكن ملاحظة عامل آخر هنا وهو أن مادة دليل الموجة

المطلقة لكل من Tm و Er هي أكبر من قيم باقي الشوائب، في حين أن العيّنات التي تحوي Ho و Eu والعيّنات النقية ذات قيم متقاربة. وإن أضعف شدة سُجلت هي للعيّنات التي تحوي Sm. إن العلاقة الخطية بميل تريحيي تصبح غير محققة في حالة Nd و Sm عند طاقات دخل عالية مع مؤشرات صغيرة من اللاخطية من أجل Ho و Eu.

تأثير حجم أيون العنصر الترابي النادر على شدة المدروج الثاني

في كثير من النتائج، عندما تُستخدم أيونات العناصر الترابية النادرة كشوائب فإن هنالك منحى في تصرفها مع نصف القطر الأيوني. وكمثال في حالة دليل الموجة BGO:RE فإن شدة التألق وعرض الخط الطيفي تتغير من أيون مطعّم إلى أيون مطعّم آخر وهنالك علاقة بين هذه المتغيرات والقطر الأيوني للشائبة. ومثل هذا لوحظ هنا مع شدة المدروج الثاني، كما هو مبين في الشكل 4. وذلك من أجل عدة طاقات دخل تتراوح بين 20 إلى 120 mJ وبخطوة قدرها 20 mJ. إن النتائج المتعلقة بالبلورة النقية وضمت على اعتبار نصف القطر الأيوني لأيون البزموت Bi، وذلك لأن الشوائب RE تشغل مكان الأيون Bi^{3+} ضمن الشبكة البلورية. إن شدة SHG تتغير بشكل كبير من قيم عالية لشوائب Tm و Er و Nd إلى قيم أقل بالنسبة لشوائب Sm و Eu التي هي بدورها مماثلة للقيمة الناتجة عن البلورة النقية. وهذا يشير بوضوح إلى أن هنالك علاقة بين شدة SHG والفرق في نصف القطر الأيوني بين أيونات RE والأيون المضيف Bi، وأن هذا الفرق (أي سواء كان أيون RE أكبر أم أصغر من الأيون المضيف Bi) يمكن أن يؤدي إلى خلق بعض التشوه في البنية المكعبية للبلورة BGO. أما بالنسبة لأيون Ho ورغم أن نصف قطره الأيوني ليس قريباً من نصف قطر أيون Bi إلا أن شدة SHG لا تزال منخفضة. الجدير بالذكر هنا أن بعض المراجع يعطي قيماً مختلفة لأنصاف أقطار الأيونات رغم أنها تُذكر بالنسبة للعدد التناسقي نفسه co-ordination number، عدد الذرات المجاورة، وبعض هذه المراجع يعطي كلاً من أيونات Ho و Eu و Sm نصف القطر الأيوني نفسه والذي بدوره يكون قريباً جداً من نصف قطر أيون البزموت Bi.



الشكل 4- تأثير حجم أيونات العناصر الترابية النادرة على شدة SHG

وبشكل مشابه، إن مفعول الإجهاد والتشوه الناتج عن حجم أيون RE يمكن أن يؤثر على العدد التماسقي لأيون RE، حيث أن هنالك أكثر من احتمال لمكان توضع الشائبة (كما في LaF_3 [18])، أو أن يؤثر على خصائص أخرى للشبكة البلورية كما في حالة النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة، حيث أن كثافة التيار الحرج J_c لم ترجع إلى قيمتها المثلى في مركب $(RE,Y) Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ إذا كان حجم الأيون المستبدل RE كبيراً أو صغيراً بالنسبة لحجم أيون Y [19].

الاستنتاج

تبيّن النتائج أنه من الممكن تحسين شدة SHG من بلورة BGO وذلك بإحداث تشوه كبير نسبياً ناتج عن وجود أيون RE مع زرع أيونات الهليوم متبوعاً بعملية التلدين. إن كلا العاملين يحرضان على استرخاء لامتناح في البنية البلورية والذي بدوره يزيد من مردود SHG بشكل كبير.

REFERENCES

- [1] R. Nitsche, J. Appl. Phys. 36 (1965) 2358.
- [2] G. Gevay, Prog. Crystal Growth and Charact. 15 (1987) 145.
- [3] Z. Y. Wei, Z. Y. Zhu, H. Newman, and Z. W. Yin, Nucl. Instr. and Meth. A297 (1990) 163.
- [4] A. A. Kaminiskii, D. Schultze, B. Hermoneit, S. E. Sarkisov, L. Li, J. Bohm, P. Reiche, A. A. Mayer, V. A. Lomonov, and V. A. Balashov, Phys. Stat. Sol. (a) 33 (1976) 737.
- [5] C. A. Morrison and R. P. Leavitt, J. Chem. Phys. 74 (1) (1981) 25.
- [6] A. A. Kaminiskii, S. E. Sarkisov, T. I. Butaeva, D. A. Denisenko, B. Hermoneit, J. Bohm, W. Grosskreutz, and D. Schultze, Phys. Stat. Sol. (a) 56 (1979) 725.
- [7] P. D. Townsend, P. J. Chandler and L. Zhang, Optical Effects of Ion Implantation, CUP (1994).
- [8] S. M. Mahdavi, P. J. Chandler and P. D. Townsend, J. Phys. D: Appl. Phys. 22 (1989) 1354.

(BGO) هي ذات طبيعة انكسارية ضوئية [13]، أي أن فعالية SHG تتغير مع طاقة الضخ (كما هو مبين في الشكل 3).

في كل الحالات، إن هنالك إشارات تدل على أن استقرار البنية البلورية ل BGO هي متوازنة ولكن بشكل حرج، وأن أي تغيرات ناتجة عن الزرع الأيوني أو الشوائب أو التلدين يمكن أن تؤدي إلى تشكل أطوار لامتناحية مختلفة وتختلف فيما بينها في استجاباتها الضوئية.

من المفيد هنا ذكر المقارنة بين نتائج SHG دليل الموجة المشكّل بطريقة الزرع الأيوني لمادة BGO مع نتائج SHG لبلورة $LiNbO_3$ (اللامتناحية البنية أصلاً)، حيث خفض الزرع الأيوني من شدة SHG وبعد التلدين عادت الشدة إلى ما كانت عليه تقريباً [16]. كما تشير دراسات باستخدام أشعة X إلى أن بعض التخريب في بلورة $LiNbO_3$ الناتج عن زرع أيونات الهليوم يظل موجوداً حتى بعد التلدين [17].

المراجع

- [9] S. M. Mahdavi, P. D. Townsend, J. Chem. Soc. Faraday Tran. 86 (8) (1990) 1287.
- [10] S. M. Mahdavi, P. D. Townsend, Electronics Letters, 26 (1990) 371.
- [11] A. K. Jazmati, P. D. Townsend, NIMB 148 (1999) 698.
- [12] R. G. L. Barnes, J. Crystal Growth 69 (1984) 248.
- [13] W. S. Brocklesby, S. J. Field, D. C. Large, J. R. Lincoln, D. P. Shepherd, A. C. Tropper, P. J. Chandler, P. D. Townsend, L. Zhang, X.Q. Feng and Q. Hu, Optical Materials 1 (1992) 177.
- [14] L. Dimesso, G. Gnappl, A. Montenero, P. Fabeni and G. P. Pazzi, J. Mater. Science 26 (1991) 4215.
- [15] I. Hruba, J. Kral, and D. Chvostova, submitted for publication.
- [16] J. Rams, J. Olivares, P. J. Chandler and P. D. Townsend, J. Appl. Phys. 84. (1998) 5180.
- [17] Y. Avrahami and E. Zolotoyabko, NIMB 120 (1996) 84.
- [18] B. Yang, P. D. Townsend and A. P. Rowlands, Phys. Rev. B 57 (1998) 178.
- [19] Yang Li, Physics C 235-240 (1994) 2763. ■



تطبيق التحليل الآلي بالتشيط التروني وطرائق الإحصاء المتعددة المتغيرات على عيّنات سيراميك أثرية سورية*

د. إلياس حا بكوجي، د. إبراهيم عثمان، أحمد سرحيل، نزار الصمل
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

استُخدم التحليل الآلي بالتشيط التروني في تحليل سبع وثلاثين عينة من كسر سيراميك أثري من موقع تل الورديات، في بلدة مصياف، في محافظة حماة في سورية. عُنّ 36 عنصراً كيميائياً. وُعُوِلت تراكيز هذه العناصر بتطبيق طريقتي تحليل إحصائي متعدّتي المتغيرات، التحليل العنقودي والتحليل العاملي، وذلك بغية تحديد التشابه والترابط بين العيّنات المختلفة. وبتطبيق التحليل العاملي، تمّ التأكد بأن العيّنات كانت قد صُنّقت بشكل صحيح بتطبيق التحليل العنقودي. أظهرت النتائج إمكانية اعتبار العيّنات مصنّعة من ثلاثة مصادر مختلفة من المادة الخام.

الكلمات المفتاحية: التحليل الآلي بالتشيط التروني، سيراميك، التحليل المتعدّد المتغيرات، سورية.

مدخل

المتغيرات، التحليل العنقودي والتحليل العاملي، لإنشاء مجموعات لمصادر المواد الخام لعيّنات السيراميك الأثري من الموقع الأثري في تل الورديات. تمّ في هذه الدراسة الحصول على 37 عينة من خلال التنقيب في موقع تل الورديات الواقع على بعد 25 كم جنوب أفاميا، 8 كم شرقي بلدة مصياف التابعة لمحافظة حماة، في سورية. يوجد بين العيّنات المختارة ثلاثة أنماط أو نماذج مختلفة على الأقل تعود إلى عدة فترات أو حقب، ممثلة لحضارات إسلامية، بيزنطية، ومصنّعة ما بين القرن الرابع قبل الميلاد (B.C.) والثاني عشر بعد الميلاد (A.D.).

يهتم علماء الآثار بدراسة الكسر الفخارية [1,2]. ويتضح من الأدبيات العالمية أن تصنيف الفخار ضمن مجموعات يمكن تحقيقه بعدة طرائق. وإحدى هذه الطرائق هي تصنيف العيّنات تبعاً لخواصها الطبيعية، الديكور والزينة والشكل [3,4]. هذه الطرائق مفيدة في حال تطبيقها على كامل العينة غير المكسرة أو المعاد تشكيلها، لكنها غير مجدية بالنسبة للعيّنات الموجودة على شكل قطع صغيرة (كسر).

المواد والطرائق تحضير العيّنات

بعد التخلص من الطبقات السطحية، سُخّنت العيّنات على درجة 700°C وذلك قبل طحنها على شكل بودرة ناعمة [17]. جُفّفت العيّنات بعد ذلك على درجة 45°C لمدة 24 ساعة وُخزّنت في مجفف زجاجي لحين تشييعها.

أُخذت كمية صغيرة (حوالي 200 مغ) من بودرة عيّنات السيراميك ومن العيّنات المرجعية: Brick clay (NIST-SRM-679), Soil-7 و Rock GSR-3 و (IAEA), sediment SL-1 (IAEA), Soil GSS-7 (China)، وُعُلّفت بأكياس من مادة البولي إيثيلين المنظف بالحمض وأخضعت لتشيع متعاقب.

التشيع والقياس

لتعيين العناصر قصيرة عمر النصف (Al, Ca, Mg, Mn, Ti, and V)، سُخّمت العيّنات والعيّنات المرجعية بالتدفق التروني 10¹² ترون سم⁻² ثا⁻¹ لمدة دقيقة واحدة ومن ثم قيست لمدة خمس دقائق بعد زمن تبريد يُقدر بحوالي 10 دقائق. بعد أن ترك النشاط الإشعاعي ليتخامد عدة

يحتوي الغضار، وهو التراب والمواد الصناعية التي يتم تصنيع الفخار منها على تركيب كيميائي محدّد يشخص المصدر الذي أخذت منه هذه المواد [4,5].

يكون عادةً مستوى تركيز العناصر الرئيسة متشابهاً في العيّنات الغضارية رغم اختلاف مصدرها، لذا فإنه من الضروري الأخذ بعين الاعتبار التركيب الكيميائي ومستوى تركيز العناصر الأثر في المادة التي صنع منها الفخار [6-9].

التحليل الكيميائي للكسر الفخارية هو طريقة أخرى وذلك عن طريق تحديد التركيب العنصري لها. وتطبق طريقة التحليل الآلي بالتشيط التروني (INAA) بشكل واسع الانتشار لتعيين التركيب العنصري لعيّنات أثرية [10-12]، ذلك لأنها تسمح بتعيين عدة عناصر في آن واحد وبحساسية وضبوطية ودقة عالية. ويمكن للتركيب العنصري للفخار أن يكون مؤشراً مساعداً لمصدر الفخار.

بغية تحديد إضافي لخواص مصدر المادة الخام، تُستخدم عدة طرائق للتحليل الإحصائي يجري ربطها بالتركيب العنصري المعين للمادة [13-16]. استُخدمت، في هذا العمل، طريقة INAA لتعيين التركيب العنصري للكسر الفخارية وأُتبع ذلك بطريقتي تحليل إحصائي متعدّتي

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Trace and Microprobe Technique, 2001. مراجعة هيئة التحرير.

سيُستخدم التحليل العنقودي لتجميع العينات تبعاً لمعايير مختلفة، وستخضع مجموعة المعطيات للتحليل العاملي بهدف تأكيد النتائج التي سنحصل عليها من التحليل العنقودي.

التحليل العنقودي

يُستخدم عادةً التحليل العنقودي كتقني أولي للمعطيات بسبب كونه طريقة سريعة وفعالة لإظهار العلاقة بين عدد كبير من العينات بحساب الفرق فيما بينها [19]. يضع التحليل العنقودي العينات في فئات متمايزة حيث توضع العينات على شكل تجمع يُظهر مرتبة وسوية التجمع وكذلك المسافة بين العينات المنفردة. وقد استخدم برنامج Statistica 6.0 للتحليل الإحصائي. يتضح من التجمع المبين في الشكل 1، والذي حصلنا عليه باستخدام الربط البسيط كقاعدة للتجمع وفقاً للمسافة الإقليدية، وجود أربع مجموعات: الأولى تحوي ست عشرة عينة (1,7,14,20,24,13,16,22,12,4,6,35,34,17,25,26) والمجموعة الثانية تحوي أربع عينات (5,9,18,33) والثالثة تحوي ثلاث عشرة عينة (2,3,27,29,37,10,11,28,31,23,30,36,32) وهناك مجموعة منزلة تحوي عيتين (19,21). وأخيراً هناك عيتان منزلتان (8 و 15).

الجدول 1- الوسطي، والقيمة الصغرى، والقيمة العظمى، والانحراف المعياري لتراكيز العناصر في عينات السيراميك من الموقع الأثري تل الورديات (جميع التراكيز بـ $\mu\text{g/g}$ ما عدا ما نوه عنه).

العنصر	الوسطي	انحراف معياري	قيمة صغرى	قيمة عظمى
Al%	7.55	2.91	3.59	12.5
As	7.98	3.53	4.21	18.6
Ba	328	155	137	674
Br	2.41	2.17	0.47	9.20
Ca%	11.4	6.59	0.44	22.2
Ce	98.7	71.2	31.3	420
Co	35.5	15.2	16.3	79.8
Cr	201	51.5	109	323
Cs	3.49	1.82	1.31	10.4
Eu	2.04	1.03	1.07	3.90
Fe%	7.11	3.31	3.04	12.8
Ga	17.6	5.33	10.8	25.9
Hf	7.93	5.15	2.48	16.2
K%	1.28	0.45	0.69	2.38
La	42.7	23.9	21.0	138
Mg%	1.86	1.01	0.26	4.37
Lu	0.29	0.16	0.08	0.78
Mn	751	499	155	3114
Nb	21.0	10.8	9.79	38.4
Na%	0.20	0.20	0.05	0.80
Nd	59.2	38.6	23.7	231
Ni	149	69.7	51.6	307
Rb	63.3	27.9	33.1	159
Sb	3.93	8.32	0.21	32.7
Sc	18.7	6.12	10.1	27.8
Sm	7.54	3.53	4.02	15.5
Sr	335	159	90.0	657
Ta	2.16	1.24	0.87	4.57
Tb	1.05	0.52	0.53	2.14
Th	10.3	4.43	4.95	17.7
Ti%	0.82	0.43	0.26	1.96
U	2.84	0.72	1.66	5.16
V	143	46.1	71.6	234
Yb	4.23	1.97	2.10	8.00
Zn	87.1	16.4	69.1	138
ZR	318	202	146	899

أيام، تم إعادة تشميع العينات لمدة 20 ساعة بالتدفق التروني 10^{11} 5[°] نترون سم⁻² ثا⁻¹ بغية تعيين العناصر ذات عمر النصف المتوسط (As, Br, Ga, K, La, Na, Sm, and U) والطويل (Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Lu, Nb, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Sr, Ta, Tb, Th, Yb, Zn, and Zr) حيث تم قياس العينات بعد التشميع لمدة 30 دقيقة و 8 ساعات على الترتيب وذلك بعد زمن تبريد تراوح ما بين 2-3 أيام للعناصر متوسطة عمر النصف وزمن تبريد تراوح ما بين 22-25 يوماً للعناصر طويلة عمر النصف. استخدم في عمليات التشميع المفاعل (MNSR) المزود بنظام آلي والتابع لهيئة الطاقة الذرية السورية.

شُغعت العينات بأن واحد مع العينات المرجعية وعينات ضبط الجودة، وحسب التركيز العنصري لكل عينة باستخدام مطيافية غاما حيث تمت القياسات باستخدام كاشف جرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) ذي كفاءة نسبية 25% وتمايز 1.85 ك. إ. ف عند القمة 1332 ك.إ.ف للكوبالت 60. استخدم أيضاً حاسب شخصي مرتبط بمحلل متعدد القنوات وبرنامج Gammpls لجمع وتحليل طيف غاما. وقد جرت معايرة الجهاز باستخدام منبعين مرجعيين (⁶⁰Co, ¹³⁷Cs).

النتائج والمناقشة

تتكون مجموعة المعطيات data من 37 عينة و 36 عنصراً ويكون ذلك ما مجموعه 1332 قيمة؛ وحيث أن هذه الكمية الكبيرة من المعطيات لا تسمح باستخراج إشارات واضحة ومفيدة، وجدنا أنه من العملي وضع هذه المعطيات ضمن مجموعات، كما سنرى لاحقاً. ويبيّن الجدول 1 وسطي التركيز، والانحراف المعياري وقيم التركيز الأصغري والأعظمي للعناصر الـ 36 المختلفة التي لوحظت في العينات.

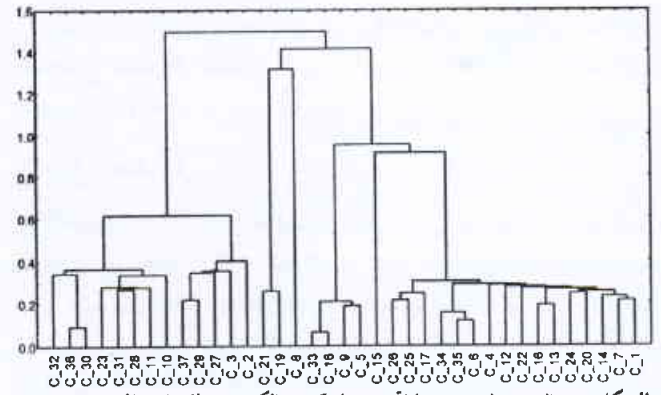
يتضح من هذا الجدول وجود تنوع كبير (تشتت) في التراكيز العنصرية بين العينات. هذا ولم تؤخذ بعين الاعتبار في هذا العمل العناصر المقيسة بدقة 10% وما دون، وذلك بسبب أنه إذا قيس عنصر بدقة غير جيدة، فإن ذلك يمكن أن يقود إلى تعميم الاختلاف الحقيقي في التركيز. ويميل عامل التمييز، للعناصر المقيسة جيداً، نحو الانخفاض [18]. من المهم أيضاً، قدر الإمكان في مجموعة المعطيات، إدخال العينات ذات أقل قيم مفقودة لتراكيز العناصر. في هذا العمل، لم ندخل في مجموعة المعطيات التي ستخضع للتحليل، العينات التي تحتوي على أكثر من قيمتين مفقودتين. وضع مكان القيمة المفقودة لباقي العناصر القيمة الأصغرية لحدّ الكشف (MDL) المعينة بالتحليل الآلي بالتنشيط التروني وذلك كإجراء لتقدير القيمة المفقودة.

وبالاعتماد على الاعتبارات السابقة استُخدم 25 عنصراً في تحليل المعطيات، أي أن مجموعة المعطيات النهائية كانت تتضمن 37 عينة و 25 عنصراً ويشكل ذلك ما مجموعه 925 قيمة مدخلة. حوّلت قيم التركيز العنصري إلى اللوغاريتم العشري لتنظيم التوزيع العنصري وتقليل هوة سعة الاختلاف من أجل بعض العناصر الرئيسية. وكان هدف التحليل تمييز مصادر المواد الخام لعينات السيراميك الأثري المتحصل عليها من موقع تل الورديات الأثري وذلك من خلال تقدير احتوائها على 25 عنصراً.

وهكذا يتضح أن العوامل الأربعة المستخرجة من هذه الدراسة تشرح 90.9% من التغير الكلي لمجموعة المعطيات.

يعطي هذا التحليل، إضافة لعامل التحميل، مردود القيمة الوزنية لعامل الإحراز score factor والذي يوضح الشدة النسبية لقوة العامل في كل عينة. يساعد وزن عامل الإحراز في العينة على تفسير وفهم قيمة التحليل العملي كما يمكن أن يكون مفيداً في إيجاد الأخطاء التي يمكن أن تكون موجودة في مجموعة المعطيات. كما يمكن أن تستخدم القيمة الوزنية لعامل الإحراز لتحديد مجموعات العينات ضمن فئة معينة، حيث يمكن جمع العينات التي لها القيمة الوزنية ذاتها لعامل الإحراز معاً ضمن فئات معينة.

تمثل الأشكال 2 و 3 و 4 رسم العامل الأول مقابل كل من العوامل 2 و 3 و 4 وللعينات الـ 37 كافة. يبين الفحص الدقيق للأشكال 2-4 أن 16 عينة التي حدت كمجموعة أولى من التحليل العنقودي في الشكل 1 تتبع نفس السياق. ونجد الملاحظة ذاتها للعينات (5, 3, 18, 9) وللعينات (2, 3, 27, 29, 37, 10, 11, 28, 31, 23, 30, 36, 32) المحددة كمجموعة ثانية وثالثة على الترتيب من التحليل العنقودي في الشكل 1. إن رسم العامل 1 ضد العوامل 2 و 3 و 4 على الترتيب يضع العينة رقم 8 ضمن مجموعة منعزلة؛ وتتبع العينة 15 السياق ذاته الخاص بالمجموعة الأولى في مخطط الرسم للعامل الأول مقابل العاملين 2 و 4، ولكنها تظهر قيمة موجبة كبيرة بالنسبة للعامل 3 مقارنة مع المجموعة الأولى (انظر الشكل 3)، مما يفترض اعتبار هذه العينة وحيدة أو اعتبارها خارج



الشكل 1- التوزيع العنقودي الناتج من التركيب الكيميائي للعينات المدروسة. محور السينات يمثل العينات ومحور العتبات يمثل التباعد بين العينات.

التحليل العملي

يستخدم التحليل العملي لفحص النتيجة التي حصلنا عليها بالتحليل العنقودي. والهدف الأولي للتحليل العملي هو استخلاص أقل عدد من العوامل، التي تشرح نسبة التغير الكلي لمجموعة المعطيات. واستخدم أيضاً لهذه الغاية برنامج Statistica.

كانت طريقة استخلاص العوامل المستخدمة في هذه الدراسة هي التدوير كانت maximum-likelihood factor analysis، والطريقة التي استخدمت في التحليل العنقودي كانت varimax. يظهر الجدول 2 عامل التحميل لمجموعة المعطيات، وكما هو مبين من هذا الجدول فإن العامل الأول يشرح 59.4% من التغير الكلي لمجموعة المعطيات، بينما يشرح العامل الثاني 16.9%، والعامل الثالث يشرح 10.2%، وأخيراً فإن العامل الرابع يشرح 4.3%.

الجدول 2- عوامل تحميل العينات لخمس وعشرين عينة في مجموعة المعطيات.

العناصر	العامل-1	العامل-2	العامل-3	العامل-4
Al	.76*	.08	.57	.24
As	.76*	.26	.22	.20
Ca	-.24	-.90*	-.23	-.11
Co	.78*	-.29	.24	.40
Cr	.16	.09	.25	.93*
Cs	.05	.37	.86*	.29
Eu	.98*	.03	.10	.12
Fe	.84*	.17	.25	.37
Ga	.71*	.40	.41	.31
Hf	.86*	.42	.19	.10
K	.12	-.22	.89*	.14
Mg	-.42	-.86*	.09	.25
Nb	.86*	.45	.16	.06
Rb	.28	.21	.88*	.23
Ni	.23	-.19	.27	.85*
Sb	.84*	.13	.12	.19
Sc	.63	.28	.42	.54
Sm	.95*	.09	.15	.05
Ta	.92*	.35	.08	.05
Tb	.97*	.07	.16	.11
Th	.72*	.48	.42	.12
U	.81*	.33	.02	-.07
V	.89*	.077	.32	.24
Yb	.88*	.27	.19	.17
Zn	.69	.19	-.14	.21

التغير مقدراً بالعوامل %

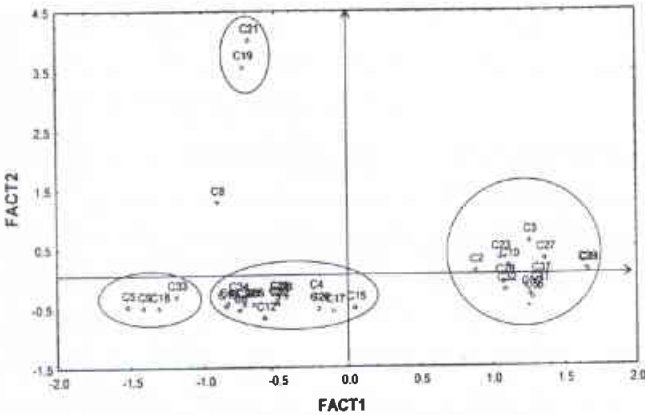
59.4

16.9

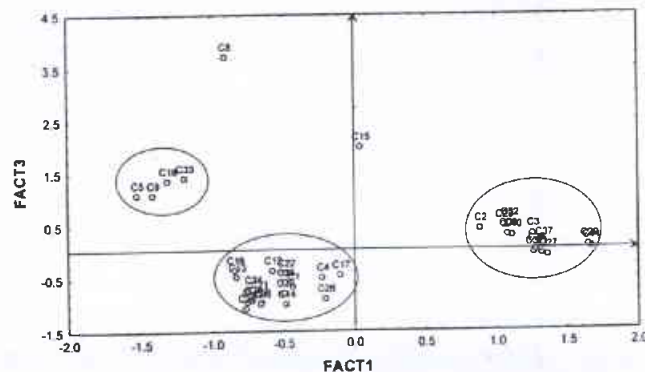
10.2

4.3

ملاحظة: الحمولة المعلمة $p < 0.700$.



الشكل 2- العامل الأول مقابل العامل 2 لعينات السيراميك



الشكل 3- العامل الأول مقابل العامل 3 لعينات السيراميك.

الجدول 4- وسطي التركيز في الفئات I و II و III.

العنصر	الفئة الأولى (n=16) $\bar{x} \pm \sigma$	الفئة الثانية (n=4) $\bar{x} \pm \sigma$	الفئة الثالثة (n=13) $\bar{x} \pm \sigma$
Al%	5.38 ± 1.45	7.29 ± 0.46	11.1 ± 0.46
As	5.33 ± 0.74	6.32 ± 2.57	13.1 ± 2.57
Ba	412 ± 152	219 ± 182	279 ± 183
Br	3.44 ± 2.36	1.26 ± 1.46	1.79 ± 1.46
Ca%	17.2 ± 2.08	10.7 ± 3.45	6.22 ± 3.45
Ce	57.3 ± 10.1	45.3 ± 83.4	157 ± 83.4
Co	27.4 ± 5.25	35.9 ± 7.66	50.5 ± 7.66
Cr	164 ± 16.6	315 ± 8.34	219 ± 8.34
Cs	2.15 ± 0.21	5.73 ± 0.46	3.81 ± 0.46
Eu	1.37 ± 0.19	1.09 ± 0.36	3.44 ± 0.36
Fe%	4.53 ± 1.15	5.82 ± 0.78	11.7 ± 0.78
Ga	12.6 ± 1.40	15.9 ± 1.89	23.1 ± 1.89
Hf	3.81 ± 0.57	3.26 ± 1.23	14.8 ± 1.23
K%	0.97 ± 0.08	1.66 ± 0.18	1.33 ± 0.18
La	28.1 ± 3.39	21.4 ± 25.4	64.9 ± 25.4
Mg%	2.08 ± 0.12	4.19 ± 0.15	1.18 ± 0.15
Lu	0.22 ± 0.10	0.28 ± 0.21	0.39 ± 0.21
Mn	678 ± 154	782 ± 717	950 ± 717
Nb	11.8 ± 1.03	10.1 ± 2.91	33.6 ± 2.91
Na	1576 ± 648	8709 ± 627.2	1237 ± 627.2
Nd	31.8 ± 6.65	32.6 ± 46.4	90.1 ± 46.4
Ni	112 ± 19.3	298 ± 37.1	171 ± 37.1
Rb	40.6 ± 4.98	85.8 ± 3.18	69.6 ± 3.18
Sb	0.62 ± 0.11	0.75 ± 8.84	10.8 ± 8.84
Sc	12.5 ± 1.67	21.8 ± 1.57	24.9 ± 1.57
Sm	5.23 ± 0.44	4.16 ± 2.04	11.7 ± 2.05
Sr	375 ± 171	451 ± 155	235 ± 155
Tb	0.69 ± 0.08	0.62 ± 0.23	1.69 ± 0.23
Ta	1.25 ± 0.19	0.88 ± 0.58	3.71 ± 0.58
Th	6.23 ± 0.96	7.64 ± 1.43	15.3 ± 1.43
Ti	5757 ± 1751	4052 ± 3857	12077 ± 3856.8
U	2.46 ± 0.31	1.82 ± 0.52	3.58 ± 0.52
V	111 ± 10.2	123 ± 10.0	203 ± 10.0
Yb	2.69 ± 0.35	2.76 ± 0.68	6.76 ± 0.68
Zn	82.1 ± 12.4	73.9 ± 11.8	96.7 ± 11.8
Zr	171 ± 26.39	144 ± 190	509 ± 190

ملاحظة: X القيمة الوسطية للتركيز و σ الانحراف المعياري لكل عنصر ضمن الفئات.

