عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

مجلة دورية تصدر ستّ مرّات في السّنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهوريّة العربيّة السّوريّة. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلميّة باللغة العربيّة في الميدانين الذرّي والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

العدد السبعون | السنة الخامسة عشرة | تشرين الثاني/كانون الأول 2000

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسّام (رئيس هيئة التحرير)

الدكتور محمد قعقع — **الدكتور فؤاد العجل**

الدكتور أحمد الحاج سعيد — **الدكتور محمد فؤاد الربّاط**

الإخراج الفني والإشراف على الطباعة

رولا الخطيب

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم الاشتراك

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

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

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

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

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

مجلة عالم الذرّة – مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية – دمشق – ص. ب 6091

مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة – دمشق – المزة – فيلات غربية – شارع الخنساء – رقم 10

سعر العدد الواحد

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

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

في هذا العدد

المقالات

☐ تحديات التحليل بالتنشيط النتروني. . . . . ن. م. سبايرو. 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ فوتونات تَعبر الحواجز . . . . . ت. إبسن 21
ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر

☐ إحذروا مولّدات الأرجيّة. . . . . ب. بركس 25
ترجمة هيئة التحرير

☐ مُركّب السليكون جرمانيوم يثبت أهميته. . . . . د. باول 31
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

1 – وسائط تضخيم أفرزت مكاسب لعلم الضوء الذرّي . . . . . 41.
2 – بلّورات جديدة من معادن مضغوطة . . . . . 42.
3 – الـــــدم. . . . . 44.
4 – تلوث غذائي بمركبات الـ: PCBs والديوكسينات . . . . . 47.
5 – إعطاء دفع للذرات. . . . . 49.
6 – على حافة المجموعة الشمسية . . . . . 51.
7 – إنماء بلّورات فوتونية كهركيميائياً. . . . . 53.
8 – أدوات جديدة من أجل التحليل النظيري. . . . . 55.
9 – طاقة لا محدودة . . . . . 57.

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

☐ البرهان على مساهمة عيبين متمايزين في الذروة H4 لطيف. . . . . د. بسام المعصراني، د. رامي درويش 63
المصائد العميقة في InP المشعّع بالإلكترونات د. محمد قعقع، د. فوزي عوض

☐ تحديد عمر الجيل للنترونات اللحظية للمفاعل منسر بقياس. . . . . د. علي حيون، 70
تابع الانتقال النتروني د. إبراهيم خميس

☐ دراسة استكيومترية لمعقّد فسفوفانادوموليبدات واستخدامه . . . . . د. رفعت المرعي، 75
لتحديد تأثير عملية استخلاص اليورانيوم DEHPA/TOPO على رولانه بوظو
تركيز حمض الفسفور بطريقة المطيافية الضوئية

☐ تأثير أشعة غاما على قابلية تخزين ثمار التفاح . . . . . .د. محفوظ البشير 80

☐ الاختيار الأمثل لتشكيل مسبار غاما–غاما الطيفية البئرية يستخدم. . . د. جمال أصفهاني. 87
مصادر إشعاعية منخفضة جداً لتحديد درجة الرصاص والزنك

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

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ قياسات على الكاشف الغازي GEM بمرحلتين. . . . . د. جمال الدين عتاف 96
☐ دراسة استقرارية الماء الثقيل زمانياً . . . . . د. موسى الإبراهيم، هالة الصواف. 98
باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء
☐ الظاهرة الشجرية المضاعفة في الكواشف البلاستيكية . . . . . د. عماد خضير، د. إبراهيم عثمان. . . . . 99.
لمسارات الشظايا النووية
☐ تشخيص ومتابعة أورام البروستات: دراسة كيميائية حيوية وومضانية. . د. محمد عادل باكير وآخرون. . . . . 101.
☐ دراسة انتشار غاز الرادون عبر ثخانات مختلفة من الإسمنت . . . . . د. رياض شويكاني وآخرون . . . . . 102.
المستخدم في دفن النفايات المشعة
☐ تحديد المؤشرات التناسلية وتحليلها . . . . . د. معتز زرقاوي وآخرون 103
في ذكور العواس في القطعان المحتنة

كتب حديثة مختارة

1- نظرية الحقل الكمومي: . . . . . .(تأليف: ك. هوانغ) 106
من المؤثرات إلى تكاملات المسار (عرض وتحليل: م. بيسكين)
2- الصوتيات: . . . . . (تأليف: ب. فيليتي وآخرون). 106
الفيزياء الأساسية، النظرية والطرائق (عرض وتحليل: ك. ل. ماسترز)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. . . . . 115.

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

المقالات

تحديات التحليل بالتنشيط النتروني*

مشاكل وتطبيقات في الطب الحيوي وفي مجالات أخرى

ن. م. سبايرو
قسم الفيزياء في جامعة سوري بالمملكة المتحدة

ملخص

جرى في هذه الورقة توصيف تطويرات التحليل بالتنشيط النتروني بأنماطه المختلفة من أجل تقدير عناصر الأثر، مع الإشارة إلى علاقة هذه التقنية بالمفاعلات ومصادر النترون الأخرى، وبطرائق التحليل المنافسة، وبمنظومات التصوير المقطعي والكشف. كذلك، جرى التركيز على عدد مختار من المجالات التطبيقية التي تنطوي على تحديات للألفية القادمة سينسب إليها تحقيق خدمات مفيدة وفريدة أحياناً. واستعرضت الورقة الدورالذي يمكن أن يؤدّيه التحليل بالتنشيط النتروني في مجالات: وقف التشغيل، وكشف الألغام الأرضية، والمعالجة بالأسر النتروني للبورون، ومرض ألزهايمر، والداء السكري، والآليات المعقدة سواء تلك المتحكمة بعمليتي تناول الغذاء والإحجام عنه وعلاقتهما بظاهرة السمنة، أو تلك المؤثرة على تشكل الندبات وعلى المتطلبات من أجل الحصول على جلد اصطناعي.

الكلمات المفتاحية: التحليل بالتنشيط النتروني (NAA)، عناصر الأثر، وقف التشغيل، إزالة الألغام، أسر البورون للنترونات، تصوير مقطعي طبقي بإصدار أشعة غاما محرض نترونياً، التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني، مرض ألزهايمر، الداء السكري، الشبع والسمنة، ندبات ضخامية.

مقدمة

يُعدّ التحليل بالتنشيط النتروني (NAA) من التقنيات التي توطدت أركانها جيداً من أجل تقدير تركيز العناصر، عند سويات الأثر والنزرة الفائقة، في عدد منوع من الركازات. وقد سبق أن طُبّقت هذه التقنية على مشاكل متنوعة في مجالات علمية وتقانية وثبت بأنها ذات فائدة عظيمة من أجل ضمان وتصديق المواد المعيارية وتأكيد جودة الإجراءات الخاصة بطرائق التحليل. وسوف يجري هنا التركيز على عدد صغير من المجالات والمشاكل وبخاصة في البحوث الطبية الحيوية التي تمثّل بحدّ ذاتها تحديات للتحليل بالتنشيط النتروني وتوقعاته خلال الألفية القادمة. تتطلب هذه المجالات جهداً مشتركاً من العلماء والمهندسين وآخرين من ذوي الاختصاصات المختلفة بهدف التوصّل إلى نتائج مثمرة ونجاح حقيقي.

ولابد من النظر إلى تطبيقات التحليل بالتنشيط الإشعاعي في سياق طرائق أخرى للتحليل متعدد العناصر أخذت تحتل موقع الصدارة في الآونة الأخيرة والتي نذكر منها طريقتي مطيافية الكتلة للبلازما المقترنة تحريضياً (ICPMS) ومطيافية الإصدار الذري للبلازما المقترنة تحريضياً (ICPAES). ورغم الطبيعة المتلفة لهاتين الطريقتين فإن سرعة التشغيل والحساسية الفائقة لعدد كبير من العناصر والركازات قد شجّعتا، خلال فترة قصيرة نسبياً، نمواً كبيراً في استخدامهما على نطاق عالمي. وتُعدّ الحرّية من الأخطار الإشعاعية جاذبية إضافية. وعلى أية حال، هناك طرائق بديلة للتحليل تعتمد الإشعاع، يجري حالياً توظيفها واستخدامها بشكل متسارع. فمنشآت التحليل بالحزمة الأيونية، التي أصبحت الآن تصمم خصيصاً من أجل استخدامها في التحليل وليس لتحويلها كما جرت العادة سابقاً من مسرّعات تستخدم في بحوث الفيزياء النووية، يجري غالباً تركيبها محفّزة بحوث في الإلكترونيات المكروية والصناعات البلاستيكية. ويعد التحليل بإصدار أشعة X المحرّضة بالبروتون (PIXE)، والتبعثر الراجع لرذرفورد (RBS)، وتفاعلات أخرى للجسيمات المشحونة، أدوات فعالة يمكنها مع تجهيزات المسح ذات المسابر المكروية ومع الحزم الأيونية المستقرة أن توفر طرقاً ليس فقط لتقدير التوزع العنصري في العينة بل أيضاً لتحليل مجموعات ضخمة من العينات على التتابع. وفي الآونة الأخيرة، أضحت منظومات الفلورة بأشعة X (XRF) في متناول عدد أكبر من مجتمعات التحليل الإشعاعي وذلك بسبب الانخفاض النسبي لأسعار تجهيزاتها مما يسمح بالتالي بتنفيذ الأعمال العائدة، على سبيل المثال، لدراسات بيئية وزراعية في مراكز بحثية لم تكن في السابق قادرة على إجراء مثل هذه الدراسات. وتدعو الحاجة لأن تُقيّم وتقارن تقنيات التحليل هذه- والتي قد تصبح أحياناً في وضع تنافسي - كما تدعو الحاجة إلى تعريف وتحديد مشاكل هذه التقنيات وتحدياتها المشتركة إضافة إلى مناقشة واعتماد خصوصياتها وخواصها التكميلية. وقد نوقشت هذه القضايا في ندوة الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، تحت عنوان: "إيجاد انسجام بين القياسات البيئية ذات العلاقة بالصحة

* نشر هذا المقال في مجلة *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 239, No 1 (1999). ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

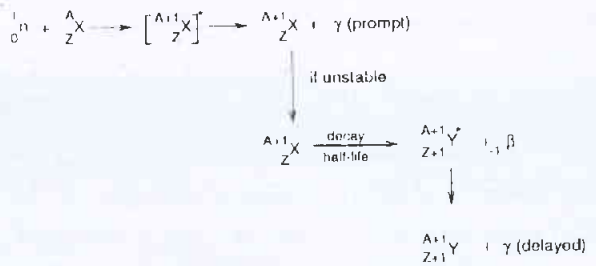
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الناجمة عن استخدام تقنيات نووية ونظائرية"، التي انعقدت في شهر تشرين الثاني من عام 1996 في مدينة حيدر آباد بالهند.

التحليل بالتنشيط النتروني

يُنتج تشعيع عيّنة بالنترونات مصدراً غنياً من المعلومات التحليلية. وهذا يولّد بدوره عدداً من أنماط التحليل بالتنشيط النتروني التي تعتمد على حدوث تأثرات بين النترونات ونوى الهدف والناتج من إشعاعات صادرة. ورغم أن الأسر المشع (n,γ) هو التفاعل السائد المستخدم، إلّا أن التبعثر النتروني (اللامرن) (n,n'γ) إضافة إلى تفاعلات أخرى مثل: (n,α) و(n,p) تستخدم أيضاً عند الطاقات النترونية المناسبة.

وتُزال إثارة النواة المركبة، التي تشكلت عند أسر نواة الهدف للنترون (المخطط 1)، نتيجة الإصدار الفوري لإشعاعات غاما مميزة (PGA) تفيد في تحديد العنصر. كذلك، تقوم النكليدات المشعة، التي تنتج عن التشعيع النتروني لعيّنة، بإصدار إشعاعات غاما مميزة عقب اضمحلال بيتا، ويجري تسجيل طيفها من أجل حساب تراكيز العناصر. وبشكل عام تقسم أعمار النصف للنكليدات المشعة إلى قصيرة العمر وأخرى طويلة العمر، علماً بأن الأخيرة تتيح إجراء فصل كيميائي إشعاعي من أجل تعزيز حدّي الكشف عن طريق إزالة تأثيرات وتداخلات غير مرغوب فيها للركازة (RNAA). وسبق أن طرأت تحسينات على عمليات الفصل الكيميائي الإشعاعي السريع للنكليدات قصيرة العمر، لكن التركيز كان في معظمه على طرائق تجهيزاتية (INAA) لتحسين كفاءة الكشف. وتشمل تقنية INAA تحليلاً دورياً وتحليلاً دورياً كاذباً pseudocyclic بالتنشيط الإشعاعي (CINAA و PCINAA) من أجل كشف النكليدات قصيرة العمر، إضافة إلى منظومات نقل سريعة تقلل أزمنة الانتقال (< 1S) بين مواقع التشعيع والتعداد، الأمر الذي يحقق حداً أدنى من فقْد الأحداث القابلة للكشف خلال الاضمحلال. وطرأ تحسين موازٍ لما سبق ذكره على قياس المصادر ذات النشاط الإشعاعي العالي يتمثّل في تصميم تجهيزات إلكترونية لمنظومات مطيافية تعداد لا فقْد فيها. وتستخدم منظومات كمبتون للإخماد في تقنيات PGA و INAA و RNAA بهدف تحسين نسب الإشارة إلى الضجيج.



المخطط 1- الأسر المشع radiative capture.

وتحدث التفاعلات بنترونات حرارية، وفوق حرارية، وسريعة، كما تحدث أيضاً بنترونات باردة (بُرّدت إلى درجات حرارة منخفضة جداً بطاقات تقع في حدود 0.001 إلكترون فولط). وبالنسبة لعدد كبير من النوى، يتناسب المقطع الفعال للامتصاص عكساً مع سرعة النترون الوارد، كما يتعزز بشكل كبير احتمال حدوث تأثر مع نترونات باردة بالمقارنة مع طاقات نترونية حرارية. وأدى هذا إلى تطوير منشآت الحزم النترونية الباردة وذلك خصيصاً من أجل التحليل بأشعة غاما الفورية (PGA). ويعدد الباحث يونيزاوا Yonezawa 15 من منظومات الـ PGA الموزعة في أنحاء العالم [1]. وتستخدم عشرة من هذه المنشآت مكشاف نصف ناقل (Ge) مع منظومة كومبتون للإخماد تعتمد بلّورات وميضية مصنعة من أيوديد الصوديوم أو الثاليوم NaI(Tl) أو من جرمانات البزموث (BGO)، بينما تستخدم أربع منشآت أخرى حزماً نترونية باردة. وباستخدام منظومة PGA في منشأة النترون البارد JRR-3M التابعة للمعهد الياباني لأبحاث الطاقة الذرية (JAERI)، تمكّن يونيزاوا من تقدير تركيز كل من عناصر: H, C, N, Na, Mg, Al, Si, P, S Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fc, Co, Cd,Sm, Gd, Hg, و B في عدد من الركازات والمواد المرجعية، بما في ذلك عيّنات جيولوجية وبيئية وبيولوجية، وكذلك الفحم والوقود والزيت [2]. ولايمكن بسهولة تقدير العناصر خفيفة الوزن- كعناصر B, C, N, S, P- باستخدام تقنية INAA. فبسبب المقاطع الفعالة الضخمة للامتصاص تغدو النترونات الباردة موهنة إلى حد كبير في عينة ضخمة، كما يصبح بالضرورة حجم العينة محدوداً إذا لم يجر تطبيق تصحيحيات ملائمة. وفي حالات تتطلب الحصول على معلومات بشأن التوزع العنصري وتركيز العناصر بطريقة لاإتلافية في عينة ما، يصبح ممكناً تطبيق الجمع ما بين تقنية التحليل بالتنشيط النتروني وأسس التصوير المقطعي. وهذه الطريقة، التي يلجأ فيها إلى كشف إشعاعات غاما الفورية أو المتأخرة ضمن نمط تصوير مقطعي، قد سبق اقتراحها قبل 15 سنة مضت [3] وأطلق عليها آنئذ اسم "التصوير المقطعي بإصدار أشعة غاما المحرّضة نترونياً (NIGET) [4]. وسوف تجري مناقشة تحسينات طرأت على منظومات كشف ذات علاقة بالطريقة الآنف ذكرها.

ويستعرض الجدول 1 ، مستخدماً دليل التعداد العلمي، مراجعة موجزة لما صدر من نشرات علمية تعالج التحليل بالتنشيط النتروني خلال السنوات الخمس الماضية (علماً بأن البيانات لعام 1997 هي بيانات تغطي الربع الأول منه). ولابد من الإشارة إلى أنه جرى تعداد التطبيقات البيولوجية في الحي بشكل منفصل وبأن ماورد تحت عنوان "مرجع (طرائق ومواد)" قد شمل أوراقاً بحثية لاتناقش فقط تحضير وتصديق المواد المرجعية بل تعالج أيضاً ضبط الجودة والإدارة بطريقة -k_0. ويُعزى إلى طريقة k_0 في تقنية NAA تقديرها لتراكيز العناصر في العينات دون اللجوء إلى استخدام مواد مرجعية ومعايير. وحسب ما جاء في مراجعة حديثة للباحث دي كورت De Corte [5]، هناك 22 مجموعة من مجموعات البحث الموزعة في أنحاء العالم تجري بحوثاً على مشاكل تحليلية تطبق فيها طريقة -k_0.

كذلك، وُجّه بعض التركيز من أجل الحصول على بيانات تتعلق بحالات أيزومرية قصيرة العمر [4] لبعض النكليدات المشعة - كحالة ^{38m}Cl (715ms) و ^{24m}Na(20.2ms)، وحالة ^{24}Na (15.0 h) و ^{38}Cl (37.2 min)، وحالة ^{46m}Sc (18.7 s) و ^{46}Sc (83.8 d). ولقد كان من التطبيقات الممتعة حقاً استخدام طريقة -k_0 في المعايرة كأداة لتأكيد جودة المقدرة التحليلية على اقتفاء عناصر الأثر [6]. وفي الجدول 1(c)

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

الجدول 1- عدد النشرات الصادرة لتقنية (a) NAA مع تعداد لتلك المتعلقة بتطبيقاتها (b) وطرائقها (c).

a)

1992	1993	1994	1995	1996	1997
194	274	286	248	213	72

b)

مجال التطبيق	1996	1997
طبي بيولوجي	43	20
طبي بيولوجي (في الحي in vivo)	10	4
بيئي	68	20
جيولوجي كيميائي	27	14
صناعي	35	9
مرجع (طرائق ومواد)	20	4

c)

الطريقة	1996	1997
تعيين كيميائي إشعاعي/كيميائي	78	38
باستخدام الأجهزة	102	26
نترونات سريعة	7	2
مراجعة	30	5

ينطوي تحت عنوان "مراجعة review" عدد المقالات التي تقارن أوتشير إلى طرائق تحليل مختلفة مع تطبيقاتها. وهذا يعد توجهاً مشجعاً يمكنه، بالاشتراك مع محاولات لتنسيق بيانات نتجت إمّا بوساطة التقنيات النووية ذاتها أو بوساطة طرائق أخرى للتحليل لا نووية، أن يؤدي دوراً هاماً في إثبات صحة طرائق تحليلية وفي تطبيق معايير إدارة وضمان الجودة التي بدأت تظهر في الآونة الأخيرة، كما حصل بالنسبة لمواصفتي المنظمة الدولية لتوحيد القياس ISO-25 و ISO-9000.

مصادر النترونات

حسبما نوهت به قاعدة بيانات مفاعلات البحث لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية (1996/09) [7]، يوجد ما مجموعه 273 مفاعلاً بحثياً في مختلف أرجاء العالم منها 188 في البلدان الصناعية و 85 في البلدان النامية. وقبل 20 سنة كانت الأعداد المماثلة لما سبق ذكره هي 69, 281, 351، مما يشير إلى حدوث نقص حاد وزيادة متواضعة في عدد المفاعلات البحثية لدى كل من البلدان الصناعية والنامية على التوالي خلال الحقبة المذكورة. ويبين الجدول 2 التوزع، حسب المناطق الجغرافية، لأعداد كل من مفاعلات البحث التي هي قيد التشغيل حالياً وتلك التي توقفت عن العمل. ويُظهر التوزع العمري لمفاعلات البحث التي هي قيد التشغيل حالياً أن 8.8% منها بعمر 1-9 سنوات، و 13.6% بعمر 10-19 سنة، و23.9% بعمر 20-29 سنة، و 51.5% بعمر 30-39 سنة، و2.2% بعمر 40-45 سنة، الأمر الذي يوحي بأن أكثر من نصف هذه المفاعلات سيتوقف عن العمل خلال العقد القادم.

خلال العقد الأخير، وُضعت الشيخوخة وجدوى التكلفة لمفاعلات البحث موضع النقد والتدقيق، وبخاصة في أوربا وأمريكا الشمالية. وقد أدى هذا إلى تقليص في عدد مفاعلات البحث العاملة، حيث أغلق

الجدول 2- بيان تحول الوضع الراهن لمفاعلات البحث كما هي مختزنة في IAEA-RRDB (1996/09).

المنطقة	عدد الوحدات			
	قيد التشغيل	قيد البناء	إنشاؤها	متوقفة عن العمل
أمريكا الشمالية	74	2	–	168
أوربا الغربية	69	1	–	92
أوربا الشرقية	45	3	2	15
آسيا - المحيط الهادي	54	3	2	13
أمريكا اللاتينية	18	–	–	4
أفريقيا والشرق الأوسط	13	3	3	3
المجموع	273	12	7	291

واستبعد من الخدمة في المملكة المتحدة على سبيل المثال اثنان من مجموع ثلاثة مفاعلات بحث جامعية (مفاعل بحث للجامعات الشمالية ومفاعل بحث للجامعات الاسكتلندية) [8] بصرف النظر عن تلك التابعة لسلطة الطاقة الذرية (AEA) في هارول Harwell. كذلك، يفترض أن يستبعد "JASON" من الخدمة في عام 1998، وهو مفاعل مهدىء مائي وغرافيتي من نوع الـ ARGONAUT يتبع الكلية البحرية الملكية في جرينويتش Greenwich. لكن بعض المراكز، وبخاصة في اليابان والولايات المتحدة وهنغارية، أخذت على عاتقها مواجهة التحدي فوسعت منشآتها من خلال تطويرها لحزم نترونية موجهة حرارية وباردة تستخدم في تقنية التنشيط بإشعاعات غاما الفورية (PGA)، وبإنشائها لمنظومات قادرة على تشعيع عينات وأجسام ضخمة بالفعل (IRI Delft، هولندة). كذلك، جرى إعادة فحص وتقويم الفائدة المرجوّة من NAA الحراري وفوق الحراري المرفق بتفصيلة ملائمة من الأطياف النترونية في منشآت للتشعيع ذات تصاميم مختلفة. ورغم جميع ما ذُكر، فقد جرى أيضاً بناء مفاعلات جديدة. كان عدد مفاعلات البحث العاملة مابين 1985-1994 31 وما بين 1995-1996 ستة. وفي كوريا، تتوفر حالياً منشآت ممتازة تتمركز حول مفاعل باستطاعة 40 ميغا واط، كما تمّ حديثاً تركيب جيل جديد من المفاعلات الصينية في كل من سورية وغانا والتي في أساس تصميمها موجهة بقوة نحو تطبيقات لتقنية NAA.

ولاتُعدّ تقنية NAA الوظيفة الوحيدة لمنظومات تعتمد المفاعلات، حيث أمكن لمنابع نترونية نظائرية ولمولدات نترونية أن تحقق إنجازات هامة في عدد من الحقول المعروفة والمحددة جيداً. وتشمل هذه الحقول تقنية NAA في الحي، وإجراءات الوقاية النووية، وكشف المتفجرات، والتحليل الآني للعناصر المعدنية وللمواد الخام وغيرها أثناء التصنيع. وعموماً، يجري التعويض عن التدفق النتروني المنخفض في هذه التطبيقات باستخدام عينات ضخمة وهندسة تشعيع وتعداد حرة الحركة متعددة الجوانب، وبتوفير ظروف مثلى لتقنية NAA في الحي ضمن قيود الجرعة الموجهة نحو الهدف. وقد أُتاح إنتاج المولدات النترونية الصغيرة كالأنبوب النتروني السوديترون SODITRON [10] الذي يُدمج إلى داخل منظومات الاستجواب النتروني توفر إمكانيات مثيرة لتطبيقات في مجالات أوسع وأشمل. والسوديترون عبارة عن أنبوب من السيراميك بقطر 25 مم وبطول كلي 155 مم، يعمل بدون مغنطيس خارجي. ويجري تشغيل هذا الأنبوب

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

بنمط إما مستمر أو نبضي ليصدر نترونات بطاقة 14 MeV من تفاعل D-T الاندماجي مولداً لغاية $2X10^8$ n/s، مع العلم بأن متوسط عمر الأنبوب يتراوح بين 500 و 4000 ساعة أو أكثر وذلك تبعاً لظروف التشغيل [10].

الاستبعاد من الخدمة

من المحتم أن هذا الحقل من التطبيقات سينمو مستقبلاً وأن الطلب سيكون مستمراً على هيئات مؤهلة جيداً وخبيرة في مجال التحليل الإشعاعي والكيمياء الإشعاعية. ولربما تشكل إزالة الوقود المشع مع منتجاته الأكتينيدية والانشطارية مرحلة البداية فقط لعملية وقف تشغيل منشأة مفاعل بحث، إذ توجد كميات ضخمة من المنتجات المنشطة ضمن مواد أخرى إلى جانب الوقود كالمهدىء ومواد التدريع ومنشآت إطارية، وقضبان ماصة تحوي مدىً واسعاً من النشاط الإشعاعي وتتطلب تصنيفاً كي يتم التخلص منها كنفايات مشعة. وبالإمكان إجراء عملية جرد للمنتجات المنشطة إشعاعياً عن طريق الجمع ما بين : (1) حسابات نمذجة تُنبىء بسويات التدفق النتروني من خلال بيانات تتعلق بتاريخ قدرة المفاعل، الأمر الذي يتيح تقدير أنشطة النكليدات المشعة المتوقع وجودها وذلك فيما إذا كان التركيب العنصري للمواد وكثافاتها معروفة أصلاً، و (2) قياسات الرصد لنشاط إشعاعي مُحرّض بحيث يغدو ممكناً تصنيف النفايات المشعة وتحقيق متطلبات أخرى تلزم من أجل اتخاذ القرار المناسب. فعلى سبيل المثال هناك حاجة لمعرفة عمق توزع النكليدات المشعة داخل كتالات التدريع الإسمنتية للمفاعل من أجل التوصّل إلى قرار بشأن مقدار القشرة المنشطة الواجب إزالتها من هذه الكتالات إما بالحتّ أو التكسير. ومن الممكن الحصول على هذه المعلومات بوساطة المسح بأشعة غاما للنكليدات المحرضة نترونياً أو حتى بوساطة التصوير المقطعي الموضعي بإصدار أشعة غاما. ومن الجلي أن يتوقف عمق المواد المنشطة على موقع الكتالة بالنسبة للب ووقود المفاعل؛ وقد يغدو ضرورياً في بعض الأحيان إزالة الكتالة بكاملها إذا امتدّ التنشيط لمسافة طويلة داخلها، أما إذا كان التنشيط لمسافة بسيطة فسيكون هناك كسب من فائدة انخفاض حجم النفاية المشعة المطلوب معالجتها. وفيما يتعلق بالكتالات الإسمنتية الباريتية barytes (المصنعة من أكسيد الباريوم)، فإن أهم النكليدات المشعة الواجب أخذها بعين الاعتبار بعد ثلاثة أشهر من وقف التشغيل ستشمل في الأحوال النموذجية النظائر المشعة التالية: ^{133}Ba, ^{55}F, ^{45}Ca, ^{35}S.

الألغام الأرضية

هناك حاجة ماسة لإجراء بحوث من أجل تطوير محسّات موثوقة تجعل من إزالة الألغام عملية أسرع وأكثر أماناً. ويمكن لتقنية NAA أو لتقنيات نووية أخرى تستخدم مولدات نترونية أو منابع نظائرية أن توفر مثل هذه المحسّات أو الوسائط. وقد قُدّر أن هناك ما يزيد على 100 مليون لغم مزروعة في أراضي 64 بلداً من بلدان العالم، تسبب كل سنة قتل أو تشويه 25 000 فرد، معظمهم من المدنيين، كما تعيق استثمار مساحات واسعة من الأراضي الزراعية المنتجة. ويفيد تقرير الأمم المتحدة، الصادر عن المؤتمر العالمي لإزالة الألغام الذي عقد في جنيف في شهر تموز من عام 1995، أن المجتمع الدولي تمكن في عام 1993 من إزالة 100 000 لغم بتكلفة قدرها 67 مليون دولار أمريكي، في حين زُرع حوالي 2.5 مليون من الألغام الجديدة خلال الفترة نفسها إبّان ذروة الصراع اليوغوسلافي. وتُصنّف منظمة الـ UNICEF كرواتيا في المرتبة الثالثة (بعد أفغانستان وأنغولا اللتين يوجد حوالي 9 مليون لغم في أراضي كل منهما) من بين البلدان الأكثر تضرراً بسبب وجود ما يزيد على 3 مليون لغم في أراضيها.

والمبادرة الخيرة لإزالة الألغام تُعنى قبل كل شيء بالألغام المضادة للأفراد من النوع الانفجاري والتي إليها تعزى معظم الإصابات. والكثير من هذه الألغام رخيص الثمن لا تزيد تكلفة الواحد منها عن بضعة دولارات أمريكية، وهي، في أغلب الأحيان، مصنعة من مكونات بلاستيكية تعيق الوسائط التقليدية الخاصة بالكشف المعدني. وحتى تاريخه، تعد طريقة الحث اليدوي (النكز بعصا أو أداة مدببة) من أكثر طرق إزالة الألغام وثوقاً، ولو أنها تعد طريقة بطيئة (20–50 متر مربع/يوم) وشديدة الخطورة. وقد سبق للأمم المتحدة أن حددت معدلاً للكشف قدره 99.96% (للألغام البلاستيكية والمعدنية كليهما) لمنظومة فاعلة تستطيع أن تحدد موقع اللغم ضمن مسافة خطأ لا تزيد على 1 سم مهما كانت نوعية التضاريس.

وبشكل عام، تبدي المركّبات المتفجرة تركيزاً وكثافة للنتروجين أعلى من تركيز أي مواد عضوية أخرى (يتراوح المحتوى الوزني النموذجي للنتروجين في هذه المركّبات ما بين 15 و 35% مع كثافات فيزيائية تقع ضمن المدى 1.25 – 2 غ / سم^3). كذلك، تعد هذه المركبات، بالنسبة إلى غيرها، غنية بالأكسجين (40–60%) وفقيرة بالكربون (15–30%) والهدروجين (2–3.5%) [12,11]. ومن المفيد أيضاً فحص نسب العناصر المعدنية إلى بعضها البعض حيث أنها تعد بمثابة بصمات فردية مميزة لكل مادة متفجرة.

وتوفر التقنيات النووية قدرة اختراق عالية وانتقائية جيدة وتتميز بتحاليل لا مخبرية سريعة إلى حد ما، وبأن لها إمكانية اتخاذ القرار المؤتمت. ومن الممكن أيضاً استخدام تقنية التصوير التي تعطي معلومات إضافية حول التوزع المكاني للإشعاع المكْشف مما يتيح تمييز المُركّبات المتفجرة عن تلك غير المؤذية المحيطة بها. وقد سبق أن تحقق نجاح كبير في هذا الحقل رغم الانخفاض في نسب الإشارة إلى الضجيج ورغم الحاجة إلى تقنية تصوير سريع بالزمن الحقيقي. هذا، وتتوفر عدة تقنيات يمكن استخدامها للكشف عن الألغام:

a- التحليل باستجواب نترون حراري، ويعتمد من حيث المبدأ على تحليل الأسر النتروني ذي الإشعاع غاما الفوري الذي استخدم منذ أمد طويل لتحاليل كيميائية في عدد واسع من الحقول التخصصية، كما هو حاصل على سبيل المثال في صناعتي الفحم والنفط [13]. وقد ادعى البعض أن التحليل المذكور يعد أكثر منظومات كشف المتفجرات تطوراً وحداثة (وهو قيد الاستعمال في عدة مطارات عالمية)، وقد جرى دمجه مع منظومة كشف ألغام محمولة على العربة يستخدمها الجيش الأمريكي. وتعتمد هذه التقنية فقط على المحتوى من النتروجين المقيس، حيث أن أسر المقطع الفعّال

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

لعنصر ^{14}N هو 75 ملّي بارن* بطاقة أشعة غاما فورية قدرها 10.83 MeV، كما تتطلب فصلاً مكانياً جيداً يمكن تحقيقه بوساطة مكاشيف مسدّدة.

b- التحليل بنترونات سريعة (FNA)، ويستخدم المقاطع الفعّالة الأعلى لتبعثر لامرن والخاصة بنترونات سريعة (14 MeV) مما يتيح إجراء كشف متعدد العناصر المعدنية من خلال إشعاعات غاما مميزة صادرة من C, O, N (399 ملّي بارن) بوساطة منظومة مكشاف متعدد لتصوير التوزعات العنصرية.

c- التحليل بنترونات سريعة نبضية (PFNA)، وهو تحليل يقلل من الخلفية العالية المتأصلة في تقنية FNA وذلك من خلال تطبيق الفصل في الوقت المناسب بين المصدر من إشعاعات غاما المحرضة والنترونات المبعثرة. وتبلغ سرعتا النترونات ذات الطاقة 8 MeV وذات الطاقة 14 MeV: 3.0 cm/ns و 5.2 cm/ns على التوالي (بالمقارنة مع 30 سم/نانو ثانية لسرعة الضوء) [14]، لذلك كان ممكناً لبوّابة مكشاف غاما أن تفتح لفترة من الوقت كافية لكشف إشعاعات غاما الصادرة من حجم الهدف وأن تغلق هذه البوابة قبل وصول النترونات. وبجعل المنبع نبضياً يُحصل على ميزة إضافية، وهي أن تقنية " زمن الطيران time - of - flight (TOF)" يمكن استخدامها من أجل تحديد النقطة التي تحدث عندها التأثرات النترونية، ولو أن تحديد موقع ضمن مجال لا يزيد عن 1 سم يظل أمراً لا يمكن تحقيقه.

d- التحليل بنترونات سريعة - حرارية نبضية (PFTN)، وهو تحليل يجمع من حيث المبدأ ما بين التقنيات الثلاث المذكورة أعلاه [15] محققاً فائدة جميع المعلومات التي يمكن استخلاصها وإنما على حساب زيادة الزمن الذي يستغرقه التحليل. ويجري أيضاً تطبيق استخدام تقنية PFTNA في تحديد هوية العوامل الفعّالة لسلاح كيميائي في ذخائر محكمة الإغلاق تحتوي في الأحوال النموذجية على كل من: C, Cl, P, F, S, As [16].

e- التصوير بالجسيم المرافق (API)، ويعتمد على الحقيقة بأن التفاعلات المنتجة للنترونات في مولدات نترونية أنبوبية محكمة الإغلاق تنتج على الدوام جسيماً مشحوناً مرافقاً، مثل جسيم ألفا في التفاعل D-T. وبما أن التفاعل يحدث أساساً عند السكون، فإن النترون وجسيمه المرافق ينطلقان باتجاهين متعاكسين من أجل الحفاظ على الاندفاع الخطي. وهكذا يغدو ممكناً تحديد مسار النترون بكشف هذه الجسيمات المرافقة بوساطة مكشاف يتحسس الموضع على جانب الأنبوب وبمعرفة زمن تخلّقها. وبكشف جسيمات مرافقة، في تطابق متأخر مع إشعاعات غاما المصدرة والمحرضة بنترونات سريعة، يمكن بوساطة تقنية TOF اكتشاف موضع التآثر. لكن التحديد الأساسي لتقنية API هو أنه في اللحظة التي ينتج فيها النترون يصبح ضرورياً إتاحة فترة زمنية لكشف أي من إشعاعات غاما المثارة قبل أن ينتج نترون آخر، وهكذا يحدث نقص شديد في نتاج المنبع [17].