هذا الجدول الاختلاف (التشتت) في التركيز العنصري بين هذه الفئات الثلاث.

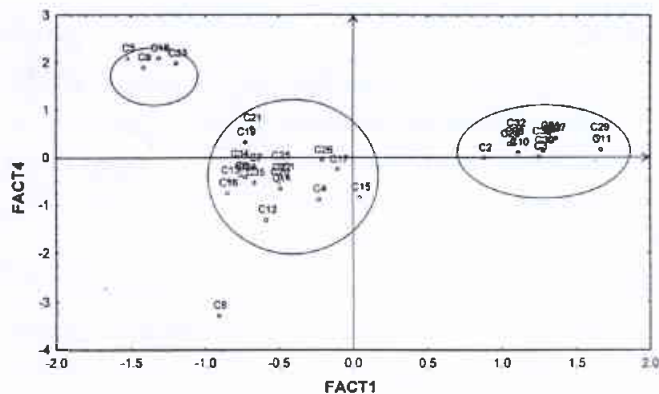
ويتضح من الجدول 4 أن تركيز عناصر الأتربة النادرة هو أكبر بمرتين أو بثلاث مرات في عيّنات الفئة III مقارنة بعيّنات الفئتين I و II؛ كما يتضح من الجدول 4 أن الفئة II تملك أعلى تركيز بالنسبة للعناصر القلوية الترابية.

خاتمة

استخدم التحليل الآلي بالتنشيط النيوتروني لتحليل 37 عينة سيراميكية تم الحصول عليها من موقع تل الورديات في سورية. 36 عنصراً تم تعيينها واستخدمت تراكيزها في طرائق التحليل الإحصائي المتعددة المتغيرات. أمكن من خلال هذه الدراسة تقسيم معظم العيّنات إلى ثلاث فئات، فئتين كبيرتين وفئة صغيرة، وميّرت هذه الفئات بالاختلاف في مستوى تركيز عناصر معينة.

أكدت هذه النتائج حقيقة وجود ثلاثة مصادر مختلفة من المادة الخام كانت قد استخدمت في تصنيع عيّنات سيراميك تل الورديات.

تعدّ المشاركة بين التحليل الآلي بالتنشيط النيوتروني والتحليل الإحصائي، طريقة مفيدة جداً يمكنها أن تساعد خبراء الآثار السوريين، الذين لا يزالون يعتمدون بشكل أساسي، حتى تاريخ هذه الدراسة، على علم الشكل والزخرفة لتصنيف المواد الموجودة على شكل كسر فخارية.



الشكل 4- العامل الأول مقابل العامل 4 لعينات السيراميك.

مجموعة المعطيات. تبدو العيّنتان 19 و 21 متناسقتين مع عيّنات المجموعة الأولى في رسم العامل 1 ضد العامل 3 (انظر الشكل 3) وكذلك الأمر مع عيّنات المجموعة الثانية في رسم العامل 1 ضد العامل 4 (انظر الشكل 4). ولكن يتضح من الشكل 1، مع الأخذ بعين الاعتبار العامل 2، أن العيّنتين المذكورتين لاتبعا السياق ذاته كباقي العيّنات، حيث أنهما تظهران قيمة موجبة عالية لهذا العامل: هذه النتيجة تقودنا إلى اعتبار العيّنتين المذكورتين أنفاً خارج مجموعة المعطيات أو ربما تعودان لمصدر مختلف.

أكدت النتائج التي حصلنا عليها من القيم الوزنية لعوامل الإحراز أن عيّنات السيراميك كانت قد صنفت بشكل صحيح بالتحليل العنقودي. كما أظهرت كلاً من العيّنتين 8 و 15 بشكل منفصل، وضعت العيّنتين 19 و 21 في مجموعة واحدة، كما أكدت وجود ثلاث مجموعات رئيسية. يمكننا أخيراً تجميع العيّنات ضمن فئات مختلفة (كما هو مبين في الجدول 3) حيث تحوي الفئتان I و III معظم العيّنات وتحوي الفئة II أربع عيّنات. أما الفئة IV فتحتوي العيّنات الأربع التي لم تتماشى مع أيّ من الفئات الأخرى.

يتضح من الأشكال 2-4 وبالعودة إلى عامل التحميل loading factor في الجدول 2 أن عيّنات الفئتين I و III لديها على الترتيب أقل وأعلى تركيز للعناصر (Al, As, Co, Eu, Fe, Ga, Hf, Nb, Sm, Tb, U, V, Yb) وذلك بالمقارنة مع الفئة II فيما يتعلق بال 25 عنصراً المستخدمة في تحليل المعطيات (انظر الشكل 2). ويتضح أيضاً من هذه الأشكال أن الفئة II تختلف عن الفئتين I و III حيث أن تراكيز العناصر Cr, Cs, K, Ni فيها أعلى من تراكيزها في الفئتين I و III.

يلخص الجدول 4 النتائج السابقة حيث يظهر وسطي التركيز العنصري والانحراف المعياري للعيّنات في الفئات I و II و III. كما يبيّن

الجدول 3- تصنيف عيّنات السيراميك في هذا العمل.

بسم الفئة	العيّنات المحتوى في الفئة
I الفئة	1, 4, 6, 7, 12, 13, 14, 16, 17, 20, 22, 24, 25, 26, 34, 35.
II الفئة	5, 9, 18, 33.
III الفئة	2, 3, 10, 11, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 37.
IV الفئة	8, 15, 19, 21.

REFERENCES

المراجع

- [1] Ochsenkuhn, K.M.; Zouridaski, N.; Papathanassopoulos, G.A.; Ochsenkuhn- petropulu, M. The application of epithermal neutron activation analysis of ceramics shards from Diros, Greece. *J. Trace and Microprobe Techn.* 1999, 17, 81-89.
- [2] Gunneweg, J.; Beir, Th.; Diehl, U.; Lambercht, D.; Mommsen, H. Edomite, Negbite, and Midianite pottery from the Negev desert and Jordan: Instrumental neutron activation analysis results. *Archaeometry.* 1991, 33, 239-253.
- [3] Roberto, A.P.; Picro, M.; Antonella, C. Application of multivariate chemo, metric techniques to the study of Roman pottery (Terra sigillata). *Analytical Chirn. Acta.* 1993, 276, 197-204.
- [4] Punyadeera, C.; Pillay, A.E.; Jacobson, L; Whitelaw, G. the use of correspondence analysis to compare major and trace elements for provenance studies of iron-age pottery from the Mngeni river area, South Africa. *J. Trace and Microprobe Techn.* 1999, 17, 63-79.
- [5] Peisach, M.; Pineda, C.A.; Jacobson, L; Loubser. L.H.N. analytical study of pottery from Soutpansberg. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1991, 151, 229-237.
- [6] Kilikoglou, V.; Bassiakos, Y.; Doonan, R.C.; Stratis, j. NAA and ICP analysis of obsidian from Central Europe and the Aegean: source characterization and provenance determination. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1997, 216, 87-93.
- [7] Kuisma-Kursula, P.; Raisanen, J. Scanning electron microscopy-energy dispersive spectrometry and proton induced X-ray emission analyses of medieval glass from Kproinen (Finland). *Archaeometry.* 1999, 41, 71-79.
- [8] Hughes, M.J.; Mattheus, K.J.; Portal, J. provenance studies of Korean celadons of the Koryo period by NAA. *Archaeometry.* 1999, 41, 287-310.
- [9] Mommsen, H.; Kracuser, A.; Weber, J. A method for grouping pottery by chemical composition. *Archaeometry.* 1988, 30, 47-57.
- [10] Bakraji, E.H.; Sarhell, A. Analysis of Umayyad Islamic silver coins (dirhams) by using instrumental neutron activation analysis. *Nucl. Sci, Tech.* 1999, 10 (1), 61-64,
- [11] Cesana, A.; Terrani, M.; Ciasca, A.; Coumo-di-Capiro, N.; Tusa, V. Characterization of Phoenician pottery from Mothia by neutron activation analysis. *J. Radioanal. Chem.* 1983, 78, 347-357.
- [12] Pike, H.H.M.; Fulford. M.G. Neutron activation analysis of black-glazed potter) from Carthage. *Archaeometry.* 1983. 25, 77-86.
- [13] De-sena, Landsberger S, Pena, J.T.; Wisseman, S.; Analysis of ancient pottery from the Palatin hill in Rome. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1995, 196, 223-234.
- [14] Kilikoglou, V.; Grimanis, A. P. Neutron activation and statistical analysis of pottery from Thera, Greece. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1990, 141, 347-355.
- [15] Mirti, P.; Casoli, A. Analysis and classification of ceramics material excavated on a south Italian archaeological site. *Annali di chimica.* 1995. 85, 519-530.
- [16] Yu, K.N; Miao, J.M. Non destructive analysis of Jingdezhen blue and white porcelains of the Ming dynasty using EDXRF. X-ray spectrometry. 1996, 25, 281-285.
- [17] Cogswell, J.W.; Neff, H.; Glascock. M.D. The effect of firing temperature on the characterization of pottery. *J. Archaeological Sci.* 1996, 23, 283-287.
- [18] Torrisi , arena G.; Bellia, G.; Contino, A.; Falco, G.; Grasso, L. Study of Greek pottery and clay statittes from the votive deposite in the Scantuary demtra in catania. *Annali di Chimica.* 1996, 86, 329-341.
- [19] Bieber, A. M; Brooks, D.W.; Harbotte, G.; Sayre, E.V. Application of multivariate techniques to analytical data on Aegean ceramics. *Archaeometry.* 1976, 18, 59-74. ■



بقع أنودية في انقراغ توهجي لمزيغ هليوم - نيون*

د. شريف الحواط

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

لقد بحث البقع الأنودية في انقراغ توهجي لمزيغ هليوم - نيون باستخدام طريقة مطيافية الإصدار تحت ضغوط متوسطة تراوحت ما بين 10^2 Pa (3.7-42.7) وتيارات ضعيفة ما بين 10 - 50 mA وبنسب قدرها 10:1 و 1:10 للمزيغ He:Ne. وقيست الشدات الطيفية المحورية والقطرية بدلالة الضغط والتيار على الخطين 703.2 nm و 585.2 nm من طيف النيون والخط 706.52 nm من طيف الهليوم في المنطقة الأنودية وذلك باستخدام طريقة المسح في حالة أنود مستوي يشغل كامل المقطع العرضي لأنبوبة الانقراغ.

ونُقذت حسابات عددية للشدات النسبية بدلالة الضغط على مسافة قدرها 1.5 cm من الأنود، وذلك من أجل عدة خطوط طيفية للنيون هي 640.2 nm، 585.2 nm، و 706.52 nm من أجل النسبة 10:1 على ضغوط تراوحت ما بين 10^2 Pa (3.7-36.7) وتيار قدره 15 mA. كما قورنت النتائج التجريبية والعددية ولوحظ وجود تطابق معقول بينها.

الكلمات المفتاحية: بقع أنودية، انقراغ توهجي، مزيغ هليوم - نيون.

تم تسجيل الشدات الطيفية عبر مسح كامل المنطقة الأنودية بالاتجاهين المحوري والقطري بين الأنود والعمود الموجب في أنبوبة انقراغ توهجي.

الوحدة التجريبية

يُبين الشكل 1 مخططاً للوحدة التجريبية التي تتألف مما يلي:

1- أنبوبة انقراغ طولها 50 cm وقطرها الداخلي 2.6 cm (الأقطاب مصنوعة من النيكل والأنود عبارة عن قرص دائري له نصف قطر أنبوبة الانقراغ تقريباً).

2- عدسة مقربة وصفيحة متوازية الوجهين قابلة للدوران سماكتها 5 cm.

3- موحد لون من طراز (Bentham M300BA) مزود بشبكة انقراج عدد حروزها 1200/mm ومجال قياسها ما بين 185-1400 nm.

4- مضاعف ضوئي (PM, Bentham DH-2) يقع مجال عمله ما بين 185-830 nm.

5- وحدة تغذية كهربائية (1.5 mA، -1500V).

6- مقياس خرج شدة الإشارة.

7- مضخم تيار مبرمج (Bentham 265 LF).

8- محوّل إشارة اسمي / رقمي.

9- وحدة تحكّم بشبكة الانقراج (Bentham PMC3B/IEEE)

10- حاسب شخصي للتحكّم بالأجهزة عبر كرت GPIB.

11- راسمة - HP

مقدمة

تعتبر المنطقة القطبية في انقراغ غازي وسطاً غنياً للعديد من الظواهر التي مازالت بحاجة للكثير من التوضيحات. في أغلب الحالات يكون تشكّل البقع الأنودية مسبوقاً بانكماش في الانقراغ الغازي شبه المستقر والغدّي ذاتياً [1]. لوحظت هذه البقع لأول مرة في انقراغ توهجي تحت ضغط مرتفع في الهواء ومن ثمّ أُعلن عنها فيما بعد في غازات أخرى من أمثال H_2 ، CO_2 ، N_2 [2].

دُرست ديناميّة تشكّل البقع الأنودية تجريبياً ونظرياً في التروجين [3-5]، وانقراغات الهيدروجين [6, 7] تحت ضغوط تراوحت ما بين 10^{-2} Pa (10-66.7) وتيارات تبلغ 0.2-1 A.

ونُقذت دراسة طيفية للبقع الأنودية في انقراغ توهجي مستقر في الهليوم [8, 9] والنيون [9] تحت ضغوط ما بين 10^2 Pa (1-125) وتيارات ما بين 10-50 mA.

لقد بُحث أيضاً تشكّل البقع الأنودية في انقراغ المزيغ الغازي (أبخرة الأستيون - غاز نادر) تحت ضغوط ما بين 10^{-2} Pa (26.66 - 1.33×10^{-2}) وتيارات ما بين 0.5 - 2A باستخدام تقنية المسر الكهربائي في [10]. يُبين المسح المرجعي أن أطواف البقع الأنودية في الانقراغات التوهجية لمزيغ غازي غير مدزوسة بشكل جيد.

يكرّس العمل الحالي لدراسة تشكّل نمو البقع الأنودية في مزيغ هليوم - نيون بنسب 10:1 و 1:10 تحت ضغوط تراوحت ما بين 10^2 Pa (3.7 - 42.7) باستخدام طريقة طيفية.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 28, NO. 5, OCTOBER, 2000

$$\langle \sigma_{ok} \varepsilon \rangle = \sqrt{\frac{2}{m_e \varepsilon_k}} \int \sigma_{ok} \varepsilon f(\varepsilon) d\varepsilon \quad (2)$$

حيث m_e كتلة الإلكترون، ε_{ok} ، σ_{ok} طاقة الإثارة الإلكترونية للسوية k ومقطعها العرضي على التوالي. ويعطى المقطع العرضي للإثارة الإلكترونية σ_{ok} بالعلاقة [12]:

$$\sigma_{ok} = \sigma_{ok}^{\max} \frac{\varepsilon - \varepsilon_k}{\Delta \varepsilon_{mk}} \exp\left(1 - \frac{\varepsilon - \varepsilon_k}{\Delta \varepsilon_{mk}}\right) \quad (3)$$

حيث σ_{ok}^{\max} القيمة العظمى للمقطع العرضي والتي تقابل الطاقة ε_m .

يمكن كتابة معادلة بولتزمان الحركية في حالة التقريب الذي يقوم على إهمال أثر التصادمات اللامرنة ودرجة حرارة الغاز المحيط في انقراض مزيج هليوم - نيون على النحو [14]:

$$\frac{1}{3} \left(\frac{E}{N}\right)^2 \frac{1}{\sum_k \delta_k Q_k} \frac{df}{d\varepsilon} + 2m_e \varepsilon f(\varepsilon) \sum_k \frac{\delta_k}{M_k} Q_k = 0 \quad (4)$$

حيث:

N_k الكثافة العددية لجسيمات الصنف k مقدرة بالاستتيمتر المكعب.
 M_k كتلة الذرة من الصنف k مقدرة بالग्रام.
 Q_k المقطع العرضي للتبعثر المرن لجسيمات الصنف k بالاستتيمتر المربع، ويعطى بالعلاقة $Q_k(\varepsilon) \equiv a\varepsilon^{-1/2}$ [15].

ε طاقة الإلكترون مقدرة بوحدة الإلكترون-فولط.
 a ثابت

E شدة الحقل الكهربائي مقدرة بوحدة الفولط / سم
 N الكثافة العددية الكلية للذرات في المزيج الغازي.
 $\delta_k = N_k/N$ حيث $k=1,2$ حيث للهليوم والنيون على التوالي.

ويعطى حل المعادلة (4) كتابع توزع ماكسويل وهو:

$$f(\varepsilon) = \Phi \exp(-C\varepsilon) \quad (5)$$

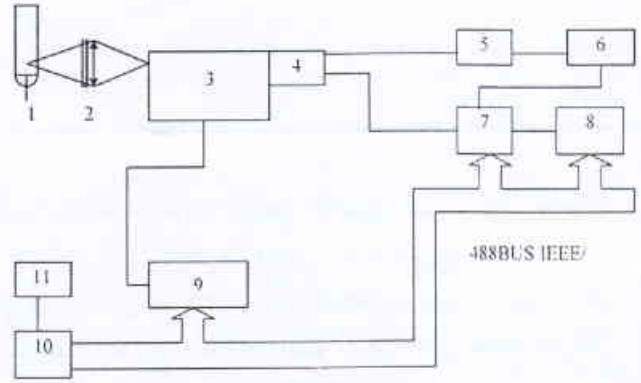
حيث يُحسب المعاملان C و Φ من شروط استنظام الحل (5) أي:

$$\int_0^{\infty} \sqrt{\varepsilon} f(\varepsilon) d\varepsilon = 1 \quad (6)$$

و لمقارنة القيم التجريبية والنظرية للشدات الطيفية في انقراض مزيج He و Ne، أخذت النسبة بين شدتي خط طيفي على ضغطين p_2, p_1 (n=2,3,4,5) من أجل الحالة 10:1.

تعتمد هذه الطريقة على اختيار تابع توزع ماكسويل في المزيج لحساب الشدة النسبية لنفس الخط عند ضغطين مختلفين و تيار قدره 15 mA. وفي الوقت نفسه تحتاج الطريقة المقترحة لتابع توزع إلكتروني آخر غير ماكسويلي كي يكون صالحاً للحالة التي يكون فيها النيون مسيطراً (على سبيل المثال 1:10).

وتكتب النسبة النظرية بين شدتين بالعلاقة:



الشكل 1- الوحدة التجريبية: 1- أنبوبة انقراض، 2- صفيحة متوازية الوجهين وعدسة، 3- موحد لون 4- مضاعف كهروضوئي، 5- وحدة تغذية فولطية عالية، 6- مقياس خروج، 7- مضخم مبرمج، 8- محول إشارة اسمي / رقمي، 9- جهاز تحكم مبرمج مزود بمحرك خطوة، 10- حاسب شخصي PC، 11- راسمة HP.

تجعل هذه الوحدة التجريبية من الممكن مسح كامل المنطقة باستخدام صفيحة متوازية الوجهين خلال فاصل زمني يتراوح ما بين 20-30 ثانية، ومن ثم تسجيل التوزيعات المحورية والقطرية لشدة أي خط طيفي [9, 11].

أسقط خيال مصغر لأنبوبة الانقراض على شق دخل موحد بواسطة عدسة بُعدها المحوري 25cm. استخدم شق واحد في موحد اللون للمسح المحوري للخيال، وشقان متصالبان في تسجيل التوزيع القطري.

جمع التدفق الضوئي من منطقة محدودة بسطح مخروطي رأسه على محور الأنبوبة وقاعدته على فتحة العدسة. يمكن إزاحة خيال أنبوبة الانقراض على شق دخل موحد بمقدرة فصل فراغية بلغت 0.3 mm في الاتجاه المحوري و 0.5mm في الاتجاه القطري. تحلل التدفق الضوئي إلى طيف، وأخذت منه خطوط طيفية معينة إلى المضاعف الضوئي. وحولت الإشارة الضوئية إلى كهربائية وأرسلت إلى مضخم تيار ثم حولت وعولجت بالحاسب، وبعدها حُزرت على راسمة.

حسابات عديدة

حُسبت النسبة بين شدتي خط طيفي عند ضغطين مختلفين باستخدام عبارة الشدة المطلقة للانتقال بين السويتين k و i والتي تعطى بالعلاقة [12]:

$$I_{ki} = \frac{A_{ki}}{\sum_r A_{kr}} N_0 n_e \langle \sigma_{ok} \varepsilon \rangle h \nu_{ik} \quad (1)$$

حيث ν_{ik} تواتر الانتقال بين السويتين i و k .

A_{ki} احتمال الانتقال التلقائي $i \rightarrow k$.

$\sum A_{kr}$ مجموع احتمالات الانتقالات التلقائية من السوية k إلى كل السويات الدنيا المسموح بالانتقال إليها r .

N_0, n_e الكثافتان الذرية والإلكترونية في الانقراض على التوالي.

يعطى معدل الإثارة الإلكترونية من السوية 0 إلى السوية k بالعلاقة

[13]:

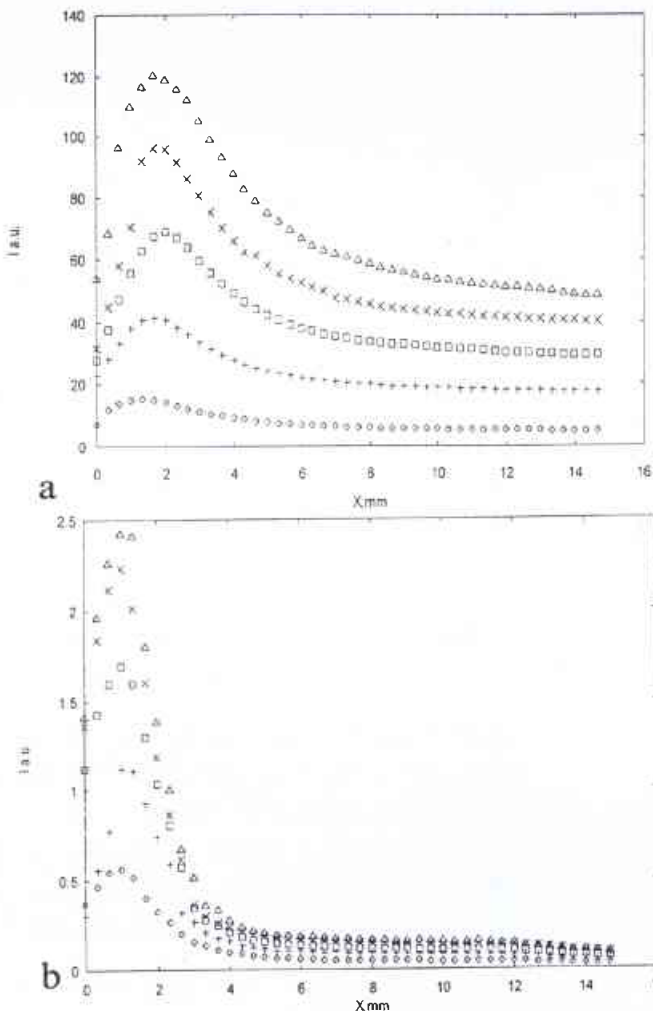
ونفذت الحسابات على تخوم البقع الأنودية مع العمود الموجب للانفراغ وبالتحديد على بعد 1.5 cm من سطح الأنود على المحور الضوئي لأنبوبة الانفراغ.

التائج

جرى تسجيل آثار الانفراغ وضغط المزيغ الغازي على الشدة الطيفية. A. الشدة الطيفية بدلالة تيار الانفراغ

التوزعات المحورية لشدة الخط 703.2 nm من النيون والخط 706.52 nm من الهليوم بدلالة البعد عن الأنود عند ضغط 1.5×10^3 Pa ونسبة 10:1 وتيارات 10-50 mA مبيئة في الشكلين 2(a) و 2(b).

أما التوزعات القطرية للخطوط الطيفية على بعد 2.5 mm من الأنود بدلالة نصف القطر النسبي r/R لأنبوبة عند نفس الضغط والتيار فهي مبيئة في الشكلين 2(c) و 2(d).



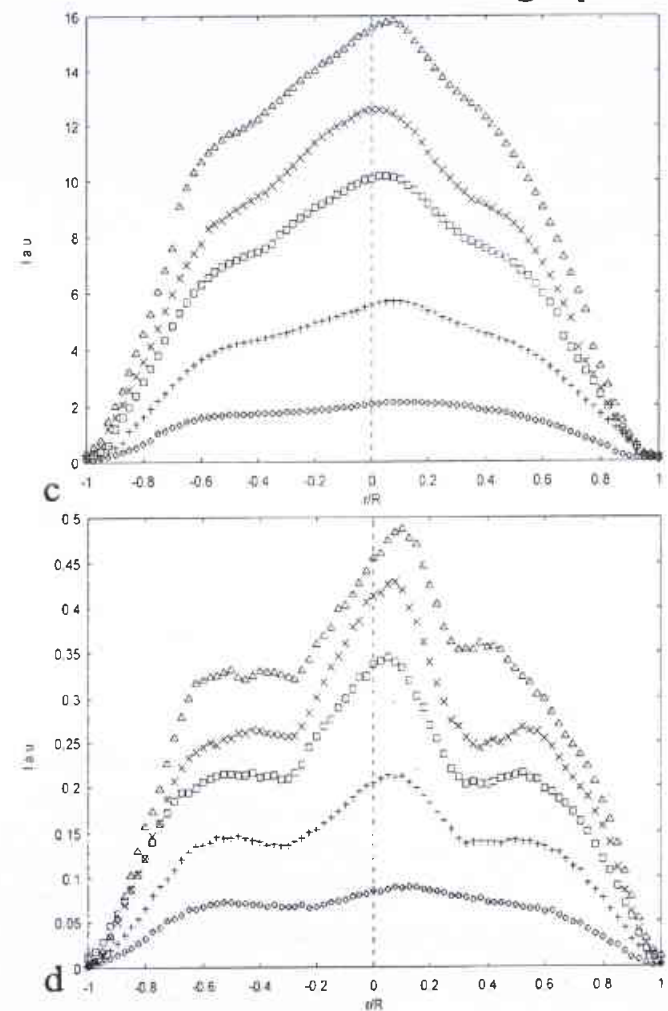
الشكل 2- التوزع المحوري لشدة الخط الطيفي (a) و 703.2 nm (b) في الوحدات الاختيارية (I.a.u) من طيف النيون والهليوم بدلالة البعد عن الأنود (X, mm) عند ضغط قدره 15×10^2 Pa وتيارات 10 - 50 mA بخطوة تيار قدرها 10 mA، من أجل النسبة 10:1 (الرموز \diamond ، +، \square ، \times على التوالي). التوزع القطري لشدة الخط الطيفي (c) 703.2 nm، (d) 706.52 nm في الوحدات الاختيارية (I.a.u) من طيف الهليوم والنيون على التوالي بدلالة نصف القطر النسبي r/R (حيث R هو نصف قطر أنبوبة الانفراغ) عند ضغط قدره 15×10^2 Pa وتيارات 10 - 50 mA بخطوة تيار قدرها 10 mA من أجل نفس النسبة 10:1 (الرموز \diamond ، +، \square ، \times على التوالي).

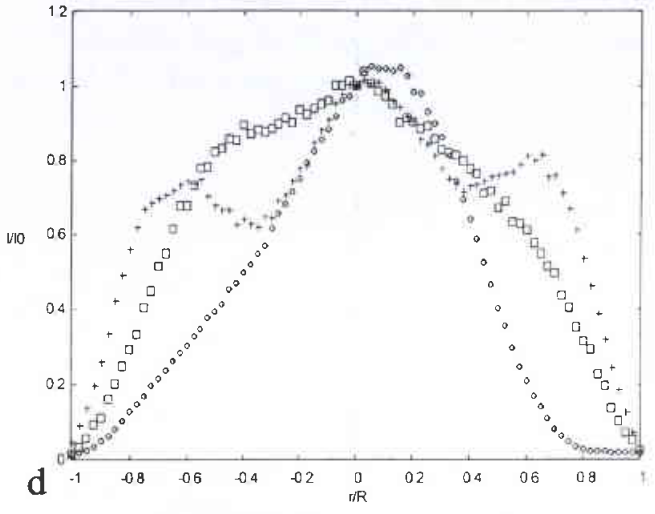
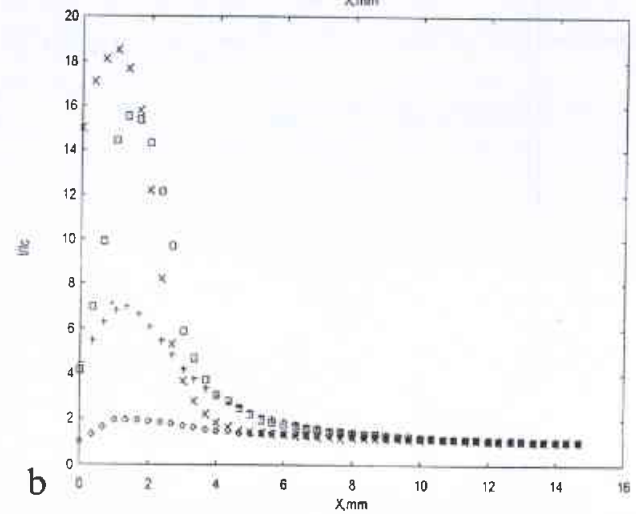
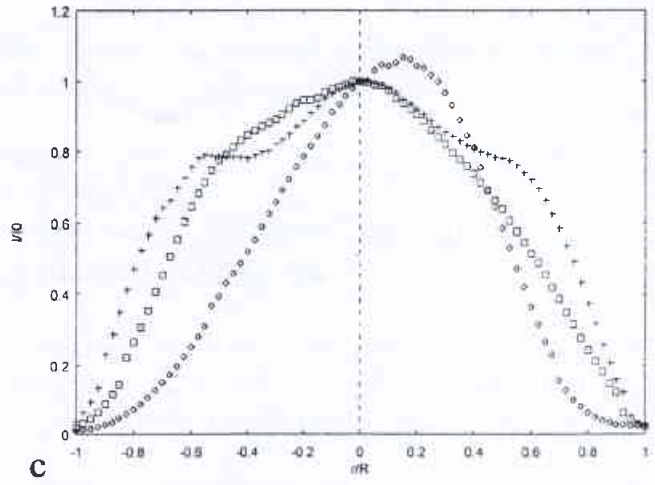
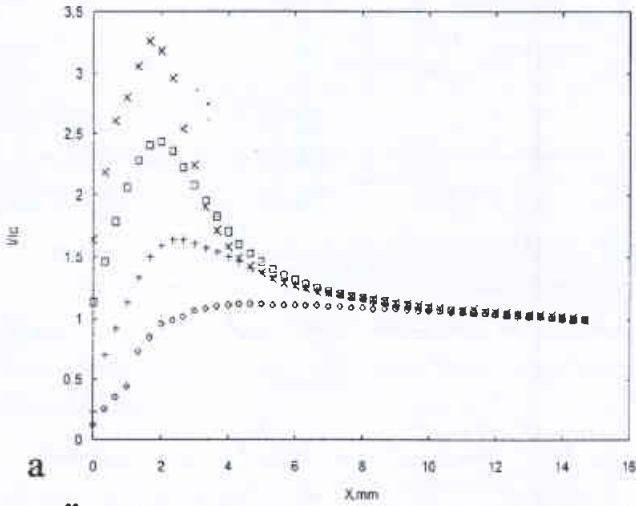
$$\Gamma = \frac{I(P_1)}{I(P_n)} = \frac{P_1 E_n \int_{\epsilon_1}^{\infty} \sigma_{0k} \mathcal{E}_1(\epsilon) d\epsilon}{P_n E_1 \int_{\epsilon_2}^{\infty} \sigma_{0k} \mathcal{E}_n(\epsilon) d\epsilon} \quad (7)$$

حيث E_n ، E_1 ، f_n ، f_1 تعود لحالة الضغطين p_n ، p_1 على التوالي.

وحسبت شدة الحقل الكهربائي باستخدام التقريب $E = U/d$ ، حيث U هو الفولطية المطبقة على أنبوبة الانفراغ، و d المسافة الفاصلة بين الإلكترودين. ولم يأخذ التقريب المتبع آثار حجب ديبيي بالاعتبار لأنه من الصعب قياس الكمون الموضعي بجوار البقعة الأنودية ضمن الشروط التجريبية السائدة.

ولقد حسبت تغيرات الشدات الطيفية النسبية بدلالة الضغط الكلي في المزيغ باستخدام المعادلة (7). وتطبق المعادلة (7) من أجل النسبة 10:1، ولكنها تبقى صالحة من أجل كل الحالات الأخرى التي يكون الهليوم فيها سائداً في المزيغ.





الشكل 3- التوزيع المحوري للشدة النسبية I/I_c للمختلطين الطيفيين (a) $(\text{Ne}) 703.2 \text{ nm}$ و (b) $(\text{He}) 706.52 \text{ nm}$ بدلالة البعد عن الأنود (x, mm) (الشدة الطيفية في العمود المرجح) عند تيار 15 mA في المزيج He:Ne بنسبة 10:1 عند ضغوط $(3.7, 7.3, 14.6, 36.7) \times 10^2 \text{ Pa}$ (الرموز $\times, \square, +, \diamond$ على التوالي).
التوزيع القطري للشدة النسبية I/I_0 من أجل الخطوط الطيفية (c) $(\text{He}) 706.52 \text{ nm}$ و (d) $(\text{Ne}) 703.2 \text{ nm}$ بدلالة نصف القطر النسبي r/R (الشدة الحظية في مركز الانفراج على بعد حوالي 2.5 mm من الأنود) مع تيار 15 mA في المزيج He:Ne بنسبة 10:1 وضغوط $(3.7, 14.6, 36.7) \times 10^2 \text{ Pa}$ ذات الرموز $\diamond, +, \square$ على التوالي.

الشدات القطرية لهذه الخطوط الطيفية على بعد قدره 2.5 mm عن سطح الأنود بدلالة r/R من أجل الشروط نفسها تظهر في الشكلين (c) و (d) كما هو مبين تم اختيار خطين طيفيين من أجل كل نسبة مزيج غازي وذلك لوصف ظاهرة البقع الأنودية في الانفراج التوهجي.

تجدر الإشارة إلى أنه في حالة 1:10 يكون طيف الهليوم في المزيج ضعيفاً جداً، وبالتالي فإن المختلطين الطيفيين المختارين قد أخذنا من طيف النيون فقط، مع فرق ملحوظ بين كموني إثارتهما.

C. الشدة الطيفية التجريبية والعديدية بدلالة الضغط الكلي

بتعويض القيم المعينة تجريبياً لكل من شدة الحقل الكهربائي وضغط الغاز في المعادلة (7)، نفذت الحسابات العديدية على ثلاثة خطوط طيفية هي 703.2 nm ، 640.2 nm ، 585.2 nm المأخوذة من طيف النيون. فالخط الطيفي 640.2 nm أخذ من أجل التحقق من طريقة الحسابات على أكثر من خطين طيفيين. ولقد بلغ الخطأ النسبي للطريقة حوالي 30%.

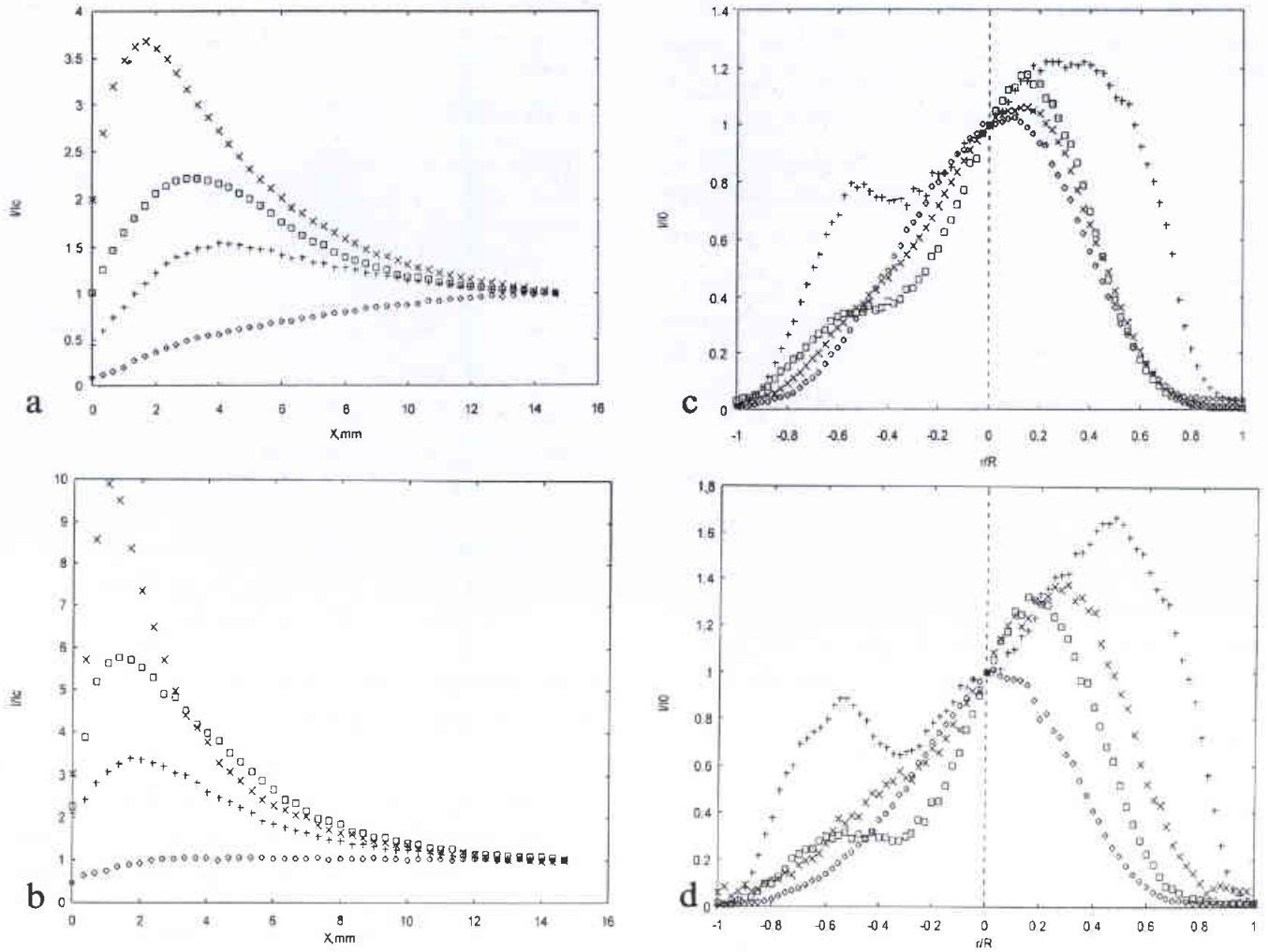
B. الشدة الطيفية بدلالة الضغط الكلي في المزيج

(1) نسبة المزيج الغازي $(\text{He:Ne}) \equiv 10:1$:

التوزيعات المحورية للشدة المختلطين الطيفيين 703.2 nm و 706.52 nm بدلالة البعد عن الأنود على طول 1.5 cm وعند ضغوط $(3.7, 7.3, 14.6, 36.7) \times 10^2 \text{ Pa}$ وتيار ثابت قدره 15 mA وهي مبينة في الشكلين (a) و (b). إن التوزيعات القطرية للشدة الطيفية على بعد 2.5 mm عن الأنود بدلالة r/R عند نفس الضغوط والتيار من أجل نفس الخطوط الطيفية مبينة في الشكلين (c) و (d).

(2) نسبة المزيج الغازي $(\text{He:Ne}) \equiv 1:10$:

يبين الشكلان (a) و (b) التوزيعات المحورية للشدة الطيفية بدلالة البعد عن الأنود عند ضغوط $(3.7, 14.6, 22, 42.7) \times 10^2 \text{ Pa}$ وتيار ثابت قدره 15 mA من أجل المختلطين 703.2 nm و 585.2 nm من طيف النيون.



الشكل 4- التوزيع المحوري للشدة النسبية I/I_0 للخطين الطيفيين (a) 703.2 nm و (b) 585.2 nm (Ne) بدلالة البعد عن الأنود (x , mm) الشدة الطيفية في العمود الموجب عند تيار 15 mA في المزيج He:Ne بنسبة 1:10 عند ضغوط $(3.7, 22, 14.6, 42.7) \times 10^2$ Pa وفق الرموز \diamond , $+$, \square , \times على التوالي. التوزيع القطري للشدة النسبية I/I_0 من أجل الخطوط الطيفية (c) 703.2 nm و (d) 585.2 nm بدلالة نصف القطر النسبي r/R الشدة الخطية في مركز الانفراغ على بعد حوالي 2.5 mm من الأنود) عند تيار 15 mA في المزيج He:Ne بنسبة 1:10 وضغوط $(3.76, 22, 14.6) \times 10^2$ Pa ذات الرموز \diamond , $+$, \square , \times على التوالي.

يتناقص مع تزايد الكمون. وأيضاً، التوزيعات القطرية لشدة الخط في الشكلين (c) و (d) يمكن أن تمثل حالة اللاتناحي للتوزيع الفراغي في كمون البلازما في البقع الأنودية.

تبين التجربة أن الانفراغ في العمود الموجب يبقى في نظام انتقاري مع تزايد التيار دون التحول إلى نظام الانكماش كما في حالة الانفراغ المتوهج في غاز مفرد.

يمكن أن يعزى السبب في ذلك إلى التصادمات من النوع الثاني بين الذرات شبه المستقرة للهليوم و ذرات النيون.
B. الشدة الطيفية بدلالة الضغط الكلي في المزيج.

(1) نسبة المزيج الغازي He:Ne = 10:1

يبين الشكلان (a) و (b) أنه بالاقتراب من الأنود، تتناقص الشدة عند الضغط 3.7×10^2 Pa. بينما تزايد مع ارتفاع الضغط، وبلغ قيمة

النتائج العددية $I_1 I_n$ مبينة في الجدول I من أجل النسبة 10:1، حيث I_1 هو الشدة الطيفية على الضغوط P_1 ، I_n هو الشدة الطيفية على الضغوط $(7.3, 14.6, 26.7, 36.7) \times 10^2$ Pa ($n=2,3,4,5$) على التوالي، و تيار ثابت هو 15 mA.

المناقشة

A. الشدة الطيفية بدلالة تيار الانفراغ

كما هو مبين من الشكلين (a) و (b) تزايد الشدة الطيفية للخطين 703.2 nm و 706.52 nm مع تزايد تيار الانفراغ بين 10 mA و 50 mA عند ضغط قدرة 15×10^2 Pa ونسبة مزيج قدرها 10:1. وهذا يعود إلى التزايد في كثافة الإلكترونات في الانفراغ. وعلاوة على ذلك لوحظ أن حجم البقعة يتسع مع التيار وهذا يختلف من خط إلى آخر وفقاً لكمون إثارة الخط. وبالتالي فالفراغ المشغول من قبل البقع من أجل كل خط

الجدول 1- مقارنة الشدات النسبية التجريبية والنظرية للخطوط الطيفية بدلالة الضغط الكلي في انقراض الميزج He: Ne بنسبة 10:1 على محور الأنبوبة وعلى بعد 1.5 cm عن سطح الأنبود.

The ratio 10:1 Of He:Ne			I / I ₀					
n	P×10 ² , Pa	E, V/cm	Th.	Ex.	Th.	Ex.	Th.	Ex.
1	3.7	10.4	-	-	-	-	-	-
2	7.3	14.4	1.20	1.03	0.73	1.20	0.86	0.82
3	15.0	22.4	2.20	1.38	0.96	1.79	1.28	1.17
4	26.7	38.4	2.58	1.71	1.06	2.10	1.44	1.02
5	36.7	44.4	6.25	1.68	2.08	2.70	0.86	1.09

عظمى في مركز البقع الأنودية. وهذا يبين نزعة الحقل الكهربائي للتزايد داخل هذه البقع. ويكون لتغير الشدة الطيفية نفس السلوك من أجل كل الخطوط. ولكن الفرق الوحيد هو أن طول الحيز الفراغي المشغول من قبل هذا التغير يختلف من خط إلى آخر تبعاً لكمونات إثارتها.

تبين المقارنة بين شدتي الخطين 703.2 nm و 706.52 nm أنه مع تزايد قيمة الضغط يقترب مركز البقعة من سطح الأنبود، بسبب تناقص المسار الحر الوسطي للإلكترون.

يبين الشكلان (c) 3 و (d) 3 منحى التغيرات في البنية المستعرضة للبقع. فعند ضغط منخفض قدره 3.7×10^2 Pa يغطي الانقراض الجزء المركزي لسطح الأنبود، و تتناقص الشدة من المركز نحو أطراف الأنبود. ومع تزايد الضغط تولد بقع أنودية حول المركز، تفصل بينها فواصل مظلمة، ومن ثم تتضاعف هذه البقع وتنقسم إلى أجزاء أصغر وأكثر سطوعاً، لكي تختفي فيما بعد مع تزايد أكثر للضغط.

و يمكن عزو اللاتناظر في التوزيع القطري إلى أن البقعة الأولى تتطور على جانب ما يقرب المركز، إذا ما تجاوزت كمون هذا الموضع نوعاً ما كمون الجوار. يمكن لهذا أن يحدث بسبب الحشونة التي تعترض سطح الأنبود أو بوجود غاز ممتص على سطحها.

(2) نسبة مزيج غازي He:Ne ≡ 1:10

تبين الأشكال 4(a) - 4(d) أن مركز تشكل البقع الأنودية يبدأ عند ضغط منخفض ومن ثم ينمو مع تزايد الضغط. و تزايد أعدادها إلى أن تتحول إلى بقع صغيرة موزعة حول مركز الأنبود تحت ضغط مرتفع. ويكون حجم البقعة أكبر مما هو عليه في الحالة السابقة (10:1). ويمكن أن يعزى السبب إلى التغيرات في شكل تابع توزيع الإلكترونات، وإلى تأثير التصادمات من النوع الثاني.

تبين النتائج بشكل عام أن البقع الأنودية لا تختلف من حيث طبيعتها وآلية تشكلها باختلاف الغاز أو المزيج لكنها تنشأ وتختفي عند مجالات محددة من ضغط و تيار. إن مجال هذه التغيرات يمكن أن يتسع أو يضيق تبعاً لطبيعة الغاز أو المزيج الغازي. فلقد وجد أن هذا المجال يضيق من أجل النسبة 10:1، وأنه يتسع من أجل النسبة 1:10 وذلك من أجل نفس شدة التيار.

بمقارنة نتائج النسبتين، نجد أن ظاهرة البقع الأنودية تكرر نفسها عند مجالات مختلفة من الضغوط عند نفس شدة التيار، وتبعاً لذلك فإن حيز الفراغ المشغول من قبل هذه البقع وحجمها يتغير بين هاتين الحالتين. أما ما يخص السلوك العام للبقع الأنودية، فإن هذه النتائج تقع في حالة توافق مع النتائج الواردة في [9]، حيث درست البقع الأنودية في انقراض غاز واحد (He أو Ne). إن التوزيع القطري عند ضغط مرتفع الحاصل في العمل الحالي مشابه من الناحية الكيفية لنتائج المحاكاة في المرجع [5].

ويعزى السبب الرئيسي في تشكل البقع الأنودية إلى الحالة السالبة للمميزات الأمبير - فولط (VAC) وللانتشار القطري للجسيمات المشحونة بالقرب من سطح الأنبود [6, 7].

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تساهم التصادمات من النوع الثاني بشكل ملحوظ في تشكل البقع الأنودية محدثةً بذلك المزيد من التأين في المزيج.

C. مقارنة

المقارنة بين النتائج التجريبية والعديدية مبنية في الجدول I. وهناك توافق مقبول محقق فيما بينها، ولكنه يسوء مع تزايد كمون الإثارة للخط والضغط في الانقراض. وتظهر حالة عدم التوافق جلية عند ضغوط مرتفعة وكمونات إثارة عالية، ويمكن أن يعزى ذلك إلى الأسباب التالية:

- (1) إهمال كافة أنواع التصادمات ماعدا المرن منها في معادلة بولتزمان الحركية (4).
- (2) عدم الأخذ بالاعتبار لتصادمات النوع الثاني في عبارة الشدة الطيفية للخط (1).
- (3) عدم أخذ اثر حجب ديباي بالحسبان عند تقدير شدة الحقل الكهربائي.
- (4) أثر وجود شوائب في الانقراض على الشدات الطيفية.

خاتمة

استخدمت طريقة مطيافية الإصدار في البحث عن تشكل البقع الأنودية في انقراض توهجي لمزيج هليوم ونيون بالقرب من أنود مستوي يشغل تقريباً كامل المقطع العرضي لأنبوبة الانقراض. لقد قيست الشدات الطيفية لخطين طيفيين مختارين بفرق ملحوظ بين كموني إثارتتهما. كما حصل على الوصف الكيفي لظاهرة البقع الأنودية في الاتجاهين المحوري والقطري وذلك عند شروط انقراض [الضغط = $(3.7-42.7) \times 10^2$ Pa] و تيار = [10-50 mA] من أجل نسبتي 10:1 و 1:10 للمزيج He:Ne على التوالي.

نُفذت الحسابات العددية للشدات النسبية للخطوط الطيفية 703.2 nm و 640.2 nm و 585 nm بدلالة الضغط في العمود الموجب باستخدام طريقة تقريبية بسيطة. قورنت النتائج مع القيم التجريبية ولوحظ وجود توافق مقبول عند ضغوط منخفضة نسبياً.

REFERENCES

المراجع

- [1] V. S. Golubev. and S.V. Pashkin., "Elevated - Pressure Glow Discharge (in Russian)". Moscow, Nauka, 1990.
- [2] K. G. Emeleus. "Anode Glow in Glow Discharge: Outstanding Problems", Int. J. Electron., vol. 52, No. 5, pp. 407 - 417, 1982.
- [3] A.M. Dykhne, N. I. Napartovich, M.D. Taran, and T. V. Taran, "Numerical Simulation of an Instability near the anode in a High pressure glow Discharge", Fiz Plazmy, vol 8, pp. 746-751, 1982.
- [4] R. Sh. Islamov. "Simulation of the Formation of the Anode Spot in the Self - Sustained Glow Discharge" Zh. Tekh. Fiz., vol.61, No.7, pp.12-15, 1991 (Sov. Jour Tech. Phys., vol. 36. No. 7, pp.725 - 727, 1991).
- [5] R. Sh. Islamov. & E. N. Gulamov, "Numerical Simulation of Axisymmetric anode Spot Formation in Glow Discharge at Elevated Pressure" IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 26, No. 1, pp. 7-13, Feb. 1998.
- [6] K. G. Muller. "Structures at the Electrodes of Gas Discharges" Physical Review A, vol.37, no. 12, pp.4836-4845, June 15, 1988.
- [7] M. S. Benilov, "Theory of Structures in Near-Electrode Plasma Regions", Physical Review A, vol. 45, No. 8, pp.9501-9512, 1992.
- [8] Yu. S. Akishev et al, Zh. Tekh. Fiz., Vol. 59, No. 8, pp. 14-16, 1989.
- [9] SH. Al-Hawat, "Anode Spots in Glow Discharge in Ne and He." Journal of Applied Spectroscopy, vol. 63, No.6, pp. 752-756, 1996.
- [10] A. Seyhoonzadeh, P. Forsling et al. "Spherical Expansion of a plasma into an under-dense Plasma", Phys. Fluids, 31, pp.682-686, 1982.
- [11] Sh. . Al-Hawat "Spectroscopic Diagnostics of Pre-Anode Plasma in Glow Discharge of Helium". IEEE Trans, Plasma Sci. Vol. 25, no.5, pp.1124-1127, Oct. 1997.
- [12] L. N. Orlov "Thermal Effects in Active Media of Gas Lasers". Minsk, Nauka I Telchnika, 1991, pp. 41-46, (in Russian).
- [13] L. M. Biberman, V. S. vorob'ev, and I. T. Yakubov, "Kinetics of Nonequilibrium Low-Temperature Plasmas", New York/London: Consultants Bureau 1987, pp. 23-40.
- [14] K. Smith, R. M. Thomson, "Computer Modeling of Gas Lasers", N.Y. Plenum Press, 1978, Ch.3.
- [15] M. Mitchner et al., "Partially Ionized Gases", New York, 1973, pp.110-125.
- [16] R. S. Islamov, "Simulation of the formation of the anode spot in the self-sustained glow discharge" Sov. J. Tech. Phys., vol. 36, No. 7, pp. 725-727, 1991. ■



تحري الخواص الكهربائية للطبقات الفسفاتية الإشعاعية في مناجم الشرقية - سورية*

د. جمال أصفاهاني

قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية
رندة محمد

المؤسسة العامة للجيولوجيا - دمشق - سورية

ملخص

تمَّ تحري الخواص الإشعاعية للحفر التعدينية المحفورة في منطقة المناجم الشرقية في إطار عمليات التقيب عن الفسفات. وقد أظهرت النتائج أن الطبقات الفسفاتية تميّزت عموماً بشدات إشعاعية عالية أكثر من (800 عذة/ثانية). يُعتبر المقطع الليثولوجي في منطقة الدراسة على غاية من التعقيد من وجهة نظر ترسيبية، ويتميز بتغير سحني في كل الاتجاهات. تمَّ تطبيق تشكيل شلومبرجير الجيوكهربائي ذي التباعدات الدقيقة AB/2 بنجاح لتحديد الحدود الليثولوجية ومقاوميات الطبقات المؤلفة للمقطع الليثولوجي وبخاصة الرقيقة منها. تزداد مقاوميات الطبقة الفسفاتية أو تنقص كتابع للمواد المرافقة للفسفات. وكتيجة تمَّ التمييز جيوكهربائياً بين نوعين من الفسفات: النوع الأول وهو صخر فسفاتي يميّز بمقاومية عالية وشدة إشعاعية منخفضة نسبياً، والنوع الثاني: وهو رمل فسفاتي يميّز بمقاوميات منخفضة وشدة إشعاعية عالية.

الكلمات المفتاحية: الخواص الكهربائية، الطبقات الفسفاتية، الطرائق الجيوكهربائية، خرائط إشعاعية، أشعة غاما الكلية الطبيعية، مناجم الشرقية، سورية.

مقدمة

2- طبقات فسفاتية صخرية تتصف بمقاومية عالية وشدات إشعاعية أقل من الشدات الإشعاعية للطبقات الفسفاتية الرملية.

إن استخدام مثل هذه الطرائق من البحوث هام، على اعتبار أن استكشاف مصادر فسفاتية جديدة حول مناجم الشرقية هو في توسع مستمر. تبين بعد اختبار العديد من التشكيلات الكهربائية أن تشكيل شلومبرجير هو الأفضل في تحديد الحدود الليثولوجية عندما يُطبَّق بتباعدات دقيقة بين مساري التيار الكهربائي. يسمح تفسير القياسات الجيوكهربائية لهذا التشكيل بتحديد الخصائص الكهربائية للطبقات الفسفاتية بتابعة العمق. ويعتبر هذا التحديد بحد ذاته أداة هامة جداً لسببين:

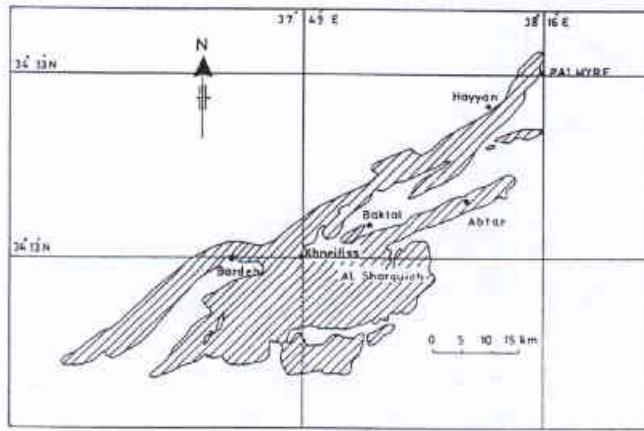
1- تحديد الملامح الجيوكهربائية التي يتم الحصول عليها في مثل تلك المقاطع الليثولوجية.

2- تخفيض كلف الحفر وعدد الحفر التعدينية المطلوب حفرها وهذا له أهميته القصوى من وجهة نظر اقتصادية. تعتبر تطبيقات السبر الجيوكهربائي العمودي سهلة وسريعة التنفيذ لأعماق اختراق تتراوح بين 10 و 30 متراً، إذ يتراوح عمق الطبقات الفسفاتية في منطقة الدراسة بين 10 و 30 متراً.

أجريت العديد من الدراسات للبحث عن مصادر للفسفات في مناجم الشرقية [1] و [2] والتي أشارت إلى أنّ سحنات التوضعات الفسفاتية تميز بتغيرات حادة جداً في كل الاتجاهات. ينجم عن هذا التعقيد الترسبي في منطقة البحث العديد من الصعوبات في تفسير النتائج التي يتم الحصول عليها وفي تعيين الحدود الليثولوجية. لهذا فإن الهدف من هذا العمل هو تحديد الملامح الإشعاعية إضافة إلى تحديد الخصائص الكهربائية للطبقات الفسفاتية في نطاق الدراسة. يوجد في منطقة البحث أكثر من 40 حفرة تعدينية حُفرت بهدف توسيع الفعاليات الاستكشافية في هذا النطاق. تتمتع هذه الحفر بأهمية خاصة كونها تقدم معلومات إشعاعية وليثولوجية وكهربائية عن الطبقات التي تخترقها. يمكن لهذه المعلومات أن تتضافر لتمييز الطبقات الفسفاتية في منطقة البحث.

تتجلى المنهجية الجديدة في هذا البحث بإدخال الطرائق الجيوكهربائية في الوقت الذي يجري فيه التقيب عن التوضعات الفسفاتية. سوف نبين أن هذه الطرائق كفوءة لتحديد خصائص الطبقات الفسفاتية، إذ تمَّ التمييز جيوكهربائياً بين نوعين من الطبقات الفسفاتية:

1- طبقات فسفاتية رملية تتصف بمقاومية منخفضة وشدات إشعاعية عالية.



الشكل 2- موقع مناجم خنيفس والشرقية.

فيه شبه أفقية مع ميل بسيط في بعض المواقع من 2 إلى 7 درجات باتجاه الجنوب الشرقي.

ويمكن تليخيص السحنات التي تصادفها في هذا النطاق على النحو التالي:

- توضع سطحية وحجر كلسي
- حجر كلسي غضاري مع نسبة من الفسفات
- حجر فسفاتي مشقق جزئياً
- دولوميت مشقق
- مارل مع تداخلات غضارية
- رمل فسفاتي
- سويات صوانية

تختلف هذه السحنات عن بعضها في المحتوى الإشعاعي حيث تتميز الطبقات الفسفافية بشدات إشعاعية عالية وشدات إشعاعية منخفضة في الدولوميت والحجر الكلسي والسويات الصوانية.