ورغم تزايد الوعي العام بشأن قضايا الألغام على نطاق عالمي، تظل الألغام التي سبق زرعها إحدى المشاكل التي سنعاني منها ردحاً من الزمن، ويستمر البحث من أجل التوصل إلى محسّ موثوق يمكن الاعتماد عليه.

المعالجة بأسر البورون للنترونات

من الضروري أيضاً إعادة تقييم الاستخدامات لمنابع نظائرية. وفي تطبيقات الطب الحيوي على وجه التحديد- بصرف النظر عن تحليل بالتنشيط النتروني في الحي- هناك قوة دافعة لاستئناف الاهتمام والبحث في مجال العلاج بأسر البورون للنترونات. ويتجلى هذا من خلال تأسيس منشأة للعلوم النترونية في الولايات المتحدة تعتمد في الأساس على منابع نترونية انشطارية مدمجة للنظير ^{252}Cf تستخدم في بحوث النترونات في مجال الطب الحيوي [18]. وهناك منشأة مشابهة قيد الإنشاء حالياً معدّة بصورة خاصة للتحليل بالتنشيط النتروني للغذاء لصالح دائرة الغذاء والعقاقير الأمريكية (FDA).

وتعد تقنية BNCT أسلوباً مبتكراً للعلاج الإشعاعي يركز أساساً على أنواع محددة من أورام الدماغ التي لم يكن علاجها فعّالاً بطرائق العلاج المألوفة. فورم الأرومة الدُبقية عديدة الأشكال glioblastoma multiforme هو الأعظم خباثة بين أورام الدماغ كافة، وله علاقة بالطور المتقدم لورم النجميات astrocytoma، الأكثر شيوعاً بين أنواع الأورام التي تصيب الدماغ. وبشكل عام، الورم هو كتلة محاطة بخلايا ورمية على هيئة أصابع مجهرية تهاجم الأنسجة السليمة المحيطة بها ولا يمكن استئصالها كلية بالجراحة، الأمر الذي يؤدي إلى ظهور مواقع جديدة للخباثة. ولا تستطيع معالجة إشعاعية تقليدية، تُطلق إشعاع نقل طاقة خطي ضعيف LET، أن تمنع الورم من معاودة نموه حتى لو استخدمت سويات عالية من الجرعة. وتكمن الفكرة الأساسية وراء تقنية BNCT في أن البورون المُعطى الذي يمتلك مقطعاً فعّالاً كبيراً جداً (n,α) للنترونات الحرارية، يمكنه التراكم انتقائياً داخل كتل الأورام فقط، ومن ثم تُرسل منتجات التشعيع مع النترونات جرعة إلى هذه الكتل المحدّدة متجنبة بذلك الأنسجة السليمة. وفي تلك الحالة، لا يمكن مقارنة الفوائد التي تجنى مع ما يمكن أن يتلف من أنسجة الدماغ السليمة. وتحدث التفاعلات التالية:

$$^{10}B + n \rightarrow [^{11}B]^* \rightarrow {}^4He + {}^7Li + 2.79\ MeV\ (6\%)$$
$$^{10}B + n \rightarrow [^{11}B]^* \rightarrow {}^4He + {}^7Li^* + 2.31\ MeV\ (94\%)$$
$$^7Li^* \rightarrow {}^7Li + \gamma(0.48\ MeV)$$

ويسير عنصرا الهليوم (^4He) والليثيوم (^7Li) في اتجاهين متعاكسين ضمن مدى يتراوح بين 5-9 مكرومتر داخل النسيج. من ناحية ثانية، تحدث تفاعلات أخرى تشمل غالباً الهدروجين والنتروجين، حيث لايمكن صرف النظر عن اعتبارات الجرعة لأن العنصرين المذكورين يؤلفان جزءاً هاماً من النسيج (10% و 3% وزناً لكل من العنصرين المذكورين على التوالي). والنمط الرئيسي لفقد طاقة النترونات داخل النسيج هو التبعثر

* بارن (b) barn: وحدة مساحة تساوي 10^{-24} من السنتمتر المربع تستعمل في تعيين المقطع الفعّال النووي.

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

على نوى الهدروجين ومع بروتونات طاقية ارتدادية تساهم في توضّع الجرعة.

اقترحت المعالجة بالأسر النتروني في عام 1936 ، وكانت أول ممارسة عملية لها في الخمسينيات في مختبر بروكهافن الوطني وفي مشفى ماساتشوستس العام التابع لمعهد ماساتشوستس للتقانة (MGH/MIT) [19]، باستعمال النترونات الحرارية. وقد عزي فشل المحاولتين السابقتين إلى عاملين رئيسيين هما: النوعية الهامشية جداً لمركبات البورون بالنسبة للأورام، والاختراق الضعيف للنترونات الحرارية التي كانت متعلقة أيضاً بجرعات سطحية عالية. وخلال الستينيات، بدأت دراسة أخرى في اليابان للباحث هاتاناكا الذي استمر في تجاربه حتى وفاته في عام 1994 حيث حل محله في متابعة هذه التجارب مساعده ناكاغاوا [20]. ويبدو أن نتائج هذه التجارب كانت أكثر تفاؤلاً (ولو أنها لم تقنع الجميع)، ويمكن إلى حد كبير عزو الاهتمام الأخير بتقنية BNCT في عدد من المراكز البحثية في العالم إلى الجهود المتواصلة التي بذلها الباحث هاتاناكا. وحدث في اليابان أيضاً تطوير آخر، ألا وهو قيام الباحث ميشيما Mishima بتطبيق تقنية BNCT في علاج الأورام الميلانية الجلدية [21]. وقد أضحى بحكم المقبول حالياً أن الحزم فوق الحرارية هي الأكثر ملاءمة لمعالجة الدماغ بالنترونات والبورون [22]، كما سُخّرت جهود بحثية عظيمة من أجل تصميم مركّبات يدخل البورون في تركيبها [23].

وفي الوقت الراهن، توجد ثلاثة برامج معدة لاستخدام تصميم مناسب من الحزم النترونية فوق الحرارية، اثنان منها في الولايات المتحدة، لدى كل من مفاعل بروكهافن للبحث الطبي (BMRR) ومفاعل البحث لدى MIT، والثالث في هولندة لدى مفاعل التدفق العالي في بتّين Petten. ويوجد اقتراح لمشروع رابع من هذا القبيل في أستراليا. ويُنفّذ البرنامج في بتّين (بهولندة) ضمن إطار عمل متفق عليه ترعاه لجنة الاتحادات الأوربية [23] وتشارك فيه مجموعة تضم 15 بلداً أوربياً. من ناحية ثانية، يجري البحث أيضاً عن منابع نترونية بديلة، وتشمل الاحتمالات في هذا المجال منابع تشظية، كمنابع ^{252}Cf (التي سبق ذكرها آنفاً) ومنبع نترونات ضوئية [24]. كذلك اقترح تحرّي استخدام مسرعات بروتونية منخفضة الطاقة (تستخدم هدفاً ذا عدد ذري Z منخفض) لإنتاج النترونات، ذلك أن التكلفة العالية للمفاعلات النووية وتعارض وجودها قريبة من المراكز الطبية يعيقان إقامة مثل هذه المنشآت. من ناحية أخرى، نجد أن منابع أساسها المسرعات لا تنتج عموماً تدفقات عالية من النترونات مما يؤدي بالتالي إلى أزمنة تشعيع طويلة غير مريحة، الأمر الذي يحتم ضرورة التفتيش والبحث عن عدد آخر من النهج والوسائط.

ومن التطويرات الأخرى تطبيق تفاعل $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ في معالجة التهاب المفصل الرثياني rheumatoid arthritis المتميز أو المترافق بالتهاب الزليل synovium (وهو الغشاء المبطن للمفاصل). ويعدّ استئصال الغشاء الزليلي بأسر البورون للنترونات [21] عملية تختلف في عدة نواح عن تقنية BNCT، بما في ذلك اختلاف في امتصاص الكتلة موضع الاهتمام للمركبات التي يدخل البورون في تركيبها ومتطلبات مختلفة أيضاً لتصميم الحزم النترونية. وفي الوقت الحالي، تجرى دراسات كمية لامتصاص البورون بكلا تقنيتَي BNCT وBNCS وذلك باستخدام تحليل أشعة غاما الفورية (PGA). ومن أجل الدراسة في الزجاج in vitro لامتصاص البورون -10 داخل الزليل البشري المستأصل، يجري قياس أشعتي γ ذواتي تعريض دوبلر 0.48 MeV و 2.22 MeV الصادرتين عن أسر النترونات في الهدروجين من أجل تصحيح التوضّع اللامتجانس للعينة ضمن الحزمة وتصحيح الاختلافات في تدفق النترونات الحرارية باستخدام نسبة B/H. ويوجد اهتمام عظيم بعملية التقدير السريع لتركيز البورون -10 في كتل صغيرة من النسيج [25]. كذلك تخضع للاختبار والبحث حالياً إمكانية رصد تراكيز البورون داخل الورم وداخل نسيج الدماغ في الزمن الحقيقي بوساطة تقنية PGA في الحي in vivo، والتي يمكن دفعها خطوة إلى الأمام بتطبيق تقنية التصوير المقطعي لإصدار أشعة غاما المحرض نترونياً (NIGET) لتصوير توزع عنصري البورون والهدروجين، مستخدمين لذلك إشعاعات غاما الفورية المصدرة كنتيجة للتأثرات الحاصلة مع العنصرين آنفي الذكر.

التصوير المقطعي الطبقي بإصدار أشعة غاما محرض نترونياً

تسعى تقنية INAA، بنمطيها الفوري والمتأخر، إلى تقدير تركيز عدد ضخم من العناصر في عينة ما بطريقة لا إتلافية. وفي حال كون العينة من النوع النادر أو الفريد فسيكون للتقنية المذكورة فوائد جمة، من بينها إمكانية استخدام تقنية أخرى للتحليل بهدف الحصول على معلومات إضافية مرغوب بها. إضافة لما سبق، يمكن أيضاً الجمع ما بين الحساسية المميزة ومبادىء التصوير المقطعي المحوسب للحصول على التوزع الخاص بالتراكيز العنصرية داخل شريحة ما أو مستوى محدد عبر العينة، الأمر الذي سيتيح بناء خارطة ثلاثية البعد ضن العينة الكاملة أو ضمن شرائح متتالية منها حسب الطلب وبطريقة لا إتلافية. ولتحقيق هذا الأمر، لا بد من جمع أطياف إشعاعات غاما المميزة، الفورية منها أو المتأخرة، والمحرَّضة بالتشعيع عند عدة زوايا على مدار 360° حول العينة المشعّة ثم الحصول، من خلال إعتيان عدد من المجالات، على البروفيلات (الإسقاطات) الإشعاعية عند كل زاوية. وقد أطلق على هذه الطريقة اسم التصوير المقطعي لإصدار أشعة غاما المحرض نترونياً NIGET [4].

وهناك الكثير من العوامل التي تؤثر على نوعية الصورة وعلى التقدير الدقيق لمقدار كل عنصر في كل خلية مكونة للعينة. وبينما نجد أن عدداً من هذه العوامل- مثل شروط تشعيع العينة التي تشمل أيضاً تغيرات التدفق النتروني والتدريع الذاتي للعينة- متعلق بعملية التنشيط النتروني ذاتها، نجد أن عوامل أخرى تكون متلازمة مع عمليتي اكتساب البيانات ومعالجة تاريخ الإسقاط كالتأرجحات الإحصائية، وزوايا الإسقاط غير الكافية، ومجالات الإعتيان الكبيرة (تؤثر الحالتان الأخيرتان على الفصل المكاني). إن تأثير الفوتونات المبعثرة، وبخاصة من أشعة غاما ذات الطاقة العالية، وتوهين أشعة غاما الصادرة عن العينة (بخاصة إذا كانت كبيرة أو تحوي مواد ذات العدد الذرّي z المرتفع) يعقدان التقدير الكمي الدقيق مسببة تموضعاً ضعيفاً للتكليد المشع. لذلك، سوف تتضمن صورة مأخوذة بتقنية NIGET غير المصححة خارطة لمعلومات مختلطة لابدّ وأن يستخلص منها التوزع الحقيقي للتكليد المشع [26].

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

لقد سبق أن طبقت تقنية NIGET في التحليل العنصري لعينات حيوية طبية وبيئية تشمل العظم، والخشب، وحصيّات الكلى أو الغدة اللعابية، وأورام الثدي، وأنسجة مرضية أخرى. وفي معظم الحالات أجريت هذه التحاليل باستعمال مكشاف Ge فردي جيد التسديد ذي مقدرة فصل عالية من أجل اكتساب أطياف أشعة غاما في نمط تصوير طبقي ولو أن ذلك يستغرق أزمنة طويلة بسبب كفاءة الكشف المنخفضة. وعند قياس أشعة غاما المتأخرة يَفْرضُ المكشاف المذكور آنفاً بعضاً من القيود على أعمار النصف للنكليدات المشعة موضع الدراسة وذلك من حيث أنشطتها وأزمنة المسح اللازمة لها، إضافة إلى قيود أخرى على حجم العينة والتوزع المكاني للنكليدات المشعة موضع الاهتمام. وأحد الحلول لما سبق، يتجلى باستعمال صفيفات من المكاشيف متعددة من وماضات جرمانات البزموت (BGO) التي سبق تطويرها من أجل تقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني (PET) [27]. وفي منظومات تقنية PET المعتمدة على الكشف التطابقي لفوتونات الفناء، تناقصت إلى حد كبير المساحة السطحية لكل مكشاف إفرادي على مدى العشرين سنة الأخيرة مما أدى إلى تحسين عظيم في مقدرة الفصل المكاني. وقد جرى تحقيق هذا الأمر من خلال تقطيع كتالة مادة الوماض (BGO) إلى قطع أصغر من أجل تشكيل عناصر مكشافية بلّورية إفرادية مقترنة مع عدد بسيط من أنابيب مضاعف ضوئي، الأمر الذي يوفر، بتكلفة معقولة، أداءً مكشافياً عالياً من حيث الحساسية ومقدرة الفصل المكاني [15].

والماسح PET ثلاثي البعد والأعلى حساسية في الوقت الراهن من أجل الدراسات البشرية (CTI/Siemens 966/EXACT-3D)، مجهز بـ: 48 حلقة (بقطر 82 سم) من عناصر مكشافية BGO ($4.0 \times 4.1 \times 30\ mm^3$) بصفيفة 8x8 كتالة) تغطي مجال رؤية محورياً (FOV) قدره 23.4سم. وبشكل إجمالي، توجد 72X6 كتالة من المكاشيف (576 عنصراً مكشافياً في الحلقة الواحدة وبمجموع قدره 21648 عنصراً مكشافياً إفرادياً) ذات ميز عبر المحور قدره 4.7 مم على بعد 1سم من المركز الخاص بمجال الرؤية المحوري [29]. ورغم كفاءة كشفها العالية إلا أن الميز الطاقي لهذه المكاشيف يُعدّ ضعيفاً بالمقارنة مع مكاشيف Ge مما يجعل التمييز صعباً بين الخطوط المجاورة من أشعة غاما المصدرة من عينة منشطة نترونياً. إضافة لما سبق، تسمح ماسحات PET التجارية بوجود نافذتين طاقيتين فقط يمكن ضبطهما لجمع البيانات، إحداهما لمجال الذروة الضوئية كاملة الطاقة (فوتونات الفناء) والأخرى عند طاقة أدنى من أجل تقدير إسهام التبعثر. وبالنسبة لتقنية NIGET، فإن هذا يحدّ من عدد النكليدات المشعة المصدرة لأشعة غاما والتي يمكن الحصول على توزع ما لها في مسح واحد إلى مسحين من التصوير المقطعي (بدون اعتبار مخصصات من أجل حسم الخلفية)، على افتراض أن طاقات أشعة غاما لهذه النكليدات مفصولة عن بعضها جيداً. وإذا كان مطلوباً من هذه المنظومات إجراء تصوير مقطعي تطابقي بأشعة غاما التعاقبية (وهناك عدد كبير من النكليدات المشعة المنتجة بالتشعيع النتروني والتي تصدر تعاقبياً أشعتي غاما)، فسوف تقتصر الدراسة عندئذ على نكليد مشع واحد لكل اكتساب للبيانات بالتصوير المقطعي [26]. وفي أي من الحالتين. سواء أجري كشف بأشعة غاما المفردة أو قياس تطابقي بأشعة غاما التعاقبية فإنه لا بد من أن تسدّد عناصر المكشاف من أجل إعطاء معلومات منحوية للتصوير المقطعي، وهذا بالطبع يقلل من كفاءة هذه المنظومات.

وفي قياسات تطابقية لأشعة غاما، إذا كان عمر الحالة البينية في عملية إزالة الإثارة المصدرة لأشعتي غاما المتعاقبتين طويلاً بما فيه الكفاية (أي أطول من زمن ميز المكشافين المستخدمين) فيمكن عندئذ إجراء قياسات ترابط زاوي مضطرب [30]. وهذا يوفر معلومات حول الوسط الكيميائي للنكليد المشع وحول موقع (أو مواقع) ارتباطه والذي يشكل بحد ذاته معلومة إضافية هامة [31].

ولا بد أن يُلاحظ ظهور أو تطوير ماسحات PET للدراسات الحيوانية، إذ أدى هذا التطوير إلى بناء منظومات أكثر حساسية (كأن توجد المكاشيف بأقطار حلقية أصغر حول العينة) ذات ميز مكاني أعلى من ذلك الخاص بنبائط سريرية إضافة إلى كونها أقل تكلفة [31]. والدافع وراء هذا التطوير هو البحث عن عقاقير جديدة تعطي معلومات ضرورية حول فزيولوجية وكيميا-حيوية الأمراض وتوصيفها ووسائل علاجها من خلال الاستخدام في الحي لمصدّرات صيدلانية موسومة بوزيترونياً. هذا وتوفر تقنية PET عالية الميز المكاني إمكانية إجراء تجارب دوائية على الحيوان دون حاجة إلى ممارسة عملية التشريح في الحي. ومثل هذه المنظومة التي تعتمد أساساً على بلّورات ومضانية من بروفسكيت الإتريوم والألمنيوم المطعّم بالسيريوم (YAP:Ce)، بأبعاد قدرها 2mm X 2mm X 15mm، ومعزولة ضوئياً بوساطة طبقات عاكسة، ومُغرّاة مع بعضها البعض لتشكل كتالة مكشاف تتألف من 20 X 20 عنصراً مكشافياً تخضع حالياً إلى تجارب اختبارية وقد ادُّعي بأن لها ميزاً مكانياً قدره 2 مم [33].

ولابد أن تؤخذ أيضاً بعين الاعتبار إمكانية استخدام صفيفات لمكاشيف جرمانيوم عالية الميز من أجل دراسة أطياف أشعة غاما متعددة الطاقة بمختلف الطرائق الآنف وصفها وبكفاءة أعظم. وقد سبق أن جرى بناء صفيفات كبيرة لمطايف جرمانيوم إفلاتية مخمدة من أجل إجراء تجارب البنية النووية تبحث في خواص اضمحلال غاما للنواة الذرية. واضمحلال بعض من هذه النوى إلى حالاتها الأساسية يتميز بإصدار تعاقبيات بنمط 25-35 من تحولات أشعة غاما، علماً بأن هناك حاجة لاستخدام مطيافية تطابقية، ليس فقط من أجل قياس المزدوجات (غاما - غاما γ^2)، بل أيضاً من أجل المضاعفات (γ^n) ذات الرتبة الأعلى. وبسبب انخفاض نسبة الذروة إلى الخلفية والناجم عن جمع غير كامل للطاقة في مكشاف Ge العاري (يقع في طيف النظير Co^{60}، حوالي 20% فقط من العدّات في ذروات الطاقة الكاملة وماتبقى، في حدود 80%، يُشكّل خلفية مستمرة عند الطاقات الأخفض الناجمة بشكل رئيسي عن تبعثر كمبتون لأشعة غاما خارج بلورة Ge)، كان من الضروري استعمال مكشاف آخر يحيط به لكشف هذه الأشعة المبعثرة ونبذ الأحداث المتزامنة مابين مكشاف Ge ودرع الإفلات الإخمادي المنوه به. ويطلق على الجمع ما بين مكشاف Ge والدرع (المصنوع من وامض BGO) اسم "مطياف إفلات مخمَّد (ESS). وفي الأحوال

النموذجية، يقع بعد الإخماد حوالي 55% من العدّات المتبقية ضمن الذروات الضوئية كاملة الطاقة. وأحدث جيل من مطايف أشعة غاما ضخمة الصفيفة هو ذلك المدعو "يوروغام Eurogam"، الذي يتألف من عناصر جرمانيوم إفرادية لا تزيد عن 239 وذات كفاءات ذروة ضوئية تصل إلى 10% [34]. ولابد أن يؤخذ بعين الاعتبار أن مثل هذه المنظومات غالية جداً وأن هناك حدوداً لعدد المكاشيف التي يمكن حشرها في هذه الصفيفات وحدوداً للمكتسب في كفاءات الذروة الضوئية.

ويُعدّ استخدام الواسم المتعدد، الذي طوره آمب Ambe ورفاقه العاملون لدى معهد البحوث الفيزيائية والكيميائية في ركن Riken باليابان، قاعدة اختبار جيدة للأفكار المجسدة أعلاه بشأن كل من: التصوير المقطعي الإصدراي، والتصوير المقطعي التطابقي بأشعة غاما التعاقبية، وقياسات الترابط الزاوي المضطرب [35]. ويشتمل محلول الواسم المتعدد المنتج في منشأة "السكلوترون الحلقي في ركن على كل من: ^{46}Sc, ^{54}Mn, ^{59}Fe, ^{58}Co, ^{65}Zn, ^{75}Se, ^{83}Rb, ^{88}zr، وإن لتطبيق تقنية الواسم المتعدد، وبخاصة في المجالات التقانية والطبية الحيوية، فوائد ومزايا تفوق تلك الخاصة بالطريقة التقليدية للواسم المفرد.

تطبيقات طبية حيوية

يلعب التحليل بالتنشيط النتروني دوراً هاماً في مجالات الطب الحيوي والبيئة الحيوية حيث توجد حاجة لتقدير تراكيز عناصر الأثر أو عناصرالأثر الفائقة في أبحاث محددة أو تطبيقات نمطية. وسيكون هذا مفيداً في المساعدة على فهم البنية والوظيفة لنظم حيوية، وعلى تمييز الانسجة الطبيعية والمرضية، وعلى دراسة أمراض محددة، وعلى تحديد هوية عوامل سامة وأخرى توجد في بيئتنا وفي الغذاء الذي نتناوله، إضافة إلى تقييم تأثير العوامل الأخيرة على الصحة العامة. وفي كثير من الحالات يغدو ضرورياً اتباع نهج متعدد العناصر، بينما يتطلب الأمر في حالات أخرى قياس سوية عنصر واحد أو مجموعة صغيرة من العناصر- كما هو الحال مثلاً في دراسات التطوير الكيميائي للأنواع. ومن المنطقي أن نتوقع ضرورة تطبيق تقنية NAA كلما سنحت الفرصة في مشاكل تحليلية تظهر قوة وقدرات هذه التقنية مع اللجوء إلى طرائق تحليلية أخرى لتكملة القياسات أو عندما تستدعي الظروف ذلك. هذا، وسوف نركز الأضواء هنا على أربعة من مجالات البحوث التي تمثل تحديات علمية بارزة حيث أن لثلاثة منها على الأقل علاقة بصحة نسبة عالية من المجموعات السكانية.

مرض ألزهايمر

يُعدّ مرض ألزهايمر من أعظم أشكال الخرف شيوعاً، يتميز بتلف متسارع لا عكوس للذاكرة وبتدهور في الإدراك وبتغيرات في الشخصية يعقبها بعد عدة سنوات حالة من العته الحاد العميق؛ وغالباً ما يموت المريض بعد 8-10 سنوات من بدء الإصابة بفعل تأثيرات جانبية، كالتهاب الرئة أو الخمج الكلوي أو الاختناق. ويزداد باستمرار عدد المصابين بهذا المرض بسبب زيادة احتمال الإصابة به مع تقدم العمر وبسبب الارتفاع العالمي في متوسط عمر حياة البشر. ويقدر عدد المصابين بمرض ألزهايمر بحوالي فرد واحد لكل عشرين ممن تجاوزوا عمر الخامسة والستين [36]، مع تضاعف هذا المعدل كل خمس سنوات فوق العمر المذكور، علماً بأن عدد المصابين على نطاق عالمي سيصل إلى حوالي 210 مليون بحلول عام 2000 [37]. ومن ناحية مرضية عصبية، يتميز مرض ألزهايمر بانتشار واسع في أنسجة الدماغ لتشبكات ليفية عصبية وبالتهاب عصبي شيخوخي للويحات. وقد عرف أن بعض حالات هذا المرض مرتبطة وراثياً وأنه جرى تحديد هوية ثلاثة صبغيات (14 و 19 و 21) ذات علاقة بالمرض. من ناحية ثانية هناك عدد ضخم جداً من حالات الإصابة المتفرقة التي تبقى مجهولة السبب.

وبصرف النظر عن الذيفانات البيئية، تشير كثير من البحوث الحديثة إلى دور تؤديه الجذور الحرة في نشوء مرض ألزهايمر. فالجذور الحرة تؤذي الخلايا من خلال تسببها في عملية فوق أكسدة الدهون، كما تستطيع أيضاً توليد جذور حرة بروتينية مؤذية تسبب هدم البروتين. وتوجد آليات حماية طبيعية على شكل مضادات أكسدة، مثل فيتامين E وC، تعمل عادة ككانسات للجذور الحرة. وحيث أن الأنزيمات Cu-Zn-superoxide dimutase (SOD) وMn-SOD و Se في GSH-Px تعدُّ مركبات مضادة للأكسدة، فإنها من الممكن أن تلعب دوراً في خفض أعداد الجذور الحرة، بينما يُعدّ الحديد، من ناحية أخرى، حفّازاً على إنتاج الجذور الحرة [40-42].

ولقي الاحتمال بأن يلعب الألومنيوم (Al) دوراً بارزاً في مرض ألزهايمر بعد أن تبيّن لأول مرة في عام 1973 أن سويات الألمنيوم تزداد في بعض مناطق الدماغ لأفراد مصابين بالمرض [45]. ومنذ ذلك الحين، أجريت دراسات عديدة أعطت نتائج أفادت إما بزيادة معنوية لسويات الألمنيوم بالمقارنة مع الشاهد، أو بفشل إيجاد فروق معنوية لسويات هذا العنصر بين المصابين والأصحّاء [42-44]. وتشير أبحاث حالية إلى ظهور زيادة فعلية في تراكيز الألمنيوم في مناطق متموضعة جداً داخل الدماغ؛ غير أن الدليل لا يتوفر حول عمل هذه التراكيز كذيفانات عصبية تسبب حلول الإصابة بالألزهايمر.

لقد تبيّن أن العديد من العناصر الرئيسة والثانوية وعناصر الأثر توجد في نسيج دماغ الأصحاء بتراكيز مختلفة عن تلك الموجودة في النسيج نفسه في الأفراد المصابين بمرض ألزهايمر. ومعظم الباحثين حسبوا فروقاً معنوية لمجمل الدماغ (بحساب التركيز المتحصل عليه من مناطق الدماغ كافة)، وقليل منهم فقط [46, 47] الذين تفحصوا فروقاً معنوية في مناطق الدماغ المدروسة كل على حدة فوجدوها غير ثابتة أو مؤكدة على الدوام. ولم يجد إهمان ورفاقه [48]، الذين تفحصوا تراكيز الحديد في 16 منطقة دماغية، فرقاً معنوياً لهذه التراكيز في نسيج الدماغ بين الأفراد الأصحاء وأولئك المصابين بالمرض. وقد أقمنا قبل خمس سنوات مضت مشروعاً رائداً لايزال قيد البحث بهدف تحرّي التوزع العنصري في دماغ هرم طبيعي وآخر مصاب بمرض ألزهايمر، مع تركيز الاهتمام على نواح سبق أن ورد بشأنها في الأدبيات العلمية معلومات إما متضاربة أو محيرة أو قليلة. كذلك، تركز الاهتمام على مدى اعتماد التراكيز العنصرية على المنطقة المدروسة من الدماغ، فيما إذا كانت تقع في الفصّ الأيمن أو الأيسر منه،

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

وفيما إذا كان لطول فترة الإصابة تأثير على سويات العناصر المتحصل عليها. وقد تم الحصول على عيناتنا وبياناتنا التشريحية، لكل من الأدمغة الشاهدة والمصابة، من "بنك أدمغة ألزهايمر التابع لمعهد الطب النفساني في لندن MRC. واستخدمت في بحثنا المذكور تحاليل بطريقتي إصدار أشعة X المحرّض بروتونياً (PIXE) والتبعثر الراجع لرزرفورد، مقترنتين بتقنية INAA. وقد سبق نشر بعض من نتائجنا الأولية التي يمكن تلخيصها فيما يلي: عند المقارنة بين أنسجة دماغية مصابة بمرض ألزهايمر وأخرى شاهدة تبين وجود زيادة في المحتوى المائي، ونقص في تركيز عناصر الـ Na, Cl, Br وزيادة في تركيز عناصر الـ K, Zn, Se, Rb, Cd. وقد تأثرت النتيجة الأخيرة بعاملين اثنين هما: 1- المنطقة القشرية المختارة، و2- طول فترة الإصابة [49-51]. هذا، ولابد من أن تستمر أبحاث عناصر الأثر ذات العلاقة بمرض ألزهايمر رغم صعوبة الحصول على عينات جيدة التوثيق وغير ملوثة. وإننا مستمرون في العمل وانتهى بنا المطاف إلى تعاون مع وحدة العلوم الحياتية في مركز البحث المشترك التابع لمفوضية المجموعات الأوربية، في إسبرا بإيطالية بهدف تقدير تركيز عدد كبير من العناصر المعدنية في عشر مناطق في كل من الفص الأيسر والأيمن للدماغ وذلك باستخدام تقنيات: ETAAS, ICP-MS, RNAA, INAA.

وجدير أن يقال بأن عام 1995 هو عام الدماغ [ولربما الأصح أن يقال بأنه عقد (عشر سنوات) الدماغ] حيث كان يحثّ على القيام ببحوث أكثر عدداً بهدف سبر وظائف الدماغ ومايرافقها من أمراض. وقد أظهر تفتيش سريع على موقع Bath Information and Data Services (BIDS) وجود مايزيد على 6900 مرجع علمي حول الموضوع خلال فترة الأعوام بين 1990 و 1995 . وتنوي مفوضية المجموعات الأوربية أن تولي مرض ألزهايمر أفضلية عالية ضمن مبادراتها الصحية في المستقبل القريب.

الداء السكّري

يعدّ الداء السكري خللاً استقلابياً يظهر في أي وقت من العمر وهو، في الوقت الراهن، حالة مرضية غير قابلة للشفاء. وفي الأحوال الطبيعية، تُضبط بعناية فائقة كمية الغلوكوز داخل الجسم، والذي هو نوع من السكريات يحصل عليها من الغذاء المتناول وبخاصة من الكربوهدارت. وحالة عوز الأنسولين و/أو مقاومته هي المسبب لداء السكري. ويعد امتصاص واستهلاك الغلوكوز من قبل الدماغ والكبد والكلى والخلايا الحمر عملية لا تعتمد على الأنسولين (وتمثل هذه العملية 70% من الغلوكوز الممتص والمستهلك تحت ظروف الصيام) [52]، لكن الغلوكوز لايستطيع دخول العضلات والأنسجة الشحمية بدون وساطة الأنسولين؛ وهذا ينطبق أيضاً على مريض السكري غير المعالج الأمر الذي يؤدي إلى بقاء غلوكوز الدم بنسبة عالية بعد تناول وجبة ما (فرط سكر الدم). وعندما لايتمكن الغلوكوز من التأكسد بوساطة الخلايا، تُحرك الدهون للاستقلاب كبديل عنه مما يؤدي إلى زيادة في كمية مستقلبات أحماض دهنية أو كيتونات في الدم والتي بدورها تؤدي إلى خفض pH الدم بسبب كونها أحماضاً عضوية قوية (خُلال ketosis أو حماض كيتوني ketoacidosis). ولهذه الحالة تأثير سيء على فزيولوجية الجسم يشمل نقل الأكسجين، ووظيفة القلب، والتي قد تقود في نهاية المطاف إلى غيبوبة وموت. كذلك قد تقود حالة اللاثبات الطويل في سويات غلوكوز الدم إلى مضاعفات طويلة الأجل تظهر تأثيراتها فيما بعد على الأوعية الدموية والعيون والأعصاب والكلى، والتي يعتقد بأنها تنشأ بسبب تغيرات كيميائية حيوية مُحرّضة بالغلوكوز تحصل في الغشاء القاعدي للجهاز الوعائي. وهناك زيادة في احتمال الإصابة بمرض القلب والسكتة والتخرب النسيجي للقدم والأرجل. وقد يحدّ من هذه المضاعفات خفض التراكيز العالية لغلوكوز الدم والملازمة لداء السكري إلى أقرب ما يمكن من سوية تراكيزها الطبيعية.