العمل الاستكشافي

أجريت العديد من التحريات بهدف فهم أكثر دقة للخصائص الإشعاعية والكهربائية للطبقات الفسفافية.

القياسات الإشعاعية

أجريت قياسات إشعاعية متقطعة في 45 حفرة تعدينية بمعدل 20 سم بين القياسات بتابعة العمق [4]. يُظهر الشكل 3 موقع منطقة الدراسة إضافة إلى مواقع الحفر التعدينية المدروسة حيث تم مسح ستة بروفيلات تغطي مساحة 1.4 كم مربع. يتراوح عمق هذه الحفر التعدينية بين 20 و 37 متراً. استُخدم لتحقيق قياسات غاما الكلية الطبيعية جهاز القياس الإشعاعية SPP2-NF الفرنسي الصنع. يشير الشكل 4-أ إلى مثال لقياس إشعاعي في الحفرة رقم 9 والوصف الليثولوجي لهذه الحفرة.

مسوحات المقاومة الأرضية

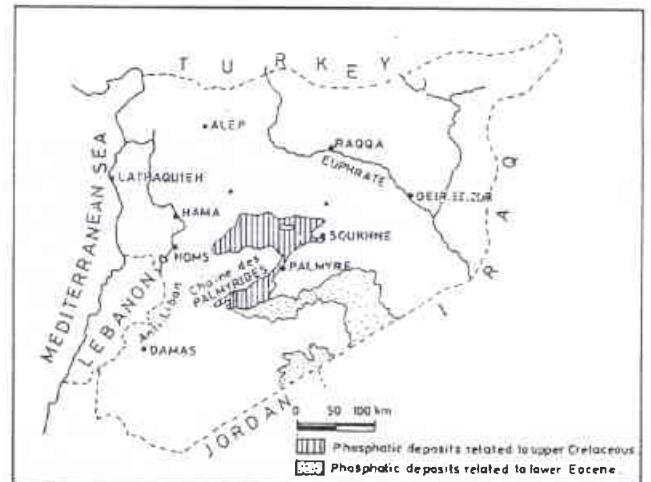
تم تطبيق العديد من الطرائق الجيوكهربائية السطحية وبخاصة تشكيل وينز البروفيلي وتشكيل شلومبرجير العمودي، بهدف معرفة الخصائص

الوضع الجيولوجي

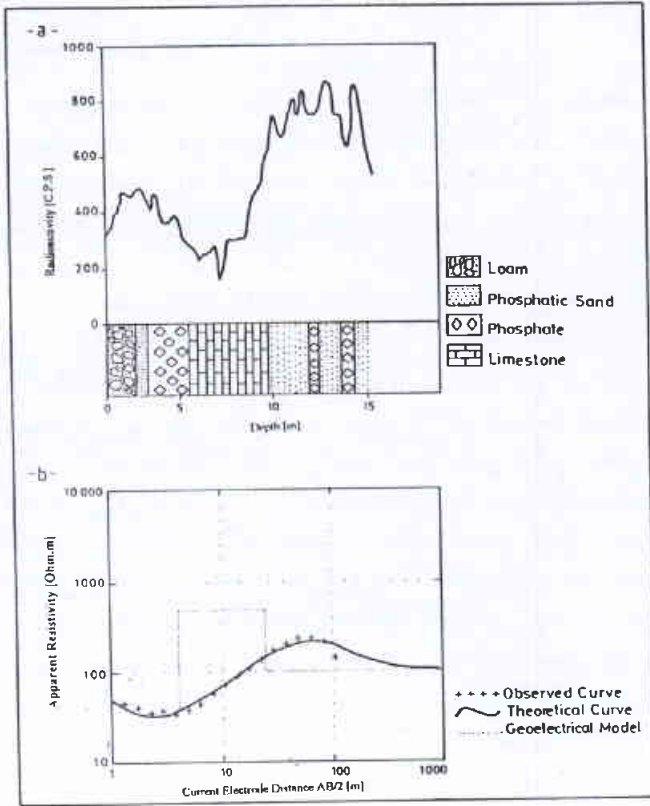
يحتوي السلم الستراتغرافي (الطبقاتي) للأراضي السورية على رسوبيات فسفافية تقع ضمن التشكيلات الكلسية للكريتاسي الأعلى والإيوسين (الشكل 1). تأخذ هذه الرسوبيات أهمية اقتصادية في سلسلة الجبال التدمرية (وبخاصة الجزء الجنوبي المركزي). تعود التوضعات الفسفافية في هذا النطاق للكامبانيان (تشكيلة الصوانة) والتي تتراوح سماكتها بشكل عام بين 17 و 317 متراً. وقد لعب نهوض الحماد الذي يُعتبر الحد الجنوبي للحوض التدمري دوراً هاماً في توضعات الفسفوريت من خلال إغناء الرسوبيات بالفسفور والبلاتكتون والتي تدل على تطور باليوغرافي ظهر على شكل طغيان سينوي وانزياح للسطيحة العرية. تتألف تشكيلة الصوانة برمتها من حجر كلسي مارلي ومارلي كلسي متداخل مع أسرة فسفافية تتراوح سماكتها بين 10 و 12 متراً. يتألف الجزء الأعلى من التشكيلة بشكل أساسي من مارل غضاري أصفر محمر متداخل مع أسرة من الحجر الكلسي ذي ملاط لاحق. يُعرف هذا الجزء من الوحدة الترسيبية بتشكيلة الأرك المغطاة بالفلوكوني والفسفوريت المارلي المعروف بتشكيلة طنطور الحاوية على أشربة سيلسية. تكون الطبقات الفسفافية سميكة في الجزء المركزي من السلسلة التدمرية في الوقت الذي تترقق فيه هذه الطبقات باتجاه الغرب لتنتهي بشكل كلي تحت كل من تشكيلتي الأرك وطنطور المارليتين.

إضافة إلى ما سبق نبيّن أن توضعات الفسفات تترافق مع تراكيز ثانوية لليورانيوم ضمن المسامات والشقوق الصخرية، يمكن تفسيرها واعتبارها كنتيجة لترسيب أولي حصل أثناء تشكّل الفسفات أو ربما يمكن النظر إليها واعتبارها كتراكيز ثانوية حصلت بفعل حركة المياه السطحية والجوفية.

تشير البحوث إلى أن منطقة التشكيلات الفسفافية في السلسلة التدمرية تعود للكامبانيان [3]، وتُستثنى هذه التوضعات حالياً في موقعين رئيسيين هما مناجم خنيفس والشرقية (الشكل 2). يمتد منجم الشرقية بشكل تدريجي نحو الجنوب والجنوب الغربي وتكون الطبقات الفسفافية



الشكل 1- التوضعات الفسفافية الكريتاسية والإيوسينية في سورية. يشير الصندوق إلى موقع الشكل 2.



الشكل 4- (a) مثال لقياس إشعاعي من الحفرة رقم 9 والوصف الليثولوجي لهذه الحفرة تمثل أيضاً. (b) قياس جيوكهربائي باستخدام تشكيل شلومرجير والنموذج التفسيري لنفس الحفرة 9.

نماذج تقريبية فُتُرت بدقة باستخدام التقانة العكسية وذلك للحصول على أفضل توافق ممكن بين المنحنى الحقيقي والمنحنى النظري المحسوب [7] و [8]. وتعتبر طوبوغرافية منطقة البحث هادئة، وبالتالي فإن تأثيراتها مهملة. أما تباعدات مساري التيار الكهربائي فقد كانت:

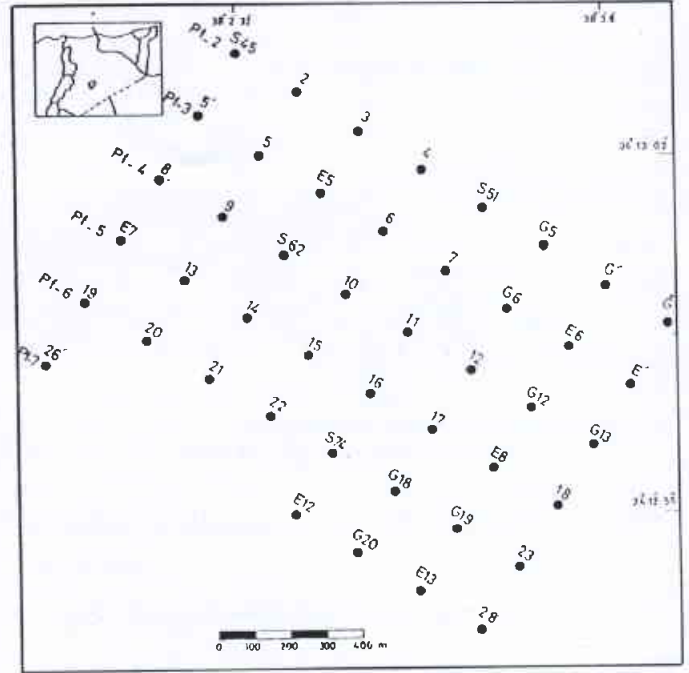
AB/2 = 1.13m, 1.68m, 2.18m, 3.66m, 4.74m, 6.15m, 7.96m, 10.33m, 13.38m, 17.35m, 22.49m, 29.49m, 37.75m, 48.78m, 63.48m, 82.27m, 106.6m.

وكانت تباعدات مساري الكومون MN مساوية إلى 0.2m, 1.2m, 20m. يتم عادةً زيادة المسافة بين مساري الكومون وتؤخذ القراءات مرتين عند بعض التباعدات لمساري التيار من أجل تباعدين لمساري الكومون. يظهر الشكل 4-b مثلاً لقياسات جيوكهربائية بالإضافة إلى النموذج الجيوكهربائي التفسيري للحفرة التعدينية رقم 9.

نتائج ومناقشة

القياسات الإشعاعية

تمت دراسة وتحليل القياسات الإشعاعية لغاما الكلية الطبيعية المنقذة داخل الحفرة التعدينية بتابعة العمق. تتراوح الشدات الإشعاعية التي يتم الحصول عليها بين العالية والمتوسطة (من 200 إلى 1050 عذدة/ثانية). ترتبط الشدات الإشعاعية العالية بالطبقات الفسفاتية ذات المحتوى العالي من P_2O_5 ، وكان [9] أوجد علاقة ارتباط طردية بين مستوى الفعالية



الشكل 3- مواقع الحفر التعدينية في منطقة الدراسة.

الكهربائية للمقطع الليثولوجي وبشكل خاص الطبقات الفسفاتية في كلا الاتجاهين الأفقي والعمودي.

بروفيل المقاومة الكهربائية (ERP)

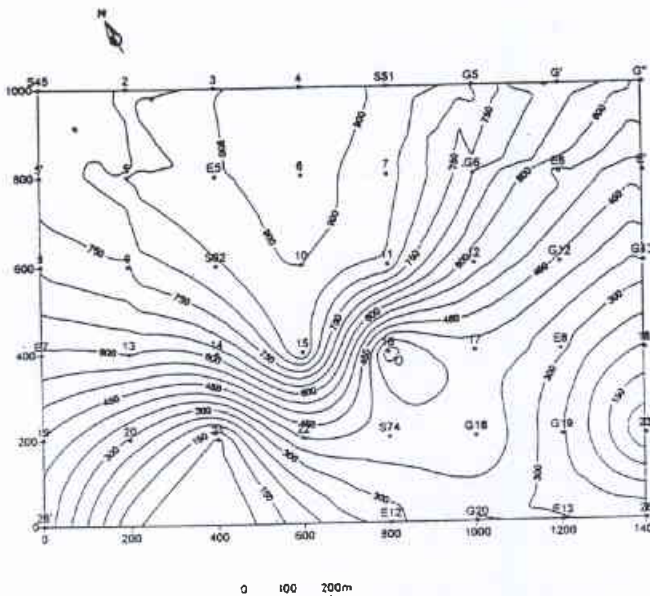
تم إجراء مسح بروفيلي للمقاومية في منطقة البحث باستخدام تشكيل وينر من أجل تباعدين ($a=20m$, $a=10m$). تألفت المسوحات المقاومة من ستة بروفيلات (Pt2, Pt3, Pt4, Pt5, Pt6, Pt7) في (الشكل 3) غطت طولاً كلياً قدره 8.4 كم، حيث تم قياس 348 نقطة المسافة بين نقطة وأخرى 50 متراً. تم تفسير معطيات المقاومة الظاهرية من أجل عمقي الاختراق المدروسين بشكل كفي، الأمر الذي مكنتنا من تخطيط ما تحت السطح باتجاهات أفقية.

السبر الكهربائي الشاقولي (VES)

تُستخدم تقانة السبر الجيوكهربائي الشاقولي عادةً لتحديد التغيرات الشاقولية للمقاومية الكهربائية. وتم في هذا البحث تنفيذ 45 سبراً كهربائياً للمقاومية باستخدام تشكيل شلومرجير على البروفيلات (Pt (2,3,4,5,6,7) (الشكل 3)، واعتبرت مراكز الحفر التعدينية المدروسة على أنها مراكز لهذه السبور.

بلغ التباعد الأعظمي لمساري التيار الكهربائي الذي استخدم من أجل هذه السبور $AB/2=106m$ ، واستخدم لتنفيذ هذا المسح للمقاومية جهاز Terameter sas 300B مع مقوي إشارة Terameter sas 2000 والذي يقيس المقاومة الظاهرية مباشرة والتي منها يتم حساب المقاومة الظاهرية [5].

تم تفسير المنحنيات المقاومة باستخدام تقانة تطابق المنحنيات التي تعتمد على مجموعة من المنحنيات النظرية [6] وذلك لتحديد سماكات ومقاوميات الطبقات تحت السطحية، وعلى هذا الأساس تم الحصول على



الشكل 7- خريطة إشعاعية لمنطقة الدراسة من الشكل 3 مدورة 45 درجة وهي تمثل عمق 15 متراً: الحفر مرقمة كما في الشكل 3 تتراوح الإشعاعية بين 200 عدة/ثانية و 1050 عدة/ثانية.

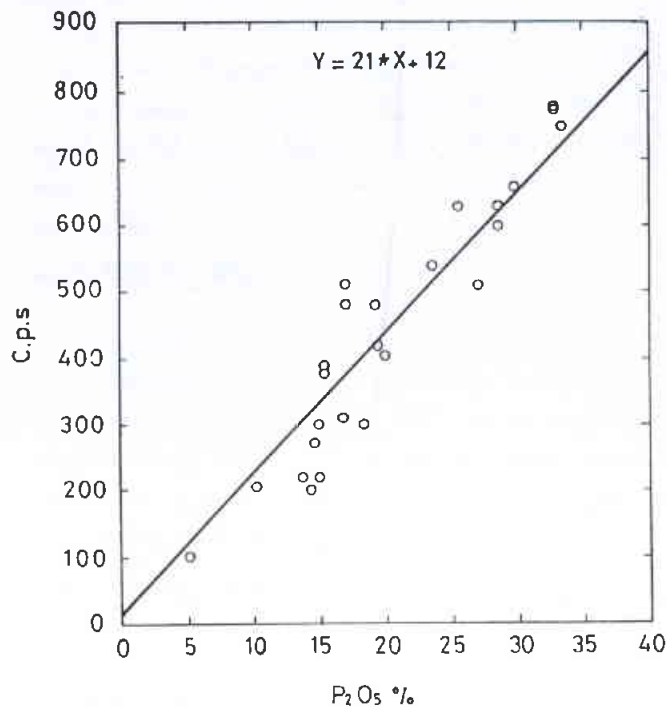
الجزء الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة وهذه الإشعاعية تتناقص بالتدرج باتجاه الجنوب الشرقي. يعكس هذا الاختلاف في الإشعاعية الاختلافات الليثولوجية في منطقة البحث. إذ تُلاحظ الإشعاعية العالية حيث تكون الطبقات الفسفافية قريبة من السطح أو على السطح مباشرة وهذا باتجاه الشمال الغربي، بينما تكون هذه الإشعاعية منخفضة باتجاه الجنوب الشرقي حيث تتوضع الطبقات الفسفافية على أعماق أكبر وذلك حسب معطيات آبار الحفر في منطقة الدراسة.

القياسات الجيوكهربائية

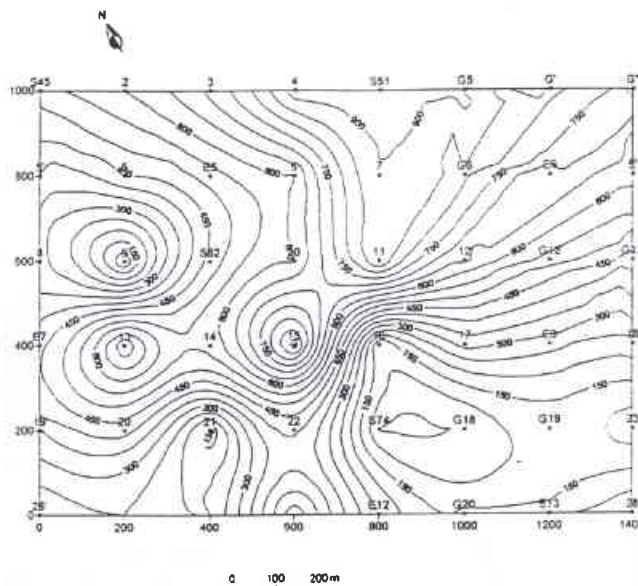
تُظهر الخرائط الجيوكهربائية التي تمّ الحصول عليها باستخدام تشكيل وينر تُعزّي المقاومة في اتجاه جانبي وذلك من أجل تباعد (10 أمتار و 15 متراً)، (الشكلان 8,9). تتراوح هذه المقاومات بين 40 و 280 أوم. وهذا ما يُعزّي إلى الطبيعة الليثولوجية للصخور الموجودة في منطقة الدراسة.

تتمركز المقاومات العالية (280 أوم. متر) باتجاه الشمال الغربي وهذا عائد إلى التصلب العالي للصخور ووجود القواقع الكلسية والعقد الصوانية التي تعمل على رفع المقاومة الظاهرية. إضافة إلى ذلك تلعب الطبقات الفسفافية أيضاً، سواء أكانت رملية أم صخرية، دوراً كبيراً في التأثير على قيم المقاومة الظاهرية. ووفق الاعتبارات المشار إليها أعلاه يمكن تقسيم الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة إلى قطاعات مختلفة، يتميز بعض هذه القطاعات بمقاومة ظاهرية منخفضة وشدة إشعاعية عالية يمكن ربطها بالرمل الفسفاتي، ويتميز البعض الآخر من هذه القطاعات بمقاومة ظاهرية عالية وشدة إشعاعية منخفضة يمكن ربطها بالصخر الفسفاتي. وبالمقابل تركزت المقاومات الظاهرية المنخفضة (40 أوم. متر) باتجاه الجنوب الشرقي بسبب وجود الكلس الغضاري الحاوي على طبقات فسفافية رملية وغضارية، كما يلاحظ أحياناً وجود ازدياد في المقاومة الظاهرية في بعض

الإشعاعية وتركيز P_2O_5 في صخور منطقة الدراسة كما هو مبين في (الشكل 5). ومن المعروف أن العلاقة بين محتوى P_2O_5 والإشعاعية الكلية معروفة جداً في أغلب التوضعات الفسفافية العالية [1,10,11,12,13,14]. تمّ تمثيل خريقتين إشعاعيتين من الأعماق 10 و 15 متراً في الشكلين 6 و 7 تمثل الخرائط المأخوذة من هذه الأعماق عمق الطبقات الفسفافية، والتي منها يتضح أن الإشعاعية العالية تتركز في



الشكل 5- علاقة تراجمية بين الشدة الإشعاعية المقیسة ومحتوى P_2O_5 في منطقة الدراسة [9].



الشكل 6- خريطة إشعاعية لمنطقة الدراسة من الشكل 3 مدورة 45 درجة وهي تمثل عمق 10 أمتار: الحفر مرقمة كما في الشكل 3 تتراوح الإشعاعية بين 200 و 1050 عدة/ثانية.

وذلك من خلال تفسير المنحنيات الكهربائية المقيسة على البروفيلات المدروسة، ومن خلال ربط نتائج هذه التفسيرات مع المعطيات المتوفرة عن الحفر التعدينية في منطقة الدراسة.

المستوى الكهربائي الأول

يزداد هذا المستوى سماكةً باتجاه الجنوب الشرقي وتتراوح سماكته بين 2.5 و 10 أمتار وهو يتألف ليجولوجياً من لحقيات رابعة مؤلفة من سيلت رملي غضاري مفتت وكونغلواميرا قاسية، ولا بد من الإشارة إلى أن هذه التفاضلات الليثولوجية أدت بدورها لنشوء أنماط كهربائية ثانوية ضمن هذا المستوى ساهمت بتقسيمه إلى عدة آفاق ثانوية تتميز في المقاومة الكهربائية تبعاً لنوعية الصخر. إذ تتناقص المقاومة بازدياد محتوى الغضار وتزداد مع زيادة نسبة الكلس والسيلت الرملي والصخور الكونغلواميرائية.

المستوى الكهربائي الثاني

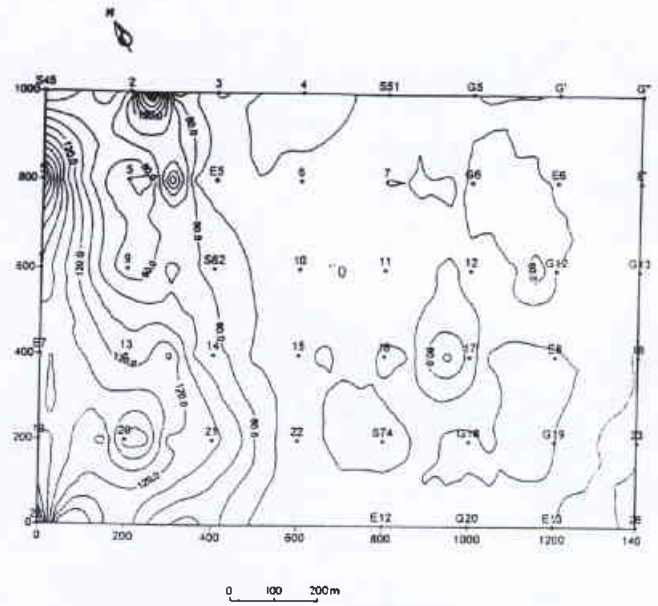
تتراوح سماكة هذا المستوى بين 5 أمتار و 42 متراً وتزداد هذه السماكة أيضاً باتجاه الجنوب الشرقي مع ملاحظة أن السماكة الأعظمية لهذا المستوى لوحظت في البروفيل الثاني (PF2) باتجاه شمال شرق، بينما يترقق هذا المستوى باتجاه شمال غرب. يتميز هذا المستوى بمقاوميات كهربائية تتراوح بين 6 أوم. متر و 24 أوم. متر وهي تتبع للكلس الغضاري حسب معطيات المقطع الجيولوجي.

المستوى الكهربائي الثالث

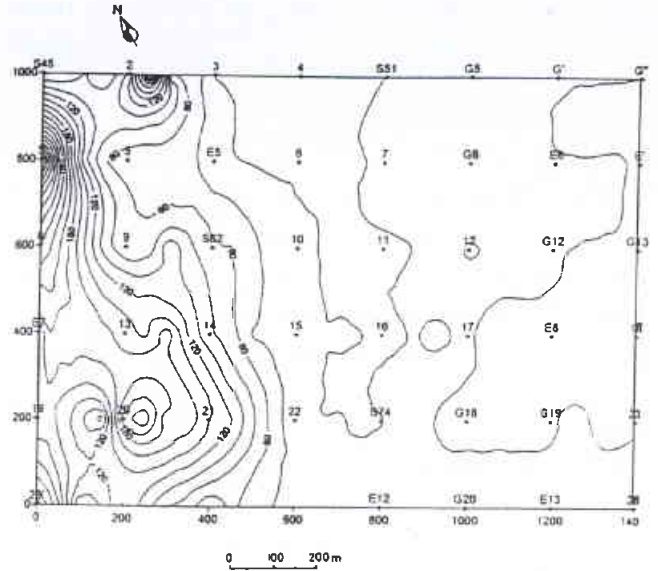
يتراوح عمق الحد الأعلى لهذا المستوى بين 5 أمتار و 50 متراً ويتميز هذا المستوى بتغير المقاومة من بروفيل إلى آخر كما هو موضح في الجدول 1. يلاحظ في هذا الجدول أن المقاوميات العالية تتركز على طول البروفيل (PF5). وحسب المقاطع الجيولوجية يتبين أن هذا المستوى يتألف من صخور فسفايتية مع تداخل من الكلس الغضاري المفسفت. ترتفع مقاومة هذا المستوى بزيادة الصخر الفسفايتي وتتناقص مع ازدياد محتوى الغضار. يتميز الجزء الشمالي الغربي عموماً بمقاوميات عالية وتكون الطبقات الفسفايتية متكشفة على السطح أو قريبة منه إضافة إلى زيادة نسبة الصخر الفسفايتي. يتميز الجزء الجنوبي الشرقي نسبياً بانخفاض المقاوميات

الجدول 1- مقاومة المستوى الكهربائي الثالث على طول البروفيلات المدروسة.

البروفيل	مجال المقاومة (أوم. متر)
PF2	77-210
PF3	48-175
PF4	39-255
PF5	179 -600
PF6	81-210
PF7	70-375



الشكل 8- خريطة جيوكهربائية باستخدام تشكيل وينر من أجل $a=10m$.



الشكل 9- خريطة جيوكهربائية باستخدام تشكيل وينر من أجل $a=15m$.

النقاط في وسط مقاوميات منخفضة ضمن طبقة الكلس الغضاري والذي يمكن تفسيره بتغير محلي للخواص الليثولوجية وتداخلات موضعية من طبقات الرمل الفسفايتي ضمن الكلس الغضاري.

قدّم تفسير السبور الجيوكهربائية الشاقولية المنفذة على البروفيلات (الشكل 10)، حيث تمت ملاحظة وجود اختلافات كهربائية واضحة بين الأجزاء الشمالية الغربية والجنوبية الشرقية من منطقة البحث. يتميز الجزء الشمالي الغربي عادة بمقاوميات عالية وتكون الطبقات الفسفايتية إما ظاهرة على السطح أو قريبة منه إذ يمكن النظر إلى هذا الجزء واعتباره بنية ناهضة. يتميز الجزء الجنوبي الشرقي بمقاوميات منخفضة تُعزى طبوغرافياً إلى بنية سالبة (منخفض ترسيبي) وعموماً تمّ تمييز أربعة مستويات كهربائية رئيسية

كهربائية منخفضة نسبياً كما بدا ذلك واضحاً من معطيات المقاومة ومن خرائط متساويات الشدة الإشعاعية.

يمكن تقسيم منطقة البحث إلى جزئين متمايزين بالخواص الجيوفيزيائية:

يتميز الجزء الشمالي الغربي بالنواحي التالية:

- 1- مقاومات عالية بشكل عام.
- 2- تكون الطبقات الفسفاتية رقيقة وقرية من السطح أو متكشفة.
- 3- تتميز الطبقات الفسفاتية الرملية بمقاومات منخفضة وشدات إشعاعية عالية.

4- تتميز الطبقات الفسفاتية ذات نسبة التصخر العالية بمقاومات عالية وإشعاعية منخفضة نسبياً.

5- تتميز هذه المنطقة بسماكات قليلة من اللحيقيات.

يتميز الجزء الجنوبي الشرقي بالنواحي التالية:

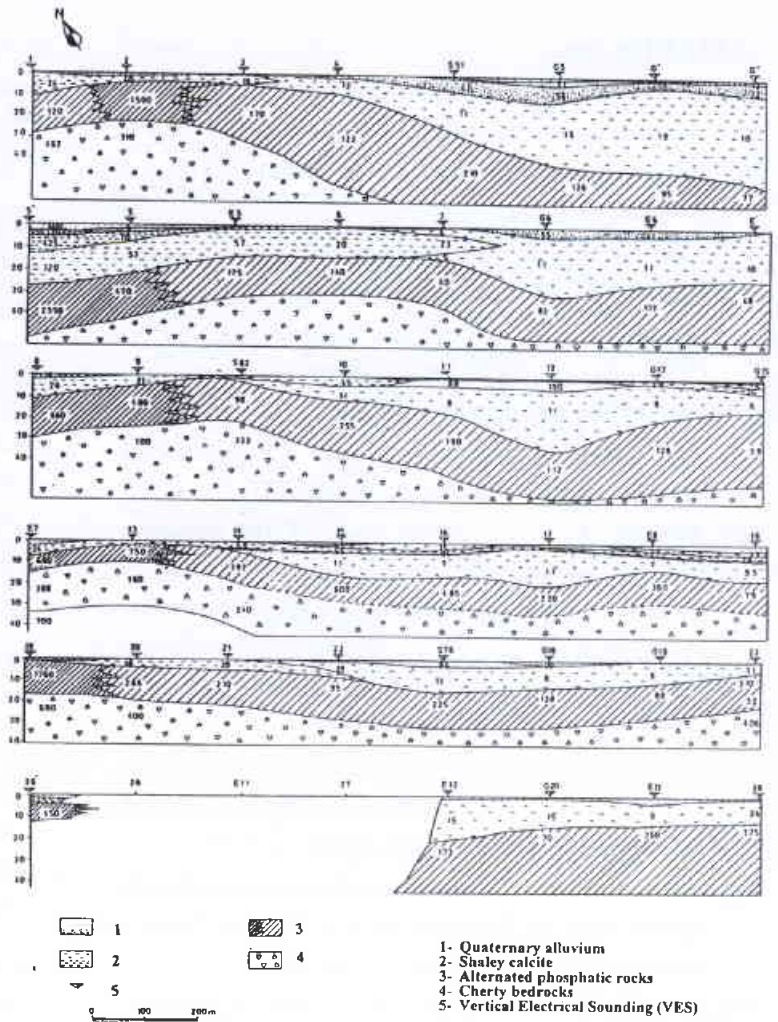
- 1- مقاومات كهربائية منخفضة.
- 2- ازدياد عمق الطبقات الفسفاتية باتجاه الجنوب الشرقي.
- 3- وجود سماكات معتبرة من اللحيقيات.

لقد سمح تفسير السبور الجيوكهربائية الشاقولية عموماً بتمييز أربعة مستويات جيوكهربائية في منطقة الدراسة. يحتوي المستوى الثالث على الطبقات الفسفاتية، وتعتبر المعلومات التي تم الحصول عليها من خلال هذه السبور كافية لرسم صورة ترسيبية عامة لانتشار الطبقات الفسفاتية، بينما تزود القياسات الإشعاعية المأخوذة كل 20 سم داخل الحفر التعدينية بمعلومات تفصيلية تتعلق بالوصف الليثولوجي. وبالتالي يسمح تكامل القياسات الإشعاعية والجيوكهربائية بالحصول على معلومات أكثر دقة تتعلق بالوصفات الليثولوجية بشكل عام والطبقات الفسفاتية بشكل خاص.

خلاصة

تمّ تحديد الخصائص الإشعاعية والكهربائية للطبقات الفسفاتية في منطقة الدراسة. ويمكن النظر إلى تضافر القياسات الجيوكهربائية والإشعاعية على أنه أداة جيدة لفهم الطبقات الفسفاتية، سماكاتها، أعماقها، وانتشارها، إذ تعتبر القياسات الجيوكهربائية تقانات سهلة وسريعة التطبيق. وبالتالي برهناً على مساهمة هذه الطرائق في تخفيض الحفر التعدينية وتوجيه أعمال التنقيب المستقبلية.

أخيراً يوصى في المستقبل بإجراء دراسات بتروفيزيائية على مقياس عتبات صغيرة إذ سيكون هذا النوع من الدراسات أداة فاعلة في فهم العديد من العلاقات الموجودة بين بعض المحدّثات مثل الحجم، توزيع الحبات، المسامية، المقاومة الإشعاعية، ومحتوى الـ P_2O_5 .



الشكل 10- نموذج جيوكهربائي ليلولوجي تفسيري للبروفيلات المدروسة PI(2,3,4,5,6,7).

وهذا عائد إلى السماكات الكبيرة من الكلس الغضاري وتوضع الطبقات الفسفاتية على أعماق أكبر، والذي يترافق مع انخفاض كمية الصخور الفسفاتية مع ملاحظة ازدياد سماكة المقطع الليثولوجي في هذا الاتجاه.

المستوى الكهربائي الرابع

يتميز هذا المستوى بوجود صخور القاعدة الصوانية التي تتميز بمقاومات عالية. لقد تميّزت نهايات جميع منحنيات السبر الكهربائي بمقاومات عالية من أجل $AB/2 = 106.6m$. وتعتبر هذه الملاحظة على غاية من الأهمية لأنها تسمح بالتعرف على عمق الطبقات الفسفاتية التي تتوضع على طبقات ذات مقاومة عالية وبالتالي يمكن النظر إلى هذه الطبقات في منطقة الدراسة واعتبارها بصمة جيدة أو علامة يدل على وجود الطبقات الفسفاتية.

ملخص النتائج والتوصيات

خلص هذا البحث إلى فهم الخصائص الإشعاعية والكهربائية للمقطع الليثولوجي في مناجم الشرقية بشكل عام، والطبقات الفسفاتية بشكل خاص. تتميز الطبقات الفسفاتية بشدات إشعاعية عالية ومقاومات

REFERENCES

المراجع

- [1] Abbas, M., (1987). *Geochimie de L uranium des Phosphorites des Palmyri des Centrales, Syria*. These de doctorat es sciences nature,es, presentee a L university de Strasbourg, France.
- [2] Atfeh. S,(1967). *The phosphate deposits of Syria*, unpub. Ph.D. Thesis, university of London, Kings College, 348 P.
- [3] Al-Maleh, A. Kh., and Mouty, M., (1994). *Lithostratigraphy of Senonian Phosphorite Deposits in the Palmyridean Region and their General Sedimentological and Paleogeographic Framework*, Proc. 29th Int'L. Geol. Congr. ParC, PP. 225-232.
- [4] Asfahani, J., et al., (1994). *Study of the Subsurface Radioactive Characteristic in the Eastern Area Mine and South Al-Abter, Using the Borehole logging*. SAEC- G/rss 85, unpub Study.
- [5] Dobrin, M. B., (1976). *Introduction to geophysical prospecting*, Mc Graw-Hill, New York.
- [6] Orellana, E., and Mooney, H. M., (1966). *Master Tables and Curves for Vertical electrical sounding over layered structures*, intercencia, Madrid, Spain.
- [7] Zohdy, A. A. R., (1989). *A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner Sounding Curves*, Geophysics, Vol., 54, pp. 245-253.
- [8] Zohdy, A. A. R., and Bisdorf, R. J., (1989). *Schlumberger Sounding data processing and interpretation program U. S. Geological Survey, Denver*.
- [9] Asfahani, J, and Kamarji, Z., (1996). *The Automatic Interpretation of Natural Gamma Rays in Well Logging at the Phosphatic Deposits in the Palmyra Region in Syria*, Appl. Rad Isot.Vol,47, No.5/6, pp.591-598.
- [10] Asfahani, J, (1999). *Determination of radioactive and phosphatic layers by measuring γ -ray intensities in well logging in the south Al-Abter region in Syria, using numerical methods of analysis*, Journal of king Abdulaziz university "Science", Vol. 11, PP. 39-51.
- [11] Asfahani, J., and A.Abdelhadi., (2001). *Geophysical natural gamma-ray well logging and spectrometric signatures of South Al-Abter phosphatic deposits in Syria*. Appl. Rad. Isot. Vol 54/3, PP. 543-577.
- [12] Jubeli. Y.M (1998). *The role of airborne radiometric survey in defining the distribution of phosphate rocks in Syria desert and the northern palmyrides*, Explor. Mining Geol.,Vol.6, No.3, pp.269-278.
- [13] Gavshin. V. M, Bobrov. V. A, and Zorkina. L. S,(1974). *Quantitative relation between uranium and phosphorus in phosphorites and phosphatic sedimentary rocks*. Litho. Min. Depsit, 6, p. 118-126 (English trans, p.740-746).
- [14] Altschuler. Z. S,(1980). *The bearing of geochemistry on the recovery of uranium and rare earth in phosphorites*. Proc. 2nd internat. Congr. phosphorus Compounds, Boston, April 1980, p. 605-625. ■



تراكيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم بواسطة المقايسة الإشعاعية الإشعاعية خلال دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي المحلي*

معتز زرقاوي، أحمد سكوت

دائرة الإنتاج الحيواني - قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

أجريت تجربة على إناث الماعز الشامي المحلي لتوصيف دورة الشبق ونشاط الجسم الأصفر وتقدير الأنماط الطبيعية لهرمون البروجستيرون خلال الأطوار المختلفة من دورة الشبق بواسطة المقايسة الإشعاعية. استخدم في التجربة 15 عنزة من عرق الماعز الشامي المحلي، بعمر 2-5 سنوات ضمن موسم التلقيح الطبيعي خلال دورتي شبق متاليتين. بلغ متوسط طول دورة الشبق 21.2 ± 1.5 يوماً (المدى: 19-26 يوماً)، تكوّنت من 2.9 ± 0.8 يوماً (2-5 أيام) كان فيها تركيز هرمون البروجستيرون منخفضاً، بلغ بالمتوسط 0.69 ± 0.85 نانو مول/ل (المدى: 0.00-3.08 نانو مول/ل)، تلاه ارتفاع تدريجي في إفراز البروجستيرون مما يشير إلى تواجد أجسام صفراء نشطة، واستمر هذا الارتفاع في الإفراز لمدة بلغت بالمتوسط 15.3 ± 1.4 يوماً (المدى: 13-20 يوماً) كان متوسط تركيز البروجستيرون خلاله 13.41 نانو مول/ل (المدى: 3.26-27.98 نانو مول/ل)، تلاه انخفاض حاد في تركيز البروجستيرون، أي وجود أجسام صفراء غير نشطة، واستمر هذا الانخفاض لمدة بلغت بالمتوسط 3.1 ± 0.6 يوماً (المدى: 2-5 أيام)، كان متوسط تركيز البروجستيرون فيه 0.68 نانو مول/ل (المدى: 0.00-2.81 نانو مول/ل). بلغ متوسط أعلى تركيز لهرمون البروجستيرون خلال الطور اللوتيني (طور الجسم الأصفر) 18.67 ± 3.15 نانو مول/ل (المدى: 14.00-27.98 نانو مول/ل)، وحدثت هذه القمة بمتوسط مقداره 12.2 ± 3.2 يوماً من دورة الشبق.

أمكن، ولأول مرة توصيف دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي المحلي، وتحديد الأنماط الطبيعية لهرمون البروجستيرون خلال الأطوار المختلفة من دورة الشبق. واعتماداً على النتائج المذكورة أعلاه، يستتج أيضاً أن تراكيز هرمون البروجستيرون الأقل من 3.18 نانو مول/ل وجدت بالمتوسط خلال مدة 2.9 يوماً عند بداية دورة الشبق، وخلال مدة 3.1 يوماً عند نهاية دورة الشبق (الطور الجريسي)، وأن تراكيز هرمون البروجستيرون الأكثر من 3.18 نانو مول/ل وجدت خلال الطور اللوتيني من دورة الشبق، والذي بلغ بالمتوسط 15.3 يوماً.

الكلمات المفتاحية: دورة شبق، إناث الماعز الشامي، بروجستيرون، مقايسة مناعية إشعاعية.

المقدمة

أدخل هذا العرق إلى دول مختلفة مثل مصر [2]، قبرص [3]، اليونان [4]، الأردن [5]، تونس [6]، لبنان والجزائر [7]، العراق [8]، وعمان [9].

في سورية، يتمتع الماعز الشامي بشهرة كبيرة بسبب الصفات الجمالية التي تمتلكها أفرادها ونوعية وإنتاج الحليب الجيد، لذا، فإن سعره مرتفع جداً بالمقارنة مع العروق الأخرى من الماعز مثل الماعز الجبلي.

ويُعدّ تقييم تراكيز هرمون البروجستيرون خلال مراحل فيزيولوجية مختلفة عند الحيوانات واحداً من أهم المؤشرات [10]؛ [11]؛ [12]؛ [13]؛ [14]؛ [15]؛ [16]. كما يُعدّ توصيف الأطوار المختلفة لدورة الشبق عند الحيوان حجر الزاوية في الدراسات التناسلية، وبشكل خاص عند عروق الحيوانات موسمية التناسل مثل الماعز. تمّ توصيف دورة الشبق في

تُعدّ الماعز من المجترات الصغيرة التي من السهل التعامل معها، وتحمل الظروف القاسية. كما أنها من الحيوانات الهامة المنتجة للغذاء وخاصة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. تزداد أعداد حيوانات الماعز بشكل يفوق كل من الأبقار والأغنام، وخاصةً في بعض الدول مثل الهند، باكستان وجزر الكاريبي. وتُعدّ منتجات الماعز من لحم وحليب أفضل من منتجات الأغنام والأبقار والجاموس [1]. وكما يشير اسم العرق، فقد نشأ الماعز الشامي في مدينة دمشق. إن تعريف العرق قد تمّ من قِبَل [1] وهو عادةً ذو لون بني مائل للحمرة، وشعر مسترسل طويل يكون ناعماً وقصيراً على الرقبة والرأس. الشكل الجانبي محدّب، والرأس بدون حية، طويل بداليتين. وبعض الحيوانات لها قرون ملتفة إلى الخلف، بينما البعض الآخر عديم القرون.

الجدول 1- طول (أيام) وتراكيز هرمون البروجسترون (نانو مول/ل) خلال الأطوار المختلفة من دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي (ن=30).

طول المظور متوسط \pm انحراف معياري (المدى)	تركيز البروجسترون متوسط \pm انحراف معياري (المدى)	المؤشرات
1.5 \pm 21.2 (26-19)	-	دورة الشبق الإجمالي (أيام)
0.8 \pm 2.9 (5-2)	0.85 \pm 0.69 (3.08-0.00)	بداية المظور اللوتيني (أيام)
1.4 \pm 15.2 (20-13)	4.39 \pm 13.41 (27.98-3.26)	المظور اللوتيني (أيام)
0.6 \pm 3.1 (5-2)	0.68 \pm 0.79 (2.81-0.00)	المظور الجريبي (أيام)

النتائج

طول دورة الشبق

بلغ متوسط طول دورة الشبق 21.2 ± 1.5 يوماً، تراوحت بين 19 و 26 يوماً (الجدول 1). تراوح طول دورة الشبق عند غالبية العنزات (73.3%) بين 20-22 يوماً. لم توجد فروق مؤكدة إحصائياً ($P > 0.05$) في طول دورة الشبق بين العنزات بأعمار مختلفة. هرمونياً واعتماداً على نشاط الجسم الأصفر، قسمت دورة الشبق إلى ثلاثة أطوار.

طور بداية نشاط الجسم الأصفر

قُدِّر متوسط طول هذا المظور بـ 2.9 ± 0.8 يوماً، وتراوح بين 2 و 5 أيام، وبلغ متوسط تركيز هرمون البروجسترون فيه 0.69 ± 0.85 نانو مول/ل، تراوح بين 0.00 و 3.08 نانو مول/ل (الجدول 1).

المظور اللوتيني

بلغ متوسط طول هذا المظور 15.3 ± 1.4 يوماً (المدى: 13-20 يوماً)، بمتوسط تركيز لهرمون البروجسترون 4.39 ± 13.41 نانو مول/ل (المدى: 27.98-3.26 نانو مول/ل) (الجدول 1). كان أعلى تركيز لهرمون البروجسترون خلال هذا المظور 18.67 نانو مول/ل (المدى: 14.00-27.98 نانو مول/ل)، وحدثت هذه القمة وسطياً، في اليوم 12.2 يوماً من دورة الشبق.

المظور الجريبي

بلغ متوسط طول هذا المظور 3.1 ± 0.6 يوماً (المدى: 2-5 أيام)، بمتوسط تركيز لهرمون البروجسترون 0.68 ± 0.79 نانو مول/ل (المدى: 2.81-0.00 نانو مول/ل) (الجدول 1). وهكذا، لوحظ تركيز هرمون البروجسترون الأقل من 3.18 نانو مول/ل خلال مدة بلغت بالمتوسط 5.9 ± 0.7 يوماً، كان متوسط تركيز هرمون البروجسترون فيها 0.68 ± 0.82 نانو مول/ل، لوحظ تركيز هرمون البروجسترون الأكثر من 3.18 نانو مول/ل خلال مدة بلغت بالمتوسط 15.4 ± 1.4 يوماً، كان متوسط تركيز هرمون البروجسترون فيها 4.39 ± 13.41 نانو مول/ل (الشكل 1).

حيوانات مختلفة، تتضمن الأبقار [17]، الأغنام [18]، الفرس [19]، الغنم [20]، وخنزير غينيا [21]، الجرذان [22] والدجاج [23].

وبالنسبة للماعز، فقد تم توصيف دورة الشبق عند عروق مثل عرق Murciana-Granadina في إسبانيا [24]، Alpine في إيطاليا [25]، Red Sokoto في نيجيريا [26]، Dairy Boer في ألمانيا [27]، Black Bengal في الهند [28]، و Dutch White في هولندا [29].

وبالرغم من أن الماعز الشامي محلي لسورية، فلم يُجرَ توصيف لدورة الشبق أبداً. وبناءً عليه، كان الهدف الرئيس من هذه التجربة التوصيف بشكل دقيق للأطوار المختلفة وتحديد الأنماط الطبيعية لهرمون البروجسترون خلال دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي بوساطة المقايسة المناعية الإشعاعية.

المواد والطرائق

مكان التنفيذ وحيوانات التجربة

نُفذت التجربة في دائرة الإنتاج الحيواني في منطقة دير الحجر على بُعد نحو 33 كم جنوب شرق مدينة دمشق. وتعدّ هذه المنطقة جافة بمعدّل أمطار نحو 100 ملم سنوياً تحدث بشكل رئيس خلال شهري كانون الأول وكانون الثاني.

استُخدم في التجربة 15 عنزة بالغة من عرق الماعز الشامي، بعمر بين 2 و 5 سنوات، وبمتوسط وزن عند بدء التجربة (متوسط \pm انحراف معياري) 51.6 ± 8.7 كغ خلال الموسم التناسلي. كافة الإناث المستخدمة لا توجد عندها سابقاً أي مشاكل أو اضطرابات تناسلية.

إيواء وتغذية الحيوانات

كانت العنزات تبقى في الحظيرة المخصصة لها بالليل وخارج الحظيرة معظم أوقات النهار. وكان يقدم للحيوانات بالحظيرة العلائق المغنّمة على الشعير وتبن القمح المعزّر بالفيتامينات. وخارج الحظيرة، كان يسمح للنجاج بالرعي الحر. كما قدم للحيوانات الأحجار الملحية والماء بشكل حر.

عينات الدم وتحليل البروجسترون

سُحِبَت عينات الدم (10 مل) بشكل يومي في الساعة العاشرة صباحاً من العرق الوداجي للإناث كافة لمدة دورتي شبق متتاليتين. بعد تفصيل العينات باستخدام جهاز الطرد المركزي على سرعة قدرها 3000 دورة بالدقيقة ولمدة 20 دقيقة، تم الحصول على المصل الذي حُفظ مجمداً في درجة حرارة -20° مئوية لحين تحليله. استخدمت مجموعات تحليل هرمون البروجسترون بوساطة المقايسة الإشعاعية ذات الموثوقية. اعتبرت تراكيز هرمون البروجسترون التي تساوي أو تزيد عن 3.18 نانو مول/ل مؤشراً إلى وجود جسم أصفر نشيط، والتراكيز التي تقل عن 3.18 نانو مول/ل مؤشراً إلى حالة سكوت تناسلي، أو طور جريبي أو إلى بداية المظور اللوتيني من دورة الشبق [30].

التحليل الإحصائي

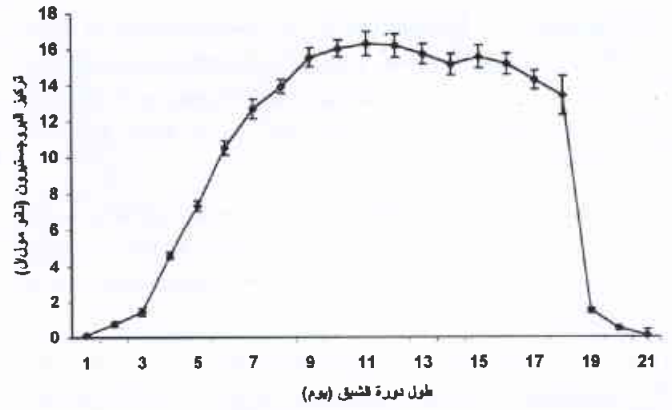
حُلِّت النتائج إحصائياً بتحليل التباين (ANOVA) على مستوى ثقة مقداره 95% باستخدام البرنامج Statview-IV على نظام IBM.

[27]، و Alpine في إيطاليا [25]. على الرغم من وجود اختلافات في القيم الدنيا والعظمى لتراكيز هرمون البروجسترون بين الحيوانات، فإن المنحى العام لهرمون البروجسترون كان متشابهاً عند كل الأفراد. ويمكن أن يُعزى ذلك إلى الاختلافات الفردية ضمن العرق. أُخبر عن وجود اختلافات مماثلة في تراكيز هرمون البروجسترون من قِبَل [27] في عرق الماعز Dairy Boer في ألمانيا. وفي النعاج، أُخبر عن اختلافات مماثلة في تراكيز هرمون البروجسترون من قِبَل [33] وذلك في الهجين "Dorset Horn X Finnish Landrace" في المملكة المتحدة، وفي بعض عروق الأغنام الخصبية في بولونية [34]. باستخدام المقاييس المناعية الإشعاعية، وجدت [30] أيضاً فروقات في أعلى تركيز لهرمون البروجسترون عند نعاج العواس السوري خلال الطور اللوتيني من دورة الشبق تراوحت بين 5.8-18.00 نانو مول/ل. تؤكد تراكيز هرمون البروجسترون الأقل من 3.18 نانو مول/ل لمدة 29 يوماً عند بداية دورة الشبق ولمدة 3.1 يوماً عند نهاية دورة الشبق (الطور الجريسي)، اقترح [27] والذي يفيد بأن الأجسام الصفراء في مبيض الماعز هي المصدر الرئيس لهرمون البروجسترون، وأن تراكيز هرمون البروجسترون أكثر من 3.18 نانو مول/ل وجدت خلال الطور اللوتيني من دورة الشبق والذي استمر لفترة قُدرت وسطياً بـ 15.3 يوماً.

أمكن هنا بدقة، ولأول مرة، توصيف دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي المحلي، وتقدير أنماط هرمون البروجسترون بدقة خلال الأطوار المختلفة من دورة الشبق. تُعدّ هذه النتائج هامة ومفيدة في تقويم فيزيولوجيا دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي كمؤشر أساسي للتناسل.

REFERENCES

- [1] Jindal, S. K., 1984. Goat production. A Falcon Book, Cosmo Publication, New Delhi.
- [2] Abdelsalam, M. M., Haider, A. E., Aboul-Naga, A. M., El-Kimary, I. S. and Eissa, M., 1994 Improving performance of desert Bakri kids by crossing with Zaraibi and Damascus goats. *Egy. J. Anim. Prod.*, 31, 85-97.
- [3] Constantinou, A., 1989. Genetic and environmental relationships of body weight, milk yield and litter size in Damascus goats. *Small Rum. Res.*, 2, 163-174.
- [4] Karatzas, G., Karagiannidis, A., Varaskeliand, S. and Brikas, P., 1997. Fertility of fresh and frozen-thawed goat semen during the nonbreeding season. *Theriogenology*. 48, 1049-1059,
- [5] ACSAD 1994: Annual Technical Report. Department of Studies of Animal Wealth, the Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus, Syria.
- [6] ACSAD 1996: Annual Technical Report. Department of Studies of Animal Wealth, the Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus, Syria.



الشكل 1- أنماط وتراكيز هرمون البروجسترون في الدم (نانو مول/ل \pm الخطأ المعياري) خلال دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي المستخدمة في التجربة.

المناقشة

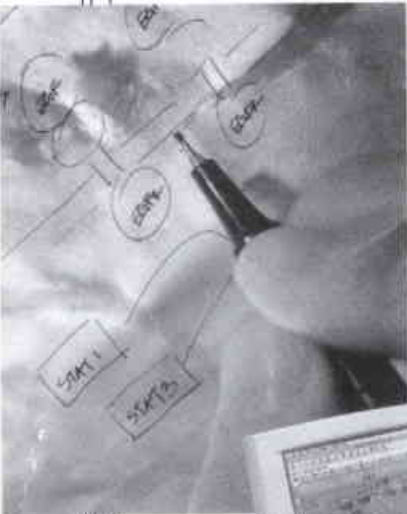
لا تتوفر معطيات في الأدبيات التاريخية حول دورة الشبق عند إناث الماعز الشامي من الناحية الهرمونية، والنتائج المعلن عنها هنا ستكون الأساس لدراسات تناسلية لاحقة. تأتي هذه التجربة ضمن برنامج يهدف إلى توصيف بعض المؤشرات التناسلية [31].

بلغ طول دورة الشبق في التجربة الحالية 21.2 يوماً، وهذا يقارب بشكل كبير 21.3 يوماً عند عنزات Red Sokoto في نيجيريا [26] و 20.7 يوماً عند عنزات Criollo في تشيلي [32]. تتوافق أنماط هرمون البروجسترون في مصل الدم في التجربة الحالية مع تلك المعلن عنها في عروق الماعز Red Sokoto في نيجيريا [26]، و Dairy Boer في ألمانيا

- [7] ACSAD 1997: Annual Technical Report. Department of Studies of Animal Wealth, the Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus, Syria.
- [8] Azawi, O., Al-Dahash, S. Y. and Juma, F. T., 1993. Effect of different diluents on Shami goat semen. *Small Rum. Res.*, 9, 347-352.
- [9] El-Hag, M. G., Azam, A. H. and Al-Habsi, R. S., 1995. Comparative performance of Damascus goats and Chios ewes in Oman, *Asian- Aust. J. Anim. Sci.*, &, 419-425.
- [10] Adnan, S., Jaindeen, M. R., Alimon, A. R. and Sharifuddin, W., 1991 Ovarian function and growth performance of indigenous goats in Malaysia, In: *Isotope Aided studies on Goat and Sheep Production in the Tropics. Proc. Final Research Co-ordinated Meeting, Perth, Australia*, pp. 143-156.
- [11] Lopez-Sebastian, A., Palacio, M. and Gomez, A., 1991. Techniques for the improvement of fertility for prolificacy of anoestrous ewes in Spain. In: *Isotope Aided studies on Goat and Sheep Production in the Tropics. Proc. Final Research Co-ordinated Meeting, Perth, Australia*, pp. 157-163.

- [12] Kadzere, C. T, Llewelyn, A. A. and Chivandi, E, 1996. Plasma progesterone, calcium, magnesium and zinc concentrations from oestrous synchronization to weaning in indigenous goats in Zimbabwe. *Small Rum. Res.*, 24, 21-26.
- [13] Engeland, I. V., Ropstad, E, Andersen, O. and Eik, L. O., 1997. Pregnancy diagnosis in dairy goats using progesterone assay kits and oestrous observation. *Anim. Reprod. Sci.*, 47, 137-243.
- [14] Kornalijnslijper, J, E., Kemp, B., Bevers, M. M., vanOord, H. A. and Taverne, M. A. M., 1997. Plasma prolactin, growth hormone and progesterone concentrations in pseudopregnant, hysterectomized and pregnant goats. *Anim. Reprod. Sci.*, 49, 169-178.
- [15] Al-Merestani, M. R., Zarkawi, M., Wardeh, M. F. 1999: Early breeding and pregnancy diagnosis in Syrian Awassi sheep yearlings. *Reprod Domestic Anim.*, 34, 413-416.
- [16] DeCastro, T., Rubianes, E., Menchca, A. and Rivero, A., 1999. Ovarian dynamics, serum estradiol and progesterone concentrations during the interovulatory intervals in goats. *Theriogenology*. 52, 399-411.
- [17] Darwash, A. O., Ward, G. L., Lamming, G. E. and Wolliams, J. A., 1999. The effect of raising post-oestrus progesterone concentrations on luteal activity in postpartum dairy cows. *Anim. Sci.*, 68, 527-532.
- [18] Oyedipe, E.O., Patheraja, N. Gyang, E.O., Bawa, E.K. and Eduvie, L.O., 1991. Control of oestrous and ovulation rates in Yankasa ewes. In: *Isotope Aided studies on Goat and Sheep Production in the Tropics*. Proc. Final Research Co-ordinated Meeting, Perth, Australia, pp. 125-142.
- [19] Mantri, A, Sardeshpande, P.D. and Mantri, M.B., 1985. Levels of serum progesterone and oestradiol-17B during the oestrous cycle in mares, *J. Anim. Sci.*, 55, 524 - 526.
- [20] Hodges, J. K., 1998. Endocrinology of the ovarian cycle and pregnancy in the Asian (*Elephas maximus*) and African (*Loxodonta africana*) elephant. *Anim. Reprod. Sci.*, 53, 3-18.
- [21] Blatchley, F. R., Donovan, B. T. and TerHaar, M. B., 1976. Plasma progesterone and gonadotrophin levels during the estrous cycle of the guinea pig. *Bio. Reprod.*, 15, 29-38.
- [22] Dupon, C. and Kim, M. H., 1973. Peripheral plasma levels of testosterone, androstenedione, and oestradiol during the rat oestrous cycle. *J. Endocr.*, 59, 653-654.
- [23] Shodono, M., Nakamura, T., Tanabe, Y., Wakabayashi, K. 1975: Simultaneous determinations of oestradiol-17B, progesterone and luteinizing hormone in the plasma during the ovulatory cycle of the hen. *Acta Endocrinologica* 78. 565-573.
- [24] DeBulnes, A. G., Moreno, J. S., GomezBrunet, A., Inskip, E. K., Townsend, E. C. and LopezSebastian, A., 1999. Follicular dynamics during the oestrous cycle in dairy goats. *Anim. Sci.*, 68, 547-554.
- [25] Bono, G., Cairoli, F., Tamanini, C. and Abrate, L., 1983. Progesterone, estrogen, LH and PRL concentrations in plasma during the oestrous cycle in goat. *Reprod. Nutr. Develop.*, 23, 217-222.
- [26] Pathiraja, N., Oyedipe, E.O., Gyang, E. O. and Obasi, A., 1991. Plasma progesterone levels during oestrous cycle and their relationship with the ovulation rate in Red Sokoto (Maradi) goats. *Br. Vet. J.*, 147, 57-62.
- [27] Bauernfeind, M. and Holz, W., 1991. Progesterone and estrogen levels in serum of cyclic goats measured by enzyme immunoassay. *Small Rum. Res.*, 6, 95-102.
- [28] Kumbhakar, J. and Prasad, S. P., 1998. Variation in reproductive behaviour in Black Bengal does. *Ind. J. Anim. Sci.*, 68, 1239-1241.
- [29] Van de Wiel, D. F. M., Koops, W, Vos, E., Shah, S. N., Barrios, V., Vendrig, A. A. A. and Van Adrichem Boogaert, D.H., 1991. Use of enzymeimmunoassay (EIA) to measure progesterone and oestrone sulphate in milk and/or plasma for monitoring of fertility in goats. In: *Isotope Aided studies on Goat and Sheep Production in the Tropics*. Proc. Final Research Co-ordinated Meeting, Perth, Australia, pp. 107-123.
- [30] Zarkawi M., 1997. Monitoring the Reproductive Performance in Awassi Ewes using Progesterone Radioimmunoassay. *Small Rum. Res.* 26, 291-294,
- [31] Zarkawi M., Al-Merestani, M. R. and Wardeh, M. F, 1999. Induction of synchronized oestrous in indigenous Damascus goats outside the breeding season. *Small Rum. Res.*, 33, 193-197.
- [32] Santa-Maria, A., Cox, J., Munoz, E., Rodriguez, R. and Caldera, L., 1990. Study of sexual cycle, reproductive seasonality and control of oestrus in Criollo goats in Chile. In: *Livestock in Latin America*. Proc. Final Res. Co-ordination Meeting. IAEA. pp. 363-385.
- [33] Herriman, I. D., Harwood, D., Mallinson, C. B., and Heitzman, R. J, 1979. Plasma concentrations of ovarian hormones during the oestrous cycle of the sheep and cow. *J. Endocr.*, 81, 61-64.
- [34] Reklewska, B., Tyszka, Z. and Niznikowski, R., 1988. Plasma progesterone concentration during oestrous cycle and pregnancy in Finnsheep and other prolific sheep breeds. *J. Agric. Finland*, 60, 554-556. ■

الثقافة العلمية



دراسة تأثير الحقل الكهربائي على معدلات الأسر للعيوب العميقة في عيّنات من فُسفيد الأنديموم من النوع P

د. رامي درويش، د. محمد خير صبرة*
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

الهدف من البحث هو دراسة تأثير الحقل الكهربائي على معدلات الأسر لحاملات الشحنة في العيوب العميقة. من أجل ذلك قمنا في هذا العمل بدراسة تأثير الحقل الكهربائي على المقطع العرضي للأسر لعينين محدثين بالتشعيع بالإلكترونات في عيّنات من فُسفيد الأنديموم العالية الإشابة واللذين يدعيان H5 و H4F. يتميز العيب الأول بأنه سريع جداً (زمن أسره لحوامل الشحنة الحرة قصير جداً، من مرتبة الميكرو ثانية)، أما العيب الثاني فهو بطيء (زمن الأسر طويل، من مرتبة الميلي ثانية). ولقد أظهرت النتائج التجريبية أن زيادة الحقل الكهربائي المطبق من 8.0×10^6 V/m إلى 2.4×10^7 V/m تؤدي إلى زيادة المقطع العرضي للأسر بمقدار 3 إلى 4 مرّات بالنسبة للعيوب H4F و 4 إلى 5 مرّات بالنسبة للعيوب H5. لتفسير هذه الزيادة وضعنا نموذجاً نظرياً يصف تأثير الحقل الكهربائي على المقاطع العرضية للأسر في العيوب العميقة. يعتمد هذا النموذج على عملية الأسر بمفعول الشلالات ومفعول الإصدار المتعدد الفونونات. ولمعالجة هذين المفعولين بوجود الحقل الكهربائي اعتمدنا التقريبات الفيزيائية النصف - تقليدية.