وخلال المسح الصحي لإنكلترة، الذي قام به مكتب المسح والإحصاء في عام 1993 ، أجريت المقابلة مع 16500 فرد ممن تزيد أعمارهم عن 16 سنة فتبين أن نسبة 3% منهم أفادوا ذاتياً بأنهم مصابون بداء السكري. وإذا استُقرئت وعُممت النتيجة الأخيرة على البلد بكامله فسوف يكون هناك 1380000 من الأفراد المصابين بداء السكري في المملكة المتحدة. وقد افترض بأن 10-25% من هؤلاء يعانون من النمط I لداء السكري المعتمد على الأنسولين (IDDM)، بينما يعاني الباقون (75-90%) من النمط II غير المعتمد على الأنسولين (NIDDM). وتبعاً لإحصائية الرابطة البريطانية للمصابين بداء السكري يُتوقع أن يوجد عدد من المصابين بالنمط I يتراوح ما بين 138000 و345000 وعدد آخر مابين 1035000 و1242000 من المصابين بالنمط II لداء السكري. وجدير أن يذكر أيضاً بأن عدد الأطفال المصابين بداء السكري قد تضاعف في السنوات العشر الماضية.

ويتميز IDDM بظهور مفاجيء لأعراض شديدة مع ضرورة الاعتماد على الأنسولين من مصدر خارجي للمحافظة على الحياة ومع ميل للإصابة بالخلال حتى في الحالة الأولية. هناك ثلاث مكونات معترف بها كمسببات للنمط I من داء السكري تشمل: تأهباً وراثياً، وقادحاً بيئياً، وعاملاً مناعياً، ولايزال الشكل الدقيق للقادح البيئي مجهولاً ولو أنه قد يتخذ شكل إصابة فيروسية، كما هو الحال عند الإصابة بالنكاف mumps والحصبة الألمانية (الحميراء) rubella، أو يكون ناجماً عن المحتوى الغذائي للطعام المتناول [53]. وقد سبق أن اقترح البعض بأن اتحاد العوامل الثلاثة جميعها معاً هو الذي يسبب تخرّب خلايا الجزيرات islet cells المنتجة للأنسولين في غدة البانكرياس [54]. أمّا INDDM فهو الأكثر شيوعاً إلى حد بعيد، وهو، بخلاف IDDM، نمط لا يعتمد على الأنسولين ولاينزع إلى إحداث الخلال، ولو أن الحاجة تدع إلى إعطاء الأنسولين إن لم يستطع الغذاء أو العوامل الفموية من ضبط حالة فرط سكر الدم الصيامي. ويتميز النمط الأخير عند اكتمال الإصابة بظهور نسبة عالية من غلوكوز الدم بعد الصيام (أعلى من 10 ملّيمول / لتر)، وبالسمنة، وبتراكيز أقل مما هو متوقع لأنسولين البلازما مقابل غلوكوز البلازما، وبمقاومة للأنسولين (أنسولين أضعف من حيث قدرته على الارتباط بمستقبلات فوق الأغشية الخلوية المستهدفة)، وبزيادة في معدل إنتاج الغلوكوز الكبدي [55]. ورغم أن معظم المصابين بالنمط II لداء السكري يعانون من السمنة، إلا أن السمنة بحد ذاتها لاتعد سبباً لحدوث هذه الحالة المرضية لكنها تمثل أهم عامل مؤهل للإصابة. ويعتقد بأن التأثير الوراثي على سببيات aetiology حالة NIDDM أقوى من ذلك على

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

سببيات حالة IDDM وذلك بسبب ظهور تكرار أعظم وتوقعات أعلى لتوريث المرض عبر خطوط وسلالات عائلية. والاستعداد الوراثي مع العوامل البيئية يؤديان معاً إلى ظهور مقاومة للأنسولين. وتشمل المعالجة في الوقت الراهن لحالة NIDDM: اتباع نظام غذائي صارم، وإجراء تمارين رياضية، وتناول جرعات من مركبات سلفونيل يوريز sulphonylureas المحرضة على إنتاج الأنسولين، وكذلك مركبات biguarides التي تحرض امتصاص العضلات للغلوكوز وتقلل معدل امتصاص الغلوكوز من الأمعاء كما تقلل معدل تحلل الغليكوجين في الكبد.

من مراجعة الأدبيات العلمية، أضحى معروفاً على نطاق واسع أن عناصر الأثر الهامة المحتمل وجود علاقة لها بداء السكري هي: Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Se, V, Zn. ويتبدل تركيز وتوزع بعض العناصر الأساسية عند الإصابة بداء السكري [56, 57]، ، ويكون مثل هذا التبدل مختلفاً في المصابين بالنمط I عنه في المصابين بالنمط II لداء السكري [58]. ورغم الدراسات العديدة التي تطرقت إلى وضع عناصر الأثر، لاتزال هناك كثير من المتناقضات في المكتشفات، وبخاصة تلك المتعلقة بعنصر الزنك (Zn). ونواح يحتمل أن تكون مربكة، هي الفشل في أن تؤخذ في الحسبان شدة المضاعفات الناجمة وطول فترة الإصابة بداء السكري. ويعتقد بأن مضاعفات وعائية أو ضبطاً استقلابياً ضعيفاً سيؤدي إلى اضطرابات أعظم في استقلاب العناصر المعدنية. وفشلت كثير من الدراسات في التمييز بين المرضى بالنمط I والمرضى بالنمط II ضمن المجموعات السكانية موضع الدراسة، كما فشلت أيضاً في الاستفادة من الأفراد غير المصابين بداء السكري في المجموعات الشاهدة. وحسب رأي الباحث بهانوت Bhanot [58]، فإن الدليل المستخلص من دراسات صممت جيداً وحُلّلت بياناتها بطريقة صحيحة يشير إلى أن جميع المصابين بداء السكري مؤهبون لمعاناة حالة تتميز بنقص المغنزيوم ذات بيلة مفتقرة للمغنزيوم ومفرطة في الزنك، في حين ينزع مرضى السكري غير المعتمد على الأنسولين إلى إصابتهم بعوز الكروميوم.

وفي إحدى الدراسات الوبيئية التي تحرّت داء السكري وعلاقته بالتوزع البيئي لعناصر الأثر، تمكّن هاغلند [59]، في السويد، من مقارنة الواقعات الجغرافية للنمط I من داء السكري مع تركيز الزنك في المياه الجوفية، ووجد بأن التعرض طويل الأجل لتراكيز عالية من الزنك في المياه الجوفية يترافق مع تناقص احتمال ظهور الإصابة بالنمط المذكور من داء السكري. هذا، ويبقى هناك مجال واسع جداً للقيام بأبحاث جيدة الخطة والتصميم من أجل دراسة هذا المرض الذي يزداد انتشاره يوماً بعد يوم.

الشبع والسمنة

تعدّ السمنة واحدة من المهدّدات الرئيسية للصحة حيث أن بعض المشاكل كالعقم، وأمراض المثانة، وداء السكّري، ومرض القلب تمثل حالات مرضية يعاني منها السمان بمعدلات أكبر من تلك التي يعاني منها ذوو البنية النحيلة. وهناك الكثير من الأدلة التي تفيد بأن الطعام مرتبط بحدوث حالات مرضية محددة، كما هو الحال في مرض القلب الإكليلي. ويعتبر الأفراد مصابين بالسمنة إذا كانت أوزان أجسامهم تزيد بنسبة 20% عن الحد الأعلى لمدى الوزن المقبول [61]. وقد عرّفت منظمة الصحة العالمية (WHO) السمنة من خلال استخدام دليل كتلة الجسم كمعيار يحدد مراتب الأجسام مفرطة الوزن. (يحسب هذا الدليل بتقسيم وزن الجسم بالكيلوغرام على مربع الطول بالمتر، وقيمة محسوبة لـ BMI قدرها 25 تعني فرط وزن من المرتبة الأولى، بينما قيمة قدرها 30 وأخرى قدرها 40 تعني فرط وزن من المرتبة الثانية والثالثة على التوالي). هذا، وتصل إلى 20% نسبة الأوربيين والبيض من سكان الولايات المتحدة ممن تتراوح أعمارهم بين 20 و 60 سنة والمصنفين في المرتبة الثانية لفرط الوزن، بينما تصل النسبة ذاتها إلى 40% في حالات النسوة في كل من شرقي أوربا وبلدان البحر الأبيض المتوسط والنسوة السود في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد تزايد عدد مفرطي الوزن الأمريكيين من 25 إلى 33% خلال الفترة بين عامي 1980 و 1991. ومن الواضح جداً أن السمنة تمثل مشكلة ضخمة الأبعاد وبأن أعداداً كبيرة من الناس أصبحوا عرضة للإصابة بالأمراض المتلازمة معها والتي سبق التنويه بها.

ويُعدّ دهن الطعام محدداً رئيسياً للطاقة المتناولة من قبل البشر. ولنوع وكمية دهن الطعام المتناول تأثيرات على كل من فرط التغذية، والسمنة، والاعتلال القلبي الوعائي، والإصابة بسرطانات محددة. وفي مجموعات سكانية (بريطانية) تزداد فيها ظاهرة السمنة هناك اعتراف عام بالرغبة في إنقاص نسبة دهن الطعام، الأمر الذي نجم عنه تطوير عديد من المنتجات منقوصة الدهن. من ناحية ثانية، قوبلت بقليل من النجاح المبادرات الصحية خلال السنوات العشرة الماضية من أجل استهلاك نسبة أقل من الدهن. وبعكس المواد الكربوهدراتية والبروتينية، التي توجد لأكسدتها واستقلابها علاقة وثيقة جداً بالكميات المتناولة منها مما يسبب الحفاظ على ميزان الطاقة داخل الجسم، تُعدّ أكسدة المواد الدهنية عملية لا يمكنها التكيف بذكاء مع تغيرات في كميات الدهن المتناولة، وبالتالي يُعدّ ميزان الدهن أقل المكونات الغذائية دقة وجودة لضبط ميزان الطاقة [61]. ويعتمد بشدة الضبط القصير الأجل لاستهلاك مكون غذائي على الإشارات الفعالة للشبع التي يولدها وجود الدهن في الأمعاء.

والشروع بتناول الطعام والإحجام عنه عمليتان معقدتان تشتملان على إشارات متعددة تُرسل إلى الجهاز العصبي المركزي. وقليل نسبياً ما هو معروف بشأن الآليات الكيميائية الحيوية التي تُسهم في حدوث الجوع والشبع، ولو أن الدليل قوي على أن للدهن تأثيراً قصير الأجل في ضبط كمية الغذاء المتناول عبر إشارات الشبع التي تؤدي فيها الهرمونات المعدية – المعوية دور الوسيط والتي بدورها تُحدِث تبدلاً في الإفراغ المعدي [62, 63]. وتتوفر أدلة كثيرة عالجت ظاهرة الشبع ومدى تأثرها بالأغذية المختلفة لكنها في أغلب الحالات كانت تقترح صلاتٍ مراوغة فقط من حيث ارتباطها بعناصر الأثر. وقد ناقش بلوندل [64] آليات الجريان كرد فعل لما يستهلك من أغذية مختلفة، وهناك عدة مقالات تبحث في فكرة إحداث دليل شبع للأغذية المختلفة [65]. كذلك أشار بري Bray [66] إلى وجود أكثر من اثني عشر نوعاً من الببتيدات التي وجد بأنها إما تشجع أو تقلل معدل استهلاك الغذاء. وتعد عناصر الأثر ضرورية لفعالية البروتينات والأنزيمات والأحماض الأمينية التي تم الإقرار بأن لبعضها تأثيراً على ضبط الشهية بطريقة ما، كما عُزي إسهام في ضبط وزن الجسم لكل

من عناصر Zn, Cr, Mn, Cu, Se وهذا يشكل بحد ذاته مجالاً يتطلب مزيداً من الدراسات والأبحاث.

في عام 1996 ، بدأنا في جامعة Surrey مشروعاً يعالج ظاهرة الشبع بدعم من قبل مجلس البحث العلمي للتقانة الحيوية وعلم الأحياء، حيث جرى في هذا المشروع قياس الهرمونات المعدية - المعوية وتحرك المعدة كرد فعل لوجبات مختلفة في تركيبها الدهني وفي نوع ومحتواها الطاقي. وسوف يكون ممتعاً، في الوقت المناسب، تحرّي علاقة عناصر الأثر بتأثرات الدماغ والقناة الهضمية.

الندبات الضخامية والجلد

تُعدّ الندبة الضخامية نوعاً خاصاً من الندبات التي تتشكل بعد أي نوع من الإصابات الجلدية كالحرق والجرح أو أي رضٍ قد يمتد إلى أدمة الجلد [67]. وتتصف هذه الندبة بأنها قبيحة المظهر ترتفع فوق سوية النسيج الطبيعي للجلد [68]، كما أنها حمراء اللون ومؤلمة تتطلب الحك ومفرطة الحس. وتتميز الندبات الضخامية باحتوائها على كمية زائدة من الكولاجين عند مقارنتها بجلد طبيعي [68]، لكنها تبقى ضمن الحدود الأولية للجرح. وغالباً ما تتشكل هذه الندبات بعد ستة أشهر من الإصابة وقد ينقضي العمر كله قبل أن تتراجع إلى الحالة الطبيعية، كما تمثل نوعاً فريداً يصيب الإنسان فقط دون وجود نموذج مماثل لها في الحيوانات [69]. وحتى الوقت الراهن لا يعرف أحد لماذا تتشكل هذه الندبات كما لا يزال العامل المسبب لها مجهولاً. ويقسم الجلد إلى شريحتين رئيسيتين هما البشرة والأدمة، حيث تكوّن الشريحة الأولى منهما الغلاف العلوي الخارجي. ويعد الكولاجين المكون الرئيسي للجلد.

في عام 1992، قام اتحاد استعادة المظهر والوظيفة، التابع لمعهد الجراحة اللدينة في مشفى Mount Vernon في مدينة Middlesex بالمملكة المتحدة، بإجراء مسح فوجد أن 23% من الحروق السطحية و 50% من الحروق العميقة للأدمة و 40% من الحروق الجلدية كاملة الثخانة تصبح في نهاية المطاف ندبات ضخامية. وكما هو متوقع فإن هذه الندبات أكثر مصادفة في صغار السن (50% من إجمالي الندبات الضخامية يصادف في المجموعة العمرية من 0-2 سنة) والكهول عنها في أي من الفئات العمرية الأخرى. وهناك عوامل مختلفة يحتمل اعتبارها مسببات لنشوء الندبات الضخامية أو يمكنها التفسير بأن فرداً ما أكثر نزعة لتشكيل هذه الندبات من فرد آخر، علماًبأن معظم النتائج المتوفرة في الأدبيات العلمية حول هذا الموضوع لا تزال متضاربة. وقد طُرحت عدة تفسيرات بالنسبة لصغار السن: فهم أكثر تعرضاً للإصابات الجلدية، ويتمتعون بتوتر جلدي أعلى، وبمعدل اصطناع للكولاجين أعظم مما هو عليه في كبار السن. ويعد موقع الندبة على الجسم عاملاً آخر، حيث من النادر أن تتشكل الندبات الضخامية فوق ريف الأعين وأعضاء التناسل وراحة اليد وباطن القدم، في حين تتشكل بمعدلات أسرع فوق الرقبة والظهر والكتفين وشحمتي الأذن. وبناء عليه، لا يمكن لثخانة الجلد وتوتره أن يفسرا بشكل كامل عملية تشكل الندبات الضخامية، وقد يلعب الاصطباغ الجلدي دوراً في هذا المجال حيث صودفت واقعات أعظم من هذه الندبات فوق الجلد الأقتم لوناً. وقد سبق أن عزيت الناحية الأخيرة إلى زيغ في الهرمون المحرض للخلايا الملانية، والمواضع الرئيسة للندبات الضخامية هي مناطق تصل تراكيز الخلايا الملانية فيها إلى أعظم سوياتها [68].

وفي الوقت الراهن، لايوجد علاج يمنع تشكل الندبات الضخامية ولو أنه توجد طرائق محددة لمعالجة الندبة. ورغم أن لكل ندبة ضخامية علاجها الخاص إلا أن طريقة العلاج تتوقف على حجم الندبة وموضعها وعلى الفرد المريض ذاته. وهناك خمس طرائق للمعالجة جيدة التوصيف: الاستئصال الجراحي، والتعريض للأشعة، والحقن بالسترويدات والمداواة بالضغط والتغطية بهلامة سليكونية. وقد يغدو مفيداً جداً معرفة التركيب العنصري لنسيج الجلد الطبيعي المشتمل على البشرة والأدمة كلاهما ومن ثم مقارنته بالتركيب العنصري للندبات الضخامية وذلك في محاولة لشرح آليات تشكل هذه الندبات ولإيجاد طرائق فعالة لمنع تشكلها ومعالجتها. وعلى أية حال، تتضمن الأدبيات العلمية معلومات ضئيلة فقط حول ما يتعلق بالتركيب العنصري للجلد الطبيعي بينما تكون مثل هذه المعلومات شبه معدومة بالنسبة للندبات الضخامية. وكما ورد في المجموعة الوثائقية للباحث أينغر وزملائه [71]، فقد أجريت معظم التحريات بشأن محتوى الجلد الطبيعي من عناصر الأثر قبل عام 1978، لكن العديد من التراكيب العنصرية التي طرحت آنذاك وردت دون أن تحدد فيما إذا كانت تخص البشرة أو الأدمة ودون أن تحدد الموقع لعينة الجلد المختبرة، وهناك القليل فقط من الدراسات التي ظهرت خلال العقد الأخير من هذا القرن [72-73] وعالجت الموضوع ذاته. هذا، وقد قام فريقنا، خلال السنوات الأربع الماضية، بتحليل النسيج لجلد طبيعي ولندبات ضخامية مستخدماً تقنيات: INAA, PIXE, RBS [74, 75] وذلك ضمن مشروع يرعاه كل من RAFT ومجلس أبحاث العلوم الفيزيائية والهندسية. ويُعدّ أمراً هاماً تشجيع أعمال بحثية من هذا القبيل تعالج المشكلة بمضمون أوسع ويتعهد تنفيذها مجموعات بحثية أكثر عدداً. فعلى سبيل المثال هناك اهتمام كبير بشأن تنمية جلد اصطناعي داخل المختبر من أجل استعماله في الطعوم الإسوية allografts. وجدير بالملاحظة أن الندبات الضخامية تتشكل عند الحدود الفاصلة بين الجلد البشري والجلد من مصادر أخرى؛ وجدير بالذكر أيضاً أنه ظهرت في الآونة الأخيرة مراجعة بحثية ممتازة لبدائل جلدية مهندسة وراثياً [76].

استنتاجات ختامية

وُجّهت في هذه الورقة دعوات لتوظيف التحليل بالتنشيط الإشعاعي في عدد من مجالات التطبيق بدءاً من كشف للألغام واستبعاد من الخدمة للمفاعلات، ومروراً بظاهرتي الشبع والسمنة، وانتهاءاً ببحوث تعالج مرض ألزهايمر ومشاكل أخرى مرتبطة بالجلد ونديباته، وكان ذلك كله ضمن إطار مواضيع هامة لابد للمجموعات المتخصصة بالتحليل الإشعاعي أن تأخذها بعين الاعتبار. ولايمكن بأية حال اعتبار قائمة التطبيقات التي جرى استعراضها قائمة شاملة أو مقتصرة على استخدامات محددة، لكن التوقعات بإسهام طيب وجاد من أجل صحة ورفاهية سكان العالم خلال القرن المقبل سيكون بالفعل أمراً مثيراً.

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

REFERENCES المراجع

[1] C. YONEZAWA, ph.D. Thesis, Tokyo Metropolitan University, 1997.

[2] C. YONEZAWA, Anal. Sci., 12 (1996) 605.

[3] N. M. SPYROU, An experimental investigation into the fundamental aspects of neutron tomography, Annual Report of the Institute Laue - Langevin, Grenoble, France, 1983, p. 25.

[4] N. M. SPYROU, F. A BALOGUN, G. DAVIES, J. Radioanal. Nucl. Chem., 113 (1986)417.

[5] F. DE CORTE, A survey of recent k_0-NAA developments and applications in Europe, 4th Intern. Conf. on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry, MARC IV, Hawaii, USA, 6-11 April 1997; J. Radioanal. Nucl. Chem., 234 (1998) No, 1-2.

[6] K. HEYDORN, E. DAMSGAARD, J. Radioanal. Nucl. Chem., 179 (1994) 87.

[7] IAEA, Nuclear Research Reactors in the World, Dec. 1996 Edition, Research reactors in the World, Dec. 1996 Edition, Reference Data Series No. 3, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.

[8] E. HUMPHREYS, K. RIDINGS, The Nuclear Engineer, 35, 5 (1994) 154.

[9] D.J.GENTLE, N. M. SPYROU, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., A299 (1989) 534.

[10] P. BACH, H. BERNARDET, V. STENGER, Operation and life of SODITRON neutron tube for industrial analysis, 14th Intern. Conf. on the Application of Applications of Accelerators in Research and Industry, Denton, Texas, USA, 6-9 Nov 1996: to be published in Nucl. Inst. Meth. in Phys. Res.

[11] J.YINON, S. ZITRIN, Modern Methods and Applications in Analysis of Explosives, Wiley, Chichester, 1993.

[12] T. GOZANI, in: Proc. 1st Intern. Symp. on Explosives Detection , S. KAHN (Ed.), Atlantic City, FAA Technical Center, 1992.

[13] G. VOURVOPOULOS, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., A 56-57 (1991) 917.

[14] T. GOZANI, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., B99 (1995) 743.

[15] G. VOURVOPOULOS, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., B79 (1993) 585.

[16] R. A. ALVAREZ, A. D. DOUGAN, M. R. ROWLAND, T. F. WANG, J. Radioanal. Nucl. Chem., 192 (1995) 73.

[17] A. BEYERLE, J. P. HURLEY, L. TUNNEL, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., A299 (1990) 458.

[18] R C. MARTIN, T. E. BYRNE, L. F. MILLER, Biomedical neutron research at Californium User Facility for Neutron Science, 4th Intern. Conf. on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry.

[19] R. F. BARTH, A. H. SOLOWAY, R. M. BRUGGER, Cancer Invest., 14,6 (1996) 534.

[20] M. D. NAKAGAWA, Intern. J. Radiation Oncology Biol. Phys., 28, 5 (1994) 1217.

[21] J. C. YANCH, R. E. SHEFER, R. E. KLINKOWSTEIN, W. B. HOWARD, Research in BNCT at MITLABA, in: Intern. Conf. Applications of Accelerators in Research and Industry, J. L. DUGGAN, I. L. MORGAN (Eds), Proc. AIP, 1997, 1281.

[22] A. M. HAQUE, G. MOSCHINI, V. VALKOVIC, D. ZAFIROPOULOS, Boron neutron capture therapy, in: Intern. Conf. Neutrons in Research and Industry, G. VOURVOPOULOS (Ed.), Proc. SPIE 2339, 1995, p. 514.

[23] D. GABEL, Radiotherapy Oncology, 30, 3 (1994) 199.

[24] R. GAHBAUER, N. GUPTA, T. BLUE, J. GOODMAN, BNCT: A promising area of research?, Intern. Conf: Neutrons in Research and Industry, G. VOURVOPOULOS (Ed.), Proc. SPIE, 2867, 1997, p. 12.

[25] T. MATSUMOTO, O AIZAWA, Intern. J. Appl. Radiation. Isotopes. 41 (1990) 897.

[26] N. M. SPYROU, J. M. SHARAF, S. RAJESWARAN, E. MESBAHI, J. Radioanal. Nucl. Chem., 217 (1997) 237.

[27] M. E. CASEY, R.NUTT, IEEE Trans. Nucl. Sci., 33 (1986) 460.

[28] M. P. TORNAL, G. P. GERMANO, E. J. HOFFMAN, IEEE Trans. Nucl. Sci., 41 (1994) 1458.

[29] T. J. SPINKS, D. L. BAILEY, P. M. BLOOMFIELD, M. MILLER et al., Performance of a new 3D-only PET scanner - the EXACT 3D, presented at the IEEE Medical Imaging Conference, Anaheim, USA, 1996.

[30] T. K. LEIPERT, J. D. BALDESHWIELER, D. A. SHIRLEY, Nature, 220 (1968) 907.

[31] N. M. SPYROU, J. M. SHARAF, S. RAJESWARAN, J. Biol. Trace Element Res., 43-45 (1994) 55.

[32] S. RAJESWARAN, N. M. SPYROU, T. JONES, Stages in the development of a dedicated positron emission

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

tomography system for imaging small animals, Proc. Symp. on Tomography in Nucl. Medicine, Present Status and Prospects, IAEA, Vienna 21-25, Aug., 1995, in press.

[33] W. JAEK, R. WAGNER, in: Brochure describing the Jülich high resolution animal PET, Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany, July 1997.

[34] C. W. BEAUSANG, J. SIMPSON, J. Phys., G22 (1996) 527.

[35] S. AMBE, S. Y. CHEN, Y. OHKUBO, Y. KOBAYASHI et al., J. Radioanal. Nucl. Chem., 195 (1995) 297.

[36] MRC Alzheimer's Disease Brain Bank, Department of Neuropathology, Institute of Psychiatry, London, Progress Report, 1993.

[37] F. A. HUPPERT, C. BRAYNE, D. W. O'CONNOR, Dementia and normal ageing, Cambridge University Press, Melbourne, 1994.

[38] Y. NAMBA, M. TOMONAGA, H. KAWASAKI, E. OTOMO, K. IKEDA, Brain Res., 541 (1991) 163.

[39] S. S. SISODIA, D. L. PRICE, Faseb J., 9 (1995) 366.

[40] G. COHEN, in: Handbook for Oxygen Radical Research, R. A. GREENWALD (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 1985, 55.

[41] C. BEHL, J. DAVIS, G. M. COLE, D. SCHUBERT, Biochem. Biophys. Res. Comm., 186 (1992) 944.

[42] M. W. B. BRADBURY, Progr. Brain Res., 91 (1992) 133.

[43] D. L. REZ, Arch. Neurol., 44 (1987) 1030.

[44] S. KRISHNAN, J. E. HARRISON, D. R. CRAPPER-MCLAGHLAN, Biol. Trace. Elem. Res., 13 (1987) 35.

[45] D. R. CRAPPER, S. KRISHNA, A. DALTON, Science, 180 (1973) 511.

[46] C. M. THOMSON, W. R. MARKESBURY, W. D. EHMANN, Y. X. MAO et al, Neutrotoxicology, 9 (1988) 1.

[47] E. ANDRASI, E. FARKAS, H. SCHRIEIBLER, A. REFFY et al., Arch. Gerontol. Geriatrics, 21 (1995) 89.

[48] W. D. EHMANN, W. R. MARKESBURY, T. I. M. HUSSAIN, M. ALAUDDIN et al, Neurotoxicology, 7 (1986) 197.

[49] J. D. STEDMAN, N. .M SPYROU, J. Radioanal. Nucl. Chem., 217 (1997) 163.

[50] N. M. SPYROU, J. D. STEDMAN, ANS Transactions of 1996 Annual Meeting, Reno, Nevada, June 16-20, TANSAO 74, 1-382, 1996, p. 6.

[51] J. D. STEDMAN, N. M. SPYROU, Dependence of elemental concentrations in Alzheimer brain tissue on the disease duration, in: IAEA Proc. Intern. Symp. on Harmonisation of Healthy-Related Environmental Measurements Using Nuclear and Isotopic Techniques, Hyderabad, India, 4-7 Nov. 1996, in press.

[52] E. FERANNINI, R. A. ED FRONZO, Insulin action in vivo: glucose metabolism, in: International Textbook of Diabetes Mellitus, Vol. 1., John Wiley and Sons, Chichester, 1992, p. 409.

[53] J. PALMER, J. LERNMARK, Pathophysiology of Type I Diabetes, in Diabetes Mellitus Theory and Practice (4th ed.), H. RIFKIN and D. PORTE (Eds), Elsevier Science Publishing, New York, 1990, 414.

[54] M. NATTRASS, Symp. of Disturbances of Nutrient Homeostasis in Diabetes, Proc. Nutrition Society, 50 (1991) 577.

[55] National Diabetes Data Group, Diabetes 28 (1979) 1039.

[56] T. ISBIR, L.TAMER, A. TAYLOR, M. ISBIR, Diabetes Res., 26 (1994) 41.

[57] J.J. STRAIN, Proc. Nutr. Society, 50 (1991) 591.

[58] S. BAHNOT, K. H. THOMPSON, J. H. MCNEILL, Nutrition Res., 14, 4 (1994) 593.

[59] B. HAGLUND, K. RYCKENBERG, O. SELIMUS, G. DAHLGUIST, Diabetes Care, 19, 8 (1996) 873.

[60] B. A. FOX, A. G. CAMERON, Food Science Nutrition and Health, Edward Arnold, London, 1989.

[61] J. E. BLUNDELL, A. TREMBLAY, Nutr. Res. Rev., 8 (1995) 225.

[62] R. J. LIEVERSE, A. A. MASCLEE, J. B. JANSEN, L. C. ROVATI, C. B. LAMERS, Biol. Psychiatry, 37 (1995) 331.

[63] A. WETTERGEN, B. SCHOLDAGER, P. E. MORTENSEN, J. MYHRE et al., Dig. Dis. Sci., 38 (1993) 665.

[64] J. E. BLUNDELL, C. G. HALFORD, Proc. Nutr. Soc., 53 (1994) 407.

[65] S. H. HOLT, J. B. MILLER, Appetite, 24 (1995) 43.

[66] G. A. BRAY, Am. J. Clinical Nutrition, 265, 5-27 (1992) 15.

[67] J. E. C. NORRIS, Plast. Reconstr. Surg., 88 (1991) 372.

[68] L. D. KETCHUM. I. K. COHEN, F. W. MASTER, Plast. Reconstr. Surg., 53 (1974) 140.

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

[69] K. J. DOYLE-LLOYD, J.A. WHITE, J. L. A. State Med. Soc., 143 (1991) 9.

[70] G. L. DOCKERY, J. Am. Pediatric Med. Assoc., 85 (1995) 57.

[71] G. V. IYENGAR, W. E. KOLLMER, H. J. M. BOWEN, The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids, Verlag Chemie, New York, 1978.

[72] J. PALLON, M. G. MALMQVIST, Y. WERNER-LINDE, B. FORSLIND, Cellular Molec. Biol., 42 (1996) 111.

[73] R. L. BANG, H. DASHTI, Supplement to Nutrition: Intern. J. Appl. Basic Nutr. Sci., II, 5 (1995) 527.

[74] R. HOLLANDS, N. M. SPYROU, V. VIJH, J. T. SCALES, J. Radioanal. Nucl. Chem., 217 (1997) 185.

[75] R. HOLLANDS, N. M. SPYROU, Elemental composition of hypertrophic scar and normal skin tissue using proton induced X-ray emission, 4th Intern Conf. on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry, MARC IV, Hawaii, USA, 6-11 April 1997; J. Radioanal. Nucl. Chemistry., 236 (1998) No. 1-2.

[76] J. R. MORGAN, M. L. YARMUSH, Sci. Med., 4, 2 (1997) 6.■

☆ ★ ☆

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

فوتونات تَعبر الحواجز*

يخترق الضوء ثقوباً أصغر من طول موجته

توماس إبسن
أستاذ في جامعة لويس باستور في ستراسبرغ

ملخص

منذ عشر سنوات، كان النظر عبر فِلم من الذهب ذي ثقوب أقطارها أقل من طول موجة الضوء المرئي يبدو أمراً لايُصدَّق عند غالبية الفيزيائيين. ولكن هذه الظاهرة حقيقية، وأسسُها النظرية بدأت تتضح شيئاً فشيئاً. وتتمتع النبائط المعتمدة على هذا المبدأ، باستخدامات كثيرة التنوع لم نعرف عنها بعد إلا القليل.

الكلمات المفتاحية: فوتونات، ثقوب، طول موجة الضوء، ذرى النفاذ، تجاوب بلازمونات السطح.

إذا أخبرك أحدهم أنه يستطيع المرور من فتحة قفل باب مصفَّح ، فمن المؤكد أنك لن تصدقه، وأنت على حق في ذلك . تخيَّل الآن أن هذا الشخص نفسه ثَقب الباب بعدد كبير من الثقوب الصغيرة، وأن هذه العملية البسيطة سمحت له باجتياز العائق: لن تصدق ما ترى عيناك. هكذا كانت دهشتي وريبة زملائي عندما اكتشفتُ أن الضوء يخترق صفيحة معدنية فيها ثقوب صغيرة أقطارها أصغر من طول موجته. والأكثر من ذلك أن الضوء الذي يسقط بين الثقوب يستطيع أيضاً أن يمر عبرها. وهذا ما يخالف تماماً المنطق، وطبعاً يخالف ما نتعلمه في محاضرات الفيزياء: لقد قضيتُ وبعض زملائي ثماني سنوات قبل إدراك أسباب هذه الظاهرة. وجاءت مؤخراً دراسةٌ نظرية جديدة أكدت استنتاجاتنا [1].