الكلمات المفتاحية: سويا عميقة، المصائد، حقل كهربائي، معدلات الأسر، فُسفيد الأنديموم، مطيافية المصائد العميقة.

مقدمة

الحقل الكهربائي. يتضمن هذا العمل نتائج تجريبية للمقطع العرضي للأسر للعيوب H5 و H4F تحت تأثير الحقل الكهربائي (عيّنات عالية الإشابة) تمّ الحصول عليها باستخدام المطيافية الانتقالية للمصائد العميقة Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) وأيضاً النموذج النظري المقترح لتفسير هذه النتائج.

النتائج والمناقشة

بيّنت دراستنا التي أُجريت على العيبن H5 و H4F في عيّنات فُسفيد الأنديموم المشوب بالزنك ($1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) أن المقطع العرضي للأسر لكلا العيبن يزداد مع ازدياد الحقل. لكن مقدار هذه الزيادة للعيوب H4F أكبر من الزيادة بالنسبة للعيوب H5، وكذلك يوجد اختلاف في السلوك العام للمقطع العرضي بدلالة درجة الحرارة. وصفت هذه النتائج بنموذج نظري مبني على آليتي الأسر المتعدد الفونونات والشلال، حيث تمكنا بموجبه من إيجاد علاقة تصف المقطع العرضي للأسر للعيوب العميقة بدلالة الحقل الكهربائي.

وجدنا اعتماداً على هذا النموذج أن المقطع العرضي للعيوب H4F يكون نتيجة لأسر بالية الشلال، متبوعاً بأسر بالية الإصدار المتعدد الفونونات، أما في حالة العيب H5 فإنه يوصف بالية الإصدار المتعدد الفونونات فقط ناتجاً من انتقال مباشر. يتوافق السلوك العام لحاجز الأسر المحسوب مع القيم التجريبية، وتعود الاختلافات إلى تثبيت عدد الفونونات عند زيادة الحقل الكهربائي. يمكن أخيراً، تخمين شحنة العيب من سلوك مصفوفة الانتقال بوجود الحقل الكهربائي، حيث وجدنا أنها تزداد مع الحقل في حال الكمون التجاذبي وتتناقص مع الحقل في حال الكمون التنافري. ■

من المعروف أن وجود الحقل الكهربائي في المنطقة الحالية من الشحنة الحرة من وصلة أومية أو شوتكي مرده إلى وجود فرق كمون بين منطقتي الوصلة (والذي يحدد شدته تركيز الشوائب في الوصلة) وكذلك إلى الكمون العكسي المطبق. لقد دلّت عدة دراسات سابقة على أن الحقل الكهربائي الموجود في المنطقة الحالية من الشحنة الحرة يزيد من معدلات إصدار العيوب لحاملات الشحنة. ولقد تبين أن مقدار هذه الزيادة يعتمد على شدة الحقل الكهربائي المطبق من جهة، وعلى العيب نفسه وآلية حدوث الإصدار من جهة أخرى، حيث تمّ شرح هذه الزيادة بثلاث آليات يتم اختيارها حسب شدة الحقل وهي (من الأدنى إلى الأعلى): مفعول فرنكل - بول Frenkel - Pool effect، والمفعول النفقي المحثوث بالفونونات Phonon-Assisted tunneling effect، والمفعول النفقي (قيم كبيرة للحقل $10^8 \text{ V/m} <$). هذا بالنسبة لتأثير الحقل الكهربائي على معدلات الإصدار، أما بالنسبة لمعدّلات الأسر فالموضوع أكثر تعقيداً، لأن عملية الأسر تعتمد على شحنة العيب وحالة حامل الشحنة، بالإضافة إلى الصعوبات النظرية المترتبة على ذلك في حل المسألة بوجود الحقل. ولاتوفر نتائج تجريبية (قبل هذا العمل) توضح تأثير معدّلات الأسر بالحقل الكهربائي إلا من أجل العيوب السطحية Shallow Defects. ففي حالة العيوب السطحية، وجد أن تأثير الحقل الكهربائي يعتمد على شحنة العيب حيث يزيد معدّل الأسر للعيوب التنافري (العيب وحامل الشحنة متماثلان في الشحنة) وينقصه عندما يكون العيب تجاذبياً.

أول دلالة على وجود تأثير للحقل الكهربائي على معدّلات الأسر للعيوب H4F أُشير إليها مؤخراً، حيث وجد أن زمن الأسر يزداد مع زيادة

* تقرير مختصر عن بحث علمي أُجرى في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

دراسة حاسوبية لمعقدات اليورانيوم في أوساط حمض الفسفور*

د. جمال سطاس ، د. محمد غفر

قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تمكنا من خلال هذا العمل الحاسوبي البحث من إيجاد العلاقات التي تربط النسب المئوية لجميع الأصناف الفسفورية في الأوساط المائية لحمض الفسفور بالتركيز البدئي والتوازني لهذا الحمض الثلاثي الوظيفة الحمضية، آخذين بعين الاعتبار تأثير القوى الأيونية على هذه المنظومة من خلال ربطها بقيم ثوابت التآين (لحمض الفسفور ولثاني حده). وبإدخال اليورانيوم (VI) في المنظومة السابقة، استطعنا تمثيل معقدات اليورانيوم الفسفورية في الفضاء الثلاثي الأبعاد [تركيز بدئي (أو توازني) - درجة الحموضة - النسب المئوية لمعقدات اليورانيوم الفسفورية]، وتبين لنا، على العكس من دراسة معطيات المنظومة بغياب اليورانيوم (VI)، أن الصنف الفسفوري المؤهل للارتباط باليورانيوم (VI) هو HPO_4^{2-} ، مع التويه إلى ارتباط اليورانيوم بالصنفين H_2PO_4^- و H_3PO_4 . وبناءً عليه، فإن معقد اليورانيوم الفسفوري المسيطر هو $\text{UO}_2(\text{HPO}_4)_2^{2-}$ ، مع ملاحظة أنه بزيادة تركيز الحمض وبالانتقال إلى الأوساط الأشد حموضة فإن المعقدات $\text{UO}_2(\text{H}_2\text{PO}_4)_3^{2-}$ و $\text{UO}_2(\text{H}_3\text{PO}_4)_3^{2+}$ تبدأ تدريجياً بالتمو.

الكلمات المفتاحية: دراسة حاسوبية، معقدات اليورانيوم، أوساط حمض الفسفور.

مقدمة

يعد فهم ترموديناميك وحركية المنظومات الفسفورية أمراً مهماً للغاية وذلك من أجل استقرار وتوقع التفاعلات التي تتحكم بالمنظومة: فسفات - يورانيوم. كما أن المحاليل الفسفورية لعناصر الأكتينيدات (مثل اليورانيوم والثوريوم) تستدعي اهتماماً خاصاً، وذلك لأن معرفتنا مازالت محدودة عندما يتعلق الأمر بمرتبته وشحنة وتركيب المعقدات الفسفورية للأكتينيدات والتي يمكن أن توجد بتابعة تركيز الفسفات ودرجة الحموضة أو الـ pH وكذلك بتابعة تركيز العنصر الأكتينيدي.

تشير الدراسات البيلوغرافية إلى صعوبة وتعقيد الكيمياء الفيزيائية للأوساط الفسفورية، حيث تتدخل تفاعلات تفكك وبلعمة حمض الفسفور حتى عند تراكيز منخفضة منه، وقد تم في هذا البحث الأخذ بعين الاعتبار لتفاعل واحد من البلعمة وهو تفاعل الديمرة التالي:

K_{20}

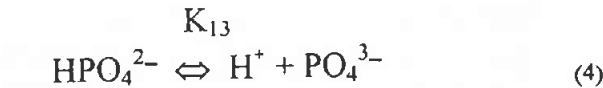


بالإضافة إلى تفاعلات التفكك التالية وذلك عند عدة قوى أيونية مختلفة:

K_{11}



K_{12}



K_{21}

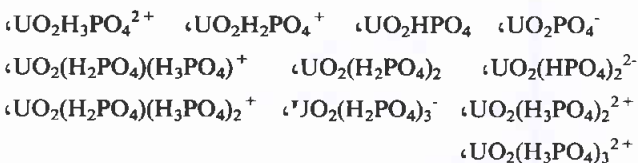


K_{22}



إن الانتقال إلى المنظومة فسفات - يورانيوم يزيد المسألة تعقيداً، فبالإضافة إلى التوازنات السابقة، يجب الأخذ بعين الاعتبار ما يشكله اليورانيوم من مكونات ومعقدات أثناء وجوده في حمض الفسفور.

يهدف هذا البحث إلى إيجاد العلاقات الرياضية التي تسمح بحساب تركيز كل صنف من أصناف حمض الفسفور وكذلك تركيز معقدات اليورانيوم في هذا الوسط كتابع للـ pH والتركيز التوازني والبدئي لحمض الفسفور من أجل قوى أيونية محدّدة آخذين بعين الاعتبار وجود المعقدات التالية لليورانيوم في حمض الفسفور وهي:



* تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

تمكننا العلاقة السابقة من حساب تركيز UO_2^{2+} وذلك عند تركيز ثابت من حمض الفسفور، حيث يكون عندها $[H^+]$ ، و $[H_3PO_4]$ ثابتين ومعروفين وبالتالي يمكن حساب تركيز الأصناف الأخرى من اليورانيوم بتعويض قيم $[H^+]$ ، و $[H_3PO_4]$ ، و $[UO_2^{2+}]$ في ثوابت توازن تفاعلات تشكلها، بالإضافة إلى النسبة المئوية لكل صنف من أصناف اليورانيوم وذلك بتقسيم تركيز كل صنف على تركيز اليورانيوم الكلي.

نستنتج من التمثيل البياني للنسبة المئوية لكل صنف من أصناف حمض الفسفور واليورانيوم كتابع لكل من تركيز حمض الفسفور البدئي والتوازني وكذلك لـ pH ما يلي:

- اليورانيوم يلعب دوراً مؤثراً على طبيعة الأصناف الفسفافية فقط عند تراكيز منخفضة من حمض الفسفور، أي في المجال المتجه نسبياً باتجاه الأوساط المعتدلة (قيم أعلى من الـ pH). وعند العمل في أوساط شديدة الحموضة فإن قيم التركيز البدئي لحمض الفسفور تقترب تماماً من قيم التركيز التوازني لهذا الحمض.

الشكل العام لتغيرات النسب المئوية للأصناف الفسفافية، سواء بتأبيعية التركيز التوازني أو البدئي لحمض الفسفور وعند قوة أيونية معدومة وبغياب اليورانيوم، هو نفسه.

- يلاحظ في الفضاء الثلاثي الأبعاد: النسب المئوية للأصناف الفسفافية - التركيز البدئي لحمض الفسفور - درجة الحموضة. وعند تراكيز منخفضة من حمض الفسفور ($\leq 10^{-3}M$) فإن الصنف الفسفاتي الأساسي والذي يشكل أكثر من 90% هو الأيون $H_2PO_4^-$ ولكن مع ملاحظة نمو صنف فسفاتي آخر هو H_3PO_4 باتجاه أن الأيون $H_2PO_4^-$ يتلاشى عند التراكيز العالية ($0.1M \leq CH_3PO_4 \leq 10M$) ويصبح الصنف H_3PO_4 هو المسيطر والأكثر احتمالاً للارتباط باليورانيوم، مع ملاحظة أنه عند تراكيز أعلى من حمض الفسفور ($\geq 1M$)، فإن الصنف الديميري $H_6P_2O_8$ يبدأ بالنمو ليشكل فيما بعد نسبة مئوية تصل إلى 50%.

- يميل اليورانيوم (VI) إلى الارتباط بالصنف HPO_4^{2-} عند التراكيز المعتدلة والمنخفضة، حيث يكون الصنف $UO_2(HPO_4)_2^{2-}$ هو الصنف المسيطر مع ملاحظة أنه بزيادة تركيز الحمض وبالتنقل إلى الأوساط الأكثر حموضة فإن الأصناف $UO_2(H_2PO_4)_3^-$ و $UO_2(H_2PO_4)(H_3PO_4)_2^+$ و $UO_2(H_3PO_4)_3^{2+}$ تبدأ بالنمو تدريجياً. ■

وبالتالي رسم منحنيات بيانية تمثل تغير النسبة المئوية لكل صنف من الأصناف الموجودة في حمض الفسفور وكذلك معقدات اليورانيوم كتابع لـ pH والتركيز التوازني والبدئي لحمض الفسفور.

النتائج والمناقشة

وسط حمض فسفور خالي من اليورانيوم

اعتماداً على قانون انحفاظ الكتلة للمجموعة الفسفافية وأيونات الهيدروجين توصلنا إلى العلاقة التالية:

$$+ \{K_{21} \cdot K_{20} [H^+]^2 + 2 \cdot K_{22} \cdot K_{21} \cdot K_{20} [H^+]\} \\ + [H_3PO_4]^2 + \{K_{11} [H^+]^2 + 2K_{12} \cdot K_{11} [H^+]\} \\ + 3K_{13} \cdot K_{12} \cdot K_{11} [H_3PO_4] - [H^+]^4 = 0 \quad (7)$$

حيث أنه وعند تركيز ثابت من أيونات الهيدروجين (أي عند درجة حموضة ثابتة) يمكننا اعتبار هذه المعادلة معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة لـ $[H_3PO_4]$. وبحل هذه المعادلة البسيطة يمكننا حساب تركيز حمض الفسفور التوازني وذلك من أجل قيم لـ K_{ij} توافق قيماً محددة للقوة الأيونية، وبالتالي يمكننا حساب تركيز حمض الفسفور البدئي من قانون انحفاظ كتلة الفسفات.

وسط حمض فسفور حاو على اليورانيوم

عند إدخال اليورانيوم (VI) إلى وسط حمض الفسفور، يجب الأخذ بعين الاعتبار جميع التوازنات الحاصلة من تأين حمض الفسفور وبلمرته بالإضافة إلى التوازنات التي تمثل تعقيد أيونات اليورانيل UO_2^{2+} بهذا الوسط، حيث يمكننا كتابة المعادلة التالية والتي تربط تركيز اليورانيوم الكلي بـ $[H^+]$ و $[H_3PO_4]$ من قانون انحفاظ الكتلة لليورانيوم:

$$[U]_{tot} = [UO_2^{2+}] \\ + \{1 + K_{U1} \cdot K_{13} \cdot K_{12} \cdot K_{11} [H_3PO_4] / [H^+]^3 + \\ K_{U2} \cdot K_{12} \cdot K_{11} [H_3PO_4] / [H^+]^2 + K_{U3} \cdot [H_3PO_4] / [H^+] + \\ K_{U4} \cdot [H_3PO_4] + K_{U5} \cdot [H_3PO_4]^2 / [H^+]^4 + \\ K_{U6} \cdot [H_3PO_4]^2 / [H^+]^2 + K_{U7} \cdot [H_3PO_4]^2 / [H^+] + \\ K_{U8} \cdot [H_3PO_4]^2 + K_{U9} \cdot [H_3PO_4]^3 / [H^+]^3 + \\ K_{U10} \cdot [H_3PO_4]^3 / [H^+] + K_{U11} \cdot [H_3PO_4]^3\} \quad (8)$$

دراسة بعض الطحالب البحرية المنتشرة على الشاطئ السوري كيميائياً وإشعاعياً*

د. محمد سعيد المصري، سامر ماميش، يوسف بدر
قسم الرقابة والأمان - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرت في العمل الحالي دراسة ثلاثة أصناف من الطحالب البحرية المنتشرة على الشاطئ السوري كيميائياً وإشعاعياً. بيّنت النتائج أن الطحالب الحمراء ذات محتوى مرتفع من الكالسيوم والمغنيزيوم في حين احتوت الطحالب السمرء على تراكيز مرتفعة نسبياً من العناصر المعدنية الأساسية الأخرى والعناصر اللا معدنية (الكالسيوم واليود والبروم). وبالإضافة إلى ذلك، كانت تراكيز السيزيوم 137 في العيّنات المحلّلة كافة منخفضة في حين كانت تراكيز النكليدات المشعة الطبيعية كالرصاص 210 والبولونيوم 210 ونظائر الراديوم في الطحالب الحمراء مرتفعة، مما يدل على انتقائيتها لهذه النظائر. ومن جهة أخرى، أظهرت الطحالب السمرء ولاسيما الطحلب *Cystoseira*، انتقائية واضحة لعدد من عناصر الأثر كالزرنخ والكروم والكاديوم والنحاس والكوبالت، مما قد يشجع على استخدامها كمسحور بيولوجي للتلوث بعناصر الأثر.

الكلمات المفتاحية: النكليدات المشعة الطبيعية، عناصر الأثر، الطحالب، الشواطئ السورية.

النتائج والمناقشة

بيّنت نتائج تحليل الطحالب بتقانة التنشيط التثروني لتحديد العناصر المعدنية واللامعدنية. ويلاحظ ارتفاع تراكيز المعادن في أنواع الطحالب كافة التي جمعناها، حتى أن متوسط تركيز الكالسيوم وصل إلى 282.9 غ/كغ في الطحالب الحمراء وأن أعلى متوسطات تراكيز المغنيزيوم (38.4 غ/كغ) وجدت في هذه الطحالب نفسها، أما الطحالب السمرء فتحتوي على أعلى التراكيز من المغنيز (240 ملغ/كغ) والحديد (8404 ملغ/كغ) واليوتاسيوم (43.5 غ/كغ) واليود (31 غ/كغ)، مما يدل على أن الطحالب السمرء أكثر الأنواع تركيزاً للعناصر المعدنية من بين الطحالب المدروسة رغم انخفاض محتواها من الكالسيوم والمغنيزيوم والتي تُعدّ مرتفعة بالمقارنة مع الطحالب الأخرى.

وفيما يخص تراكيز العناصر اللا معدنية، يلاحظ أن الطحالب السمرء أكثر الأنواع تركيزاً لهذه العناصر، حيث وصل متوسط تركيز الكلور واليود والبروم إلى 69131 ملغ/كغ و 522 ملغ/كغ و 453 ملغ/كغ على الترتيب، ولهذا تُعدّ هذه الطحالب أكثر الأنواع فائدة من الناحية الدوائية. وتُعدّ القيم المسجّلة في الدراسة الحالية أقلّ كثيراً من تلك المذكورة في دراسات أخرى، حيث وصل تركيز اليود مثلاً في الطحالب السمرء إلى 5939 ملغ/كغ وتركيز البروم إلى 27900 ملغ/كغ. أما فيما يخص محتوى الطحالب المدروسة من النظائر المشعة، فلوحظ أن تركيز السيزيوم 137 في العيّنات كلها منخفض وأقل من حدّ الكشف في معظمها، مما يدل على انخفاض التلوث الإشعاعي، وهذا يناقض القيم التي تمّ الحصول عليها في دراسة سابقة، حيث وصل تركيز السيزيوم 137 إلى 7.17 بكريل/كغ في

مقدمة

نظراً للأهمية الاقتصادية والسياحية للشواطئ السورية، جرى تحديد بعض النكليدات المشعة الصناعية في عيّنات بحرية (مياه بحر، أحياء، رسوبيات) تمّ جمعها من مواقع عديدة موزّعة على طول الشاطئ السوري خلال عامي 1992 و 1993، وذلك بهدف تحديد مصادرها. أظهرت النتائج أن تراكيز النظائر المشعة الصناعية في معظم العيّنات كانت ضمن المجال نفسه في منطقة المتوسط، في حين كانت التراكيز مرتفعة نسبياً في بعض للمعضيات البحرية، فقد لوحظت تراكيز مرتفعة من السيزيوم 137 في طحلب *Ulva Lacyaca* وبلغت تراكيز البولونيوم 210 قيمة عظمى قدرها 30 بكريل/كغ في طحلب *Enteromorpha Linza*. وتُعدّ الطحالب البحرية ذات أهمية كبيرة ولاسيما للتطبيقات الزراعية والصيدلانية والصناعية وغيرها، مما دعا الكثيرين لإجراء الدراسات بهدف تعيين محتواها من النكليدات المشعة وعناصر الأثر والعناصر الأساسية. ولهذا هدفت الدراسة الحالية إلى تعيين النكليدات المشعة الطبيعية والصناعية وعناصر الأثر في أهم الطحالب المنتشرة على الشاطئ السوري للتحري عن الأنواع التي يمكن استخدامها كمسحور بيولوجي للتلوث.

جمعت عيّنات الطحالب على ثلاث مراحل، أُنجزت الأولى في تشرين الأول عام 1998، في حين أُنجزت الثانية والثالثة في أيار وحزيران عام 1999 على التوالي، من المناطق التالية: رأس شمرة، أم الطيور، اللاذقية، طرطوس، بانياس، رأس ابن هانيء.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الرقابة والأمان - هيئة الطاقة الذرية السورية.

ولهذا تُعدّ الطحالب الحمراء من الطحالب الانتقائية لنظائر الراديوم والرصاص 210 والبولونيوم 210.

وأوضحت الدراسة الحالية أن الطحالب السمراء قد احتوت على أعلى التراكيز من الزرنيخ والكاديوم والكوبالت والكروم في حين أن تراكيزها في الصنفين الآخرين (الخضراء والحمراء) كانت متقاربة نسبياً، ولهذا يمكن القول إنه يمكن استخدام الطحالب السمراء كمشعرات للتلوث بعناصر الأثر. ■

عيتات الطحلب الأخضر *Ulra Lacynca* التي جمعت بعد حادثة تشيرنوبل.

أما النظائر المشعة الطبيعية فكانت تراكيزها متفاوتة بين صنف وآخر، ولوحظ أن متوسطات تراكيز الرصاص 210 والبولونيوم 210 وكذلك نظائر الراديوم كانت مرتفعة في الطحالب الحمراء حيث وصلت إلى 4.93 و 4.10 بكريل/كغ لكل من الراديوم 226 والراديوم 224 على الترتيب.

محاكاة توهين أشعة X باستخدام الكود MCNP وحساب المكافئ الرصاصي لبلوك البناء السوري*

د. حازم سومان، د. محمد حسان خريطة

مكتب التنظيم النووي - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تجربة حاسوبية باستخدام الكود MCNP لمحاكاة توهين أشعة X التشخيصية وحساب المكافئ الرصاصي لبلوك البناء المستخدم في سورية. جرى تقدير الارتياح الإحصائي والارتياح المنهجي في هذه التجربة الحاسوبية؛ وتوخيت عمومية النتائج بمراعاة تنوع مولدات أشعة X وتباين بلوك البناء.

تمّ تحديد منحى نفوذية أشعة X المولدة بجهد تسريع ثابت قدره 100 كيلوفولط في الرصاص، ومن ثمّ حُسبت النفوذية في بلوك البناء ذي الشخانة 10 سم و 20 سم على التوالي وقُدّر المكافئ الرصاصي لها. وبالمقارنة مع ما هو منشور في الأدبيات العالمية ومع نتائج تجارب عملية - وكلّها تمثل حالات بعينها - تبين أن المجال المحدد في هذه الدراسة يشمل نتائج الأعمال الأخرى مما يؤكد عمومية نتائج هذه الدراسة. توصي هذه الدراسة باعتماد القيم 0.5م و 0.75م و 1.0م كمكافئ رصاصي لبلوك البناء ذي الشخانة 10سم و 15سم و 20سم على التوالي.

الكلمات المفتاحية: التدرّيع، أشعة X، المكافئ الرصاصي، MCNP.

مقدمة

تمّ توليد أطراف أشعة X باستخدام برمجية "xcomp" [2]. تقوم هذه البرمجية بتوليد أطراف أشعة X الناتجة من كبح إلكترونات مسرّعة بجهد تسريع ثابت في دريقة من التنفستين، وتتيح تغيير كل من جهد التسريع، وزاوية ميل الدريقة، ومرشح الفوتونات اللينة (سواء مادته وشخانتته).

يقوم MCNP بحساب التوزع الطاقوي للفوتونات الواردة إلى الكاشف ومن ثمّ يمكن حساب الجرعة D عند سطح الكاشف بجاء التوزع الطاقوي بمعاملات التحويل إلى جرعة [1].

اعتمد المقدار التالي:

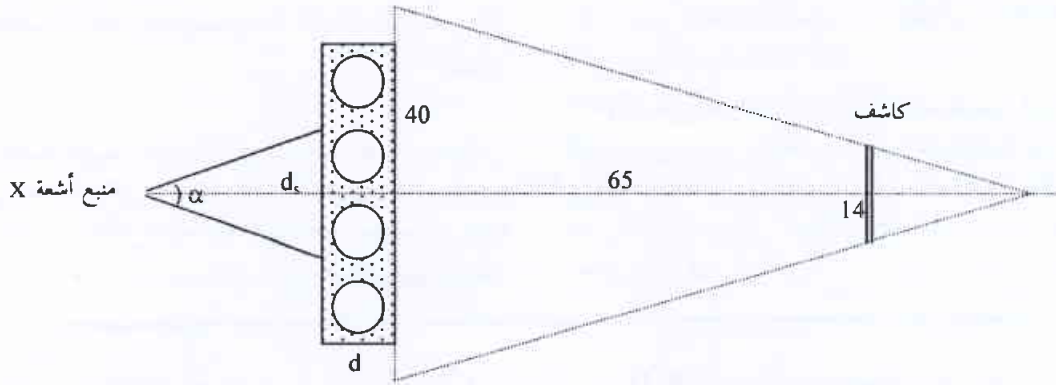
$$T = \frac{D}{D_0}$$

مقياساً لنفوذية أشعة X، حيث يرمز D إلى الجرعة المحسوبة عند سطح الكاشف بوجود الحاجز، ويومز D₀ إلى الجرعة دون وجود الحاجز.

تتضمن هذه الدراسة تجربة حاسوبية يُحاكي من خلالها توهين أشعة X المستخدمة عادةً في التشخيص الطبي في مادة الرصاص وفي بلوك البناء الشائع استخدامه في سورية باستخدام الكود MCNP الذي يستند إلى طريقة مونتّي كارلو [1]. ونتيجة هذه التجربة تُحسب قيمة المكافئ الرصاصي للبلوك بغية مراعاة التدرّيع الناجم عن استخدامه في إنشاء غرف الأشعة التشخيصية ضمن التدرّيع الكلي اللازم.