كانت البداية منذ عشر سنوات، فقد التحقتُ قبلها بعام بمختبرات البحث الأساسية لشركة NEC، في مدرسة التقانات في تسوكوبا Tsukuba، الواقعة شمال طوكيو، لتأسيس فريق الكيمياء الفيزيائية. شاركت في مكتب مع عدد من الفيزيائيين والمهندسين اليابانيين، وفي أحد الأيام تصفَّحت مجلة فيزيائية لم أكن أعرفها، كوني كيميائياً، فوجدت فيها مقالاً واضحاً جداً لِسيرج هاروش S. Haroche من دار المعلمين العليا، و دانييل كليبنر D. Kleppner من معهد ماساتشوستس للتقانة. وموضوع هذا المقال فيه من التعقيد ما يُعادل التعقيد الظاهر على عنوانه: الإلكترودينامك الكمومي للتجويف [2].

أعطاني هذا المقال فكرة لإجراء تجربة في الكيمياء الفيزيائية تستخدم هذه الظاهرة. لهذا كنت بحاجة لأنابيب اختبار صغيرة جداً، أصغر من أصغر طول موجة للضوء المرئي (400 نانومتر)، محفورة في مادة معدنية. إن تصنيع بُنى كهذه يتطلب أدوات لتصنيع نانوي حيث الصناعات الإلكترونية مثل NEC – مجهّزة بها، لهذا طلبت من بعض الزملاء تصنيع مئة مليون أنبوبة اختبار نانوية، وهي ثقوب أسطوانية يبلغ قطر كل منها 300 نانومتر، محفورة على سنتيمتر مربع واحد من فِلم من الذهب سماكته 300 نانومتر موضوع على صفيحة زجاجية (الشكل 1).

عندما استلمت هذا الشيء، أُصبت بالدهشة: كنت أرى تماماً عبره. كيف عَبر الضوء الثقوب بهذه السهولة؟ وبما أن قطر هذه الثقوب أصغر من موجة الضوء، كان على هذا الأخير أن يكون ضعيفاً ومنتشراً، كأنه يعبر زجاجاً مُخشَّناً.

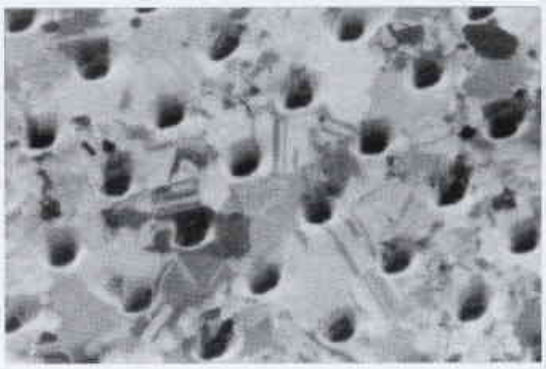
لقد تأكدتُ بواسطة المجهر من أن الثقوب الأسطوانية كانت موجودة وأنها بنفس المواصفات التي طلبتها. ثم قمت بقياس طيف نفاذ الجسم (كمية الضوء النافذ عند كل طول موجة). لقد ازدادت دهشتي عندما وجدت أن الثقوب ليست وحدها التي تنقل الضوء، ولكن الطيف يحتوي أيضاً ذُرى إنفاذ ذات أطوال موجيّة أكبر من الأطوال الموجية للضوء المرئي. وحتى الضوء الساقط على القطعة الذهبية انزلق عبر الثقوب لأن الجزء النافذ من الضوء كان أعلى من النسبة بين السطح الذي تشغله الثقوب والسطح الكلي!

بدا لي الأمر مثيراً للغاية فذهبت فوراً لرؤية متخصصين بالضوء في المختبر؛ فأخبروني في الحال أن ملاحظاتي مستحيلة.. في الواقع أثبت حساب نظري أجراه، في الأربعينيات، الفيزيائي الكبير هانز بيث H. Bethe أن الضوء لايمكن أن يمر إلا بصعوبة عبر فتحة أصغر من طول موجته لأن هذا الطول يعادل "قدّ" الفوتون (الفضاءالذي يحتله). ولكن شدة الضوء النافذ التي لاحظتها كانت أكبر بألف مرة مما تنبأ به حساب بيث.

هل ارتكبت خطأ ما، أو نسيت شيئاً هاماً؟ أو هل اكتشفت ظاهرة جديدة؟ إذا كان الأمر كذلك، فقد كان عليَّ أولاً أن أشرحها قبل أن أُقدمها أمام الجمعية العلمية، خوفاً من أن لاتُصدَّق. لم يكن الرهان إلا

* نشر هذا المقال في مجلة *La Recherche*, No.329, March 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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



الشكل 1- تمرر الضوء فيلماً معدنياً (من الفضة في التصوير الجهري - في الأعلى) مملوءاً بثقوب تبلغ أقطارها 150 نانومتراً تاركة بينها مسافات منتظمة، حتى عندما يكون طول موجة الفوتونات أكبر من قطر الثقوب (المنحني في الأسفل).

نظرياً: فاستخدامات كثيرة للضوء تُحَدَّد تماماً بالنفوذ الضعيف جداً عبر فتحات أقطارها أصغر من طول الموجة.

ولمزيد من الاستيعاب كانت تلزمني عيّنات أخرى أستطيع بواسطتها دراسة دور مختلف الوسطاء (البارامترات)، مثل قطر الثقوب أو المسافة بينها. وللأسف كان الشك في حقيقة ملاحظاتي قد أصاب أيضاً المهندسين الذين كانوا قد

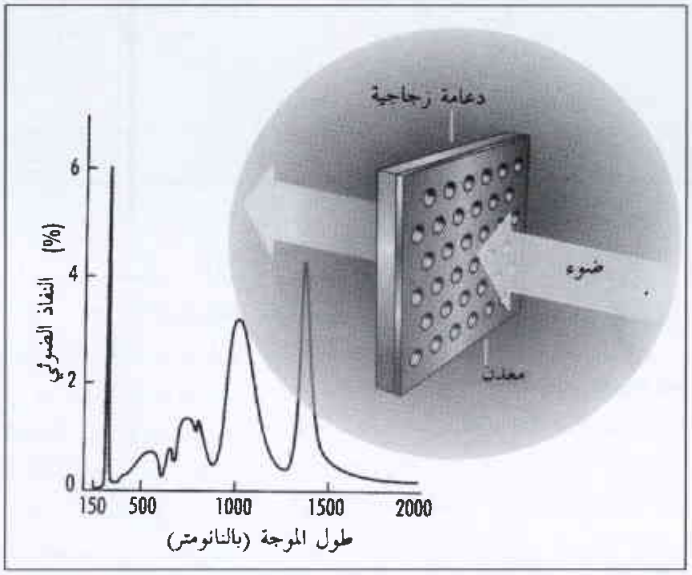
في البداية لم يثق أحد بهذه النتائج: حتى الحصول على عينات جديدة كان صعباً.

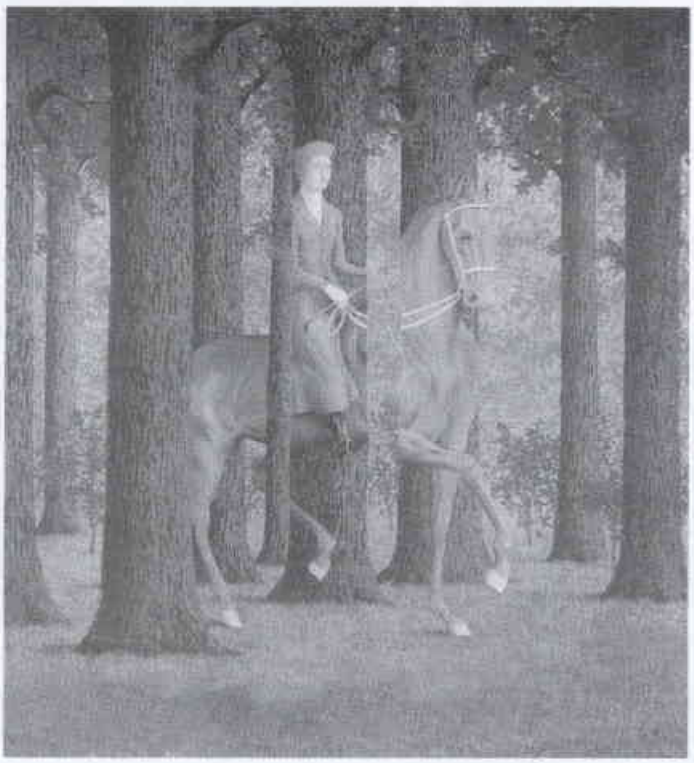
صنعوا العيّنة الأولى، ولم يكن لديهم الوقت لترويدي بعيّنات أخرى، وهكذا لم أستطع متابعة هذا البحث إلا بصورة ثانوية، إلى جانب أعمالي الأساسية. ومع ذلك، خلال السنوات الثماني اللاحقة، كان بعض زملائي في NEC يشجعونني ويساعدوني وهم: شونجي كيشيدا S. Kishida وهو ياباني متخصص بالليزرات، و غيدو بوغمان G. Bugmann، سويسري ذو مخيّلة واسعة جداً، ويعمل في الشبكة العصبية، و هنري لِزك H. Lezek وهو فرنسي - أمريكي صنع لي سرّاً عيّنات، في حين كان يعمل مع فريق آخر. وبهذا استطعت شيئاً فشيئاً أن أجمع بعض النتائج.

لم يأتِ مفتاح فهم هذه الظاهرة إلا عام 1997، عندما اقترح أحد النظريين - بيتر وولف P. Wolff من معهد البحث التابع لـ NEC في برنستون، أن بلازمونات السطح هي أصل هذه الظاهرة.

ما هو بلازمون السطح؟ تتمتع الإلكترونات الحرّة، فوق سطح ناقل كهربائي جيد - المعدن مثلاً - بحركات جماعية تُنشىء تجمعات موضعية لشحنات موجبة أو سالبة. ينتج من ذلك اهتزازات في الشحنة على السطح، وهذه هي البلازمونات.

إن أمواج كثافة الشحنة هذه هي أمواج صدفوية بطبيعتها كالأمواج على سطح البحر، ومع ذلك إذا حُرِّضت هذه البلازمونات السطحية بواسطة الضوء، يمكن إحداث موجات كثافة الشحنة منتظمة. وتوجد طريقة لإحداث التآثر بين الضوء وبلازمونات السطح وهي إنشاء شبكة دورية على سطح المعدن وخاصةً عند إحداث ثقوب متباعدة فيماينها بصورة منتظمة. وهكذا تكون عيّناتنا بمثابة بلّورات ثنائية البعد من ثقوب في بحرٍ من الإلكترونات. وكما هي الحال في كل بلّورة، تولّد الدورية بنية عصابية، أي أن طاقة إثارة البلازمونات واندفاعها لايمكن أن يمتلكا سوى قيم محدَّدة تماماً. كانت فكرة وولف، إذن، تقول بأن ذرى الإنفاذ تتوافق





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

مع طاقات التجاوب، وهي الطاقات الوسطية للعصابات التي تشكلها بلّورة الثقوب من أجل بلازمونات السطح.

للتحقق من هذه الفرضية، كان لابدَّ من قياس تجريبي لبنية عصابية، من جهة، ومن جهة أخرى إثبات أن الظاهرة لا تحدث في مادة غير ناقلة (حيث لاتوجد بلازمونات سطحية). ولقلة خبرتنا في قياسات البنى العصابية وكذلك في بلازمونات السطح، طلبت أنا وزوجي مساعدة تينيك تيو T. Thio، وشركة NEC، وهادي غايمي H. Ghaemi الذي كان حينها في فترة التمرين ما بعد الدكتوراه في فريقه. وقد أثبتنا جميعنا معاً وجود بنية عصابية، أي أننا رسمنا خريطة نفوذ الضوء الوارد تبعاً لطاقة الفوتونات الواردة واندفاعها (وقمنا بتغيير الاندفاع بتغييرنا لزاوية إضاءة العيّنة). أضف إلى ذلك أن فِلماً من الجرمانيوم، وهو نصف ناقل تمّ ثقبه تماماً مثل الأفلام الذهبية، لم يمرر الضوء عبره طبقاً لفرضية ب. وولف. وبسرعة قدّمنا براءات اختراع، وقُبِل المقال الذي يصف هذه النتائج، مع مقالات أخرى، في المجلة المرموقة Nature [3]. فكانت هذه مكافأة لنا بعد ثماني سنوات من السعي الحثيث.

إن المسائل الأساسية التي طرحها هذا المقال، وكذلك النتائج التقانية للظاهرة، قد أثارت الكثير من الاهتمام. فقد شرع بعض النظريين بإجراء حسابات للتحقق من اكتشافنا، ومع ذلك فإن الحسابات النظرية حول شبكات ثنائية البعد كانت شديدة التعقيد، فكان لابدّ من حسابات تقريبية. وحتى يومنا هذا تم نشر ثلاث دراسات: الأولى تفترض أن الأمر عبارة عن ظاهرة انعراج [4]، في حين أبدت الدراستان الأخريان فرضية بلازمونات السطح [5,1].

والدراسة الأحدث هي تحليل مفصّل من خوان بورتو J. Porto وفرانسيسكو غارسيا فيدال F. Garcia-Vidal من جامعة مدريد المستقلة، وجون بيندري J. Pendry من جامعة Imperial College في لندن. لقد أجروا التقريب الذي يبين أن الشبكات كانت أحادية البعد وبدلاً من الثقوب، فقد اعتبروا صفاً من الشقوق اللامتناهية الطول والتي يقلّ عرضها عن طول موجة الضوء.

تعتمد أطوال الموجة ذات النفوذ الأفضل على عمق الشقوق، ولكن هذا لاينطبق على شدة هذا النفوذ.

اختلفت النتيجة قليلاًولكن أسس الظاهرة متطابقة، وهكذا ظهر نوعان لنمط تجاوب البلازمونات*: فبالإضافة إلى أنماط السطح الموجودة أيضاً في شبكات الشقوق، توجد في الشقوب أنماط للتجويف، تحديداً لأن هذه الشقوق لامتناهية الطول ولأن هناك بالتالي المسافة اللازمة لوجودها. إن أنماط التجويف، التي تُنتج ذرى النفوذ الأقوى، شديدة الحساسية لهندسة الشقوق، لعمقها مثلاً، كما هي الحال في آلة النفخ حيث يحدِّد شكل الأنبوب ومقاسه الأصوات التي تتردد (تتجاوب) فيه. ومن المهم أن نذكر أنه لما كان طول موجة الذرى مرتبطاً بالعمق، فإن شدتها تبقى شبه ثابتة، حوالي 80%، في حين أن الشقوق لاتحتل سوى 14% من السطح!

لقد قمنا أيضاً بدراسة نفوذ شبكة من الشقوق من الناحية التجريبية منذ عدة سنوات، وكانت نتائجنا متفقة مع الحسابات المقدَّمة في هذا المقال، ولكننا لم ننشرها لأن أطياف النفوذ بدت لنا صعبة الفهم أكثر من أطياف شبكات الثقوب ....

بالإضافة إلى التأكيد على دور البلازمونات، تكشف هذه الدراسة النظرية إذن عن أثر بُعد الفتحات، وتوضح آلية نفوذ الضوء التي نفهمها اليوم على الشكل التالي: تفصل الثقوب سطحين هما السطح الفاصل بين المعدن والهواء، والسطح الواقع بين المعدن والركازة (وهي من الزجاج غالباً). كلا السطحين لهما تجاوبات خاصة لأن طاقات هذه التجاوبات تعتمد على قرينة انكسار المادة المتصلة بالمعدن.

تعكس أطياف الانتقال مجمل التجاوبات التي توجد على السطحين ومن جانبي الفِلم المعدني. تمتص أنماط التجاوب هذه الضوء وسرعان ما تعيد إصداره عبر الثقوب التي تسلك بهذا سلوك مصابيح صغيرة، ويكون للفوتونات التي أُعيد إصدارها نفس طاقة الفوتونات الواردة.

بماذا ستُستخدم هذه "المناخل الفوتونية"؟

إن الاستخدام الأكثر وضوحاً هو الترشيح، لأن هذه المناخل تنقل بصورة انتقائية بعض الأطوال الموجيّة التي يضبطها اختيار المسافة الوسطية بين الثقوب، واختيار تناظر بلّورة الثقوب. لقد أثبتنا، بالإضافة إلى ذلك، أن هذه الأجسام يمكنها أن تتحول إلى فواصل ضوئية عندما نضع فوق أحد السطحين بلّورة سائلة، وهي مادة تتغير قرينة انكسارها مع تطبيق كمون كهربائي: بما أن وضع ذرى الانتقال مرتبط بقرينة انكسار المادة المتصلة مع سطح المعدن، نقوم بحجز أو إمرار طول موجة معين بتغيير بسيط في التوتر الكهربائي [6].

منذ سنوات عديدة جرت محاولة للتحكم بالضوء بنفس الطريقة التي يتم فيها التحكم بالإلكترونات داخل دارات المعالج المكروي. وأحد المعوّقات في هذه الأعمال هو بالضبط انتقال الضوء بواسطة فتحات ذات قدّ أصغر من طول الموجة. ولكن شبكاتنا ذات الثقوب أشارت إلى طريقة للتغلب على هذه المشكلة.

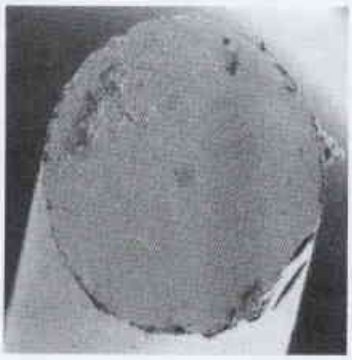
ولم نتوقف عند هذا الحد، بل تساءلنا عن الطريقة التي تمكّننا من زيادة النفوذ عبر ثقب واحد بدلاً من شبكة من الثقوب. في الواقع، إن كفاءة التقانات الضوئية قد تتحسن على نطاق واسع إذا استطاع ثقب قطره أقل من طول الموجة أن ينقل الضوء بنجاح. وعلى سبيل المثال، تعاني المجهرية الضوئية في الحقل القريب من النفوذية الأضعف للضوء حيث

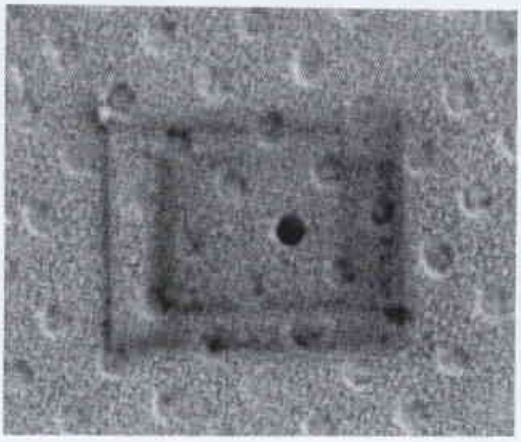
* إن نمط تجاوب منظومة كهربائية أو ميكانيكية يتوافق مع تواتر الاهتزاز الذي تكون سعة استجابة المنظومة من أجله أعظمية.

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

تُستخدم إحدى الفتحات للمراقبة الضوئية لبنى أصغر من طول موجة الضوء المستخدَم.

لقد وجدنا هنا [7]: يكفي أن نسدّ جميع الثقوب جزئياً باستثناء ثقب واحد (الشكل 2). وبمعنى آخر، أحطنا أحد الثقوب ببلّورة صغيرة ذات آبار ظليلة، وهذه البلّورة تستخدم في خلْق تجاوبات البلازمونات السطحية التي تمتص الضوء الذي ينقله الثقب. كما أن البلّورة ذات الآبار يمكن أن تكون شديدة الصِغر ومجهَّزة من طرفها بليف ضوئي يشبه الليف المستخدم في الفحص المجهري ذي الحقل القريب. ويجدر بنا أن نذكر أنه بالرغم من أن شبكة الآبار لاتوجد إلا فوق أحد الوجوه، تحدث إثارة للانتقال مهما كان اتجاه وصول الضوء. ويبقى هذا مظهراً جوهرياً لابدّ من فهمه.





الشكل 2- إن شبكة آبار صغيرة قطرها 200 نانومتر، محيطة بثقب له نفس القدّ (على اليمين) ومحفور في وسط فلم من الفضة يكسو نهاية ليف ضوئي (في الأعلى)، تزيد كثيراً من التدفق الضوئي الذي يخترق الليف الضوئي.

يمكننا أيضاً تصوّر تطبيقات أخرى حيث تحدَّد التقانة، في وقتنا الحاضر، بطول موجة الضوء كما هي الحال في الطباعة الحجرية الضوئية في تصنيع المعالجات المِكروية الإلكترونية. ومع ذلك ستأتي أهم التطبيقات على الأرجح من توجهات لم نستشفّها بعد، ومن ملاحظات طارئة كتلك التي قادت إلى اكتشاف هذه الظاهرة.

المراجع REFERENCES

[1] J.A. Porto, FJ. Garcia-Vidal, J.B. Pendry. Phys. Rev. Lett. 83. 2 845, 1999.

[2] S. Haroche, D. Kleppner, Physics Today. p.24, Jan.1989.

[3] T.W. Ebbesen, H.J. Lezec, H.F. Ghaemi, T. Thio, P.A. Wolf, Nature, 391, 667, 1998.

[4] M.M.J. Treacy , Appl. Phy. Lett.75, 606, 1999.

[5] U. Schroter. D. Heitmann, Phy. Rev. B.58, 15 419, 1998.

[6] T.J. Kim. T.Thio, T.W. Ebbesen, D.E. Grupp, H.J. Lezec, Optics Lett., 24, 256, 1999.

[7] D.E. Grupp, H.J. Lezec. T.Thio, T.W. Ebbesen, Adv. Mater., 11, 860, 1999.■

☆ ★ ☆

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

إحذروا مولّدات الأرجيّة*

بيا بركس
مساعد محرر في مجلة Molecular Medicine Today

ملخص

يعاني ملايين الأشخاص – عندما تتفاعل بشكل مفرط أجهزتهم المناعية مع كيماويات وجسيمات حميدة – من حالات مرضيّة تراوح ما بين خفيفة كسيلان الأنف وحكّة العيون والعُطاس المميّزة لحمى الدريس hay fever وأخرى حادّة قد تغدو مميتة أحياناً كما هو الحال عند الإصابة بالربو والأرجيّات الغذائية. ماذا يمكن لمثل هذه المعاناة أن تخبرنا عن دفاعات الجسم؟ وهل بالإمكان الحد من حدوث أو تطور الإصابة بالأرجيّات؟

الكلمات المفتاحية: أرجيّة، استجابة مناعية، مستضد، مولد الأرجيّة، ربو، حمى الدريس، تأتب، تأق، شرى، إكزيمة.

في السنة الماضية، نُقل على عجل إلى المستشفى بحالة غيبوبة أحد أعظم الرياضيين الواعدين في بريطانيا، ألا وهو قافز الحواجز روبي بيلي R. Baillie، إثر إصابته بنوبة كان المسبب لها تفاعل أرجي allergic reaction تجاه زيت الفول السوداني الذي احتوت عليه شطيرة تناولها الرياضي المذكور. ولم يتمكن بيلي من استعادة وعيه على الإطلاق ووافته المنيّة بعد ذلك بأيام وهو في عمر لايتجاوز 21 عاماً. وفي بريطانيا، يعاني من أرجية الفول السوداني فرد واحد من أصل 200 فرد، ويموت منهم سنوياً عدة أفراد نتيجة هذه الإصابة. والأسوأ من ذلك أيضاً، أن طفلاً واحداً من بين 7 أطفال بريطانيين وبالغاً واحداً من بين 25 هم بالفعل أفراد مصابون بالربو asthma، علماً بأن الأرقام آنفة الذكر آخذة في الازدياد. هذا، وتؤدي هذه الحالة المرضيّة إلى قتل 1600 من الأفراد البريطانيين سنوياً.

ويتسبب في الأرجيات حدوث استجابة مؤذية للجهاز المناعي تجاه معالم للبيئة ليست ضارة أصلاً. وبالتقريب، فإن جميع أعراض الأرجيّة – بما في ذلك العطاس الملازم لحمى الدريس والأزيز الربوي، والحكّة المرافقة لالتهاب الجلد، والارتكاسات العنيفة تجاه غذاء محدد تنجم عن الاستجابة المناعية ذاتها. وليس الطّلع، وقراء القطط، والغبار المنزلي، والفول السوداني سوى وسائط قدح، بينما يظل الجهاز المناعي هو العامل المسبب لهذه المشاكل.

وصفت الأرجيّة لأول مرة في عام 1906 من قِبَل الطبيب النمساوي كلمنس فون بيركويت Clemens von Pirquet بأنها "تفاعلية محورة مكتسبة محددة تعقب تعرضاً أولياً لبروتين دخيل" ويكون تفاعل الجسم لأول مواجهة له مع المولّد الأرجي مختلفاً عن تفاعله لمواجهات أخرى لاحقة. وهذا الوصف يُلائم جميع التفاعلات المناعية. وبالفعل، يكون الاختلاف الوحيد بين التفاعلات المناعية والأرجيّة في حصيلتها.

وتُعدّ أجهزتنا المناعية وسائط ناجحة بشكلٍ ملفت للنظر من أجل الدفاع عنها، فكل سطح خارجي من أجسامنا مغطّى بغلاف خلوي يطلق عليه اسم "الظِهارة epithelium" تمنع دخول معظم العوامل الخمجية (الممرضة) كما تمنع دخول جسيمات أخرى دخيلة. ويقبع على الجانب الآخر جيش من الخلايا المناعية في وضع انتظار متحدّياً أي شيء سيتمكن من عبور هذا الحدّ. وفي المرة الأولى التي يتمكن فيها عامل ممرض من غزو الجسم سيحتاج هذا الجيش من الخلايا إلى بعض الوقت لمنازلة العامل الممرض وطرده، وخلال هذا الوقت بالذات سوف نعاني من المرض. لكن هناك ذاكرة للجهاز المناعي، فإذا عاد العامل الممرض للمواجهة مرة أخرى فإن أجسامنا ستكون في حالة استعداد فوري لمواجهته. وتتميّز هذه المواجهات اللاحقة باستجابة مناعية أعظم كثيراً في سرعتها وفعاليتها وتمثل بحد ذاتها المبدأ الأساسي للمناعة.

هل أنت حسّاس جداً؟

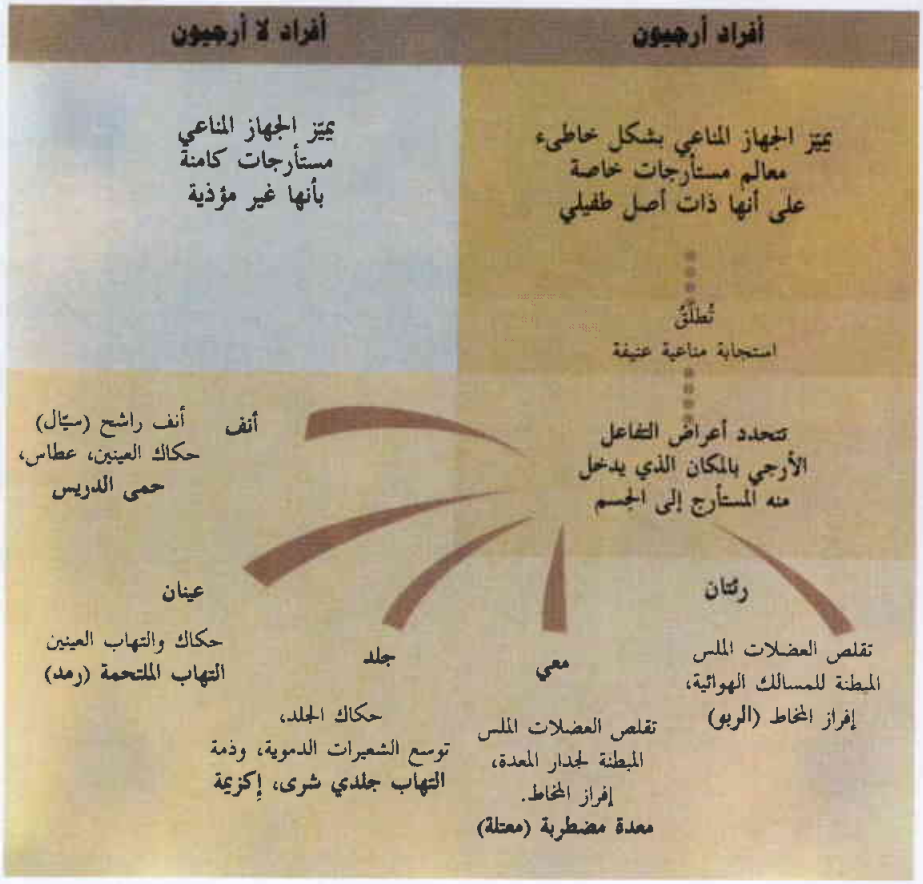
أرجيّ مقابل لا أرجيّ

عند أول مرة تُواجه فيها مولّد الأرجية (مستأرج allergen) لاتظهر أو تُستشعر أية أعراض. وفي حين تستخدم العوامل الممرضة مصادر عائلها كي تنمو وتتكاثر، لاتُبدي مولّدات الأرجية مثل هذا التهديد. ورغم غياب الأعراض، فإن الجهاز المناعي الأرجي يتفاعل بشكل صامت وكأن العامل الممرض كان موجوداً فيستظهره (يحفظه في ذاكرته) من أجل مواجهات لاحقة (الشكل 1).

وفي أفراد لا أرجيين، يعمد الجهاز المناعي أصلاً إلى تحديد هوية ما يحتمل كونها مولّدات أرجيّة غير مؤذية، لذلك لن يتّخذ أي إجراء لدرء مواجهات لاحقة. أما في حالة الأفراد الأرجيّين فيعمد جهازهم المناعي إلى إطلاق الاستجابة السريعة المتلازمة مع حدوث الإصابة. وحيث أن هذا سينتهي إلى فشل، ومن خلال محاولة قتله وإبعاده لمّا قام بتمييزه خطأً على أنه عامل ممرض، سوف يتسبب الجهاز المناعي في حدوث أعراض الأرجيّة.

---

* نشر هذا المقال في مجلة *New Scientist*, 22 January 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.



الشكل 1- تطلق الأجهزة المناعية الأرجية الاستجابة السريعة التي ترافق عادة مع الإصابة.

ويُصاب بالأرجيّات حوالي 30% من سكان العالم المتقدم. ففي أوربا تبتلي حمى الدريس نسبة من السكان تراوح بين 10-20% كما تبتلي الإكزيمة eczema نسبة أخرى تراوح بين 10-12% وهناك بين الأطفال المصابين بالإكزيمة طفل واحد من أصل خمسة أطفال سيصاب بهذه الحالة المرضية في فترة لاحقة من حياته. وفي بريطانيا، يصيب الربو 10-15% من الأطفال بعمر أقل من 15 عاماً وحوالي 5% من الأفراد البالغين، علماً بأن الاختلاف المذكور بين الفئتين يعكس جزئياً تغيرات تطرأ على الجهاز المناعي عبر فترة الحياة.

لكن عدد الأفراد المصابين بالأرجيّات - سواء كان على شاكلة التفاعل المفاجيء الذي حدث للرياضي البريطاني أو على شاكلة الأرجيّات الأكثر شيوعاً - آخذٌ في الازدياد بشكل مستمر خلال الـ 20-30 سنة الماضية. وهذا ما توضّحه جيداً الأرقام الإحصائية الدّالة على إصابات الربو في بريطانيا. فخلال الفترة مابين 1979 و 1993، كادت أن تبلغ الزيادة أربعة أضعاف في عدد الأولاد (بعمر 5-14 سنة) الذين شُخّصوا كمرضى مصابين بالربو، أما بالنسبة للأطفال (بعمر 0-4 سنوات) فقد بلغت هذه الزيادة خمسة أضعاف.

وهناك كثير من العوامل المتورطة في حدوث حالات الأرجيّة. ويعتمد حدوث مرض أرجي على شيئين هما: الوارثة والوسط. ويوجد ميل لظهور الأرجيّة في عائلات محددة. فإن كان الأبوان مصابين بالأرجيّة فإن نسبة احتمال إصابة أبنائهم بها ستبلغ 75%، في حين ستبلغ هذه النسبة 50% إذا عانى أحد الأبوين من هذه الإصابة. ويطلق على التأهب الوراثي للتفاعلات الأرجيّة اسم "تأتب atopy. والوسط هو الذي يتحكّم بفعالية جينات التأتب، وهذا يساعد على تفسير السبب في أن التوائم المتطابقة لاتشاطر دوماً الأرجيّات نفسها. وعديد من المُرشحات كجينات تأتب هي قيد البحث حالياً. ومن بين جميع هذه الجينات المسببة لأمراض أرجيّة والأعظم من حيث أهميتها الاقتصادية ومن حيث تلقيها لكثير من الاهتمام والبحث هي تلك المسببة لحالة الربو (وهي حالة مرضيّة قدّرت "الحملة الوطنية للربو" بأنها تكلف بريطانيا سنوياً 1 بليون جينه استرليني).

طبيعة و غذاء

منازل رطبة صحية

يتآثر الوسط والجينات من خلال طرائق معقّدة لإحداث أعراض الأمراض الأرجيّة. وعلى نطاق عالمي، توجد اختلافات عظيمة من حيث انتشار حالات محددة من الأرجيات، إذ سُجّلت أعلى نسب لها في بريطانية وأسترالية ونيوزيلندة وأيرلندا، في حين سُجّلت أدنى نسب لها في بلدان أوربا الشرقية والصين والهند. وتقترح هذه الأنماط وجود عوامل بيئية تتعلق بظروف الحياة الغربيّة وذات أهمية خاصة وتأثير على معدّل انتشار الحالات الأرجيّة المذكورة. وهناك دليل جذّاب (وعذب في نفس الوقت) يفيد بأن التعرض لعوامل ممرضة في الأوساخ خلال فترة الطفولة يؤدي إلى تدريب الجهاز المناعي والإقلال من ظهور الأرجيّة خلال الفترات اللاحقة من الحياة، الأمر الذي يجعل الهاجس الغربي بشأن المحافظة على الشروط الصحية مدعاة لتشويه الاستجابة المناعية.

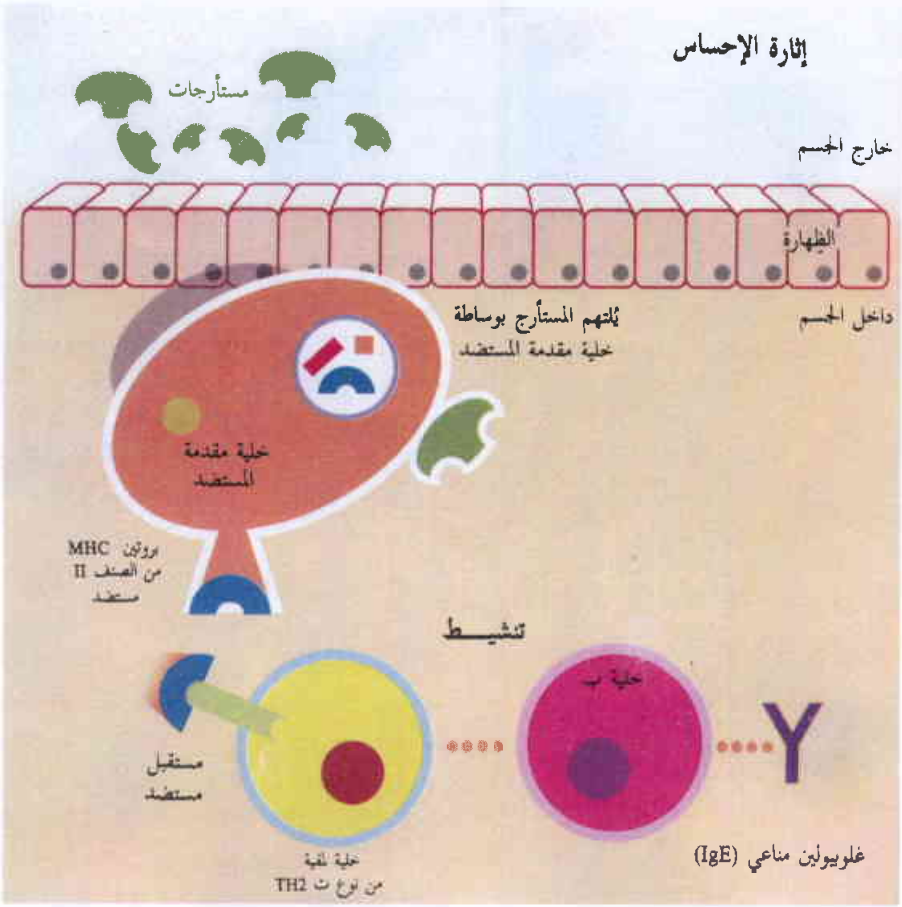
وإن كان مغرياً تحميل مسؤولية الزيادة في إصابات الربو إلى عوامل مثل تلوث الجو الناجم عن السيارات والمصانع، إلا أن الصّلات ما بين البيئة المحلية والأرجيّة تظل مقلقة بالقدر نفسه. فنحن نقضي وسطياً 75% من وقتنا في المنزل، وليس من قبيل الصدفة أن تشكّل القراديات المنزلية الدقيقة house dust mite أهم مصدر للمستأرجات. ولاشك أن البيئة الرّطبة الدافئة في البيوت جيدة العزل وذات التزجيج المزدوج ستوفر ظروفاً مثالية لنمو وازدهار هذه المخلوقات.

كذلك، تُعدّ البيئة عاملاً محدداً لنوع الأرجيات السائدة في مناطق محددة. وقد بينت دراسات في الولايات المتحدة أُجريت داخل المدن أن القراديات المنزلية الدقيقة وشَعر القطط هي المستأرجات الرئيسة التي تسبب الربو في المناطق الغنية، بينما تشكل القراديات المنزلية الدقيقة والصراصير

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

مستأرجات رئيسة في المناطق الفقيرة. قاد هذا إلى التفكير بأن تزايد حالات الإصابة بالأرجيّات قد يكون مرتبطاً بزيادة التعرض إلى المستأرجات. هذا ويستهلك الفرد الأمريكي العادي حوالي 5 كيلوغرام سنوياً من منتجات الفول السوداني، وبذلك يتعرض حوالي 80% من الأطفال الرضّع إلى هذه المنتجات قبل إتمامهم السنة الأولى من العمر. والتزايد في حالات الإصابة بأرجيّة الفول السوداني المبلغ عنها سنوياً يعكس ببساطة تزايداً في معدّلات تناول الفول السوداني. وبناءً عليه، فإن كثيراً من المتخصصين بالطب السريري يُؤيدون تجنب تناول منتجات الفول السوداني بالنسبة لصغار السن من الأولاد المشتبه معاناتهم بالتأتب.

وعلى وجه التقريب، تحصل جميع التفاعلات الأرجية نتيجة استجابة مناعية يُطلق عليها اسم: "فرط حساسية فورية من النمط I". وكما هو الحال عند الاستجابة للإصابة بعوامل ممرضة، هناك طوران لفرط الحساسية الفورية من النمط I: (1) إثارة الإحساس وهو طور يحدث عندما يُواجه مستأرج ما لأول مرة، و(2) التحريض وهو طور يأتي بعد أسابيع أو حتى سنوات لاحقة عندما يظهر المستأرج للمرة الثانية.



الشكل 2- تعبُر المستأرجات طبقة الظهارة ثم تُلتهم بوساطة خلايا مقدمة المستضد التي تعمل بعد ذلك على تنشيط خلايا - ت. تقوم الخلايا الأخيرة (خلايا - ت) بحثّ خلايا - ب على توليد غلوبيولينات مناعية مصوّبة على المستضد.

وما أن تتجاوز المستأرجات طبقة الظِهارة حتى تُلتهم بوساطة لخلايا مقدمة المستضد antigen-presenting cells، حيث تقوم هذه الخلايا بمعالجة المستأرج وإبراز شدفة منه (مستضد) فوق أغشيتها الخلوية، وتفعل ذلك من خلال ربط المستأرج بالجزء الرئيس لمعقد التوافق النسيجي من الصنف II والذي يطلق عليه اختصاراً MHC II (الشكل 2). وهناك صنف آخر من جزيء MHC، ألا وهو MHC I، يعمل على تقديم مستضدات تنشأ من داخل الخلية، كأن تكون على شكل شدفات لفيروس كان قد أصاب هذه الخلية.

ويجري التعرف على معقد المستضد - MHC II بوساطة مجموعة من الخلايا المجاورة داخل الاستجابة المناعية، ألا وهي الخلايا اللمفية. ويوجد نوعان من هذه الخلايا اللمفية: خلايا - ب B- cells وخلايا- ت T- cells. تقوم خلايا - ب بصنع الأجسام الضديّة (غلوبولينات مناعية) والتي هي مسؤولة عن استجابات مناعية مُصوّبة نحو مستضدات محددة، لكنها لا تستطيع التشبث بهذه الاستجابة إلا بعد أن تكون قد اتصلت مع خلايا- ت المساعدة T helper cells (TH cells). وهناك نوعان من خلايا TH:(1) خلايا TH_2 التي تعالج إصابات تسببها البكتريا أو الديدان الطفيلية والتي تعد أساسية من أجل تنظيم الاستجابة المناعية، و(2) خلايا TH_1 التي غالباً ما تكون مسؤولة عن المناعة المحققة بوساطة الخلايا والتي هي تفاعلات مناعية متلائمة بشكل خاص للتعامل مع خلايا مصابة بالفيروسات.

وسوف تُملي حصيلة التأثر ماين خلايا مقدمة المستضد وخلايا - ت سياق الأحداث اللاحقة. وعند بلوغ هذه النقطة في فرد لا أرجي، لن تتخذ إجراءات أخرى من قِبل الجهاز المناعي. أما في الفرد الأرجي، فسوف توجه خلايا TH_2 خلايا - ب إلى إنتاج غلوبيولينات مناعية. وهناك خمسة أصناف من هذه الغلوبولينات المناعية هي: IgA, IgD, IgE, IgG, IgM والتي يتلاءم كل منها مع وظائف مختلفة. فعلى سبيل المثال، يتولّد IgE استجابة لإصابة طفيلية، لكنه أصبح، في عام 1966، محط اهتمام البيولوجيين بسبب وجود دور له في الأرجيّة. وخلايا TH_2 المسؤولة عن التفاعل الأرجي هي التي تحرّض خلايا - ب كي تُنتج IgE.

اختيار نسيلي

يوجد للغلوبولين المناعي IgE نوعان من مواقع الارتباط: زوج أو موقعان من أجل ارتباط المستضد (يدعيان شدفا Fab)، وموقع مفرد من أجل ارتباط الخلية (يدعى شدفة Fc) (الشكل 3). ويرتبط جزيء IgE

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

ارتباطاً نوعياً بمستضد واحد. وللغلوبولينات المناعية في أجسامنا تشكيلة ضخمة (لامحدودة) من خيارات الارتباط، لكن هناك خلية - ب واحدة هي التي ستولّد نوعاً واحداً فقط (من هذه الغلوبولينات) فعندما يُواجه مستضد للمرة الأولى، لابد أن تُختار، من بين آلاف الخلايا المتوفرة، خلية -ب واحدة فقط ستولّد الغلوبولين المناعي المناسب. ستُحرَّض، بعد ذلك خلية-ب آنفة الذكر كي تتكاثر وتنضج متحولة إلى خلايا مولّدة للجسم الضدي. إضافة لما سبق، سيجري توليد خلايا - ب الذاكرة كي يستطيع الجهاز المناعي أن يتذكّر ويتفاعل بشكل أسرع عندما يواجه المستضد ذاته للمرة الثانية. وهذا ما يُدعى "بالاختيار النسيلي".

وتقع الخلايا الدقلية (البدينة) mast cells* ضمن النسيج إلى الجانب الآخر من الظهارة، وهي خلايا مسؤولة عن ظهور أولى الأعراض المبكرة للتفاعلات الأرجية. وتوجد على سطح كل خلية دقلية عدة مواقع يمكن لجزيء IgE أن يرتبط بها (تدعى هذه المواقع مستقبلات IgE). أما جزيء IgE، الذي تولّد استجابة لإثارة إحساس بوساطة مستأرج، فيرسو على سطح هذه الخلايا راقداً في حالة انتظار. وعقب التحريض، ترتبط المستأرجات بشكل نوعي مع جزيئات IgE المقيدة بمستقبلاتها. وعندما يربط مستأرج ما بين اثنين من جزيئات IgE (الشكل 4) تلجأ الخلية الدقلية إلى إطلاق مواد كيماوية، تُسمى "وسيطات التهابية inflammatory mediators، تسبب أعراضاً أرجية. تتحرر بعض هذه الكيماويات، ومنها الهستامين histamine، من مقصورات متخصصة (حبيبات granules) داخل الخلايا، بينما يتخلق بعضها الآخر حديثاً لهذا الغرض، ومنها البروستاغلاندين D_2 prostaglandin (PGD_2) والليوكوترين C_4 C_4 leukotriene (LTC_4).

الشكل 3- ترسو الغلوبيولينات المناعية على سطح الخلايا الدقلية وهي بحالة استعداد لمجابهة المستضد.

ويقوم الهستامين بتوسيع الشعيرات الدموية وزيادة نفوذيتها مسبباً تسرب البلازما إلى داخل الأنسجة المحيطة وحدوث تورّم (وذمة oedema). كذلك يحثّ الهستامين على إفراز المخاط وعلى تقلص العضلات الملس كما يحرّض الأعصاب الحسية المسؤولة عن الحكّة itchiness. أما PGD_2 فإنه يوسع الشعيرات الدموية لكنه يُعدّ أشد فعالية من الهستامين كحاثٍّ على تقلص العضلات الملس. أما LTG_4 فإنه يوسّع أيضاً الشعيرات الدموية لكنه أكثر فعالية من مادتي الهستامين و PGD_2 كحاثٍّ على تقلص العضلات الملس.

وتعتمد أعراض الأرجيّة كلية على الموقع داخل الجسم الذي حدثت فيه استثارة للجهاز المناعي. فتوسع الشعيرات الدموية والوذمة وإفراز المخاط وتقلص العضلات الملس داخل جدار المعي هي التي ستسبب الأعراض المميزة لحالة اضطراب المعدة. وهذا يعكس صورة الاستجابة لإصابة بطفيليات متعددة الخلايا - وهو تفاعل يحتمل أنه قد نشأ من أجل منع الطفيليات أن تُثبّت كلاليبها داخل المعي.

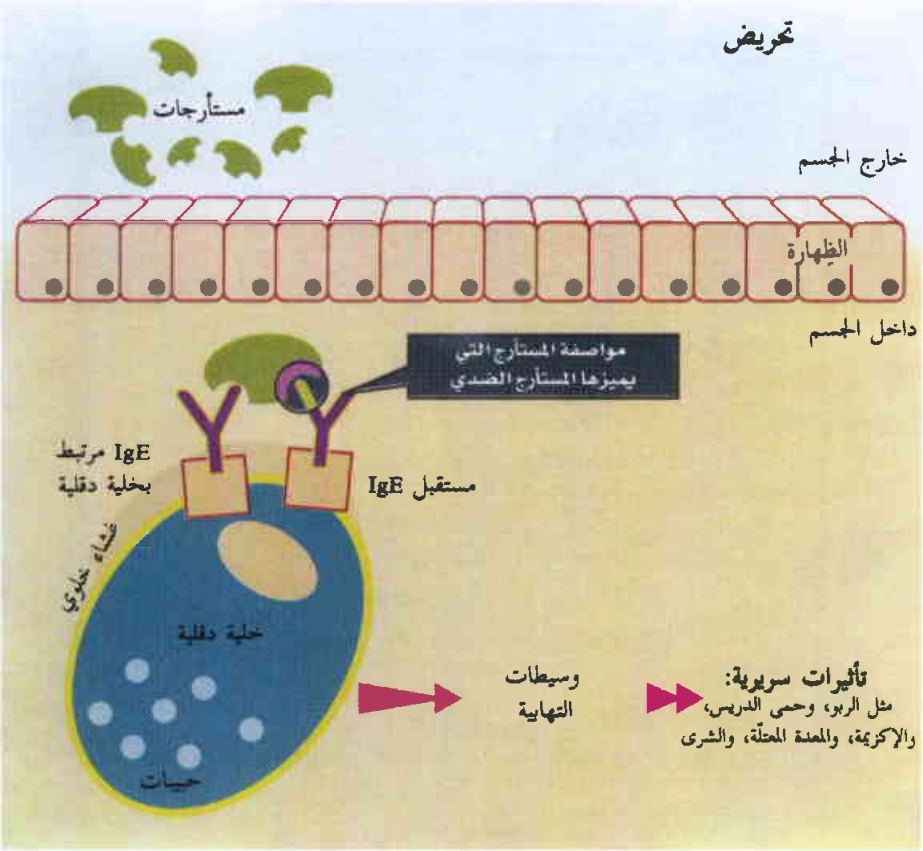
وفي المسالك الهوائية، تُحدث الوسيطات ذاتها الأعراض الخاصة بالربو والتي يكون فيها تقلّص العضلات الملس هو المسؤول عن الأزيز المميز الذي يحدث عندما تتضيق الأنابيب التي تحمل الهواء من وإلى الرئتين. أما أعراض الحرارة والاحمرار والحكاك التي تلازم حالتي الشرى urticaria والإكزيمة (التهاب جلدي) فإنها تنجم عن توسع الشعيرات الدموية، والوذمة، واستثارة العصب الحسي. وفي الأنف يكون إفراز المخاط والوذمة والحكاك هي الأعراض السائدة عند الإصابة بحمى الدريس. ولاتزوّد المسالك الهوائية والمعي بالأعصاب الحسية ذاتها ولذلك فإنها لاتسبب الحكة.

وتتمركز الأعراض المذكورة آنفاً عند موقع دخول المستأرج. لكنه، في حال دخول المستأرجات إلى الدورة الدموية - كما يحدث مثلاً بعد لدغة حشرية أو عقب الامتصاص من المعي - فإنها ستقود إلى تفاعلات مجموعية مسببة عند بلوغها الأوج استجابة أرجية شديدة تدعى "تأق أو تحساس anaphylaxis** تتميز بصعوبة التنفس (ناجم بشكل خاص عن وذمة تحدث في المسالك الهوائية) وبهبوط مفاجيء في ضغط الدم. ويتسبب في حالة التأق عدد ضخم من الخلايا الدقلية إضافة إلى خلايا أخرى موازية من حيث الوظيفة يطلق عليها اسم "أسيسات basophils" والتي تحرر وسيطاتها في الأرجاء المختلفة من الجسم. وقد يسبب الهجوم السريع لحالة التأق الموت في غضون دقائق معدودة، لكنه من الممكن - وبسرعة موازية

* mast cell: خلية دقلية (أو خلية بدينة) لنسيج ضام ذات حبيبات متعددة وكبيرة وأليفة للقواعد ومتبدّلة اللون في السيتوبلازم.

** anaphylaxis: تأق، تحساس، وهي حالة من فرط التحسس تتبع حقن مستضد antigen.

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



الشكل 4- عندما يربط المستضد جزيئي IgE متجاورين، تطلق الخلية الدقلية وسيطات التهابية، كالهستامين، مسؤولة عن ظهور أعراض الأرجية.

- تحقيق شفاء عاجل لغالبية أو حتى جميع حالات التأق عن طريق الحقن الوريدي الفوري بمادة الأدرنالين.

ويتحكّم في الاستجابات المناعية مرسالات كيماوية تدعى "سيتوكينات cytokines تحررها معظم أو جميع الخلايا المتورطة في هذه الاستجابات. ومن المثير حقاً العلم بأن خلايا TH1 تولّد سيتوكينات تخفف الاستجابات الخاصة بخلايا TH2، وبأن خلايا TH2 تولّد بالمقابل سيتوكينات تخفف الاستجابات الخاصة بخلايا TH1.

وتقوم سيتوكينات TH2 بتنشيط نوع آخر من الخلايا المتورطة بالتفاعل الأرجي، ألا وهي "الحَمِضات eosinophils*" التي تولّد بدورها عدداً من الذيفانات القوية المتطورة أصلاً من أجل قتل الديدان الطفيلية. ومن الممكن أن تتأذى الأنسجة المضيفة بفعل هذه الذيفانات في حال غياب الديدان الطفيلية. وعندما يوجد مستأرج بشكل مستمر في حيّز ما - كما هو الحال في الغبار المنزلي - تبقى الحَمِضات المذكورة في حالة نشطة مما يسبب حدوث التهاب مزمن. وهذا يؤدي بدوره إلى حالة من "فرط التفاعلية" تتميز إما باستجابة متزايدة تجاه مستأرج ما- كما هو الحال عند التعرض لجرعتين متماثلتين من غبار الطلع ذاته الأمر الذي يضخم أعراض حمى الدريس ويجعلها أكثر إزعاجاً-أو باستجابة متزايدة لمحرض لانوعي-كما هو الحال عندما يُحرَّض استنشاق الهواء البارد ظهور أعراض الربو.

هذا، وليس بالإمكان عَزو الأرجيات إلى جينة مفردة. ففي حالة الربو، على سبيل المثال - هناك العديد من الجينات المتورطة والمسؤول كل منها عن وظيفة محددة: كإنتاج الغلوبولين المناعي، ومستقبلات IgE، والسيتوكينات، والهستامين، والليوكوترين، واستجابة خلايا - ت. وعديد من الجينات المرشحة - كتلك المذكورة آنفاً - قد جرى استقصاؤها في 13 من أصل 23 زوجاً من الصبغيات البشرية. وعلى هذا الأساس، قد تتحول حالة الربو لأن تكون حصيلة عدد من الاضطرابات يصل عدد الجينات المتورطة فيها إلى 30 جينة. وقد يغدو ممكناً في يوم ما فرز الأفراد تبعاً لجينات تجعلهم عرضة للإصابة بأرجيات محدودة، كما يغدو ممكناً أيضاً استهداف نواتج هذه الجينات بإعطاء عقاقير مناسبة.

لماذا تكون جينات الأرجيّة بهذه الكثرة؟ هل قامت فيما مضى بنقل ميّزة تطورية؟ يُعدّ IgE مكوناً هاماً للاستجابة المناعية ضد الطفيليات متعددة الخلايا والتي يُعدّ الكثير منها، بما في ذلك دودة الأمعاء Ascaris lumbricoides، متوطناً لدى معظم المجموعات السكانية في العالم. وفي الآونة الأخيرة أُجريت دراسة على مجموعتين من الأولاد في فنزويلا منحدرتين من خلفيات اقتصادية متشابهة ولهما معدّلا إصابة بدودة الأمعاء A. lumbricoides متشابهان، لكنهما يختلفان في عدد المصابين بالحالات الأرجيّة. وقد أظهرت نتائج الدراسة السابقة أن الإصابة الطفيلية كانت أقل شدة في أولاد ينحدرون من المجموعة السكانية ذات معدّل الإصابة الأعلى بالأرجيات. لذلك، كان محتملاً أن يمنح التأتب ميّزة انتقائية قد تعوض بشكلٍ ما عن تورطه في الحالات الأرجيّة.

الإصابة بالرشح والزكام

السنوات المبكرة المفعمة بالنشاط

وحقل آخر يستحوذ على المزيد من الاهتمام، ألا وهو البرمجة المناعية خلال الطورين الجنيني والطفولي. وإن الدور الهام الذي يلعبه الوسط في إحداث الأرجيّات معترف به منذ فترة طويلة، لكن التكلم عن تأثيرات وسط ما قبل الولادة بدأ في الآونة الأخيرة فقط (انظر المؤطر). ويستمر الجهاز المناعي بالتطور عقب الولادة، كذلك تتغاير أعراض الأرجيّة مع تقدم العمر.

ومنذ أن سقط جدار برلين في عام 1989، مارس سكان ألمانيا الشرقية انتقالاً مثيراً إلى ظروف الحياة الغربية، وترافق ذلك مع ارتفاع في ظهور الأمراض الأرجية وإنما بنمط يعتمد بشدة على العمر. ففي دراسة أُجريت على أطفال عاشوا ضمن النظام الاشتراكي السابق حتى بلوغهم العام

* eosinophils: حَمِضات (مفردها حَمِضة)، وهي كرية بيضاء حبيبية ذات حبيبات سيتوبلازمية تتلون بالأصبغة الحمضية، ونواة ذات فصين متصلين بخيط دقيق من الصبغين.

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

الثالث من العمر، تبين وجود زيادة معنوية في معدل إصابة هؤلاء الأطفال بحمى الدريس خلال الفترتين 1991-1992 و 1995-1996، لكن ذلك لم يقابله زيادة مماثلة في عدد الأطفال المصابين بالربو، الأمر الذي يقترح وجود اختلافات هامة في العوامل المسببة للربو الطفولي عند مقارنتها بتلك العوامل المسببة لحمى الدريس.

ومن الواضح أن العوامل الفاعلة قبل بلوغ الطفل عامه الثالث - والتي تشمل: حجم العائلة، وما يتوفر من منشآت الرعاية النهارية، والوضع الاجتماعي الاقتصادي - ستلعب دوراً عظيم الأهمية في حدوث حالات الربو، كما قد يكون للإصابة الفيروسية صلة ارتباط بظهور هذه الحالات. فالأطفال الأصغر عمراً ضمن عائلات كبيرة الحجم هم أكثر عرضة للإصابة بمعظم الرشوحات والفيروسات الأخرى خلال الفترة المبكرة من حياتهم وهم،من وجهة نظر إحصائية، أقل احتمالاً أن يصابو بالربو. من جهة ثانية، تتلازم الإصابة الفيروسية مع استجابات مناعية بوساطة الخلايا والتي تميل بدورها نحو زيادة توليد خلايا TH1 على حساب خلايا TH2. ويبدو محتملاً أنه من خلال دفع الجهاز المناعي نحو إحداث استجابات مناعية بوساطة خلايا TH1 في فترة مبكرة من الحياة (وحتى قبل الولادة) سينخفض إلى حدٍ كبير خطر الإصابة بالربو في فترة لاحقة من الحياة.

ومع وجود تزايد واضح، على نطاق عالمي، في حالات الأرجية التي تسببها أنواع محددة من الأغذية، وبخاصة التفاعلات التأتية منها، فقد برزت إلى الواجهة مسألة وضع بطاقات توصيف لمواد الأغذية المختلفة. فمراكز بيع المواد الغذائية في أوربا مُضطرّة بحكم القانون أن تُظهر المكونات التي تدخل في تركيب أي منتج غذائي. من ناحية أخرى، ليس محتماً أن تُعلن بالكامل قائمة بجميع المكونات التي تحويها أطعمة مركبة (كما هو الحال مثلاً في حلوى ضمن فطيرة) وذلك عندما لاتتجاوز كمية هذه المكونات نسبة 25% من المنتج الكامل. وقد يسبب هذا مشكلة في حال احتواء الأطعمة المذكورة على مستأرجات كأنواع من المكسّرات nuts. ولحسن الحظ، فإن معظم مراكز بيع المواد الغذائية تأخذ مسألة وضع بطاقات التوصيف بعين الاهتمام والجدية، لكن المحذور هو أن يؤدي أي إجراء لحماية المستهلك (ومركز البيع) من إجراء قانوني إلى مبالغة أو إفراط في عملية التوصيف. فوضع بطاقة توصيف على كل رغيف من الخبز وكل رزمة من البسكويت تفيد بأن: "هذا المنتج قد يحتوي على مكسّرات" قد يقود إلى قناعة ذاتية لكنه لايؤدي الغرض المرجو منه، لهذا السبب يطالب الأطباء وكذلك المرضى بدراسة أعمق وأكثر جدّية لإجراءات التوصيف.

وتوجد ضغوط هائلة من أجل مجابهة الارتفاع المستمر لحالات الإصابة بالأرجيات. وفي عام 1997، حُسبت في أوربا النفقات المباشرة وغير المباشرة المترتبة على حالات الأرجية فبلغت 22 بليون جنيه استرليني كل سنة، وبدئ، منذ ذلك الوقت، بطرح استجابة أوربية شاملة لهذه

[3] Allergy Made Simple by Rudiger Wahl (Hogrefe & Huber, 1996).

[4] Asthma and Allergy Information and Research at www.users.globalnet.co.uk/~aair/ index.htm■

المؤطر

في الرحم: الاستجابات الأولى المبكرة

إن الأطفال من أمهات أرجيات أكثر عرضة للإصابة بحالات الأرجية من أولئك المنحدرين من آباء أرجيين، الأمر الذي يشير إلى أن الأمهات تلعب دوراً فريداً في نشوء الأرجيّة، ولربما يبدأ هذا الدور حتى في مرحلة ما قبل الولادة. وقد بيّنت أبحاث في جامعة "سوثهامبتون" أن المواليد لأمهات تعرضت إلى غبار طلع شجرة البتولا (Betula sp.) وهي في الأسبوع 22 من فترة الحمل تبدي استجابات مناعية مرتفعة تجاه هذا النوع من غبار الطلع، وبالفعل تُشاهد مثل هذه الاستجابات المرتفعة فقط في الأطفال الذين تعرضت أمهاتهم إلى مستأرجات أثناء الفترة ما بين الشهر الخامس والسابع من حملهم. وهذا يعني أنه توجد أثناء الطور المبكر لحدوث الاستجابة المناعية فترة لايقدح عندها التعرض لمستأرج توليد ذاكرة مناعية، كما توجد فترة لاحقة أثناء الحمل يسبب عندها التعرض نقصاً في الاستجابة للمستأرجات، أو شكلاً ما من أشكال التحمل.

ويترافق الحمل مع هبوط في الاستجابات المناعية بوساطة الخلايا TH1، لذلك كان محتملاً أن تزيد الأمهات وشيكة الولادة من الاستجابات المناعية بوساطة خلايا TH2- حيث تعمد سيتوكينات TH1، في الأحوال الطبيعية، إلى إقلال الاستجابات بوساطة خلايا TH2. وقد اقترح بأن هذه النقلة باتجاه توليد استجابات TH2 تتعاظم في الأمهات الأرجيّات وأن هذا قد يشجّع لحدوث استجابة مماثلة في الطفل الذي لم يولد بعد.

المشكلة. وفي الوقت الراهن، تبحث الدراسة العالمية للربو والأرجيّات خلال مرحلة الطفولة في أنماط المرض المنتشرة عبر أوربا ومدى علاقتها بالمستأرجات ومسببات بيئية أخرى، إضافةً إلى عوامل أخرى كأنواع الإصابات المرضية والتمنيعات التي سبق التعرض لها.

لقد أعلنت منظمة الصحة العالمية (WHO) عن خطط يجري بموجبها الخفض إلى النصف، وعلى نطاق عالمي، للوفيات الناجمة عن حالات الربو وذلك خلال فترة تنفيذ قدرها خمس سنوات (حيث توجد سنوياً حوالي 25 000 حالة وفاة عن الربو ويمكن تفاديها).

وفي وقت تسود فيه، وفي كل مكان، زيادة مستمرة في الاعتلالات الأرجيّة، يبقى الأمل واعداً بأن فهم المزيد من التأثرات المعقدة المسؤولة عن ظهورها وتطورها سيكشف فرصاً جديدة للوقاية والعلاج، وسيساعد على تجنب مآسٍ كتلك التي أودت بحياة الرياضي البريطاني روس بيلي.

المراجع REFERENCES

[1] Allergy by Stephen, T. Holgate (Year Book Medical Publishing, Februuary 2000); ABC of Allergies by Stephen Durham (BMJ) Publishing Group, 1998).

[2] Immunology by Ivan Roitt, Johnathan Brostoff and David Male (Mosby, 1998).

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

مُركّب السليكون جرمانيوم يثبت أهميته*

دوغلاس باول
مختبر كافنديش - جامعة كمبريدج - المملكة المتحدة

ملخص

بالاستعاضة عن جزء من ذرات السليكون بالجرمانيوم، يصبح من الممكن تصميم مجال واسع من النبائط الإلكترونية الأسرع من السليكون والتي تضاهيه في رخص التصنيع.

الكلمات المفتاحية: سليكون جرمانيوم، نبائط إلكترونية، ترانزستورات، كواشف ضوئية، نبائط كمومية، منظومة سليكون جرمانيوم، انفعال، تطبيقات.

مقدمة

السليكون مادة تزيد مبيعاتها على 98% من مبيعات سوق أنصاف النواقل الدولية. هناك أسباب عديدة تجعل نبائط السليكون تسيطر كلياً على سوق الإلكترونيات المكروية، لكن العامل المهيمن يكمن في تكلفة تصنيعها المنخفضة. يمكن تصنيع بلايين الترانزستورات ذات الخصائص المتماثلة في رقائق سليكونية يزداد كبرها باستمرار مما يجعل كلفة الترانزستور الواحد تزداد انخفاضاً.

تعتمد عمليات تصنيع النبائط وأدائها بشكل قوي على عدد من الخواص الذاتية المتأصلة للسليكون. لكن خواص ثنائي أكسيد السليكون ونتريد السليكون هي الأكثر أهمية. تشكل هاتان المادتان الطبقة العازلة الأهم من الجميع في الترانزستورات وإنقاص تيارات التسرّب. وفي الحقيقة إن هذه المواد العازلة هي التي جعلت السليكون يهيمن على كل المواد الأسرع الأخرى، مثل زرنيخيد الغاليوم ومواد أخرى مثل المركبات نصف الناقلة من المجموعتين III-V. وزيادة على ذلك، إن تصنيع نبائط من المواد III-V أغلى وأعلى تكلفة من تصنيعها من السليكون لأنه ينبغي استخدام تقانات معالجة مختلفة ولأن مثل هذه التقانات لم تصل بعد إلى مستوى الإنتاج الضخم الذي وصلته الجذاذات السليكونية.

دخول السليكون جرمانيوم

تحتوي المعالجات أمثال الحواسيب الشخصية القديرة Power PC وجذاذات بنتيوم Pentium مجموعاً كلياً يقارب 11 مليوناً من الترانزستورات كلفة كل ترانزستور منها 0.003 سنتاً. تتوقع خارطة رابطة صناعات أنصاف النواقل لعام 1997 أنه بحلول عام 2012 سيرتفع عدد الترانزستورات على جذاذة واحدة إلى 1.4 بليون – أي إلى عديد لا يصدق من الترانزستورات يصل إلى 180 مليون ترانزستور في السنتيمتر المربع الواحد – بينما ستنخفض التكلفة إلى 50 مكرو سنت فقط لكل ترانزستور. شرعت سعة خزن ذاكرة الدخول العشوائي الديناميكي (DRAM) بالزيادة بمعدل أكثر إثارة. فليس ثمة تقانة أخرى تقترب حتى من هذه القيم. يُعرف هذا النمو الأسي الشديد باسم قانون مور Moore's law، الذي يتنبأ بأن عدد الترانزستورات التي يمكن أن تستوعبها جذاذة يتضاعف كل 18 شهراً. وهذا يسمح للحواسيب أن تتضاعف سرعتها أو أن ينخفض سعرها إلى النصف خلال ذلك الوقت.

على كل حال، يوجد عدد من المجالات لا تستطيع نبائط السليكون فيها أن تنافس المواد نصف الناقلة الأخرى. ففي نبائط التواترات الراديوية، كالمرسلات والمستقبلات في الهواتف المتحركة ومنظومات تحديد الموضع الأرضية global positioning systems (GPS)، تعاني ترانزستورات أثر الحقل من سوية أعظم من ضجيج إلكتروني غير مرغوب فيه بالمقارنة مع معظم أنصاف نواقل المجموعة III-V. إن زرنيخيد الغاليوم أفضل من أجل نبائط الإلكترونيات الضوئية، كالثنائيات المصدرة للضوء والليزرات، وذلك لأن الإلكترونات في "عصابة النقل" تستطيع أن تتحد بالثقوب في "عصابة التكافؤ" بسهولة أكبر في زرنيخيد الغاليوم مما هو في السليكون.