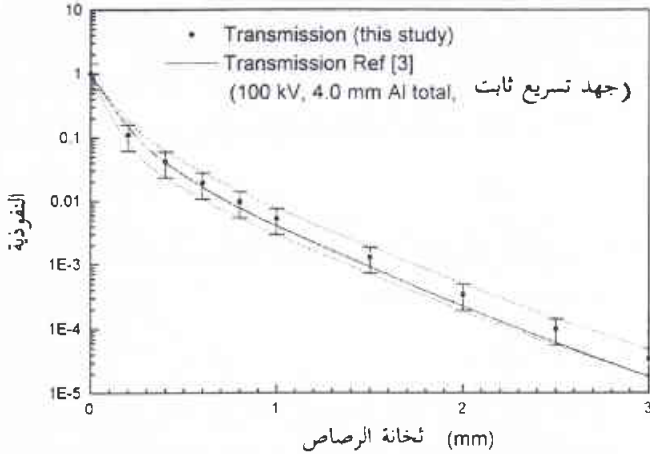
يبين الشكل 1 التصميم المعتمد في التجربة الحاسوبية. الحاجز المستخدم متوازي مستطيلات أبعاده 40x20xd سم، حيث ترمز d إلى شخانة الحاجز في اتجاه محور حزمة الأشعة. يقع الكاشف على مسافة 65 سم وراء الحاجز، وهو عبارة عن سطح مستوي بشكل دائرة قطرها 14سم. يعيد منبع أشعة X مسافة d₀ عن الحاجز ويصدر حزمة مخروطية من أشعة X زاوية انفرانجها α.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أجريت في مكتب التنظيم النووي - هيئة الطاقة الذرية السورية.



الشكل 1- مخطط التجربة الحاسوبية. الحاجز الموجود على المخطط هو بلوكة بناء ثخانتها 10 سم.

قُدِّر الارتياح الكلي في نفوذ أشعة X في الرصاص بـ 37%، يعود 26% منها إلى التنوع الموجود في أجهزة الأشعة. يبلغ الارتياح المنهجي الكلي 11% في حين كان الارتياح الإحصائي دون 0.3% ويُعدّ مهملاً. أما الارتياح الكلي الناجم عن تباين البلوك فيُقَدَّر بـ 15%. بحساب توهين أشعة X في بلوك البناء السوري، وتقدير الارتياح المرتبط بذلك، ومقارنة النتائج مع الشكل 2 يمكن حساب المكافئ الرصاصي للبلوك (الجدول 1)، ومنه يمكن استخلاص التوصية باعتماد القيم 0.5 مم و 0.75 مم و 1.0 مم كمكافئ رصاصي للبلوك البناء المستخدم في سورية ذي الشخانة 10 سم و 15 سم و 20 سم على التوالي.



الشكل 2- نفوذ أشعة X في الرصاص مع شريط الارتياح كما جرى تقديره في هذه الدراسة

الجدول 1- المكافئ الرصاصي للبلوك من أجل أشعة X المولدة وفق القيم الافتراضية المذكورة في متن النص. الارتياح الأول هو الارتياح المنهجي في هذه التجربة الحاسوبية، في حين يعود الارتياح الثاني إلى الظروف الواقعية، أي التنوع في أجهزة أشعة X وبلوك البناء. الارتياح في نتائج المرجع هو الانحراف المعياري عند إجراء القياس على 29 عينة من البلوك ذي الشخانة 10 سم، و 37 عينة من البلوك ذي الشخانة 15 سم.

المكافئ الرصاصي (مم)		النفوذية T	نوع البلوك
المرجع [4]	هذه الدراسة		
(0.04±) 0.44	(0.11±) (0.03±) 0.50	0.0284	بلوك 10 سم
(0.04±) 0.71	(0.13±) (0.03±) 0.73	0.0118	بلوك 15 سم
0.93 (دون ارتياح)	(0.14±) (0.04±) 0.99	0.0053	بلوك 20 سم

كما في التجارب المخبرية، تنطوي التجارب الحاسوبية على مصادر عديدة للارتياح. وقد صُنِّفت هذه المصادر في إطار هذه الدراسة ضمن الفئات الثلاث التالية:

- 1- الارتياح الإحصائي الناجم عن حسابات موتني كارلو.
- 2- الارتياح المنهجي الناجم عن أسلوب المحاكاة المتبع وما يدخل فيه من عوامل.
- 3- الارتياح الناجم عن الظروف الواقعية، ونعني بذلك التنوع الكبير الموجود في أجهزة أشعة X وتباين البلوك.

قُدِّر الارتياح على نفوذ أشعة X من مصادره المختلفة كتحليل بطريقة "تحليل الحساسية". يتم ذلك باختيار قيم افتراضية محددة للعوامل المختلفة ذات الأثر على النفوذية، وتثبيت جميع العوامل عند هذه القيم الافتراضية عدا واحداً تغير قيمته في مجال معقول. يُقَدَّر التغير النسبي في النفوذية من العلاقة التالية:

$$\delta = \frac{T - T_0}{T_0}$$

حيث ترمز T_0 إلى النفوذية عند القيمة الافتراضية للمتحول المعني؛ ويعطى الارتياح بمقدار نصف قيمة δ . وقد اعتمدت في هذه الدراسة القيم الافتراضية التالية:

جهد التسريع: 100 كيلوفولت

زاوية ميل الدريئة: 22 درجة

الترشيح الكلي المكافئ: 2.5 مم ألنيوم

حزمة الأشعة: مخروطية من بعد

100 سم تغطي كامل سطح بلوك البناء.

مادة بلوك البناء: خلطة بيتونية مع سيليكات بحيث تكون نسبة الإسمنت 7%.

كثافة البلوك: 1.95 غ/سم³.

النتائج والمناقشة

يضم الشكل 2 منحني توهين أشعة X في الرصاص مع شريط الارتياح.

REFERENCES

المراجع

- [1] J.F. Briçsmeister, ed., "MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code", LANL Report LA-12625-M, 1993.
- [2] R. NOWOTNY, University of Vienna, Austria, private communication.
- [3] "Data on Shielding from Ionizing Radiation", British Standards Institution, BS4094, 1966.
- [4] A. Kawash, et al., "Determination of Lead Equivalent Thickness to Building Blocks Used in Shielding of Diagnostic X-ray Rooms in Syria", AECS-PR\RSS 227, 1998.
- [5] "Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X-rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV", NCRP report No 49, 1976.
- [6] "Dose Reduction Techniques in Medical Radiology", TecDoc 796, IAEA, Vienna, 1996. ■

الاستجابات المناعية في غياب الخمج*

ببول جزائري - د. أحمد عثمان

قسم البيولوجيا الجزيئية - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تعد الاستجابة المناعية التكيفية المكون الرئيس لدفاع الإنسان ضد الخمج، وهي بذلك أساسية من أجل حالة الصحة الطبيعية. إلا أنه في بعض الأحيان تُحرض الاستجابة المناعية التكيفية بمستضدات ليس لها علاقة بعوامل الخمج، مما يؤدي إلى أمراض حادة. وتشابه هذه الاستجابات جوهرياً مع الاستجابات المناعية التكيفية الموجهة ضد العوامل المرضية وتختلف المستضدات فقط. إذ يمكن لهذه الاستجابات أن تتوجه ضد مستضدات نسج الذات مسببة أمراض المناعة الذاتية، وهنا تهاجم خلايا الجهاز المناعي جزيئات الذات كنتيجة لكسر تحمل الخلايا المناعية الذاتية التفاعل لهذه الجزيئات مسببة أذية للعضو المتضمن هذه الجزيئات. وتراوح الإصابات من إصابة عضو معين في أمراض المناعة الذاتية العضوية إلى إصابة جهازية في أمراض المناعة الجهازية. ونذكر من أمراض المناعة الذاتية: داء السكري اعتماداً على الأنسولين، التصلب المتعدد، التهاب المفاصل الروماتيزي، الذئب الحمامي الجهازية، وداء الدراق الجحوظي. ومن أمثلة استهداف عناصر الجهاز المناعي خلايا جسمية: استهداف الخلايا التائية الذاتية التفاعل للخلايا β المنتجة للأنسولين في جزر لانغرهانس البنكرياسية مسببة داء السكري اعتماداً على الأنسولين.

كما يمكن لهذه الاستجابات التكيفية أن تتوجه ضد مستضدات الأعضاء المزدرعة مؤدية إلى رفض الطعوم. أما ما يضبط هذه الاستجابات التكيفية من التوجه ضد مستضدات نسج الذات فهو التحمل المناعي لنسج الذات الذي يُحفظ بواسطة التأثيرات المضبوطة للعديد من الأنماط الخلوية والوسائط المنحلة. فهناك توازن بين التحمل والمناعة، وإن أي خلل في هذا التوازن يمكن أن يبدل الاستعداد للإصابة بمرض مناعي ذاتي وبعض الأحمال كنتيجة للعوامل الوراثية والبيئية.

الكلمات المفتاحية: مستضد، الذات، اللاذات، أمراض المناعة الذاتية، رفض الطعم، التحمل.

مقدمة

نفسه، كما في أمراض المناعة الذاتية حيث يخفق الجهاز المناعي في التعرف على جزء من الذات أو كل الذات، وينتج عن ذلك أذية مدمرة للأعضاء، أو قد تمتد لتصيب عدة أجهزة في الجسم. في هذه الحالات يمكن أن تُحرض الاستجابة المناعية التكيفية إما ضد مستضدات من الجسم نفسه أو أنها تتوجه ضد مستضدات غريبة عن الجسم، كما في حالة ازدياد الطعوم مما يؤدي إلى رفض الطعم المزدرع. تنشأ عملية الرفض هذه عندما يعلم الجسم أن العضو المزدرع لا يعود للذات فيحاول جاهداً

يتناول هذا الموضوع استجابات الجهاز المناعي في غياب الإصابة بعوامل ممرضة. يستطيع جسمنا بفضل عناصر جهازه المناعي التعرف على مركبات نفسه (الذات self) ويعدها غير غريبة عنه، كما يستطيع التعرف على المركبات الغريبة التي تواجهه (اللاذات non-self)، ويرد عليها عندما يوجه عناصره ليحمي نفسه ويتخلص منها. في هذه الحالات اللاحمجية يمكن أن تُحث الاستجابات المناعية التكيفية إما ضد مستضدات من الجسم

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مكثبة أُجريت في قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرية السورية.

5- إن للقتلة الطبيعيين دوراً بما أنها تضبط المناعة التكيفية.

6- إن للخلايا المتغصنة دوراً أيضاً بما أنها تبدأ الاستجابة المناعية الأولية وتسهم في التحمل المحيطي لبروتينات الذات. أما فيما يتعلق بالاستجابات المناعية التكيفية ضد النسيج المزدرعة فتشكل العائق الأساسي في نجاح الأزدراع. إن توافق نمط مستضدات معقد التوافق النسيجي الكبير MHC بين المتلقي والمُعطي يزيد معدّل الأزدراع، إلا أن التوافق التام ممكن فقط عند وجود قرابة بين المعطي والمتلقي. وفي هذه الحالات، لا تزال الاختلافات المورثية في مواضيع أخرى، التي تدعى مستضدات التوافق الصغير، تسرع عملية الرفض. ولهذا لا بد من أخذ العقاقير المثبطة للمناعة؛ أما آليات رفض الطعم فتم في طورين: 1- طور التحسيس، حيث تتكاثر لمفاويات المتلقي المقلدة بالاستجابة ضد المستضدات المغايرة للطعم؛ 2- الطور الفاعل، حيث يحدث الهجوم الفعلي على خلايا الطعم وارتشاحه بالخلايا التائية والبلمعات، ويتضمن اشتراك الاستجابات CTL، DTH، و ADCC ومساهمة جملة المتممة والقتلة الطبيعيين. كما أن لسيتوكينات خلايا Th1 دوراً في جميع الاستجابات الفاعلة ضد الطعم. أما المظاهر السريرية لرفض الطعم: فيختلف زمن رفض الطعم وفقاً لنمط العضو المزدرع والاستجابات المناعية المساهمة وله عدة أنماط:

1- الرفض الفائق الحدة: الذي يحدث نتيجة الوجود المسبق لأضداد نوعية لمستضدات موجودة على الطعم. ويمكن للتميط النسيجي وتنميط زمرة ABO قبل الأزدراع أن يُحدّد الأضداد المخالفة ويمنع هذا الرفض.

2- الرفض الحاد: يحدث خلال 10 أيام بعد الأزدراع والمسؤول عنه التعرف المغاير المباشر.

3- الرفض المزمن: مدته من أشهر إلى سنوات بعد الرفض الحاد وسببه التفاعلية المغايرة والأذية الناجمة عن الإقفار الوعائي وإعادة التروية عند الأزدراع ولاحقاً بتطور عوامل معاكسة كالسمية الخلوية الناجمة عن المثبطات المناعية أو الإصابة بفيروس العرطلة الخلوية.

إن ما يضبط تلك الاستجابات المناعية التكيفية هو التحمل المناعي، ويُعدّ الجزء الهام منه تحمل مستضدات الذات الذي يحدث بعدة آليات ويتم في مرحلتين، التحمل المركزي والتحمل المحيطي، وإذا ما كسر هذا التحمل بعدة عوامل داخلية أو خارجية سيؤدي ذلك إلى تعرّف خلايا الجهاز المناعي على مستضدات الذات على أنها غريبة فيقوم بمهاجمة النسيج أو العضو مما يؤدي إلى حدوث أمراض المناعة الذاتية. وبالنتيجة، إن حالة تحمل عناصر جهازنا المناعي لمستضدات جسمنا إنما هي حالة من التوازن في التأثير ما بين خلايا الجهاز المناعي وخلايا الجسم التي تضبطها الوسائط المناعية (السيتوكينات). أما فيما يتعلق بتحمل مستضدات غريبة عن الجسم من أعضاء مزدرعة فقد أجري العديد من الأبحاث التجريبية لتحديد مستوى التحمل للعديد من المستضدات، وتبيّن أن عوامل عديدة تُحدّد إما حصول استجابة مناعية ضد هذه المستضدات أو حصول تحمل لها. فمن العوامل المؤثرة على حصول استجابة ضد مستضد: شكل الطعم، جرعة المستضد، عمر الحيوان (أو الفرد) والحالة التمازيرية للخلايا. ■

التخلص منه. يجري ازدراع العديد من الأنسجة والأعضاء في الجسم كالجلد والقرنية والكلية ونقي العظم وغيرها. ويُعدّ ذلك أحد الآمال العريضة والمهمة في الطب، وهو أمر حيوياً جداً لمعالجة حالات مرضية لا تعالج إلا بازدراع أعضاء ولاسيما عند التفكير بازدراع أنسجة سليمة بدلاً من أنسجة ورمية أو حتى زرع جنين تمّ الحصول عليه في الزجاج. ويُعدّ التحدي الكبير أمام هذا الإجراء هو التغلب على مشكلة رفض العضو المزدرع. أما ما يقف أمام حدوث الاستجابات التكيفية في الأحوال الطبيعية ضد مستضدات الذات فهو التحمل الذي يُعرّف بأنه عدم التفاعل النوعي ضد مستضد ناتج عن تعرض مسبق له. ورغم أن الشكل الأهم للتحمل هو عدم التفاعل ضد مستضدات الذات، إلا أنه بالإمكان تحريض التحمل لمستضدات اللاذات (مستضدات الطعم)، فيمكن تحريض حدوث تحمل لمكونات بروتينية حلولة أو لخلايا عن طريق حقن مثل هذه المكونات في الجسم، ويعتمد تحريض مثل هذا التحمل على العديد من المتغيرات. كما يمكن ازدراع خلايا دموية جذعية أو غدة مثل التيموس ومراقبة مدى التحمل المناعي لها.

النتائج والمناقشة

تبدأ الاستجابة المناعية التكيفية بتفعيل خلايا تائية نوعية للمستضد، وتبدأ المناعة الذاتية بالطريقة نفسها مؤدية إلى حدوث أمراض المناعة الذاتية. ومن الواضح أهمية دور العوامل الوراثية والبيئية في ذلك. أما عن الظواهر المساهمة في حدوث المناعة الذاتية نذكر:

1- وجود تآزر قوي بين الإصابة بعامل ممرض معين (بعض الفيروسات والبكتيريا) وبدء المناعة الذاتية بما يسمى التحاكي الجزيئي.

2- الدور الهام للعوامل الوراثية والبيئية في الاستعداد للإصابة بمرض مناعي ذاتي فمن المورثات المسؤولة عن الاستعداد للإصابة بأمراض المناعة الذاتية: النمط المورثي لمجموعة الـ MHC، عوز مورثات بروتينات المتممة الأولى، المورثات المرزمة للبروتينات المعنية في ضبط الموت الخلوي المبرمج Apoptosis بما فيها الـ Fas وربطة الـ Fas، التنوع الوراثي في سوية تشكيل بعض السيتوكينات، الاختلال في تنظيم مورثة الـ CTLA4، الأنماط العروسية المنتجة لسويات منخفضة من البروتين رابط المانوز، والتعدّد الشكلي للمورثات المرزمة للـ Fc FcγRIIIB و FcγRIIIA والمرزمة للـ IL10. أما العوامل البيئية التي تسهم في إطلاق الاستعداد الوراثي نذكر: بعض العقاقير والمواد الغذائية مثل الأغذية المضاف إليها اليود، الفيتامينات، المطهرات النموذجية والصبغات المختلفة. كما وجد أن التعرض المهني لغبار السيليكا عامل خطر للإصابة وأن التعرض لأشعة الشمس له دور في تحريض حدوث مرض مناعي ذاتي بما أنها تحرض اصطناع الفيتامين D3 المثير لسيرورة مرض الذأب الحمامي SLE.

3- للحالة الهرمونية للمريض دور في درجة الحساسية للمرض.

4- وبما أن المستضد (البروتين) الذي تتشكّل ضده الاستجابة التكيفية هو مكون داخلي للجسم، يؤدي ذلك إلى حدوث تخريب في النسيج المتضمنة هذا البروتين وذلك إما بتشكيل أضداد مضادة لهذا المستضد أو نتيجة تفعيل الخلايا التائية النوعية مسببة التهاباً أو تخريباً مباشراً للخلايا.

دراسة العناصر الثقيلة في البيئة وتأثيراتها في الإنسان*

بارعة قبيجان - د. محمد العردات

قسم الرقابة والأمان - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

وجهت، في السنوات الأخيرة، الاهتمامات الكبيرة باتجاه تقدير تعرض الإنسان إلى العناصر الثقيلة، وظهر العديد من الأسئلة التي تتعلق بوجود هذه العناصر في الهواء والتربة والماء والنباتات وسلسلة الغذاء. لانزال المعطيات الخاصة بتوزيع العناصر الثقيلة في الوسط، وامتصاصها من قِبَل النباتات، وعلاقتها بصحة الإنسان قليلة في بلادنا، رغم أن بعض هذه العناصر سام للإنسان حتى بتراكيز قليلة، وبعضها يسبب تسمماً للنباتات، بالإضافة إلى ذلك فإن العديد من العناصر الثقيلة يتراكم في النباتات وأعضاء الإنسان. هدفت هذه الدراسة إلى إلقاء الضوء على مصادر بعض العناصر الثقيلة، وتراكيزها في مكونات النظام البيئي (الماء والهواء والتربة والنباتات)، وتأثيراتها في صحة الإنسان، بالإضافة إلى التراكيز المسموح بها من هذه العناصر في الهواء والماء والتربة والنباتات.

الكلمات المفتاحية: العناصر الثقيلة، الفلور، الأسبتوس، الباريوم، الماء، الهواء، التربة، النباتات.

مقدمة

الضوء على بعض العناصر المعدنية الأكثر انتشاراً، من حيث مصادرها وتراكيزها في مكونات النظام البيئي وتأثيراتها، ولاسيما في الإنسان، والتراكيز المسموح بها في الهواء والماء والتربة والغذاء. وقد شملت الدراسة العناصر المعدنية الأكثر خطورة في مكونات النظام البيئي وهي: الرصاص والكاديوم، والزرنيخ، والزنبيق، والكروم، والمنغنيز، والنيكل، والباريوم، إضافة إلى الفلور والأسبتوس.

مصادر التلوث بالعناصر الثقيلة

يتلوث الهواء بالعناصر المعدنية نتيجة لإطلاقات الصناعات المختلفة، مثل صناعة الحديد والصلب والأسمدة والإسمنت والحجر وغيرها، كما ينطلق الرصاص نتيجة إضافته إلى وقود السيارات، يتلوث الهواء أيضاً بالزرنيخ والكاديوم والأسبتوس وغيرها، نتيجة للنشاطات الصناعية المختلفة.

ينجم عن استعمال المياه في العمليات الصناعية مليارات الأمتار المكعبة من مياه النفايات الصناعية، التي تحتوي على مجموعة من المعادن الثقيلة، والتي تلوث مياه المسطحات المائية وربما المياه الجوفية، وذلك بسبب تصريف مياه الصرف الصناعي، دون معالجة، أو بمعالجة غير كافية.

ولا يقتصر التلوث بالعناصر المعدنية على الهواء والماء، وإنما يتعدى ذلك إلى التربة والنباتات. فالنباتات تتلوث بالعناصر المعدنية إما نتيجة امتصاصها من التربة الملوثة بها، أو بسبب ترسب العناصر المعدنية على سطوحها. فترسب الرصاص الموجود في الهواء، يُعد المصدر الرئيس لتلوث النباتات به ولاسيما الأوراق، كما يشكل الدخول اليومي للمغنيز عن طريق الغذاء نحو 54%، ومن البطاطا لوحدها نحو 14%، من الدخول اليومي الكلي للمغنيز.

أخذت الأنشطة الإتمائية، ولاسيما التي لم تضع الاعتبارات البيئية في حسابها، تسهم في إلحاق الضرر بمكونات البيئة كافة، وذلك بسبب إدخال مخلفات الصناعة ونواتج احتراق الوقود وغيرها في الوسط المحيط. فقد أدى تركز الصناعة في المدن، وما يتبعه من نشاطات تجارية وعلمية وزيادة في وسائل النقل وغيرها، إلى تحول البيئة في كثير من المدن، والصناعية منها خاصة، إلى بيئة ملوثة بالغازات والمواد والعوالق والعناصر المعدنية. وتعد العناصر المعدنية الثقيلة واحدة من الملوثات الشديدة الخطورة، وذلك لأن عدداً كبيراً منها له تأثيرات سمية من جهة، كما يمكن أن يتراكم في أنسجة الكائنات الحية، ومنها الإنسان، من جهة أخرى.

ويُعد التلوث بالعناصر المعدنية واحدة من المشكلات المقلقة، وذلك لأسباب عدة، لعل أهمها:

- تعدد هذه العناصر المعدنية وتنوع مصادرها وإطلاقها إلى البيئة حيث تصل إلى مكوناتها المختلفة الهوائية والمائية والتربة والمكونات الحية.
- التأثير الضار لبعض هذه العناصر المعدنية في الكائنات الحية، حتى لو وجدت بتراكيز منخفضة، كما أن بعضاً منها له تأثيرات مسرطنة.
- عدد كبير من هذه العناصر المعدنية قابل للتراكم في أجسام الكائنات الحية، إلى درجة تؤدي أحياناً إلى تسمم الإنسان، الذي يأتي في قمة السلسلة الغذائية.

هدف الدراسة

نظراً لزيادة مصادر إطلاق العناصر المعدنية، ووصولها إلى مكونات النظام البيئي المختلفة، وإمكانية وصولها إلى الإنسان عبر الهواء والماء والغذاء، ونظراً لإمكانية تراكمها في بعض الأنسجة ووصولها إلى تراكيز ضارة تنعكس على صحة الإنسان، فقد توخينا من هذه الدراسة إلقاء

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مكثبة أجرت في قسم الرقابة والأمان - هيئة الطاقة الذرية السورية.

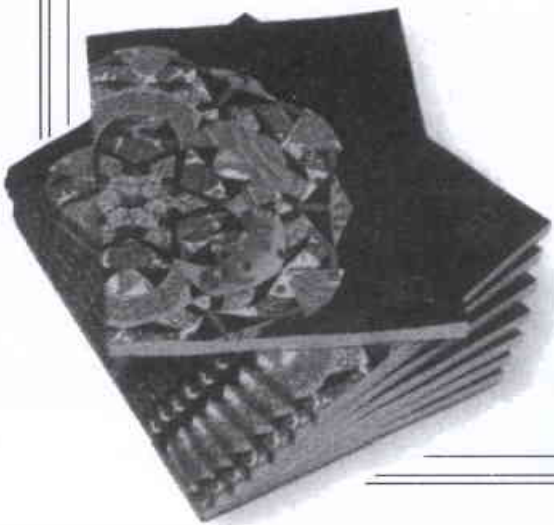
التأثيرات الصحية للعناصر الثقيلة

أصيب بالمرض أكثر من 30 ألف شخص، وتبين أن سبب ذلك يعود إلى أن أحد معامل البلاستيك يطرح، في مياه النهر المجاور مباشرة، مياه الصرف الصناعي التي تحتوي على الزئبق بتركيز قدره 0.1ppm، وبسبب الحصائص التراكمية للزئبق، عند انتقاله عبر سلسلة الغذاء، وصل تركيزه في أنسجة بعض الأسماك إلى نحو 50ppm، أي أن معامل تراكمه وصل إلى 500 مرة، مما أدى إلى حوادث التسمم التي عُرفت بمرض "ميناماتا". والأمر نفسه كان بالنسبة للكاديوم حيث طرحت بعض المعامل مخلفات مياه الصرف الصناعي، الحاوية على الكاديوم، في نهر دزيتا، الذي تُستعمل مياهه في ري الأرز، فتراكم الكاديوم في حبوب الأرز وانتقل إلى الإنسان، وأدى إلى أعراض تسمم بالكاديوم كاضطراب العظام وفقر الدم وغيرها. ■

يكن خطر هذه العناصر المعدنية السامة في أنها تدخل مع الهواء إلى الرئتين، وتؤدي إلى أمراض تنفسية مختلفة، لاسيما وأن بعضاً منها له تأثيرات مسرطنة، كما قد تنتقل إلى أنسجة الجسم الأخرى وتتركز في بعضها محدثة تأثيرات سمية والتهابات. وتحدث هذه العناصر المعدنية أضراراً في مكونات النظام البيئي الحية التي تعيش في المياه. ونظراً لأن كثيراً من هذه المعادن سام، لأن معظمها يتراكم خلال السلاسل الغذائية، فإن أضرارها قد تكون بالغة في بعض الأحيان، وليس أدل على ذلك مما حدث في مدينة "ميناماتا" في اليابان، حيث أصيب الصيادون وعائلاتهم وحيواناتهم الداجنة بوباء غامض أدى إلى خلل في النطق وسوء في الرؤية، كما أصيب البعض بشلل الأطراف، ومات نحو 234 شخصاً، كما



كتب حديث مختارة



المستقلة للجسيم J/ψ من قبل فيزيائيين يعملون لدى المسرع SLAC وفي مختبر بروكهافن الوطني.

وفي حين تغيب التعقيدات الرياضية، لكن وفي نفس الوقت نجد أن الكتاب ليس "سهل" القراءة. فاللغة تقنية بما فيه الكفاية مما يجعل الفهم السليم لأسس الفيزياء أمراً ضرورياً. لقد قدم الكتاب سرداً تاريخياً للاكتشافات بأسلوب مترابط وورصين، مع تفسيرات واضحة وشاملة للمغزى أو المفاجأة التي ساهم بها كل اكتشاف. إن التبعية المتبادلة بين الفيزياء التجريبية والفيزياء النظرية مصورة بدقة مع الأمثلة حيث يخرق كل منها قاعدة جديدة. و سيكون القارئ مقتنعاً بأن النموذج المعياري ليس نظرية قديمة العهد لكنه نظام قائم يعتمد على كل من السببية الرياضية والتحقيق التجريبي. ولا يقتصر الشرح والتفسير الجيد على النموذج المعياري وحده بل يتعداه إلى الكلام بكل وضوح وجلاء عن قصوره وقيوده، كعدم قدرته مثلاً على التنبؤ بكتل الكواركات أو توحيد القوى القوية والقوى الضعيفة الكهربائية. إن صلة الفيزياء الجسيمية بالقضايا الكونية، والنظريات الجديدة تتوجه نحو تساؤلات غير محلولة، وهذا ما دُرِس بالتفصيل (في الفصلين 8 و 9) بعبارات ساحرة ولكنها قابلة للفهم بسهولة.

ورغم أن هذا الكتاب "سحر الكواركات الغريبة" عرض شامل، إلا أنه يبدو غير متصل (متفكك) في بعض المواضيع، وبخاصة في الفصل الثالث الذي نجد فيه أن نكهات الكواركات $flavors of quarks$ ، التي عولجت في الصفحة 52، أعيد عرضها في الصفحة 62 كما أنها لم تناقش من قبل. وفي بعض الأحيان تكون التفسيرات قصيرة جداً وبحاجة إلى أن تستفيد من توضيحات إضافية، كما هو في حالة تفسير كتل الكواركات في الصفحة 68. يتضمن الكتاب بعض التشبيهات من الواقع وذلك لتساعد على تصور مفاهيم صعبة، مثل تبادل جسيمات افتراضية أثناء تأثير ما. مع العلم بأن التشبيهات الإضافية تكون ذات فائدة.

إن الثلث الأخير من الكتاب مخصص لبعض الملاحق المألوفة، إضافة إلى ملحق D، وهو تقديم لمفاهيم الفيزياء الأساسية كما تطبق على فيزياء الجسيمات. وهذا الجزء أقل امتناعاً في استعمال المعادلات والمفاهيم الكمية. فهو يحتوي على تمارين للقارئ ويهدف بوضوح ليكون بمثابة إضافة إلى مقرر تمهيدي في الفيزياء.

يُوصى باستخدام هذا الكتاب كمتعمق لمقررات جامعية تمهيدية أو لمقررات متقدمة في المدارس العليا أو الثانوية، وسيجد مدرسو العلوم فيه كتاباً مفيداً لتحديث معلوماتهم في مجال واسع من أبحاث الفيزياء. ■

1- سحر الكواركات الغريبة: أسرار فيزياء الجسيمات وتطوراتها الجذرية

The Charm of Strange Quarks:
Mysteries and Revolutions of Particle
Physics

تأليف: ر. ميخائيل بارنيت، هنري موهري، وهلين كوين
عرض وتحليل: ماري لوكو، توماس ج. دفلين**

بالرغم من الأبحاث المكثفة التي أجريت في الفيزياء الجسيمية، إلا أن الموضوع يترك الناس في حيرة في المقام الأول. بيد أن التعقيدات المفاهيمية والرياضية تشكل عائقاً حتى بالنسبة للأشخاص المهتمين بالفيزياء الجسيمية لكن تنقصهم المهارات اللازمة لحل ألغازها وأسرارها.