بإضافة مادة نصف ناقلة أخرى إلى السليكون، نستطيع أن نحسّن أداء الترانزستورات والدارات، وبذلك نفتح المجال لعدد من التطبيقات الجديدة. وتعدّ مادة السليكون جرمانيوم (SiGe) واحدة من هذه المواد. وفق ذلك يمكن إنماؤها على رقاقات سليكونية بحيث تتوافق ثابتتها الشبيكية مع الثابتة الشبيكية للسليكون. إذا استبدلنا ببعض ذرات السليكون ذرات جرمانيوم فيمكننا أن "نهندس" فرجة العصابة للمادة (أي فرق الطاقة بين عصابتي النقل والتكافؤ)، ونغير حركيات حاملات الشحنة وخواص عديدة أخرى. وبعبارة أخرى، لدينا مرونة أكبر لتصميم النبائط. وفي الوقت نفسه، يمكننا تصنيع هذه الدارات مستخدمين التقانات والوسائل المستخدمة لصناعة الجذاذات السليكونية التقليدية. وعليه فإن (SiGe) تجمع مزايا تكلفة السليكون مع السرعة التي تتمتع بها تقانات أكثر تكلفة مثل زرنيخيد الغاليوم.

وتتوفر حالياً منتجات كثيرة من SiGe من ضمنها مضخّمات منخفضة الضجيج للهواتف المتحركة ومنظومات إرسال ذات معدل بيانات عالٍ من أجل الشبكات السلكية wired networks [1]. من بين اللاعبين الكبار في السوق نذكر دايملر – كريسلر Daimler - Chrysler و IBM و NEC وسيمنس وتيميك Temic، بينما هناك عدد من

* نشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, February 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

الشركات الأصغر مثل منظومات SiGe المكروية SiGe microsystems وأمبير ويف Amber-wave، تؤمّن مواد الـ SiGe أو النصائح التقنية.

يُتوقع لسوق منتجات SiGe أن تنمو بصورة مذهلة. وفي الحقيقة فإن Strategies Unlimited، وهي شركة لأبحاث السوق، تتنبأ بأن سوق SiGe اللاسلكي والرقمي ستصل إلى 1.8 بليون دولار مع حلول عام 2005. وبالإضافة إلى ذلك فإن SiGe تعطينا الفرصة لدراسة الفيزياء الأساسية في منظومة مواد جديدة تتمتع بخواصّ مختلفة عن خواص المركبات III-V ومنظومات السليكون التقليدية.

التجارب المبكرة والعقبات

نُشرت أول ورقة علمية عما يسمى SiGe متعدد التبلور والمؤلف من مناطق بلّورية موجهة عشوائياً، في الولايات المتحدة عام 1956 من قبل موريس غليكمان [2] لدى مختبرات RCA. إلّا أن أول أفلام SiGe عالية الجودة لم يتم إنماؤها على ركازات سليكونية إلى أن جاء العمل الذي قام به إريك كاسبر [3] والعاملون معه لدى AEG (المعروفة الآن باسم دايملر-كريسلر) في عام 1975، وذلك باستخدام تقانة تدعى التنضيد بالحزم الجزيئية (MBE). في طريقة التنضيد بالحزم الجزيئية، تبخر العناصر المختلفة المراد ترسيبها من بوتقات مسخّنة لتشكل حزماً جزيئية توجه بعد ذلك على ركازة بلّورية. تحفظ الركازة في درجة حرارة عالية أيضاً بحيث أن الذرات التي تصطدم بالسطح تشكل البنية البلّورية والتوجه الموجودين في الركازة.

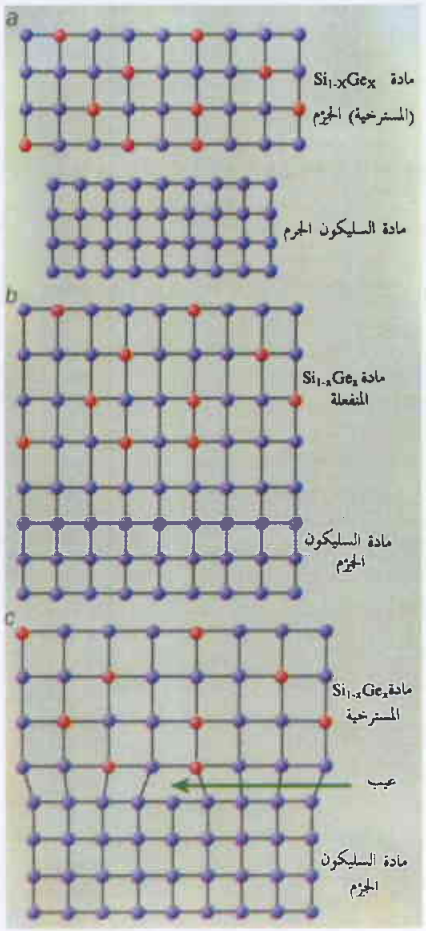
إن الثابتة الشبيكية للجرمانيوم أكبر من مثيلتها في السليكون بمقدار 4.2%. وبعبارة أخرى، تشكل المادتان بلّورات ذات خلايا وحدة بأحجام مختلفة. عندما تُنمّى طبقات SiGe على ركازة من السليكون، فإنها تُجبَر على اتباع التباعد الشبيكي نفسه، مؤدية إلى حدوث انفعال strain في الطبقات (انظر الشكل 1). لكننا بإضافة الجرمانيوم بهذه الطريقة نستطيع إنقاص طاقة فرجة العصابة وتغيير البنية العصابية. وهذا يعني أننا نستطيع أن نهندس كلاً من الانفعال وفرجة العصابة كي نصمم بنى غرية عديدة.

إن العمل الرائد لمجموعة AEG الذي قام به جون بين J.Bean والعاملون معه في مختبرات بل، وبعده يرني ميرسون B.Meyerson وزملاؤه من IBM، حَمَل SiGe إلى الواجهة في الثمانينيات. قامت مجموعات البحث هذه بقفزة كبرى إلى الأمام في تحسين إجراءات الإنماء والنوعية للمادة المنتجة. حدثت تحسينات في تقانة التنضيد بالحزم الجزيئية MBE وتقانات إنماء أخرى، أطلق عليها اسم الترسيب من البخار الكيميائي chemical vapour (CVD) deposition وفيها يتم تكثيف المنتجات المتحررة في التفاعلات الكيميائية كي تشكل فلماً رقيقاً على ركازة. أجريت تجارب عديدة كي تعطي مواصفات المادة المنتجة في كل طريقة ولكي تعاير طرائق الإنماء.

تركز قدر ملموس من البحث على الانفعال في المنظومة، وعلى الكيفية التي "تسترخي" بها SiGe بخلق انخلاعات وعيوب لكي تأخذ التباعد الشبيكي نفسه كما للمادة الجرمية SiGe (الشكل 1c). من أجل جزء معين x من الجرمانيوم، نستطيع فقط أن ننمّي طبقات من $Si_{1-x}Ge_x$ حتى ثخن معين ندعوه الثخن الحرج قبل أن يبدأ الانخلاع بالتشكل. وفوق هذا الثخن الحرج يحتاج الأمر إلى صرف طاقة كبيرة جداً لإحداث انفعال في طبقات SiGe المضافة. وفي الحقيقة، كلما كان جزء الجرمانيوم في الطبقة أكبر، كان الثخن الحرج أرقّ. لقد اقترحت نماذج عديدة لحساب الثخن الحرج لمثل هذه المنظومات المنفعلة. ولقد أوضح جون بين وروزفلت بيوبل R.People من مختبرات بل بأن الطبقات المنفعلة قد تنمّى تنضيدياً عند ثخن فوق الثخن الحرج وفي وضع التوازن لتشكل طبقات منفعلة شبه مستقرة. وعلى كل حال فإن هذه الطبقات قد تسترخي فيما بعد وتشكل عيوباً إذا ما سُخّنت.

تركز كثير من عمل النبائط المبكر على بنى "الشبيكة الفائقة" superlattice حيث جرى إنماء مادتين مختلفتين بصورة متكررة واحدة فوق الأخرى. بيّن الباحثون أن الدورية الزائدة للشبيكة الفائقة ستقود إلى ما يسمى مواد ذوات فرجات عصابية مباشرة تستطيع فيها الإلكترونات والثقوب أن تتحد بسهولة لتشكيل فوتونات. يمكن استخدام هذه المادة وأمثالها بعدئذٍ في تطبيقات عديدة للإلكترونيات الضوئية. وبعد قدر كبير من البحث، بيّن ميلان جاروز M. Jaros والعاملون معه في جامعة نيوكاسل في المملكة المتحدة أنه يمكن تصميم بنى ملائمة، في حين لايمكن إنماء أي منها. إذا لم تكن الطبقات ملساء تماماً - حتى على مستوى الذرّة الواحدة - فإن الدورية المهمة للشبيكة الفائقة بأكملها يمكن أن تنهار. ليس باستطاعة أي من تقانات الإنماء المتوفرة حالياً أن تنتج الدرجة العالية من الانتظام المطلوب. وهناك تصاميم أخرى عديدة للنبائط تطلبت طبقات كانت فوق الثخن الحرج بكثير.

الشكل 1- هندسة البلّورة



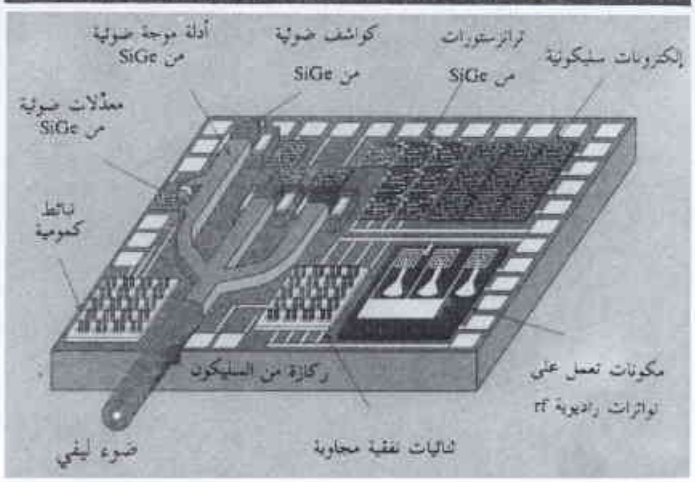
(a) يختلف ثابت الشبيكة لمادة السليكون الحرم (أزرق) عن ثابت الشبيكة في بلّورات $Si_{1-x}Ge_x$ لأن هذا الثابت في مادة الجرمانيوم الحرم (أحمر) أكبر بـ 4.2% مما هو في السليكون. (b) يمكن إنماء طبقة رقيقة من $Si_{1-x}Ge_x$ على طبقة من السليكون بحيث يكون ثابت الشبيكة لـ $Si_{1-x}Ge_x$ موافقاً للسليكون. إن الانفعال المحدَث بسبب الاختلاف بين الثابتين الشبيكيتين يمكن أن يستخدم لهندسة الفرجة العصابية. (c) إذا زاد الثخن عن الثخن الحرج تتشكل عيوب من نوع انخلاعات سوء التوافق كي تريح المنظومة. يعتمد الثخن الحرج على جزء الجرمانيوم المستخدم.

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

تطبيقات عملية لـ SiGe

بُعيد تغلب الباحثين على المشاكل المتعلقة بنوعية طبقات SiGe، شرعوا يبينون بأنه يمكن استكمال (دمج) أنواع مختلفة من الكواشف الضوئية والأدلة الموجية على جذاذات سليكونية نظامية (انظر الشكل 2).

الشكل 2- مصنوعات على جذاذة



أنواع جديدة من نبائط SiGe يمكن تكاملها (دمجها) على جذاذة سليكون تقليدية تحتوي إلكترونيات معيارية معهودة يمكنها أن تؤدي إلى تخفيض هائل في الكلفة والقدرة مع زيادة في السرعة والمردود.

في الثمانينيات وأوائل التسعينيات كان المجال الأعظم الآخر لبحوث SiGe ينصبّ على الترانزستور ثنائي القطبية ذي الوصلة اللامتجانسة heterojunction bipolar transistor أو HBT. يعمل هذا الترانزستور بإمرار تيار من تماس الباعث إلى تماس المجمّع؛ ويجري التحكم بالتيار الجاري في النبيطة باستخدام توتر أو تيار يطبّق على قاعدة الترانزستور.

يساهم في عملية النقل في الترانزستور ثنائي القطبية كل من الإلكترونات والثقوب. إن الميزة الكبرى للترانزستورات ثنائية القطبية ذات الوصلة اللامتجانسة من SiGe هي أننا نستطيع أن نفصّل صفات الترانزستور بتغيير مقدار الجرمانيوم في القاعدة. وخلافاً للترانزستور ثنائي القطبية السليكوني العادي، فإن الصفات الخاصة لترانزستور من SiGe يمكن جعلها أمثلية من أجل تطبيق معين من دون التفريط بالصفات الأخرى.

إن أداء الترانزستورات المصنوعة من SiGe أفضل بصورة ملحوظة من الترانزستورات ثنائية القطبية السليكونية العادية لأن تطعيم القاعدة يمكن أن يكون أكثر شدة. وتضعف هذه العملية مقاومة القاعدة ومن ثم تزيد من السرعة التي يستطيع بها الترانزستور أن ينتقل إلى حالتي الوصل والفصل. كما أن مقاومة القاعدة المخفضة مهمة لإنقاص الضجيج في الترانزستور، وهو اعتبار مهم في كل من التطبيقات التمثيلية analogue وتطبيقات التواترات الراديوية.

إن فرجة العصابة المخفضة للقاعدة تساعد أيضاً على زيادة ربح الترانزستور لأن الانقطاع الحاصل بين القاعدة والباعث يقلل من حقن الثقوب إلى الباعث. وبتغيير محتوى الجرمانيوم في الطبقات في القاعدة، نستطيع أن نُنشيء حقلاً كهربائياً أيضاً في داخل النبيطة يقوم بتسريع الحاملات عبر القاعدة وبذلك نزيد من سرعة الترانزستور.

والمهم أننا نستطيع أن نضيف قاعدة الـ SiGe إلى عملية التصنيع بتكلفة أقل ما يمكن. ولكن هذه العملية ليست بالسهولة التي تبدو عليها لأن العديد من خطوات المعالجة النظامية عند درجات الحرارة العالية المستخدمة لصنع تركيبات معدن / أكسيد نصف ناقل المتممة (CMOS) complementary metal - oxide semiconductors تستطيع أن تجعل قاعدة $Si_{1-x}Ge_x$ المنفعلة strained تسترخي أو تجعل ذرات الجرمانيوم أو أي طعوم dopants أخرى تنتشر، فتدمر بذلك السطوح البينية بين الطبقات نصف الناقلة.

لقد تبين أن قواعد الـ SiGe لا تضيف إلّا حوالي 10 إلى 15% إلى تكاليف المعالجة. لكنها في الوقت نفسه تزيد من أداء الترانزستور وتعطي مصمّمي الدارات مرونة أكبر. بالرغم من أن ترانزستورات SiGe تستطيع أن تعمل على سرعات تصل حتى 120 GHz وتظل تنتج ربحاً، فإن نبائط الإنتاج لها سرعات محافظة أكثر من ذلك تبلغ حوالي 70 GHz والتي لاتزال أسرع من الترانزستورات ثنائية القطبية السليكونية المماثلة لها بحوالي 50%. يمكن التضحية بهذه السرعة مقابل إنقاص استهلاك القدرة، وهي ميزة كبيرة للنبائط المحمولة أو التي تغذى بالبطارية، حيث يكون لعمر البطارية أهمية كبرى.

السليكون جرمانيوم يتحمل الإجهاد

تحتوي جذاذات الحواسيب الشخصية القوية والمعالجات من نوع بنتيوم على ترانزستورات السليكون ذات القاعدة "من النوع p"، حيث تكون الثقوب فيها هي الحاملات الأساسية، وعلى ترانزستورات "من النوع n" حيث الإلكترونات هي التي تنقل التيار. وباستخدام كلا النوعين من ترانزستورات أثر الحقل CMOS، فإن الدارة تستهلك القدرة فقط عندما تنتقل بين حالتين مختلفتين على عكس ما هو الحال في معظم تصاميم الجذاذات الأخرى. إلّا أن أداء هذه الجذاذات محدود بصورة رئيسية بواسطة ترانزستور النوع p لأن حركية الثقوب في السليكون أخفض بكثير من حركية الإلكترونات. وفي محاولة للتغلب على هذه المشكلة وموازنة التيارات من الترانزستورات في دارات CMOS، يجري تصنيع ترانزستورات النوعين n و p ببوابات لها عروض مختلفة لكن هذا يخفض كثيراً أداء الدارة النهائي.

في الأيام المبكرة من بحث SiGe، وُضع اقتراح مفاده أن الانفعال في بنية الـ SiGe يمكن أن يُستغلّ للتغلب على هذه الصعوبات. يغيّر الانفعال البنية العصابية للمادة بطريقة تزيد من حركية الثقوب، ومن ثم من أداء النبيطة. إن إنماء طبقة من $Si_{1-x}Ge_x$ منفعلة على رقاقة من مادة السليكون يولّد بئراً كمومياً للثقوب في عصابة التكافؤ. وهذا يفصل الثقوب عن السطح البيني Si/SiO_2 الخشن في الترانزستور النموذجي معدن – أكسيد

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

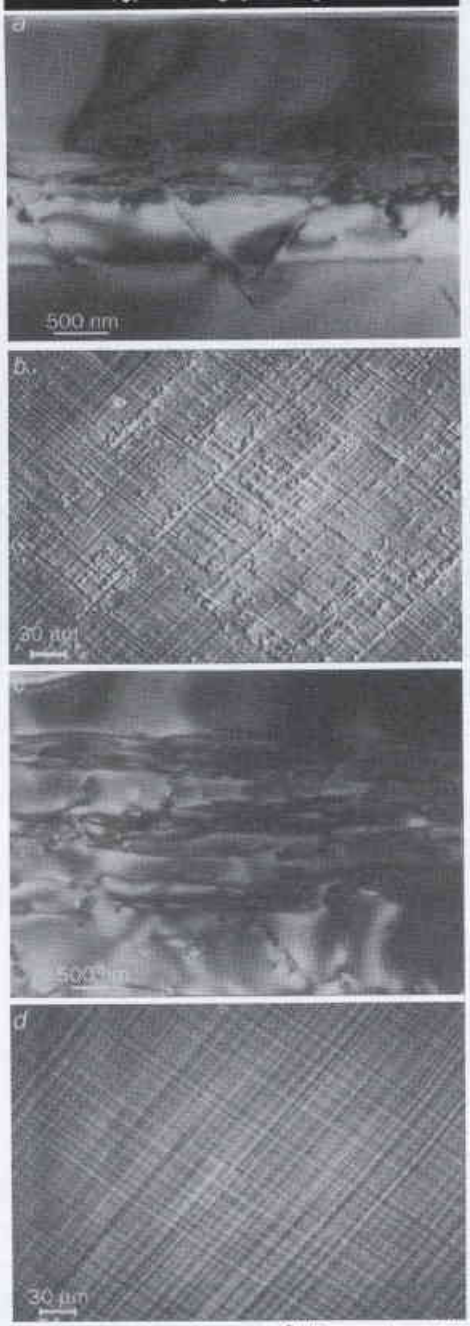
نصف ناقل (MOS) وبذلك يقلّل التبعثر. وبالرغم من أنه أعلن عن تحقيق زيادة ضئيلة في الحركية، إلّا أنها كانت صغيرة جداً بحيث لا تسوّغ الزيادة الملموسة في تكلفة التصنيع. إن إنقاص طول بوابة الترانزستور برهن على أنه البديل الأرخص. ولقد تبين فيما بعد أن البعثرة بالإحماء alloy scattering في طبقة الـ SiGe يلغي بشدة التحسن الذي طرأ على الحركية مؤدياً إلى تحسّن بسيط فقط في أداء الترانزستور.

إذا أردنا أن نشكل بُنى عصابية محددة، كبئر كمومي في عصابة النقل فإننا نحتاج إلى أن نكون قادرين على إنماء طبقة منفعلة من السليكون أو من $Si_{1-x}Ge_x$ في أعلى ركازة مسترخية من SiGe. على كل حال إذا حاولنا أن ننمي طبقة من $Si_{1-x}Ge_x$ تكون أثخن بكثير من الثخن الحرج، فإن عدداً كبيراً من العيوب يتشكل عندما تسترخي الطبقة وتعود إلى البنية الشبيكية للمادة الجرمية لـ $Si_{1-x}Ge_x$. ونموذجياً هناك ما يزيد على 10^{12} عيب في كل سنتيمتر مربع من المادة، تعمل على إنقاص خواصها الضوئية والناقلية بصورة حادة. إن هذه الطبقات المنفعلة - المسترخية أو ماندعوها بـ الصادّات أو الدارئات buffers يطلق عليها اسم "الركازات الافتراضية" virtual substrates.

في أواخر الثمانينيات اكتشف بِرني ميرسون B.Meyerson بصورة عَرَضية طريقة حول هذه المشكلة عندما كان يعاير محتوى الجرمانوم في رقاقة منمّاة بالترسيب من البخار الكيميائي. لقد نمّى عدداً من الطبقات بمحتوى جرمانيوم معطى ثم زاد معدل تدفق غاز الجرمين (GeH_4) إلى المنظومة بحيث تمكّن من زيادة مقدار الجرمانيوم الذي تحتويه كل طبقة لاحقة. لقد وضع فواصل رقيقة من السليكون بين الطبقات لتلعب دور مؤشرات بحيث يتمكن فيما بعد من قياس ثخن الطبقات بدقة، ومن ثم معدل الإنماء مستخدماً المجهر الإلكتروني النافذ.

عندما درس ميرسون المخططات المكروية كانت دهشته أن الطبقة العلوية كانت خالية من الانخلاعات. وعوضاً عن ذلك فإن الانخلاعات المخلّصة من الانفعال

الشكل 3- تخفيض كثافة العيوب



مقارنة بين عيّنتين من السليكون - جرمانيوم متدرّجتين، منتاتين في الدرجة 600 °C (a) و (b) وفي الدرجة 800 °C (c) و (d). قام بذلك ديف روبنز D.Robbins وزملاؤه من وكالة أبحاث تقييم الدفاع (DERA) ، مالفرن في المملكة المتحدة. تتشكل كل عينة من ركازة نمّي على سطحها طبقات متدرجة من السليكون جرمانيوم، متبوعة بطبقة ثخينة من $Si_{1-x}Ge_x$. تبين المقاطع العرضية في (a) و (c) الصور المكروية المأخوذة بواسطة مجهر الإلكترون النافذ بأنه يوجد كثافة عالية من الانخلاعات في أجزاء الجرمانيوم المتدرجة للبنية لكن الطبقة الثخينة من $Si_{1-x}Ge_x$ المنتاة فوق الأجزاء المتدرجة خالية من العيوب. والأمر الأكثر دهشة هو أن كثيراً من الانخلاعات تنحدر نحو ركازة السليكون بدلاً من الأعلى ونحو السطح. تبين (b) و (d) الاختلاف في خشونة السطح الناتج من درجات حرارة إنماء مختلفة. توجد عيوب أقل في العينة المنتاة عند درجات حرارة أعلى. وفي الواقع فإن حركية حوامل الشحنة في الركازة ذات درجة الحرارة العالية كانت 100 ضعف أفضل مما هي في عينة منتاة عند درجة حرارة أخفض.

strain-relieving dislocations بدت لتسير للأسفل عَبْر الركازة وليس للأعلى عبر السطح. وقد أعطى هذا السلوك كثافة انخلاعات تبلغ 10^6 cm^{-2} أي أخفض مما هو متوقع بستّ مراتب في القيمة (انظر الشكل 3).

بإحداث تدرّج في محتوى الجرمانيوم في الصادّات أثناء عملية الإنماء، يمكن أن نخفّض كثافة الانخلاعات إلى مادون $10^6 cm^{-2}$. لقد أدى التخفيض في عدد الانخلاعات إلى تحسّن حركية حامل الشحنة. وعلى سبيل المثال، كانت حركية غاز إلكتروني ثنائي البعد في طبقة متوترة من السليكون المنمّى على ركازة $Si_{1-x}Ge_x$ مسترخية تبلغ $17\,000$ $cm^2V^{-1}s^{-1}$ فقط في السابق عند درجات حرارة منخفضة بسبب كثافة الانخلاعات الكبيرة. وقد بيّن الباحثون في IBM فيما بعد أنه باستخدام صادّات ذات عيوب منخفضة يمكنهم أن يحسّنوا الحركية بعامل يزيد على 10.

وفي أثناء ذلك، وفي درجة حرارة الغرفة وجد أن حركية حاملات الشحنة في ترانزستورات أثر الحقل المبنية على SiGe أكبر بأربع مرات من حركية النبائط السليكونية التقليدية. تتألف عصابة النقل في السليكون من ستة وديان يمكن أن تسكن فيها الإلكترونات. لكن الانفعال في السليكون يغير عصابة النقل بطريقة يكون فيها واديان تقطنهما الإلكترونات فقط حتى عند درجة حرارة الغرفة، التي تزيد بدورها من حركية الإلكترونات.

وبالمثل، فإن انفعال طبقة غنية بالجرمانيوم وكائنة على ركازة مسترخية، يمكّننا من تحقيق حركيات أعلى بصورة ملحوظة إذا ما قورنت بنبائط سليكونية من النوع p. وباستخدام هذه المواد لتشكيل ترانزستورات أثر الحقل أصبحنا قادرين على صنع نبائط يكون الأداء فيها قريباً من أداء النبائط المصنوعة من مواد III-V. إن شركة دايملر- كريسلر مع أمبيرويف تبيع ترانزستورات سليكونية منفعلة strained-silicon transistors ذات تواتر أعظمي للتشغيل يبلغ 100 GHz (أنظر الشكل 4).

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

سليكوني عادي، ولكن عند فولطية تساوي النصف. لذلك يلزم ربع القدرة فقط بالمقارنة مع إلكترونات CMOS التقليدية - وهي ميّزة كبيرة لمستخدمي الحواسيب الحضنية laptop computers والهواتف المتحركة والتجهيزات النقالة الأخرى.

لكن المشكلة الكبرى مع هذه البنى هي أن كثافة العيوب لا تزال أعلى بثماني مراتب في القيمة من رقاقة سليكونية معالجة. وهذه العيوب تخفّض عدد الترانزستورات التي يمكن استخدامها في دارة كهربائية. إذا كُتب لتقانة SiGe أن تنافس الإلكترونيات التقليدية فإنه ينبغي لكثافة العيوب أن تُخفّض بصورة جذرية.

على كل حال، أدت هذه التطورات إلى بعض النتائج المثيرة في فيزياء درجات الحرارة المنخفضة وكان لها فوائد هائلة في التطبيقات. وفي الواقع إن مبيعات نبائط SiGe هي الآن مقاربة لمبيعات نبائط III-V في بعض الأسواق.

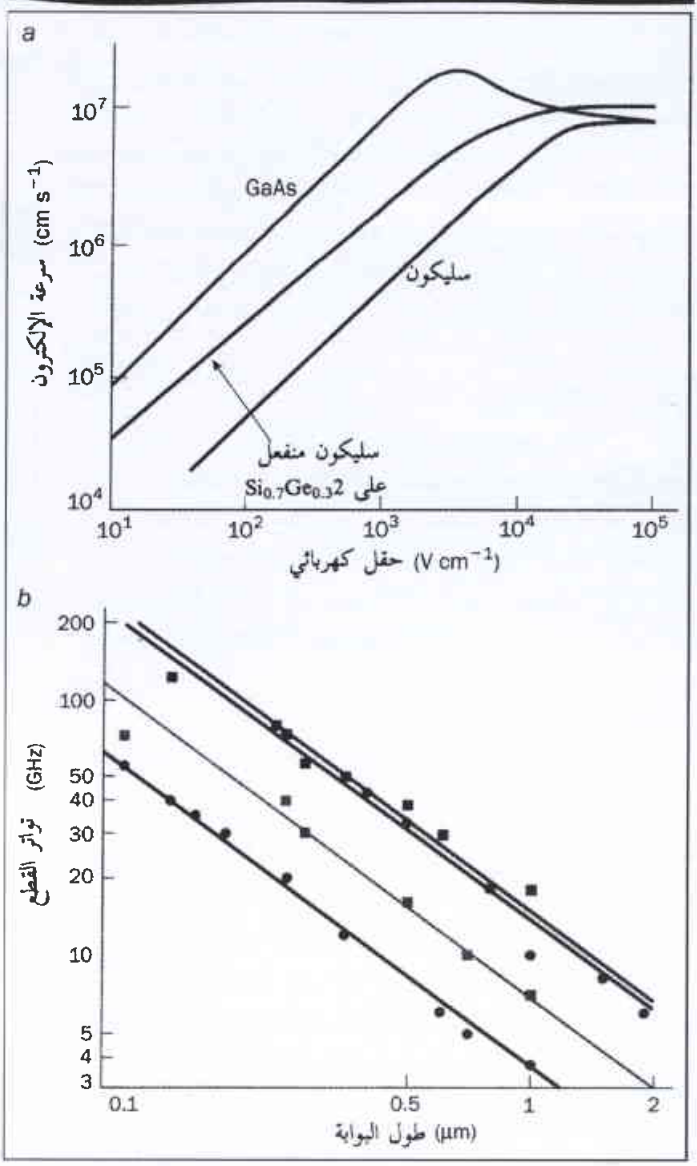
فيزياء منظومات SiGe

على الرغم من أن الكثافة العالية للعيوب في SiGe قد تحول دون استخدامها في دارات متكاملة عالية الكثافة، فإنه يبقى في استطاعتنا أن نتناول بالبحث قدراً لابأس به من الفيزياء بواسطة الطبقات ذات الحركية العالية. وبالإضافة إلى ذلك فإن باستطاعة العيوب أن تتمخض عن بعض الفيزياء الممتعة بحكم امتلاكها الخاص لها. ونظراً لأن SiGe قد تأخرت عن المواد III-V، فإن العديد من التجارب التي أنجزت على SiGe هي تكرار لتلك التي سبق لها أن أجريت على المواد III-V.

إن الاختلاف الأساسي بين فيزياء السليكون وفيزياء المواد III-V يكمن في بنية عصابة النقل. ففي المواد III-V، إذا نظرنا إلى طاقة حاملات الشحنة كتابع لاندفاعها، نجد أن النهايات العظمى لعصابة التكافؤ والنهايات الصغرى لعصابة النقل تقع عند الاندفاع ذاته. وهذا ما يسمى الفرجة المباشرة للعصابة وهي تسمح للإلكترونات والثقوب أن تتحد لتشكل فوتونات بسهولة نسبية. وعلى نقيض ذلك فإن لعصابة النقل في السليكون ست نهايات صغرى، ليس فيها واحدة تقع عند نفس الاندفاع الذي للنهايات العظمى لعصابة التكافؤ. لذا فإن السليكون يتمتع بفرجة عصابة غير مباشرة، تجعله غير قادر على إصدار الضوء. لكن الانفعال في منظومة السليكون يزيد الطاقة لأربعة وديان (نهايات صغرى) بحيث يتعذر أن تسكنها الإلكترونات، كما يخفض طاقة الواديين الآخرين مما يجعلهما مقراً لكل الإلكترونات في المنظومة. تؤثر هذه العملية على الفيزياء الأساسية للسليكون المنفعل بالمقارنة مع زرنيخيد الغاليوم.

كان دون مونرو وزملاؤه في مختبرات بل في الولايات المتحدة أول من تحدّث عن أثر هول الكمومي الكسري fractional quantum Hall effect في غاز إلكتروني ثنائي البعد في منظومة السليكون المنفعل. وفي أثر هول الكمومي، فإن ما يدعى بمقاومة هول Hall resistance للعينة يتم الحصول عليها بقياس هبوط التوتر العمودي على اتجاه جريان التيار. ففي درجات الحرارة المنخفضة، تزداد المقاومة على منوال شبيه بالدرج step like عندما يزداد الحقل المغنطيسي. يمكن

الشكل 4- الأداء النسبي



لقد عرض عدد من مجموعات البحث ترانزستورات عالية السرعة بجعل طبقة غنية بالسليكون منفعلة أو طبقة غنية بالجرمانيوم على ركازة مسترخية من $Si_{0.7}Ge_{0.3}$.

(a) سرعة الإلكترونات بدلالة الحقل الكهربائي لسليكون منفعل (أحمر) وزرنيخيد الغاليوم (أزرق) وإلكترونيات تقليدية من السليكون (أسود). في منظومة سليكون منفعل نحتاج إلى حقل كهربائي أخفض لتسريع الإلكترونات إلى سرعة معينة بالمقارنة مع السليكون التقليدي. وهذا يعني أن ترانزستوراً من السليكون المنفعل سيبدد قدرة أقل أثناء التشغيل.

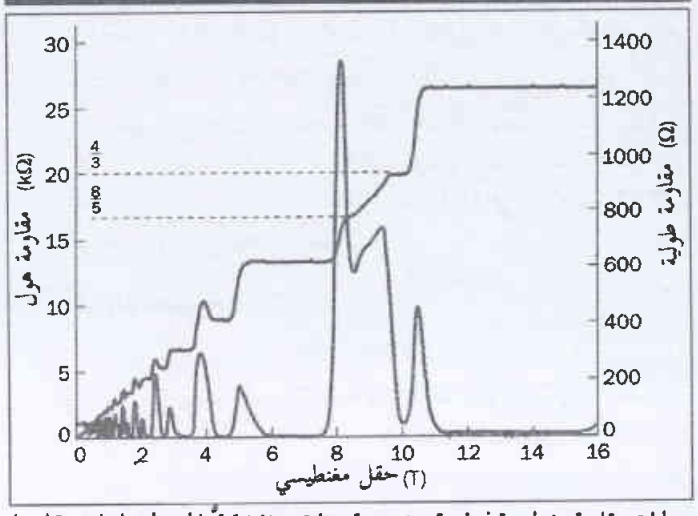
(b) تواتر القطع (وهو التواتر الذي يختفي عنده الربح الذي يعطيه الترانزستور) بدلالة طول البوابة لترانزستورات مختلفة. مقارنة أداء ترانزستور SiGe من النوع n (أحمر) مع GaAs (أزرق) ومع إلكترونيات سليكونية MOS من النوع n أسرع بشكل ملحوظ من التقليدية (أسود). والترانزستور من SiGe من النوع p (برتقالي) هو الأسرع من بين ترانزستورات أثر الحقل من النوع p تم صنعه حتى الآن في أي منظومة مواد.