نحن نعتمد على الثقافة K - 12 education K - 12 لتقدم للمواطنين أسس العلم الذي يمكنهم من فهم التطورات العلمية الجديدة. ومع ذلك فمقررات الفيزياء التي تدرّس في المدرسة العليا بل وحتى في السويات التمهيديّة للكليات تكون مملوءة بالفيزياء التقليدية؛ ولم يُترك لفيزياء القرن العشرين إلا القليل. إن معظم المناهج الدراسية لفيزياء المدارس العليا، حتى معايير الثقافة (التربية) العلمية الوطنية (المطبعة الأكاديمية الوطنية، عام 1996)، لاتتعدى موضوعات البنية الذرية واضمحلال النشاط الإشعاعي، وهي فيزياء الثلاثينيات من القرن العشرين. ولم تتضمن الكتب الدراسية سوى مواضيع قليلة عن الجسيمات الأولية إن وجدت، كما أن هذا لم يحدث إلا منذ عهد قريب.

جاء في تقديم كتاب "سحر الكواركات الغريبة" عبارة واضحة ذات دلالة تقول "ليجلب الإثارة والفهم الأساسي لهذا الموضوع الرئيسي إلى الناس وبخاصة للطلاب." وفي الثلثين الأولين من الكتاب يقدم المؤلفون النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات وعناصر علم الكون ذات الصلة. لقد تم التأكيد في هذا القسم على المفاهيم والاكتشافات، ابتداءً ببنية الذرة. ومع أنه يبدو ككتاب مدرسي تقليدي، إلا أن هذا الكتاب خالٍ من مجموعات الأسئلة والمسائل في نهاية الفصول. ورغم استعمال المؤلفين معادلات قليلة، إلا أنهم قد زوّدوا النص الرئيسي بالرسومات، والصور الفوتوغرافية، والمؤطرات المدرجة، مقدمين بذلك تفسيرات فيزيائية موجزة أو اعترافاً بخدمات المساهمين في هذا العمل. إن التأكيد على عمل العلماء يعدّ مظهرًا مهمًا، وقد كُرس الفصل الأول لقصة الاكتشافات

* By R. Michael Barnett, H. Mühry, H. Quinn, 2000

** ماري لوكو - مصلحة الاختبارات التربوية (الثقافية) - برنستون، نيو جيرسي

توماس ج. دفلين - جامعة روتجرز - نيو برونزويك، نيو جيرسي.

- العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, August 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

2- أمواج في بلازما الفضاء المغبر*

Waves in Dusty Space Plasmas

تأليف: فرانك فيرهيست
عرض وتحليل: دان وينسكي**

الأمواج وكان كثيراً ما يذكر ويستشهد بها. وليس هذا الكتاب كتابة معادة لمقال المراجعة، ولكنه تجميع وتأليف رئيسي جديد لهذا الموضوع الذي يتطور بسرعة، مع المجال الواسع من عناوينه.

ينقسم الكتاب بصورة طبيعية إلى ثلاثة أجزاء. يقدم الجزء الأول مفاهيم أساسية، مثل شحن حبات الغبار، ويعطي الدليل الملموس في الفضاء بخصوص البلازما المغبرة. ويطور الجزء الثاني من الكتاب الشكلية المستخدمة في التعامل مع الغبار كصنف للبلازما منفصل. ويصف الأنماط الأساسية للأمواج الكهروكدي والكهرومغناطيسية في بلازما مغبرة؛ وخلافاً لما تتصف به كتب تدريسية كثيرة عن البلازما، يركز هذا الكتاب على الأمواج اللاخطية بالقدر الذي يركز فيه على الأنماط الخطية. ويناقش الجزء الثالث والأخير من الكتاب عمليات أكثر تعقيداً، كحبات الغبار ذات الشحنات المترجحة أو التي لها توزع في الحجم بالإضافة إلى المسائل المهمة للغبار من وجهة نظر الفيزياء الفلكية في منظومات ذاتية التفاعل.

لقد كتب فيرهيست كتاباً يتصف بالثقافة العالية والقراءة السهلة والجذابة. وإن استعماله صيغة المتكلم في الكتاب ومناقشته الصحيحة والأمانة للمسائل المختلف عليها تسهم في تكوين الأسلوب الشخصي لهذا الكتاب. فهو يفترض أن القارئ لديه خلفية أساسية في فيزياء البلازما لكنه ليس خبيراً في البلازما المغبرة أو البلازما الفضائية. وهو يشير بسرعة إلى أنه في حقل كهذا، لا يزال جديداً، لا توجد آلية مناسبة لإدخال غبار إلى معادلات البلازما بأسلوب رياضي دقيق؛ وبدلاً من ذلك فإنه يوسع الصيغة النموذجية بطريقة طبيعية.

إن طريقة فيرهيست مبنية على معالجة مائع من البلازما، وهو ما يكاد يكون صائباً دائماً في هذه الحال، بإعطاء كتلة الحبات بالنسبة لتلك التي هي لمكونات البلازما العادية والسلوك الناتج عند تواترات أخفض بكثير من التواترات التي تُرى عادة في البلازما. يعطي فيرهيست وصفاً رائعاً للفيزياء الأساسية وتعد قائمة المراجع التي يقدمها كاملة وهي لوحدها تستحق سعر الكتاب.

إن معظم المعالجة المتعلقة بالأمواج (خطية أم لاخطية) هي معالجة تحليلية. وأنا شخصياً أعتقد أن بعض الحلول العددية لمعادلات البلازما المعقدة هذه عُرضت بصورة بيانية، كما هو موجود في مصنف بطرس غاري S. Peter Gary الرائع عن البلازما بدون غبار (الذي يحمل عنوان: نظرية عدم الاستقرار المجري للبلازما الفضائية "Theory of Space Plasma Microinstabilities، مطبعة كامبريدج U عام 1993)، وهذا الكتاب سيضيف مزيداً من التبصر. وفي نهاية المطاف تعد معالجة فيرهيست رائعة ويمكن أن تُركى بقوة، لكل من هم في بداية الطريق في هذا المجال ولغيرهم أيضاً من الباحثين الذين قطعوا شوطاً فيه. ■

توجد المادة الهبائية في الكون بحجوم مختلفة و تتراوح حجمها ما بين جزيئات ضخمة (جهرية) و حبات يصل حجمها إلى المكرون بل إنها قد تكون أكبر حتى من الحصى ومن الكرات الصخرية (الجلاميد). عندما توجد أمثال هذه الجسيمات في بلازما ما، فإنها تصبح مشحونة (و غالباً ما تكون مشحونة بشحنة سالبة نظراً لحركية الإلكترونات التي هي أكبر) وبذلك فهي تساهم في ديناميك البلازما كصنف أو "مظهر" مختلف. ولهذه الجسيمات كتل أكبر بكثير من كتل أيونات البلازما، كما أن لها عادة شحنات أكبر منها بكثير، إلا أن نسب الشحنة إلى الكتلة تكون أصغر بكثير. تحتوي هذه البلازما التي تدعى البلازما المغبرة dusty plasma على مجال متنوع إلى حد كبير من أنماط الاهتزاز الجماعية، وسلوك غير مستقر، وأمواج خطية وغير خطية.

كما أن حجم حبة البلازما المغبرة يأخذ أشكالاً وأحجاماً متفاوتة، ويمكن للشحنة أن ترجع في الزمن مؤدية إلى سلوك شديد التعقيد. ولقد دُرست البلازما المغبرة على مرّ السنين كبناء نظري في أكثر الحالات، نظراً لغياب المشاهدات المباشرة للغبار في الفضاء. إلا أن الوضع تغير في العقدين الأخيرين تقيراً جذرياً. فقد كشفت مشاهدات بعثة فويجر الأولى عن حلقات كوكبية جديدة، وعن بنية معقدة (عصي العجلة spokes) في الحلقات ذاتها؛ وقامت بعثتا غاليلي وأوليسيز حديثاً بإجراء قياسات لتيارات الغبار من المريخ، كما جَمَعَت رحلات الفضاء الصاروخية معطيات عبر سحب نوكتيلوسينيت noctilucent clouds على ارتفاع عالٍ في جو الأرض.

كما أنه يمكن صنع البلازما المغبرة الآن في المختبر بسهولة، وستكون عرضة لبعض التجارب على محطة فضاء دولية، ونظراً للتلوثات التي تنمو ذاتياً، فإنها تحدث في أجهزة معالجة البلازما. ولقد تديرت كل من النظرية والمحاكيات لأن تتواصل مع هذا الانفجار من المعطيات، مؤدية إلى حقل فرعي من فيزياء البلازما جديد ومثير.

في كتاب "أمواج في بلازما الفضاء المغبر" جمع فرانك فيرهيست بين الظواهر المتنوعة، و الإثارة، وتحديات دراسة الأمواج في بلازما مغبرة في الفضاء. ولقد ساهم فيرهيست بطرق عديدة ذات مغزى في فهم هذه البلازما على مدى سنوات، كما أنه كتب مراجعة عن

* By F. Verheest, 2000

** دان وينسكي - مختبر لوس ألاموس الوطني - نيومكسيكو.
- العرض والتحليل عن مجلة Physics Today, August 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

HEAVY ELEMENTS IN THE ENVIRONMENT AND THEIR IMPACTS ON HUMAN HEALTH*

B. KEJELJAN, M. AL-UDAT

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Over recent years, a great efforts have been directed toward quantification of human exposure to heavy metals. Many questions arised concerning their presence in air, water, plants and food chain. Information concerning heavy metals distribution in the environment, uptake by plants and relationships with human health is still lacked in our country, despite that some of them are toxic to human in low concentrations, while others may be toxic to plants. Also many of heavy elements accumulate in plants and human organs.

This study aims at highlighting the sources of some heavy elements, their concentrations in the ecosystem components (water, air, soil and plants), and their effects on human health, in addition to the allowable concentrations of such elements in air, soil, water and plants.

Key Words

heavy elements, ecosystems, air, soil, water, plants.

* A short report on a scientific field study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.



SIMULATION OF X-RAY ATTENUATION USING THE CODE MCNP AND DETERMINATION OF THE LEAD EQUIVALENT FOR SYRIAN BUILDING BRICKS[★]

H. SUMAN, H. KHARITA

Office of Nuclear Regulation, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTARCT

The uncertainty band associated with the transmission curve for 100 kV X-ray in lead was determined using Monte Carlo methods and the sensitivity analysis approach. All of uncertainty sources: statistical, systematical and the uncertainties arising from the diversity of X-ray tubes were taken into account.

The transmission of 100 kV X-ray in Syrian building bricks was then computed together the uncertainty associated with it. Finally, the lead equivalent thickness for 10, 15 and 20 cm thick bricks were estimated. The results are in very good agreement with experimental results.

This study recommends, as a thumb rule, to use the lead-equivalent values of 0.5, 0.75 and 1.0 mm for the 10, 15 and 20 cm thick building bricks, respectively.

Key Words

shielding, X-ray, lead equivalent, MCNP.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the Office of Nuclear Regulation, Atomic Energy Commission of Syria.

IMMUNE RESPONSES IN THE ABSENSE OF INFECTION[★]

B. JAZAIRI - A. OTHMAN

Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The adaptive immune response is a critical component of human defense against infection and therefore essential for normal health. Unfortunately, adaptive immune responses are also sometimes elicited by antigens not associated with infection agents, and this may cause serious disease. These responses are essentially identical to adaptive immune responses to infectious agents, only the antigens differ. These responses may be directed against:

1- autoantigens resulting in autoimmune diseases and here the immune system cells attack self molecules as a result of a breakdown of immunologic tolerance to autoreactive immune cells which will cause damage to the organs containing this molecules. The autoimmune diseases are ranging from organ-specific to systemic. As examples of autoimmune diseases are: Insulin dependent diabetes mellitus, Multiple Sclerosis, Rheumatoid arthritis, Systemic Lupus Erythematosus and Graves disease. In insulin dependent diabetes mellitus as an example: the T-cells attack insulin-producing β cells in pancreatic islets.

2- Grafted organ antigens causing transplant rejection. Tolerance regulates adaptive responses and is normally maintained by the regulatory interactions of a variety of cell types and soluble mediators.

There is a balance between tolerance and immunity that can alter susceptibility to autoimmune disease and to infection as a result of genetic or environmental factors.

Key Words

antigen, self, nonself, autoimmune diseases, transplant rejection, tolerance.

★ A short report on a scientific office study achieved in the Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission of Syria.

Key Words

deep level, traps, electric field, capture cross section, DLTS, InP.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

COMPUTER STUDY OF URANIUM COMPLEXES IN PHOSPHORIC ACID MEDIA[★]

J. STAS, M. GHAFAR

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

From this computer study, we found the relationships which relate the percentage of all phosphate species in the aqueous phase of phosphoric acid with initial and equilibrium concentration of this triprotic acid, taking into account the effect of ionic strength on this system.

By insertion uranium (VI) in the previous system, we had the possibility to present uranium complexes in phosphoric acid medium in three - dimension space [initial (or equilibrium) concentration - pH - percentage of uranium complexes in H_3PO_4].

It has been seen that, in contrary with the result of system in absence of uranium, HPO_4^{2-} is the species which has the most possibility to react with uranium (VI), it should be noted that uranium (VI) is reacting also with $H_2PO_4^-$ and H_3PO_4 . We can conclude that the complex $UO_2(HPO_4)_2^{2-}$ is the predominant complex, while the other species like $UO_2(H_2PO_4)_3^-$, $UO_2(H_2PO_4)(H_3PO_4)_2^+$ and $UO_2(H_3PO_4)_3^{2+}$ will start to increase gradually with increasing phosphoric acid concentration.

Key Words

computer study, uranium complexes, phosphoric acid media.

★ A short report on a scientific research achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

CHEMICAL AND RADIOACTIVITY STUDY OF SEA ALGA DISTRIBUTION ALONG THE SYRIAN COAST[★]

AL-MASRI, M.S., MAMISH, S., BUDEIR, Y.

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Three types of sea alga distributed along the Syrian coast have been studied from the chemical and radioactivity point of view. Results have shown the metals that red alga contains the highest levels of Ca and Mg while brown alga were found to contain relatively high concentrations of other elements and non metals such as Cl, I and Br. In addition, ^{137}Cs concentrations in all the analyzed sample were low while the levels of naturally occurring radionuclides such as ^{210}Po , ^{210}Pb and radium isotopes were found to be high in red alga which indicates their selectivity to these isotopes. On the other hand, brown alga and especially *Cystoseira* has shown a clear selectivity for some trace elements such as As, Cr, Cd, Cu and Co, this selectivity may encourage the use of brown alga as biological indicator for trace elements pollution.

Key Words

naturally occurring radionuclides, trace elements , alga, Syrian coast.

★ A short report on a scientific field study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

SERUM PROGESTERONE LEVELS USING RADIOIMMUNOASSAY DURING THE OESTROUS CYCLE OF INDIGENOUS DAMASCUS DOES*

M. ZARKAWI, A. SOUKOUTI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

An experiment was conducted on Damascus does to characterise the oestrous cycle and activity of the corpus luteum and to determine normal progesterone patterns during different phases of the oestrous cycle using radioimmunoassay. Fifteen 2-5-year-old indigenous cycling Damascus does were used during the normal breeding season for two consecutive oestrous cycles. Average length of the oestrous cycles was 21.2 ± 1.5 days (range: 19-26 days), consisting of 2.9 ± 0.8 days (2 - 5 days) where progesterone level was low, averaging 0.69 ± 0.85 nmol l⁻¹ (range: 0.00-3.08 nmol l⁻¹), followed by a sharp increase in progesterone secretion indicating the presence of active corpora lutea which lasted an average of 15.3 ± 1.4 days (range: 13-20 days), with an average progesterone level of 13.41 nmol l⁻¹ (range: 3.26-27.98 nmol l⁻¹), followed by a sharp decline in progesterone level, indicating inactive corpora lutea, which lasted an average of 3.1 ± 0.6 days (range: 2- 5 days), with an average progesterone level of 0.68 nmol l⁻¹ (range: 0.00 - 2.81 nmol l⁻¹). Maximum progesterone level during the luteal phase averaged $18,67 \pm 3.15$ nmol l⁻¹, (range: 14.00 - 27.98 nmol l⁻¹), which, on average, occurred on the $12.2^{\text{th}} \pm 3.2$ days of the oestrous cycle. It was possible, for the first time, to characterise the oestrous cycle of the indigenous Damascus doe, and to determine normal progesterone patterns during different phases of its oestrous cycle. Based on the results reported above, it is also concluded that progesterone levels under 3.18 nmol l⁻¹ were found, on the average during 2.9 days at the start of the oestrous cycle and during 3.1 days at the end of the oestrous cycle (follicular phase), and that progesterone levels above 3.18 nmol l⁻¹ were found during the luteal phase lasting, an average of 15.3, days.

Key Words

oestrous cycle, Damascus does, progesterone, radioimmunoassay.

* This paper appeared in *New Zealand Journal of Agricultural Research.*, Vol. 44, (2001).

REPORTS

STUDY OF ELECTRIC FIELD EFFECT ON THE CARRIER CAPTURES RATES OF DEEP TRAP IN P-TYPE InP*

R. Darwich, M.K. Sabra

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The electric field effect on the carrier capture cross section of deep trap has been studied. The experimental results of the H4_F and H5 hole traps in p-type InP show an enhancement of the capture cross section with the increase of the applied electric field. This enhancement depends on the nature of the deep traps. Increasing the electric field from 8×10^6 to 2.4×10^7 V/m leads to an increase of the capture cross section of the H4_F trap by a factor of 3 to 4 and of the H5 by a factor 4 to 5. A theoretical model has been suggested to explain the electric field effect on the capture cross section. This model deals with the cascade and multi-phonon processes semi-classically.

ANODE SPOTS IN A GLOW DISCHARGE OF HELIUM-NEON MIXTURE[★]

Sh. Al - HAWAT

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Anode spots have been investigated using an emission spectroscopic method in a glow discharge of helium-neon mixture, under medium pressures of $(3.7 - 42.7) \times 10^2$ Pa, weak currents of 10-50 mA, and ratios of 10:1 and 1:10 (He:Ne).

Axial and radial spectral intensities were measured vs. the pressure and current for lines 703.2 nm and 585.2 nm in neon and 706.52 nm in helium spectra in the anode region, with the help of the scanning method for a plane anode occupying the total cross section of the discharge tube.

Numerical calculations on the relative intensities vs. the pressure have been carried out at distance of 1.5 cm from the anode, for several spectral lines in neon: 585.2 nm, 640.2 nm, and 703.2 nm for the ratio 10:1, at pressures of $(3.7 - 36.7) \times 10^2$ Pa, and current of 15 mA. The experimental and numerical results were compared, and a reasonable agreement was observed.

Key Words

anode spots, glow discharge, helium-neon mixture.

★ This paper appeared in *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*, VOL. 28, NO. 5, OCTOBER, 2000.

INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES OF RADIOACTIVE PHOSPHATIC LAYERS IN THE AL-SHARQUIEH MINE, SYRIA[★]

J. ASFAHANI

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

R. MOHAMAD

General Establishment for Geology and Mineral Resources, Damascus, Syria

ABSTRACT

Radioactive characteristics of pits drilled in the AL-Sharquieh mine while prospecting for recent phosphatic resources have been investigated. The results indicate that phosphatic layers are characterized generally by high radioactive intensities (more than 800 c.p.s). The lithological section in the study area is very complex sedimentologically, and characterized by high faciological variation in all directions. The Schlumberger geo-electrical configuration with fine separation of AB/2 was successfully applied to determine lithological boundaries, and the resistivities of the layers of the lithological section, especially for thin layers. It was shown that the phosphatic layer resistivities increase or decrease as a function of associated material. As a result, two types of phosphatic layers have been geo-electrically distinguished. The first is characterized by high resistivity and relatively low radioactivity, which could be related to the rock phosphatic layers. The second is characterized by low resistivities and high radioactivity, which could be related to the sandy phosphatic layers.

Key Words

electrical properties, phosphatic layers, geoelectrical methods, radioactivity maps, total natural gamma, Al-Sharquieh mine, Syria.

★ This paper appeared in *Explor. Mining Geol.*, Vol.9, No.2, 2000.

Key Words

electrical resistivity; anisotropy; lamellar superconductors.

★ This paper appeared in *Physica C*, 17 April, 2001.

SECOND HARMONIC GENERATION FROM RE DOPED BGO WAVEGUIDES[★]

A. K. JAZMATI

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

G. VAZQUEZ, P. D. TOWNSEND

School of Engineering, University of Sussex, Falmer, Brighton BN1 9QH. UK

ABSTRACT

Samples of BGO doped with Tm^{3+} , Er^{3+} , Ho^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+} , and Nd^{3+} have been implanted at LNt (77 K) with He^+ ions for waveguide fabrication. The energy and the dose of the implantation are 2 MeV and 5×10^{16} ions/cm², respectively. The samples have been annealed in the furnace at 250 °C, 350 °C, 400 °C and 450 °C for 1 h in air. The SHG intensity improved with increasing annealing temperature, due to removal of defects caused by the implantation. There is a restructuring of the implanted guide which results in a modified crystal lattice and a greatly improved SHG. The effect increases with the difference between the radius of the RE ions and the Bi ion. The latter effect could be explained by the mismatch of ion size of the RE ion which distorts the cubic structure of BGO in the implanted region to become slightly anisotropic, which in turn improves the SHG of BGO:RE waveguide layer.

Key Words

SHG, bismuth germanate, waveguide, rare earth, ion implantation.

★ This paper appeared in *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B* (2000).

APPLICATION OF INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AND MULTIVARIATE STATISTICAL METHODS TO ARCHAEOLOGICAL SYRIAN CERAMICS[★]

E. H. BAKRAJI, I. OTHMAN, A. SARHIL, N. AL-SOMEL

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Instrumental neutron activation analysis (INAA) has been utilized in the analysis of thirty-seven archaeological ceramics fragment samples collected from Tal Al-Wardiate site, Missiaf town, Hama city, Syria. 36 chemical elements were determined. These elemental concentrations have been processed using two multivariate statistical methods, cluster and factor analysis in order to determine similarities and correlation between the various samples. Factor analysis confirms that samples were correctly classified by cluster analysis. The results showed that samples can be considered to be manufactured using three different sources of raw material.

Key Words

instrumental neutron activation analysis, ceramics, multivariate analysis, Syria.

★ This paper appeared in *Trace and Microprobe Technique* (2001).

FROM FEMTOCHEMISTRY TO ATTOPHYSICS[★]

F. KRAUSZ

Photonics Institute, Vienna University of Technology, Austria,

ABSTRACT

Physicists routinely exploit femtosecond light pulses to track the movement of atoms in molecules, and are now developing sources that emit even shorter bursts of X - rays to study and control the motion of electrons inside atoms.

Key Words

attosecond, exposure, harmonic generation, pompe pulse, probe pulse, resolution, time - delayed.

★ This article appeared in *Physics World*, September, 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

ELECTROMAGNETIC MATERIALS ENTER THE NEGATIVE AGE[★]

J. PENDRY

Blackett Laboratory, Imperial College, London SW7 2BZ, UK.

ABSTRACT

New materials with negative permittivity and permeability are rewriting the laws of optics and could lead to a perfect lens with a resolution not limited by wavelength.

Key Words

electromagnetic materials, microwave frequency, negative magnetic permeability, negative electric permittivity, negative refractive index, perfect lens, split rings, surface plasmon.

★ This article appeared in *Physics World*, September, 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

A NEW METHOD TO DETERMINE THE RESISTIVITY ANISOTROPY IN LAMELLAR SUPERCONDUCTORS[★]

A. NADER

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A six terminal method to determine the resistivity anisotropy of lamellar superconductors is presented. The main advantage of this method is to avoid the measurement of too small resistances while determining the resistivity anisotropy. A new resistance R_d is introduced and the resistivity anisotropy can be determined by the ratio of R_d and the longitudinal resistance for $\Gamma \leq 1$, or R_d and the transverse resistance for $\Gamma \geq 1$ (Γ is the so-called effective anisotropy). These two ratios have limited variations, which depend on the contact configuration. The room temperature resistivity anisotropy of the superconducting misfit layer compound $(\text{LaSe})_{1.14}(\text{NbSe}_2)_2$ was determined using this new method.

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

REWRITING THE LAWS OF OPTICS*
P. RODGERS AND V. JAMIESON*Department of Radiation Oncology, UCLA School of Medicine, Los Angeles, California, 90095 - 6951, USA***ABSTRACT**

New experiments are pushing our understanding of light and optics to the limit and also opening up new areas of physics and novel applications.

Key Words

attosecond pulses, scanning near-field optical microscopes, surresolution, probe laser, negative refractive index.

★ This article appeared in *Physics World*, September 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

BEATING THE DIFFRACTION LIMIT*
V. SANDOGHDAR*professor of physical chemistry at ETH Zurich, CH-8093 Zurich, Switzerland***ABSTRACT**

The resolution of optical instruments was once thought to be limited by the wavelength of the light being used, but new forms of microscopy have breached that limit.

Key Words

diffraction limit, optical microscope, resolution, scanning near-field optical microscopy, scanning tunnelling microscope, far-field techniques.

★ This article appeared in *Physics World*, September, 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

TAMING LIGHT WITH COLD ATOMS*
L. V. HAU*Harvard University, Massachusetts, USA***ABSTRACT**

The ability to stop light in its tracks by passing it through a cloud of ultracold atoms could lead to new techniques for optical storage.

Key Words

coupling laser, delay lines, evaporating cooling, free space, optical molasses, ultra cold.

★ This article appeared in *Physics World*, September, 2001. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

REPORTS

(Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

- STUDY OF ELECTRIC FIELD EFFECT ON R. Darwich, M.K. Sabra 83
THE CARRIER CAPTURES RATES OF DEEP
TRAP IN P-TYPE InP
- COMPUTER STUDY OF URANIUM COMPLEXES J. STAS, M. GHAFAR 84
IN PHOSPHORIC ACID MEDIA
- CHEMICAL AND RADIOACTIVITY STUDY OF SEA M.S. AL-MASRI, 86
ALGA DISTRIBUTION ALONG THE SYRIAN COAST
S. MAMISH, Y. BUDEIR
- SIMULATION OF X-RAY ATTENUATION H. SUMAN, H. KHARITA ... 87
USING THE CODE MCNP AND DETERMINATION OF
THE LEAD EQUIVALENT FOR SYRIAN BUILDING BRICKS
- IMMUNE RESPONSES IN THE ABSENCE OF INFECTION B. JAZAIRI - A. OTHMAN ... 89
- HEAVY ELEMENTS IN THE ENVIRONMENT B. KEJEIJAN, 91
AND THEIR IMPACTS ON HUMAN HEALTH. M. AL-ODAT
-

SELECTED NEW BOOKS

(Review and analysis)

- THE CHARM OF STRANGE QUARKS: MYSTERIES BY: R. M. Barnett, H. Mühry, H. Quinn . . 94
AND REVOLUTIONS OF PARTICLE PHYSICS OVERVIEW & ANALYSIS: M. Lauko, T. J. Devlin
- WAVES IN DUSTY SPACE PLASMAS BY: F. Verheest 95
OVERVIEW & ANALYSIS: D. Winske
-

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH. 104

CONTENTS

ARTICLES

- REWRITING THE LAWS OF OPTICS P. RODGERS, V. JAM 7
 - BEATING THE DIFFRACTION LIMIT V. SANDOGHDAR 9
 - TAMING LIGHT WITH COLD ATOMS L. V. HAU 16
 - FROM FEMTOCHEMISTRY TO ATTOPHYSICS F. KRAUSZ 23
 - ELECTROMAGNETIC MATERIALS J. PENDRY 29
- ENTER THE NEGATIVE AGE
-

NEWS

- SMALLER IS COOLER SCIENCE 36
 - EMERGENCE OF NEW PHYSICS LA RECHERCHE 38
 - BLINDED BY THE LIGHT NATURE 40
 - SECRET LANGUAGE OF CELLS NEW SCIENTIST 42
 - POSITRONS GO INTO DETAIL PHYSICS WORLD 47
-

PAPERS

(Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

- A NEW METHOD TO DETERMINE THE RESISTIVITY A. NADER 50
- ANISOTROPY IN LAMELLAR SUPERCONDUCTORS
- SECOND HARMONIC GENERATION FROM A. K. JAZMATI et al 54
- RE DOPED BGO WAVEGUIDES
- APPLICATION OF INSTRUMENTAL NEUTRON E. H. BAKRAJI et al 58
- ACTIVATION ANALYSIS AND MULTIVARIATE STATISTICAL
- METHODS TO ARCHAEOLOGICAL SYRIAN CERAMICS
- ANODE SPOTS IN A GLOW DISCHARGE OF Sh. Al - HAWAT 63
- HELIUM-NEON MIXTURE
- INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES J. ASFAHANI 70
- OF RADIOACTIVE PHOSPHATIC LAYERS IN THE R. MOHAMAD
- AL-SHARQUIEH MINE, SYRIA
- SERUM PROGESTERONE LEVELS USING M. ZARKAWI, 77
- RADIOIMMUNOASSAY DURING THE OESTROUS A. SOUKOUTI
- CYCLE OF INDIGENOUS DAMASCUS DOES

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:

Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.

Subscription rates, including first class postage charges:

<i>a) Individuals</i>	<i>\$ 30 for one year</i>
<i>b) Establishments</i>	<i>\$ 60 for one year</i>
<i>c) For one issue</i>	<i>\$ 6</i>

It is preferable to transfer the requested amount to:

The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012|2

Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.



AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of atomic energy.

N° 81

17th Year

SEPTEMBER/OCTOBER 2002

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam (*Editor In-Chief*)

Dr. Mohammed Ka'aka ***Dr. Fouad Al-Ijel***

Dr. Ahmad Haj Said ***Dr. M. Fouad Al-Rabbat***