كما أنه من الممكن تصميم بنى طبقية (ذات طبقات) تنقل عدداً مماثلاً من الإلكترونات والثقوب. إن الحركيات الأعلى في هذه البنى تسمح لإلكترون أن ينتقل في طبقة سليكونية منفعلة (أو لثقب في طبقة جرمانيوم منفعلة) بنفس سرعة إلكترون (أو ثقب) في ترانزستور MOS

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

للخطوات أن تحدث في قفزات كسرية (متقطعة). في عام 1996 قاس خالد إسماعيل [4] من IBM في يورك تاون هايتس، نيويورك، عدداً كبيراً من هذه الكسور بالتفصيل من أجل منظومة السليكون SiGe. لقد بيّن أن الخطى تحدث عند كسور مختلفة بالمقارنة مع تلك التي شوهدت في زرنيخيد الغاليوم، نتيجة للوادي الإضافي (انظر الشكل 5).

الشكل 5- الخصواء الاساسة



معطيات مقاومة مغنطيسية نموذجية عند درجة حرارة منخفضة تمّ الحصول عليها من قبل نيل غريفين N.Griffin وجينا دَنفورد G.Dunford في جامعة كامبردج على مادة نمّاها ديف روبنز D.Robbins وزملاؤه لدى DERA. تظهر قياسات مقاومة هول (أحمر) دليلاً بيّناً عن حالات هول الكمومية الكسرية، مثل 4/3 و 8/5 وفي الوقت نفسه فإن المقاومة الطولية (أخضر)-التي تم الحصول عليها بقياس هبوط التوتر في اتجاه جريان التيار-تسعى إلى الصفر.

في بعض الحالات تكون المواد ذات الكثافة العالية من العيوب أكثر أهمية من المواد ذات الجودة والحركية العاليتين. لقد بيّن نيل كريفين [5] من جامعة كامبردج وكاتب هذا المقال (دوغلاس بول) بالإضافة إلى دون أرنون D.Arnone وكارل نورمان K.Norman من مختبر توشيبا في كامبردج، أن العيوب قد تكون قادرة على أسْر إلكترونات بتأمين كمون حصر. تقوم التقنية التي استخدمناها على قياسات ما يسمى التجاوب السيكلوتروني. عندما توضع المادة في حقل مغنطيسي فإن إلكترونات النقل سوف تدور حول محور الحقل بالتواتر السيكلوتروني التقليدي $\omega_c = eB/m^*$، حيث e شحنة الإلكترون و B الحقل المغنطيسي و m^* كتلة الإلكترون الفعّالة. (وبتعبير بسيط تصف الكتلة الفعّالة كيف يستجيب إلكترون في بلّورة لحقل كهربائي). تمتص المادة الطاقة من حقل كهرطيسي مولّف على التواتر السيكلوتروني.

إن قياسات التجاوب السيكلوتروني السابقة، التي أنجزت باستخدام آبار كمومية للسليكون المنفعل strained silicon quantum wells، قد أظهرت قمة امتصاص واحدة فقط عند ω_c. كانت النتائج مقنعة مع النظرية التي وضعها وُلتر كوهن W.Kohn، الذي تنبأ أن التواتر الذي تمتص الإلكترونات الإشعاع عنده يجب أن لا يتأثر بتفاعلات متبادلة إلكترون - إلكترون. وبالإضافة إلى ذلك، ففي العيّنات التي تبدي تناظراً لا متغيراً انسحابياً translational invariant symmetry لا تثار اهتزازات جماعية في الغاز الإلكتروني (الذي يعرف باسم بلازمونات plasmons) بواسطة إشعاع ما تحت الأحمر البعيد. لكن العيوب قد تخرق هذا التناظر وتسمح لأنماط اهتزاز في الغاز الإلكتروني أن تزيد الإثارات السيكلوترونية. وفي سلسلة من القياسات بعينات تعديل مطعّمة modulation-doped samples لم نجد مثل هذه الآثار في آبار كمومية للسليكون المنفعل دون التخن الحرج. على كل حال، لقد وجدنا قمتي امتصاص في عينات أثخن من التخن الحرج.

تطبيقات مستقبلية لـ SiGe

إن القدرة على هندسة البنية العصابية للبنية اللامتجانسة لـ سليكون/SiGe تسمح للفيزيائيين أن يخيطوا مواد كي يجدوا الحل لمشاكل معينة وكي يبحثوا في فيزياء جديدة. هناك عدة مجموعات اقترحت استخدام بنى لا متجانسة من SiGe لصنع حواسيب كمومية، (انظر المؤطر) على سبيل المثال. كما أن الليزرات القائمة على السليكون تشكل مجالاً آخر من هذه المجالات التي قد تستفيد من قدرات التصميم المرنة هذه. ولايوجد في الوقت الراهن مصدر للضوء فعّال مصنوع من السليكون، حتى من السليكون المطعّم بالأربيوم أو السليكون المسامي أو خطط أخرى.

إن فرجة العصابة غير المباشرة للسليكون تمنع الإلكترونات في عصابة النقل من الاتحاد بصورة فعّالة بالثقوب في عصابة التكافؤ. وهذا يعني أنه لايمكن استخدام السليكون لصنع ديودات مصدرة للضوء (LEDs) أو ليزرات. لكن الإلكترونات تستطيع أن تصدر فوتوناً بالقفز من سوية طاقة منفصلة (أو عصابة فرعية) عالية في عصابة النقل إلى سوية طاقة أخفض، في عصابة النقل أيضاً.

لقد اقترح ريتشارد سوريف [6] من مختبر أبحاث القوى الجوية في الولايات المتحدة أن البنى اللامتجانسة من السليكون و SiGe يمكن أن تستخدم لصنع ليزرات شلال كمومي quantum cascade lasers. في هذه الليزرات التي كانت رائدة في استخدام المواد III-V من قبل فِدريكو كاباسو [7] والعاملين معه في مختبرات بل في منتصف التسعينيات، تتساقط الإلكترونات كالشلال على شكل سلسلة من خطوات الطاقة المتماثلة مصدرة فوتونات عند كل خطوة. إن ما يجعل ليزرات الشلال الكمومي محببة أكثر من باقي الليزرات الأخرى هو أنه، خلافاً لليزرات الأخرى، يمكن هندستها كي تصدر ضوءاً في مجال تحت الأحمر المتوسط والتيراهرتز (أي عند طول موجي أكبر من 8μm) من الطيف. (راجع العدد 68 الخاص من مجلة عالم الذرّة).

ولما كان الماء لا يمتص الإشعاع في "نافذة" بين 8μm و 12μm، لذا يمكن استخدام ليزرات تحت الأحمر من أجل الاتصالات ذات العرض العصابي المرتفع high band width communications، والتصوير الطبي ومراقبة الأمتعة وحقائب السفر في المطارات، على سبيل المثال. ولقد اقترحت تطبيقات عديدة في مجال المجسّات sensors كي تستعمل نوافذ

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

المؤطر

الحوسبة الكمومية بواسطة SiGe

لقد اقترح روبرت فريجين وزملاؤه [8] في جامعة كاليفورنيا بـ لوس أنجيلز، بالاشتراك مع ديفيد ديفنسنزو D.Divincenzo من IBM، استخدام بنى لا متجانسة من SiGe لصنع حاسوب كمومي. إن كل عملية حوسبة في الحاسوب التقليدي تتبع مساراً محدداً واحداً خلال الترانزستورات والتوصيلات المعدنية بين العناصر على جذاذة من السليكون. أما في الحاسوب الكمومي فإن مبدأ الانضمام (التراكب) الكمومي يسمح لأي عملية حوسبة أن تنشطر إلى عدة مسارات تنشأ وتتطور في الوقت المناسب بأسلوب متوازٍ (انظر Physics World عدد آذار 1998 صفحة 33-37). لكل مسار دور محدد، فإذا لم يكن الطور (أي ترابط الطور) مفقوداً بينها فإنها تتداخل بأسلوب بناء أو هدّام.

وعليه، فإن البنيات الأساسية في بناء الحاسوب الكمومي هي عدد من المنظومات ثنائية الحالة المترابطة طورياً phase - coherent two - state systems تعرف باسم "البتات الكمومية" وتكتب "qubits"، التي تكون معزولة عن الوسط المحيط بها لتمنع علاقة الطور الحساس من التخريب.

في عام 1998 اقترح بروس كين [9]، الذي كان وقتئذٍ في جامعة نيوساوث ويلز في أستراليا، استخدام السيبنات النووية لذرات الفسفور المانحة في بلّورة "مضيفة" من سليكون نقي بمثابة حاسب كمومي. تقدم السيبنات النووية هنا المنظومات ثنائية الحالة، بينما تعزل بلّورة السليكون المضيفة سيبنات الفسفور عن الوسط وتستعمل "بوابة" فرق كل بتة كمومية للتحكم في السيبنات وبرمجتها. وهناك بوابة ثانية بين البتات الكمومية المجاورة، بإنقاص حاجز الكمون بينها والسماح للسيبنات النووية أن تتفاعل عبر التبادل إلكترون - سبين electron - spin exchange (انظر "طريق السليكون إلى الحوسبة الكمومية"، Physics World كانون الثاني 2000 ، صفحة 9).

وفي حين تبدو الفكرة جميلة على الورق، لكن هناك عدداً من المشاكل التي لا يمكن التغاضي عنها. يلزم بوابات أطوالها من رتبة 10 نانو متر بالإضافة إلى تباعد يبلغ 20 nm للشائبة (المُطعِم) dopant، وهو أمر يصعب تحقيقه باستخدام التقانة الحالية. إن آلية النقل السبيني spin - transfer mechanism التي اقترحت لنقل المعلومات من السيبنات النووية إلى الإلكترونات لقراءة الحالة الكمومية النهائية معقدة أيضاً. وأخيراً، فإن النقاوة المطلوبة لبلّورة السليكون المضيفة هي أبعد من أن تتحقق، حتى باستخدام المعايير الصناعية الراهنة.

لقد اقترح الباحثون في UCLA باستخدام الفرق في التجاوبات السبينية بين بنى لامتجانسة غنية بالسليكون في أحد جزئيها وغنية بالجرمانيوم في الجزء الآخر، والتي تتوافق ثوابتها الشبيكية مع بلّورة الجرمانيوم. إن وضع ذرة فسفور (التي تعطي إلكتروناً) بين حاجزين في عصابة النقل، قد يجعل أسر الإلكترون في الاتجاه الشاقولي ممكناً. يمكن تعديل استخدام بوابات كهراكتية لتخريك الإلكترون من منطقة ذات تجاوب سبيني مرتفع إلى منطقة ذات تجاوب سبيني منخفض.

إن ميزة هذه التقنية تكمن في أن البوابات فقط تحتاج أن تكون بعرض 200 nm وهذا أمر يمكن الوصول إليه بواسطة تقنيات الطباعة الحجرية (الليثوغرافيا). وزيادة على ذلك فإن الإلكترونات في منظومات السليكون تتمتع بأزمنة استرخاء سبيني طويلة (من رتبة المئي ثانية بالمقارنة مع النانو ثانية في منظومات III-V) ضرورية للحفاظ على الترابط الطوري. وهكذا فإن الحاسوب الكمومي المبني على السيبنات الإلكترونية يستطيع من حيث المبدأ أن يعمل على سرعات تصل حتى 1 GHz بالمقارنة مع 75 kHz المقترحة لمنظومات السبين النووي. وبالإضافة إلى ذلك فإن الحالة السبينية للإلكترون يمكن قراءتها بسهولة أكبر من السيبنات النووية.

تبقى مشكلة واحدة يصعب حلها ألا وهي التموضع الدقيق لشوائب الفسفور في منظومة وإنقاص شوائب الخلفية التي قد تخرب الترابط الطوري في المنظومة. تتطلب البتات الكمومية مواد نصف ناقلة ذات نقاوة عالية لأبعد الحدود، ويشكل هذا أيضاً تحدياً كبيراً لتقانة إنماء SiGe الراهنة. لكن التحديات التي يشملها صنع حاسوب كمومي قد تحث على تقانات إنماء SiGe محسنة وتحسن أداء الترانزستورات التقليدية.

أخرى موجودة عند تواترات من رتبة التيراهرتز أخرى في مواد وغازات متنوعة.

للسليكون مزايا كثيرة على المواد III-V من أجل مصدرات كهذه تعمل في مجال التيراهرتز. إن اختلافات أزمنة الحياة الأطول بين العصابات الفرعية تساعد على حدوث الانعكاس السكاني population inversion اللازم لفعل الليزرة، كما أن ركازة ذات ناقلية حرارية عالية تسمح لهذه الليزرات كي تعمل في النمط المستمر بدلاً من النمط النبضي. لكن المصدرات القائمة على السليكون يمكن، بصورة حاسمة، معالجتها عند تكاليف منخفضة نسبياً بالمقارنة مع المواد III-V كما يمكن مكاملتها ودمجها في دارات السليكون المتوفرة.

إن معظم ليزرات الشلال من المواد III-V يحدُّها التبعثر بين الفوتونات والفونونات، وهي اهتزازات مكتاة للشبيكة البلّورية. وخلاصة القول فإن هذه لاتستطيع أن تعمل عند أطوال موجية بين 20μm و35μm. إن ليزرات الشلال السليكونية لا تعاني من هذه المشكلة نظراً لفقدان

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

التبعثر الفوتوني. والآن يستعمل كارل بيدجون C.Pidgeon في جامعة هريوت واط H.Watt في المملكة المتحدة والعاملون معه، ما يسمى ليزر الإلكترون الحر free-electron laser لقياس اختلاف زمن الحياة بين حالات العصابة الفرعية فوجدوا أنها أكبر من 20 بيكو ثانية، أي أكبر بكثير من المنظومات III-V التي تعمل حالياً.

نظرة مستقبلية

من الواضح أن استخدام نبائط SiGe سيستمر في كثير من التطبيقات، وبخاصة في نبائط التواترات الراديوية وأن الـ SiGe سيشجع البحث الأساسي في فيزياء المادة الكثيفة. لكن مالم نستطع إنتاج مواد ذات كثافة منخفضة من العيوب فإن نبائط SiGe ستبقى قطاعاً ملائماً لسوق أنصاف النواقل الذي يتسع باستمرار.

[6] R A Soref, L Friedman and G Sun 1998 Silicon intersubband lasers Superlattices and Microstructures 23 427.

[7] F Capasso et al. 1999 Quantum cascade lasers Physics World June pp27-33.

[8] R Vrijen et al. 1999 Electron spin resonance transistors for quantum computing in silicon - germanium hetero structures Preprint quant - ph/9905096 http://xxx.lanl.gov.

[9] B E Kane 1998 A silicon - based nuclear spin quantum computer Nature 393 133.

[10] Semiconductor industry Association 1997 The National Technology Roadmap for Semiconductors www.itrs.net/ntrs/publntrs.nsf.■

على كل حال، إذا كان أيّ من التناقص الشديد في حجم النبائط السليكونية أو التزايد المستمر في الفشل في أدائها يرجع إلى بعض الظروف المستقرة، فإن تقانة الـ SiGe تستطيع بصورة فعّالة تعزيز الأداء إلى حد يفوق أداء السليكون. وفي الحقيقة، أظهر عدد من التجارب كيف أن كمية صغيرة من الجرمانيوم زرعت في التماسات الأوميّة لترانزستور أثر الحقل المصنوع من السليكون تستطيع أن تقلل بصورة ملحوظة بعض آثار القصور الذي تصادفه عندما يقلّل طول البوابة. وباستبدال الـ SiGe بالسليكون في البوابة نستطيع أن نحسّن خواص أخرى للترانزستورات. لذا من المحتمل أن نبائط SiGe لا تشكل إلا جزءاً من سوق أنصاف النواقل الكلي، في حين أن SiGe قد تستخدم، بشكل أو بآخر، في كل ترانزستور سليكوني صغير في المستقبل.

المراجع REFERENCES

[1] J.D Cressler 1998 SiGe HBT technology: A new contender for Si-based RF and microwave circuit application IEEE Trans. micro. Theory Techniques 46 572.

[2] M Glickman 1995 Magnetoresistance of germanium - silicon alloys Physical Review 100 1146.

[3] E Kasper, H J Herzog and H Kibbel 1975 A one - dimensional SiGe superlattice grown by UHV epitaxy Appl. Phys. 8 199.

[4] K Ismail 1996 Electron transport in the quantum Hall regime in strained Si/SiGe Physica B 227 310.

[5] N Griffin 1998 Low -dimensional systems in silicon / silicon - germanium heterostructures PhD Thesis University of Cambridge.

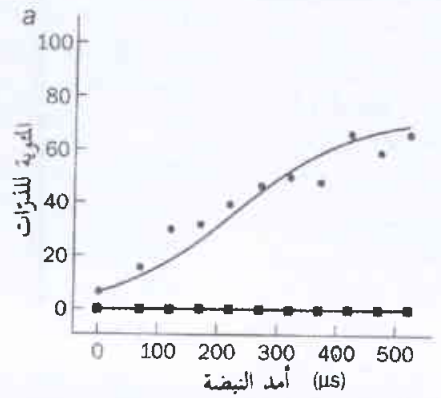
☆ ★ ☆

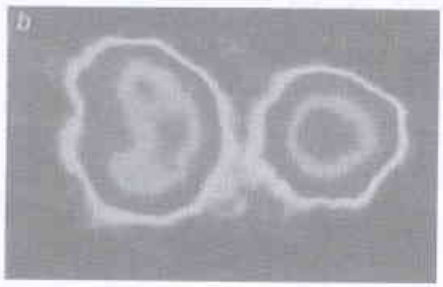
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

أخبار علميّة

1- وسائط تضخيم أفرزت مكاسب لعلم الضوء الذرّي*

في عام 1929 مُنح الأمير لويس دوبروي L. de Broglie جائزة نوبل لاكتشافه الطبيعة الموجية للجسيمات الكتلية، حيث تبيّن أن للجسيمات طولاً موجياً مرافقاً يجري حسابه من المعادلة $\lambda = h/p$"، حيث h ثابت بلانك و p الاندفاع الخطي للجسيم. وكنتيجة لا مفر منها للطبيعة شبه الموجية للمادة نشأ حقل علم ضوء أمواج المادة. وأول برهان على تحقق هذا المبدأ كان بالإلكترونات، تلي ذلك بالنترونات، وفي الفترة الأخيرة جرى تحققه بالذرات وبالجزيئات. وعلى أية حال، تعرقل العمل الباكوري بالذرات بشدة بسبب صعوبة توليد حزم عالية التدفق لذرات وحيدة الطاقة، وتضاءلت إلى حدٍّ ما الصعوبة آنفة الذكر مع ظهور الليزر الذي طوّر فهمنا لتأثيرات الضوء في حركة الذرات والتي قادت بدورها إلى ظهور التبريد الليزري. وفي الوقت الحالي، يعدّ علم الضوء الذري حقلاً فرعياً هاماً من الفيزياء الذرية والجزيئية والضوئية، كما أمكن إثبات عمل العديد من المكونات الضوئية - الذرية الخاملة، كالمرايا، والعدسات وشبيكات الانعراج، ومقاييس التداخل، والمجاوبات. وإلى فترة قريبة ظلّ علم الضوء الذري مهرولاً في مرحلة مشابهة لعلم الضوء التقليدي قبل ظهور الليزر.





(a) النسبة المئوية للذرات في حالة الاندفاع $2\hbar k$ بدلالة أمد نبضة الليزر بوجود (أحمر) وغياب (أخضر) إشارة نشطة. (b) صورة امتصاص، مأخوذة عند وجود أعداد متساوية من الذرات في الحالتين، تبين أن كثافة الذرات تكون أعظم في الحالة $2\hbar k$ (إلى اليمين).

وكما أدى في الماضي، اكتشاف الليزر إلى ثورة عميقة في علم الضوء وإلى تطوير علمَي الضوء اللاخطي والضوء الكمومي، فإنه يؤدي حالياً إلى ثورة مماثلة في علم الضوء الذري، الأمر الذي مكّن الفيزيائيين التجريبيين من أن يولّدوا، وبشكل روتيني، كثافات بوز - أينشتاين Bose-Einstein condensates. وهي حالة جديدة للمادة تشغل فيها جميع الذرّات نفس الحالة الأساسية. ومن خلال استخلاص حزم ليزرية ذرية (وهي حزم مترابطة لها نفس السرعة والاتجاه) من هذه الكثافات، تمكن التجريبيون من إجراء التجارب الأولى في حقلي الضوء الذري اللاخطي والضوء الذري الكمومي (انظر مجلة Physics World، آب/أغسطس 1999).

وبشكل خاص تمكن بِل فيلبس B. Phillips ومعاونوه، العاملون لدى المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) في الولايات المتحدة، من إثبات ظاهرة "مزج أربع أمواج" عند تعاملهم مع أمواج المادة لدوبروي؛ بينما نجح ديف بريتشارد D. Pritchard وولفغانغ كِتِرل Wolfgang Ketterle ومعاونوهما، العاملون لدى معهد ماستشوستس للتقانة (MIT)، في مزج موجتين ضوئيتين وموجتين ماديتين. هذا، وتُعدّ السوليتونات الذرية العاتمة atomic dark solitons، التي شوهدت مؤخراً من قِبل مجموعة "ولفغانغ إرتمر Wolfgang Ertmer" العاملة لدى جامعة هانوفر ومن قِبل فريق البحث لدى NIST، وكذلك الإطلاق الضوئي للدوّامات في كثافات بوز-أينشتاين (سواء في مختبر جيلا JILA بمدينة بولدر بولاية كولورادو أو في المدرسة العليا للأساتذة في باريس) بمثابة شواهد إضافية تفسر التقدم المثير في هذا الحقل حديث الانبثاق.

والاختراق العلمي الأخير هو التضخيم الناجح لأمواج مادة الصوديوم الذي حققته مجموعة MIT (انظر مجلة Nature, Vol. 402, 1999) ولأمواج مادة الروبيديوم الذي حققته جهود بحثية مشتركة ما بين جامعة طوكيو ومعهد NIST الأمريكي (انظر مجلة Science Vol. 286, 1999). وقد تمكنت المجموعتان بإجرائهما لتجربتين متماثلتين تقريباً، من البرهان على التضخيم الطوري المترابط لأمواج مادية ذرية ضعيفة.

وحيث يُعدّ التضخيم المترابط عنصراً أساسياً لعدد من تطبيقات علم الضوء الذري، إضافة إلى كونه مركزياً في علم الإلكترونيات والضوئيات، فمن المحتمل أن يكون لهذا الإنجاز تأثير كبير على التطور المستقبلي لهذا الحقل، وقد تشتمل تطبيقاته المحتملة على كل من المحسّات، والقياسات الدقيقة، والطباعة الحجرية.

ومن المهم التأكيد على أن تضخيم الموجة المادية لا ينتهك أياً من القوانين الفيزيائية الأساسية. وبشكل خاص، هناك نوع من الارتباك حول ما يتعلق بانحفاظ عدد الذرات. فالنقطة الهامة هي أن مجموع عدد الذرات لا يتضخم بحد ذاته، لكن الذي يتضخم هو مجموع عدد الذرات التي هي في حالة كمومية محددة. كذلك، يمكننا النظر إلى تكثّف بوز-أينشتاين وفق هذه العبارات: يبقى مجموع عدد الذرات ثابتاً (أو حتى يتناقص بسبب الفاقد)، ولكن عدد الذرات في الحالة الأساسية يعاني من تضخيم جامح. من ناحية ثانية، يكون هذا التضخيم غير مترابط طورياً وذلك من منطلق أن إسكان الحالة الأساسية يتعاظم تدريجياً من

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, March 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

"ضجيج noise" وبطور عشوائي، بطريقة تشابه كثيراً ما يحدث في الليزر.

ويمضي التضخيم الطوري المترابط خطوة إلى الأمام: حيث يزيد من عدد الذرات في حالة محددة كما يحافظ في نفس الوقت على طور الحالة التي هي قيد التضخيم. وقد طُرحت نظرياً، ولأول مرة، فكرة التضخيم الطوري المترابط للموجة المادية بطريقة المزج لأربع أمواج من قبل هان بو H. Pu ونيك بغلو N. Bigelow وزملائهما من جامعة روتشستر، والمؤلف ومايك مور M. Moore وزملائهما من جامعة أريزونا. فعند ارتطام موجتين ضوئيتين ذواتي اندفاعين خطيين k_1 و k_2 بكثافة بوز-آينشتاين تحصل عملية مزج لأربع أمواج تشمل حقلين ضوئيين وموجتين ماديتين، (في تجربة نموذجية تستخدم المزج لأربع أمواج، تتحد ثلاث أمواج في وسط لا خطي لتنتج موجة رابعة تحافظ على الاندفاع).

ويؤدي تبادل الاندفاع بين الضوء والذرات إلى انتقال جزء من الكُثافة من حالته الأساسية ذات الاندفاع $q\cong o$ إلى "نمطين جانبيين" لهما الاندفاعان $q = \pm (k_1-k_2)$. ومن الناحية العملية يستطيع المرء أن يختار واحداً فقط من هذين النمطين وذلك بجعل أحد الحقلين الضوئيين أقوى كثيراً من الحقل الآخر.

وطريقة سهلة لفهم التضخيم الناتج من إسكان النمط الجانبي هي الإدراك بأن الموجتين الماديتين، باندفاعين يختلفان بمقدار k_1,k_2، تشكلان شبيكة كثافة بطيئة التحرك تعمل على بعثرة إحدى الموجتين الضوئيتين إلى داخل الموجة الأخرى. وفي نفس الوقت، يشكل الحقلان الضوئيان كموناً ضوئياً دورياً يعمل على بعثرة إحدى الموجتين الماديتين إلى داخل الأخرى. ومن أجل التوصّل إلى وسطاء ملائمة، يجري تضخيم النمط الجانبي للموجة المادية على حساب الكُثافة مما يؤدي إلى تعديل أعمق لشبيكة الكثافة.

وهذا المسمى بالتضخيم الوسيطي يُنتج بدوره تبعثراً أعظم من الحقل الضوئي القوي إلى داخل الحقل الضوئي الضعيف، الأمر الذي يؤدي إلى تعميق الكمون الضوئي الدوري. يعقب ذلك مزيد من تضخيم النمط الجانبي بأسلوب جامح. هناك سلوك مماثل معروف جيداً في علم الضوء.

وبينما استخدمت الطروحات النظرية الأولى تجاويف ضوئية لاختيار الأنماط الضوئية المطلوبة، نجد أن التجارب الأخيرة التي أجراها كترل وزملاؤه أظهرت أن مثل هذا الإجراء ليس ضرورياً؛ حيث بيّن هؤلاء أن إطلاق حزمة ليزرية ذات استقطاب مناسب بصورة متعامدة مع المحور الطولي لكُثافة بوز-آينشتاين التي لها شكل السيجار سيجعل الناتج من تبعثر الضوء في معظمه موازياً للمحور الطولي، (سبق معرفة "نمط الشعاع الطرفي end-Fire mode" هذا منذ ظهور الأبحاث التي أجراها روبرت دايك R. Dicke في الخمسينيات من القرن الماضي).

وهكذا، يُختار النمط الضوئي بوساطة هندسة الكُثافة والذي يظهر في إسكان النمط الجانبي للكُثافة باندفاع خطي محدد تماماً. وليست هناك ضرورة لوجود مجاوب ضوئي. وعلاوة على ذلك، وبينما تعمد الفوتونات المصدّرة تلقائياً إلى الإفلات، تظل ذكرى حدث التبعثر مختزنة في شبيكة الكثافة ذات التحرك البطيء، وهذا يشجع مزيداً من تبعثر الفوتونات بالطريقة الجامحة الموصوفة آنفاً. وهذا هو التأثير الذي أطلق عليه فريق MIT اسم "الإشعاعية الفائقة superradiance"، والذي يعد محور البيانات العلمية الأخيرة الخاصة بالتضخيم حساس الطور phase-sensitive amplification.

وفي غياب إشارة نشطة "seed signal" يتعاظم التضخيم الوسيطي للنمط الجانبي من تموجات الكثافة، وهو الشكل المعدّل "الذري - الضوئي" لما يسمى "تموجات الخلاء vacuum fluctuations". ولإثبات طبيعة الحفظ الطوري للتضخيم، يغدو ضرورياً تضخيم إشارة محقونة ذات خواص معروفة. وفي التجارب الآنف ذكرها، جرى توليد هذه "الإشارة النشطة" بتعريض الكُثافة إلى موجة ضوئية مستقرة نبضية تنقل الذرات إلى داخل النمط الجانبي المناسب، ومن ثم جرى تقدير طور الإشارة المضخمة بمقياس تداخل مستخدمين، كحزمة مرجعية، موجة مادية ثانية مستمدة من الكُثافة.

سوف يوفّر الجمع بين الليزرات الذرية ومضخمات الموجة المادية المترابطة فرصاً جديدة مثيرة للضوئيات الذرية بفرعيها البحتة والتطبيقية. وإضافة إلى عدد من التطبيقات، كالطباعة الحجرية الذرية ستتيح هذه التقنيات الجديدة لباحث الضوئيات الذرية إجراء العديد من التجارب ذات العلاقة بأساسيات النظرية الكمومية، والتي لا يمكن حالياً إجراؤها إلا باستخدام الفوتونات.■

2- بلّورات جديدة من معادن مضغوطة*

يُعتبر الكثير منّا الباريوم والروبيديوم معادن بسيطة. فبنية كلا المعدنين في الضغوط العادية عبارة عن بلّورات مكعبة مركزية الجسم، كما توصف خواصهما الالكترونية بشكل منطقي بما يطلق عليه اسم "نموذج الإلكترون شبه الحر". وعلينا أن نتوقّع عند تطبيق ضغط عليهما بأن تتحول الشبيكة البلّورية من البنية المكعبة المركزية الجسم - التي تكون فيها الذرات غير متراصة بإحكام - إلى بنية أكثر تراصّاً. وبالفعل كما هو متوقع تتحول البنية البلّورية للباريوم إلى البنية السداسية المتراصة تماماً عندما تقع تحت ضغط 5.5 جيغا باسكال (GPa)، بينما يتحول الروبيديوم إلى بنية الشبيكة المكعبة المركزية الوجوه عند الضغط 7 جيغا باسكال.

ولهذا فإن ما يثير الدهشة هو أن نعلم بأنه عندما يُزاد الضغط أكثر من ذلك فإن هذه البُنى المتراصة تصبح غير مستقرة. وهذا ما يحصل عندما يصبح الضغط أكثر من 12 جيغا باسكال. إننا نعلم بأن الباريوم يعود إلى البنية السداسية المتراصة تماماً فوق الضغط 45 جيغا باسكال، بينما يُشكل الروبيديوم فوق الضغط 20 جيغا باسكال الطور الرباعي الأضلاع المتراص تماماً. على كل حال، لم تُعرف البنية البلّورية للباريوم والروبيديوم في الضغوط المتوسطة إلّا مؤخراً. فقد وجد فريق من الفيزيائيين في جامعة

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, February 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

أدنبره في المملكة المتحدة، وكذلك المتعاونون من الباحثين في معهد ماكس بلانك لفيزياء الحالة الصلبة في شتوتغارت في ألمانية ومنشأة إشعاع السنكروترون الأوروبية (ESRF) في غرونوبل في فرنسا بأن لكلا المادتين البنية البلّورية نفسها وبخواص غير متوقعة تماماً.

استعمل كلا الفريقين في تجاربهما تقنية تبعثر أشعة -X. درس فريق أدنبره الباريوم مستعملاً حزمة أشعة -X أحادية اللون من منبع إشعاع السنكروترون في مختبر دار سبيري، بينما درس فريق شتوتغارت الرووبيديوم في منشأة إشعاع السنكروترون الأوروبية، وفي كلا الحالتين كان يوضع مسحوق المادة في خلية السندان الماسي في درجة حرارة الغرفة. الخلية هي نبيطة يستعمل فيها الماس المستعمل كحجر كريم لتطبيق ضغط على العيّنة.

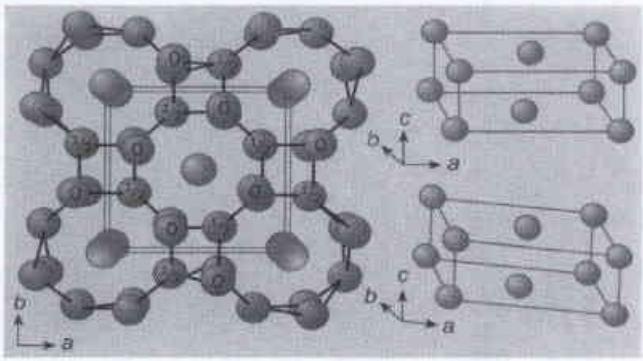
كان في التجارب نوع من التحدي لأن خلايا السندان الماسي تمتص أشعة -X ولا تستطيع أن تحتوي إلّا على كميات قليلة من المسحوق. ولحلّ مسألة البنى البلّورية كان على فرقاء البحث المختلفة استعمال منبع سنكروترون شديد مع صفائح صور لتسجيل كمية كبيرة من أنماط الانعراج بوقت واحد. قاس فريق أدنبره أيضاً نمط الانعراج من بلّورة وحيدة من الباريوم.

كشف نمط الانعراج أن بعض الباريوم شكّل بصورة أساسية عند الضغط 12.1 جيغا باسكال خلية رباعية الأضلاع أبعادها a = b = 8.42 Å و c = 474 Å (الشكل 1). لهذه البنية قنوات كبيرة موازية لما يسمى المحور c مملوءة بسلاسل من ذرات الباريوم المتبقية. تتباين المواقع الحقيقية لذرات الباريوم هذه من تجربة إلى أخرى، وتعتمد على كل من الضغط المستعمل والحظ السعيد.

وجد فريق أدنبره في بعض تجاربه على البلّورة الوحيدة مستويات من التبعثر المنتشر، مما يشير إلى أن هنالك ترابطاً قليلاً بين مواقع الباريوم في القنوات المختلفة. كان متوسط البعد لذرات الباريوم في القنوات 3.41 Å.

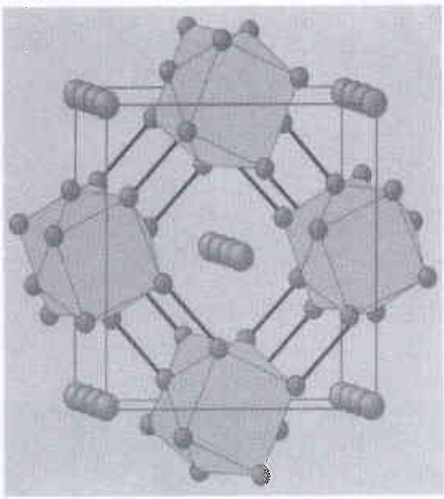
وفي غضون ذلك وجدوا في تجارب أخرى عدة أنماط مختلفة الترتيب 3-D من أجل الذرات في القنوات. (اثنان منها مبينان في الشكل 1). كانت المسافة بين ذرات الباريوم هذه حوالي 3.42 Å وهي قيمة غير متناسبة مع الدور 4.74 Å للمحور - c لشبيكة رباعي الأضلاع. (يكون الطولان متناسبين إذا كان كلاهما مضاعف عدد صحيح لطول أقصر). استنتج فريق أدنبره بأن بنية هذا الطور العالي الضغط من الباريوم يتألف من بنى متداخلة ولكنها غير متناسبة. الحقيقة أن الباريوم هو أول معدن وجد له هذا النوع من البنية.

وإذا لم تتشوه هاتان البنيتان المتداخلتان، فإن الاقتراب الأدنى لذرتي باريوم - إحداهما في إطار الشبيكة والثانية في القنال - يكون 3.21 Å. إن هذا أصغر بكثير من 3.42 Å الذي هو أصغر طول رابطة باريوم - باريوم. وهذا ما يوحي باحتمال تشوه البنى مما يسبب اقتراناً بين القناتين.



الشكل 1- بنية الباريوم عند الضغط 12.1 جيغاباسكال عند النظر إليها من أعلى المحور -c. تم إظهار بنية الإطار بنقاط خضراء. بينما تم إظهار الذرات في القنوات بلون أحمر. يبين الشكلان في الداخل بنيتين من بنى القناة المرتبة.

وفي غضون ذلك، وجد الباحثون في شتوتغارت و ESRF أن بنية الرووبيديوم بين الضغطين 17 و 20 جيغا باسكال يشبه في كثير من الأمور حال الباريوم. (لا تزال البنية بين الضغطين 13 و 17 جيغا باسكال غير معروفة). لقد اكتشفوا بأن البلورة رباعية الأضلاع وثوابت الشبيكة هي a = b = 10.7 Å و c = 5.1 Å (انظر الشكل 2). تتألف هذه البنية أيضاً من إطار من مواشير متقابلة بزوايا قائمة مشتركة الوجه مع قنوات مفتوحة على طول المحور -c. تحتوي القنوات سلاسل من ذرات الرووبيديوم ونماذج مختلفة من أجل ذرات السلسلة ملائمة لأنماط انعراج المسحوق. وبالرغم من أن هنالك الكثير من الريبة فيما يخص مواقع هذه الذرات فإن المواقع الأكثر احتمالاً مفصولة بعضها عن بعض بمقدار 2.59 Å. على كل حال، فإن الانخفاض الممكن في إشغال المواقع يعطي بعداً ذرياً متوسطاً مقداره 2.97 Å، وهو رقم قريب إلى أقصر طول رابطة رووبيديوم - رووبيديوم وهو 3.04 Å.



الشكل 2- منظر A3-D لبنية الرووبيديوم عند الضغط 18 جيغاباسكال. تم إظهار بنية الإطار بلون أخضر، بينما تم إظهار بنية الذرات المتداخلة مع القنوات بلون أحمر.

على كل حال، من الصعب تعيين بنى غير متناسبة من معطيات انعراج المسحوق، ومن غير الممكن تماماً ملاحظة النمط المنتشر الناتج من التبعثر بواسطة سلاسل مستقلة من الذرات (كما هو الحال الذي وجد في القنوات). ولهذا علينا أن ننتظر حتى دراسة بلّورة وحيدة من هذا الطور من الرووبيديوم قبل أن نتمكن من التأكد بأنها تتألف من بنيتين مختلفتين غير متناسبتين، كمقابلتين إلى بنيتين متناسبتين.

يُعتقد بأن هذه البنى الجديدة قد نتجت بسبب تغير طاقات الطبقات الإلكترونية عند تطبيق الضغط. ورغم أننا نعلم أن طاقة الطبقات s تزداد بالنسبة للطبقات d فإننا لم نفهم بعد تماماً كيف يمكن أن يقود هذا إلى هذه البنى البلّورية.

إن النتائج من فرقاء أدنبره وشتوتغارت هي أمثلة على الكثرة غير المتوقعة لبنى المواد تحت الضغط والتي تم كشفها حالياً خلال استعمال

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

مصادر أشعة -X السنكروترونية. لقد صُرِف وقت وجهد لتطوير التقنيات ولكن يمكننا الآن أن نحصد الجوائز.■

3- الدم*

الدم، الذي يتضمّن رموزاً متضادة عن الحياة والموت، يزوّد النسج بالأكسجين ويغذّيها وينظّفها ويدافع عنها. والدم لا يمكن فصله عن نقي العظام الذي يجدّده. وهذا الأخير يصب كل يوم في هذا السائل الحيوي مليارات من الخلايا. يشكل نقي العظام والدم عالماً حيوياً نشيطاً يتغير ويتحوّل بحسب الاحتياجات.

لماذا يكون الدم حيوياً بهذا المقدار؟

كان أسلافنا يعلمون جيداً - سواء أكانوا صيادين أم ضحايا - أنّ الدم هو الحياة. وتشهد على ذلك حيوانات البيزون الملطّخة باللون الأحمر المرسومة في كهوف العهد الباليوليتي (العهد الحجري القديم). ولكن كان لا بدّ من الانتظار حتى حلول القرن السابع عشر وظهور مخترع المجهر العالم الهولندي أنطوان فان لوفنهوك لنكتشف من هذا الدم الكريات الأولى: الكريات الحمُر. أمّا بالنسبة لوظائف الدم الرئيسة وعناصره فلم يبدأ توضيحها تدريجياً إلّا في بداية وخلال القرن التاسع عشر ولم ينته ذلك بعد ... والدم، الذي هو سائل حيوي يدفعه القلب في أوعية متفرعة يبلغ طولها 200 كم، يروي كل النسج والأعضاء حيث يغذّيها وينظفها ويدافع عنها. فهو يزوّد الخلايا عبر الأوعية الشعرية بالأكسجين والغلوكوز الذي "يحترق" لإنتاج الطاقة الضرورية كما ينقل إليها المواد الغذائية اللازمة لعمليات أيضها، وعن طريقه يتزوّد دماغنا بما يستهلكه من أكسجين. ويجمع الدم عند مروره ثنائي أكسيد الكربون الذي يتحرّر في الرئتين بعد نقله إليهما، كما ينقل النفايات الناتجة عن العمل الخلوي إلى الكليتين قبل طرحها. والدم، بالإضافة إلى ذلك، ينظّم مبادلات الأملاح بين نسج المتعضّية مؤمّناً بذلك توزيعاً جيداً للضغط بين الأغشية الخلوية.

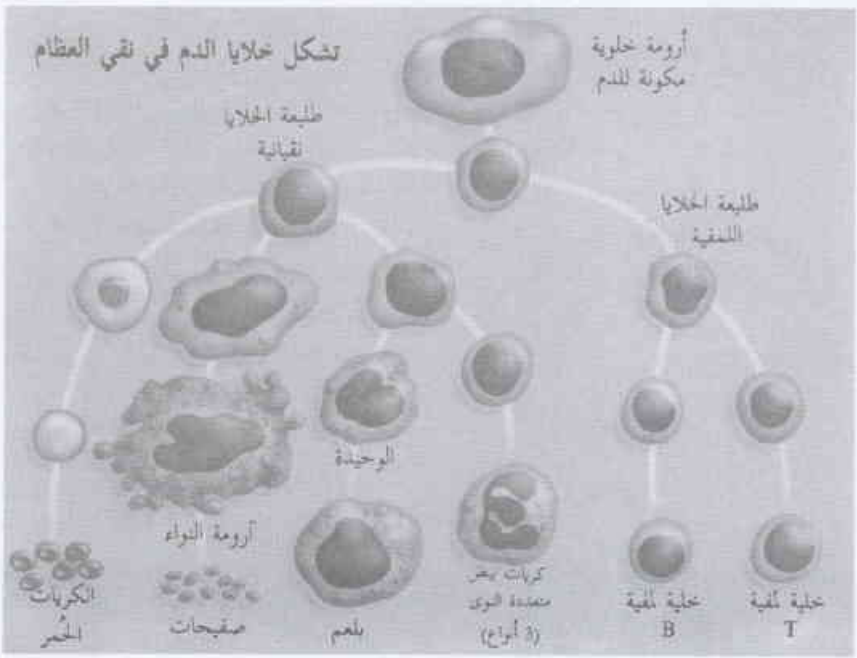
مع أنه فشل حتى الآن في مكافحة مرض السيدا (الإيدز)، يقوم الدم بالدفاع عن أجسامنا. فهو مجهّز بوسائل دفاع تنشط في الأوقات العادية عند وجود البكتريا والحمات الراشحة والطفيليات والخلايا غير الطبيعية وحتى المستأرِجات Allergène** (النباتية منها كحبوب الإلقاح، أو الحيوانية كالقرّاديات، أو الغذائية والدوائية).

ويؤمّن الدم أيضاً مراقبة وإصلاح "مجاري" دورته. ففي حالة جرح أحد الأوعية فإنه يصلح الأذى. ويحمل الدم، بالإضافة إلى خلاياه جزيئات معلومات متعددة كالهرمونات والمراسيل الكيميائية.

أمّا الأوعية الدموية فهي ليست مجرّد أقنية عادية عاطلة وإنّما يسمح غلافها الحسّاس والفعّال بتنظيم مرور المواد المغذية وخلايا الدفاع عن الجسم كما يتيح أيضاً تبادل جزيئات المراسيل مع الدم. ويكون للدم خمس وظائف رئيسة هي: التنفس والمناعة والإصلاح والتغذية والاتصال تجعل منه عضواً أساسياً ومهماً لا تقل أهميته عن الدماغ أو القلب.

ممّ يتركّب الدم؟

تبلغ كمية الدم عند الرجل 5 ليترات وعند المرأة 4 ليترات، وأكثر من نصف هذه الكمية هو سائل شفّاف مُصْفَر يدعى البلازما. تحوي البلازما، المؤلّفة من الماء بصورة خاصة، الأملاح المعدنية (أملاح الكلسيوم والصوديوم والمغنزيوم والبوتاسيوم ...) والسكر وجزيئات المراسيل (الهرمونات والأنترلوكينات interleukines: مواد تؤدي دور وسيط كيميائي يتدخّل في الاستجابة المناعية وفي تكوين خلايا الدم) مع بروتيناتها التي تحملها. يوجد في الليتر الواحد من الدم 70 غ من البروتينات وأغزرها الألبومين الذي يحتجز الماء كالإسفنج. تشترك الكريات المناعية (الأضداد anticorps) في الدفاع المناعي، أمّا باقي البروتينات فتنقل الدسم أو تتدخّل أيضاً مثل الفبرينوجين (مولد الليفين) في عملية تخثر الدم.



* نُشر هذا الخبر في مجلة *La Recherche*, No. 327, Janvary 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.
** المستأرِج هو مستضد يؤدي إلى تفاعل مناعي عنيف (أرجي).

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

ورغم أنّ الدم سائل فهو بحسب علماء البيولوجيا نسيج تجري فيه خلايا متعددة. تشكل الكريات الحُمر أدوات تنفسنا وبراوح عددها بين أربعة وخمسة ملايين كريّة في الملّيمتر المكعب الواحد من الدم، وهي على شكل أقراص مقعّرة الوجهين يبلغ قطر الواحدة منها 7-8 مكرونات تجول في الأوعية الدموية (وتبقى منحبسة داخلها) مكدّسة بعضها فوق بعض كما تتكدس النقود في لفائفها. والشيء الغريب أنّ الكريات الحمر هي خلايا مجردة من النواة على شكل أكياس من الهيموغلوبين. وهذا الأخير هو صبغ يتضمّن الحديد ويعطي للكرية لونها الأحمر وينقل الأكسجين الذي يأسره ويطلقه بسهولة. إنّ شكل هذه الكريات وبنية غشائها يقدمان للكريات صلادتها ومرونتها وقابليتها على تغيير أشكالها. وهي أمور مهمة من أجل اختراق أدق الأوعية الشعرية الدموية. وأخيراً تغلّف هذا الغشاء بروتينات سكرية خاصة تحدّد الانتماء إلى الزمر الدموية.

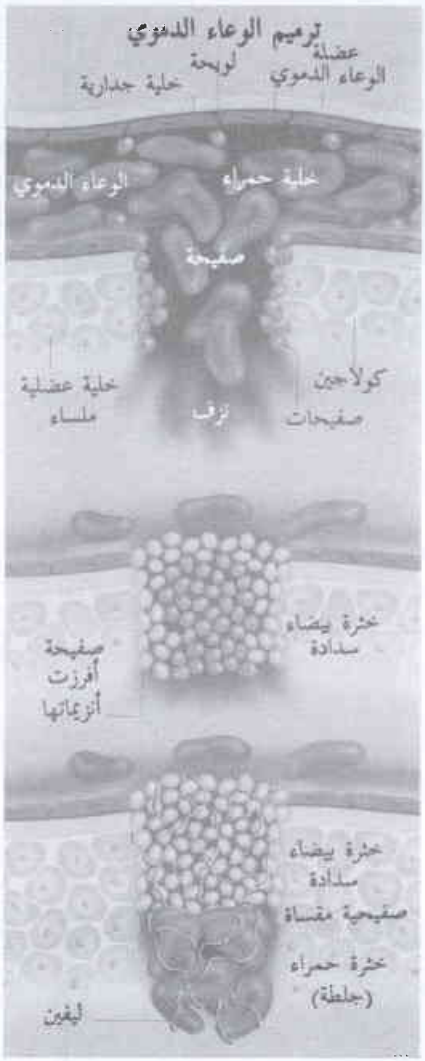
أمّا الكريات البيض المتخصصة في الدفاع عن الجسم فعددها أقل بكثير إذ يراوح من 4000 إلى 8000 كرية في الملّيمتر المكعب، وهي عبارة عن فصيلة واسعة من الخلايا الحقيقية أي من الخلايا التي تحوي نواة والتي يمكنها أن تنسلّ إلى النسج، فالكريات البيض متعدّدات النوى (في الواقع لا تحوي إلّا نواة واحدة ولكنها غريبة الشكل) وهي المسؤولة عن إبادة "الغزاة الأجانب" وبصورة خاصة البكتريا. وتقوم الكريّات البيض أُحادية النواة التي تسمّى أيضاً البلاعم macrophages بدور مطهّر، فهي تبتلع وتتلف كل شيء تقريباً: المتعضيات المِكروبية المُمرضة والخلايا التالفة والتوكسينات ... ويكون للبلاعم أيضاً وظيفة مناعية لأنها تُقدّم المستضدّات antigenes (المستضد: كل مادة يؤدّي دخولها إلى الكائن الحي استجابة مناعية) إلى خلايا أخرى تنتمي إلى نمط ثالث من الكريات البيض ألا وهي اللمفاويات lymphocytes وخصوصاً اللمفاويات T (تعني T التوتة thymus وهي عضو لمفي). وهذه اللمفاويات الأخيرة مكلّفة بمراقبة الفيروسات والأورام وتقتل الخلايا التي تقدّم إليها مستضدّات غريبة، أمّا اللمفاويات الأخرى اللمفاويات B فتُنتج الغلوبُلينات المناعية immunoglobulines: الأضداد الجوّالة. يحمل غلاف اللمفاويات مثل معظم غلاف خلايانا واسمات marqueurs أساسية تدعى HLA (مجموعة من الواسمات الجينية توجد على سطح الخلايا وتتدخّل في الاستجابة المناعية). تستجيب الكريات البيض بصورة دائمة بفضل مراسيل كيميائية.

وأخيراً تشكّل اللويحات plaquettes التي هي الخلايا الأصغر في الجسم (يبلغ قطرها 1-2 مِكرون) عوامل الإرقاء hemostase أي العوامل التي تؤدي إلى إيقاف النزيف. يوجد عادة من 150 000 إلى 400 000 لويحة في الملّيمتر المكعب من الدم. تتمتّع هذه الخلايا المتناهية في الصِغر بِنية معقدة وتمتلك وظائف لاصقة ومقلّصة، فإذا حصل جرح في جدار وعاء دموي تلتصق فوقه وتسدّه.

كيف يتجدّد الدم؟

كما هو الحال مع جميع أعضائنا يشيخ الدم أو بالأحرى تشيخ خلاياه وتموت. فالكرية الحمراء تعيش ثلاثة أشهر تقريباً بينما تعيش اللويحة عشرة أيام. أمّا معظم الكريات البيض فلا تعيش إلّا بضعة أيام، وبعضها فقط، اللمفاويات T ذات الذاكرة، يمكن أن تعيش أشهر أو سنوات.

يوجد إذاً تجديد مستمر ومنظم بدقة للخلايا وهو تجديد من المنشأ، أي أنّ الدم لا يُنتج خلاياه بنفسه وإنّما يُنتجها الكبد والطحال لدى الجنين. أمّا لدى البالغ فتنشأ وتتمايز بصورة دائمة في نقي العظام. والاستثناء الوحيد هو أنه يجري تخصّص اللمفاويات T في غدة التوتة thymus. وهكذا فإنّ عظامنا: عظام الفخذ والعضد والترقوة والأضلاع والقص والحوض، تُنتج الدم بصورة مستمرة. وكل الخلايا تبدأ بخلية أرومية يمكن أن تُعطي كل سلالات الخلايا الدموية. وبعد ذلك تتابع مراحل مختلفة تتشكّل خلالها كريات غير مكتملة النمو تكتسب تدريجياً تخصّصها. وتتحكّم جزيئات مثل عوامل النمو أو الأنترلوكينات تحكّماً دقيقاً بمصير كل هذه الخلايا. فالهرمون EPO (إريتروبويتين erythropoietine أو مكوّن الكريات الحمر الذي يُعطى للمصابين بالقصور الكلوي أو يتعاطاه الرياضيون للتنشيط) يُحرّض إنتاج الكريات الحمر. وهذه الأخيرة تطرد نواتها قبل أن تنصب في الدم. وتستغرق هذه العملية أسبوعاً واحداً من أجل الكريات الحمر وأسبوعين من أجل الكريات البيض.



أمّا نشوء اللويحات فهو نشوء مدهش، ذلك لأنّ الخلية الأصلية لا تولّد خليتين بنتين وإنّما تضاعف محتواها من الدنا DNA دون أن تنقسم. وذلك يؤدّي إلى نشوء خلية عملاقة لا تحتوي فقط على مجموعتين من الصبغيات وإنّما على 32,16,8,4 مجموعة وحتى 64 مجموعة. وتنتهي هذه الخلية إلى شكل يشبه الأخطبوط. تتقسّم أذرعها السيتوبلازمية المتعددة فيما بعد لإعطاء كمية من اللويحات.

وقد يصدف أنّ نقي العظام لا يُنتج كمية كافية من الخلايا أو يتعرّض لهجوم خلايا ورمية. ولمعالجة هذه المشكلة الخطيرة جداً يُعطى المريض خلايا أرومية صادرة من نقي العظام أو من الدم أو أيضاً مستخرجة من دم الحبل السرّي الغني بالخلايا الأرومية. ومن ناحية أخرى اكتشف أن نقي العظام (مثل الجملة العصبية) يؤوي خلايا أرومية أخرى تدعى الخلايا

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

شاملة الوُسع totipotentes التي يمكنها أن تولّد أي نوع من الخلايا. وهكذا يكون لنقي العظام وظيفة أخرى في إعادة توليد النسج.

ماذا يجري عند حدوث الجروح؟

عندما يحدث جرح ما يتقلّص الوعاء الدموي المجروح، وتبدأ بسرعة كبيرة مرحلة أولى يدعوها البيولوجيون مرحلة تشكّل العلقة اللويحية، تلتصق اللويحات على الجرح وتتغيّر بشكل يثير الدهشة فهي تلتصق الواحدة بجانب الأخرى وتشكل سدادة تكون رخوة في البداية ثم تصبح صلبة بالتدريج، وبفضل مواد تفرزها تستدعي لويحات أخرى، وهذا يكون كافياً من أجل وعاء دموي صغير.

وبالمقابل تُطبّق من أجل الأوعية الأكبر مرحلة ثانية أكثر تعقيداً وهي مرحلة التخثّر أو تكتّل الدم حيث تتدخّل جزيئات متعددة كالأنزيمات وعوامل التخثّر والعوامل المضادة للتخثّر ... وبشكل مبسّط، تحوي البلازما بروتيناً منحلاً يدعى فيبروجين (مولد الليفين). يتحوّل هذا الأخير بتأثير عمل أنزيم آخر وهو الترومبين إلى الفيبرين (الليفين). تقوّي خيوط الليفين العلقة اللويحية وتحتجز الخلايا الدموية مُشكّلة الجلطة. تتحلّل شبكة الفيبرين بعد التئام الجرح بأنزيمات أخرى وتزول الجلطة وهذا ما يُعرف بالتحلّل الليفي. إنّنا نفهم تماماً لماذا يكون عدم التوازن بين التخثّر والتحلّل الليفي خطيراً إذ يقود التخثّر السريع إلى تشكيل الخُثارة (جلطة تسدّ الأوعية الدموية) والتخثّر البطيء إلى نزيف لا تحمد عقباه.

ماذا يحدث في حالة نقصان الخلايا الدموية؟

يمكن أن تُسبب بعض الأورام ومعالجتها والفيروسات والأمراض الجينية والأدوية ... نقصان الخلايا الدموية cytopénie. وتعتمد نتائج هذا المرض بالطبع على نوع الخلايا الناقصة. فمرض فقر الدم ناتج من انخفاض نسبة الهيموغلوبين العادية المصحوب بنقصان عدد الكريات الحمر الجوالة. فالشخص المصاب بفقر الدم يكون أصفر الوجه ضيّق النفس يتعبه أقل مجهود. ومن الأسباب المحتملة لفقر الدم النزف وبالتالي فقدان الحديد والالتهابات (التي تُفضي إلى اضطراب في أيض الحديد) ونقص التغذية... وفي أبسط حالات فقر الدم الشائعة يُعطى المريض عادة الحديد.

أمّا بالنسبة إلى أمراض نقصان خلايا الدم الأخرى التي تصيب الكريات البيض أو اللويحات فإنّ أحد أسبابها المهمة هو نقصان نقي العظام. فنقصان الكريات البيض يؤدّي إلى أخماج شديدة ويؤدي نقصان اللويحات، كما ذكرنا إلى النزف. ويمكن معالجة بعض هذه الأمراض الأخيرة باستزراع نقي العظام.

هل يصبح الدم مسرطناً؟

الجواب نعم ولا! ليست الخلايا الدموية هي التي تصبح سرطانية وإنّما خلايا نقي العظام. ينتج مرض ابيضاض الدم أو سرطان الدم، الذي هو تكاثر سرطاني لخلايا الكريات البيض الأرومية في نقي العظام والدم، من إيقاف تمايز الخلايا الأرومية (التي تصبح خالدة لا تصل إلى مرحلة النضج) وتجمّعها في نقي العظام والدم والطحال والكبد والعقد اللمفية. وبحسب مرحلة الإيقاف توجد أنماط متعددة من أمراض سرطان الدم. وهذه الأمراض أدت دوراً مهماً في فهم آليات السرطان، فقد تمّ أولاً في هذه الأمراض تعرّف معظم شذوذات الجينات المتدخّلة في السرطانات. إنّنا نفهم إذاً لماذا نعالج سرطان الدم مثل الأورام الصلبة كيميائياً وإشعاعياً مع مزيّة إضافية وهي إمكانية استبدال غريسة من نقي عظم سليم بنقي عظم مصاب بالسرطان. وهذا الدور الرائد لأمراض سرطان الدم في فهم آليات دراسة السرطان ومعالجته استمر على الجينوم أي على المجموع الجيني. فدراسة الصبغيات ووضع البطاقة الذاتية لهذه الأمراض تتيح لنا تعرّف الشذوذات البيولوجية المسؤولة وتحديد العلاج النوعي. والمثال النموذجي هو مرض سرطان الدم المسمّى مرض سليفة النقوية Promyélocyte. وأصل هذا المرض تغيّر صبغي يؤدّي إلى تقارب جينتين بشكل شاذ مفضياً إلى تركيب بروتين يدعى فوزيون Fusion. ترمّز إحدى هاتين الجينتين مستقبل أحد مشتقات الفيتامين A، حمض الريتينوئيك Rétinoique. ومن هنا جاءت الفكرة في إعطاء المرضى حمض الريتينوئيك الذي يخرّب بروتين الفوزيون ويعيد القدرة على تمايز نقي العظام. وهكذا ظهر منذ عدة سنوات أول علاج فعّال ضد السرطان.

كيف اكتشفت الزمر الدموية؟

أجري في القرن السابع عشر الكثير من عمليات نقل الدم أغلبها كان مميتاً، وهذا ما دعا الملك لويس الرابع عشر إلى منع هذه الممارسة. وبعد مدة طويلة قام كارل لندشتاينر Karl Landsteiner عام 1900 بأخذ عينات من دم مساعديه. فقد لاحظ بعد مزج مصل عينة من العينات مع كريات عينة أخرى، أنّ المصل يرصّ الكريات الحمر. ويبدو أنّ هذه الأكداس هي التي أدت إلى الحوادث الناجمة عن نقل الدم، وبذلك اكتشفت الزمر الدموية الأولى ABO. وفيما بعد اكتشف، وبسرعة كبيرة أنّ أفراد البشر يتوزعون على أربع زمر بحسب امتلاكهم المستضد (A) antigène والمستضد (B) والمستضدين (A و B) أو عدم امتلاكهم أي مستضد وهذا ما يميّز الزمرة O (يوجد في الواقع في هذه الزمرة الأخيرة مستضد يدعى H). ولدينا جميعاً كل الأضداد anticorps الموجهة ضد مستضدات الزمر الأخرى ما عدا ضد زمرتنا. ويقال عن هذه الأضداد أنها طبيعية كونها تتشكّل بصورة مبكرة جداً خلال الحياة لأنّ بكتريات الفلورة (النبيت) المعوية تحمل هذه المستضدات ABO. وكارل لندشتاينر هو الذي اكتشف أيضاً عامل ريسوس rhésus بعد أن مزج هذه المرة خليطة مع الكريات الحمر لأحد القردة المسمى قرد الريسوس Macaque rhésus. ولقد أظهر أحد تلاميذه العلاقة بين هذا العامل وبين مرض انحلال الدم Hémolyse الخطير جداً لدى الطفل حديث الولادة. ينتج هذا المرض من عدم التلاؤم بين عوامل الريسوس لدى الأم وطفلها. إنّنا نعلم الآن أنّ مجموعة الريسوس تشتمل على مجموعات ثانوية متعددة. والاكتشاف الآخر المهم أيضاً عام 1952 يعود إلى جان دوسّه J. Dausset حيث اكتشف معقّد التوافق النسيجي الرئيس complexe majeur d'histocompatibilité أو CMH، الذي يدعى في الوقت الحاضر HLA. وهو عبارة عن واسمات توجد على الكريات البيض وعلى سطح خلايا النسج الأخرى أيضاً، ومن هنا تبرز أهميتها الكبرى عند استزراع الأعضاء. يشكّل المعقّد HLA منظومة شديدة التعقيد ويُحدّد لكل فرد ذاتيته الخاصة. وفي الوقت الحاضر نعرف نحو 600 مليون تركيبة من

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

HLA. يوجد في الواقع عشرات المنظومات الأخرى من الزمر الدموية ولكنّها لا تعيق عمليات نقل الدم.

هل عملية نقل الدم موثوقة في الوقت الحاضر؟

في الواقع أُحرز تقدم كبير في فرنسة منذ بداية التسعينيات مع إعادة تنظيم كامل لنقل الدم، فقد أتاحت تقنيات مختلفة (تسخين المنتجات واقتفاء الفيروسات في دم المُعطي ...) تجنّباً لتلويث منتجات نقل الدم، ولكن في الطب كما في المجالات الأخرى لا يمكن استبعاد حدوث التلوّث تماماً إذ لا نعرف مثلاً كل الفيروسات المنقولة بالدم، كما أنّ البعض يطرحون مسائل تتعلّق بالبريون Prion وهو عامل متّهم في مرض "جنون البقر". ولذلك قررت كل من الولايات المتحدة وكندا ونيوزيلندة، كإجراءٍ احترازي، استبعاد أخذ الدم من الأشخاص الذين أقاموا في المملكة المتحدة عندما كانت أزمة مرض جنون البقر على أشدها.

هل يمكن تصنيع الدم؟

الجواب هو النفي، فلا يمكننا تصنيع الدم لأنّ وظائفه ومكوّناته معقّدة جداً، ومع ذلك دفعت الأخطار المرضية المرتبطة بعمليات نقل الدم الباحثين إلى إيجاد بَدَلَة تنقل الأكسجين لتحلّ محلّ الكريات الحمر، ولكنّهم لم يتوصلوا إلى أية نتيجة. فقد أحكمت عدة شركات أدوية تركيب محاليل مستقرة من الهيموغلوبين بتحوّلات بيوكيميائية حيث يختبر بعضها سريرياً، ولكن هذه المحاليل تطرح مشاكل التأثيرات الثانوية التي لم تتوضّح بعد. وهنالك استراتيجية أخرى ترتكز على تطوير جزيئات كيميائية، وأهم هذه الجزيئات جزيئة برفلوروكربون (PFC) perfluorocarbone. فقد سُمح باستخدام هذا المنتج في الولايات المتحدة واليابان في حالات خاصة (إصلاح الشرايين الإكليلية وحالات الطوارىء من أجل الأشخاص الرافضين لعملية نقل الدم). ومع تقنية الهندسة الجينية نجح المتخصصون في إنتاج بروتينات دموية بديلة. وهذه هي حالة عاملي التخثر VII و IX الموجهين لمعالجة مرض الناعور Hémophilie. لكن في النهاية يبقى نقل الدم الوسيلة الأكثر فعّالية لتعويض فقدان قوي للدم حدث بصورة عرضية أو عن طريق عملية جراحية.

والحل الوحيد الموثوق والفعّال هو نقل الدم الذاتي autotransfusion: إعطاء دم الإنسان نفسه عند توقّع عملية.

هل الدم موجود لدى كل الحيوانات؟

الجواب هو النفي، فخلايا الحيوانات البسيطة جداً على سبيل المثال كالإسفنجيات وشقائق البحر تؤمّن بنفسها احتياجاتها من الأكسجين والمواد الغذائية. ولم ينشأ خلال تطوّر الحيوانات نظام تروية لتسهيل نقل المواد الغذائية إلى الخلايا التي أصبحت بعيدة عن الوسط الخارجي إلّا عندما أصبحت هذه الحيوانات أكبر وأكثر تعقيداً. ولم يصبح أيضاً جهاز الدوران مغلقاً تماماً إلّا في الحيوانات الفقرية. أمّا بالنسبة لمعظم الحيوانات اللافقرية فإنّ علماء الحيوان يطلقون على دمها اسم اللمف الدموي Hémolymphe، وتكون الأصبغة الحاملة للأكسجين في معظم الحالات منحلة في اللمف الدموي وأحياناً تكون ضمن خلايا، والحشرات هي الكائنات الوحيدة التي لا يحوي دمها أصبغة تنفسية نظراً لأنّ قصيباتها المتفرّعة تنقل الأكسجين مباشرة إلى الأعضاء المختلفة. والهيموغلوبين (خضاب الدم) هو الأكثر شيوعاً من هذه الأصبغة ويوجد بلونه الأحمر المميّز في معظم شعب الحيوانات. ولكن يوجد لمف دموي ذو صباغ أخضر لدى الديدان الحلقية وذو صباغ أزرق لدى بعض الرخويات ومفصليات الأرجل.

ماذا نعرف عن تطوّر خضاب الدم؟

لا نعرف الكثير عن هذا التطوّر، ومن المحتمل أنه كان في الأصل عبارة عن جزيئة مكلّفة بأسر الأكسجين السام بالنسبة للمتعضيات اللاهوائية، وتشهد على ذلك الديدان الخيطية التي ترتبط بألفة كبيرة مع الأكسجين ولكنها لا تحرّره بسهولة. فضلاً عن ذلك تكون الكريات الحمر مزوّدة بنواة لدى كل الحيوانات الفقرية الأخرى الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور عدا الثدييات، وفقدان هذه النواة خلال التطوّر يُفسّر كوسيلة لتحسين مرونة الكريات الحمر من أجل مرورها في الأوعية الشعرية وزيادة مخزونها من خضاب الدم وبالتالي زيادة قدرة الدم على نقل الأكسجين. ويبدو أنّ هذا التغير قد حصل عندما انفصلت الثدييات عن الديناصورات (أسلاف الطيور).■

4- تلوث غذائي بمركبات الـ: PCBs والديوكسينات*

حدث هام وفريد حصل في بلجيكا من المستبعد أن يؤثر في الصحة العامة

في شهر شباط (فبراير) من عام 1999، وقع في بلجيكا حدث فريد من نوعه في عدة مزارع للدواجن، سارعت على إثره السلطات هناك إلى اتخاذ إجراءات فورية وقائية لحماية الصحة العامة وإلى وضع برنامج مراقبة واسع النطاق للأغذية. وسوف نعمد في هذا الخبر إلى تحليل مستوى التلوث الحاصل وتقييم احتمال تأثيره سلباً على صحة عامة السكان.

ظهر العَرَضُ الأول للتلوث على شكل انخفاض فجائي في إنتاج الدجاج للبيض. بعد ذلك بعدة أسابيع حدث انخفاض ملحوظ في معدل فقس البيض الناتج رافقه انخفاض في الكسب الوزني وزيادة في معدلات نفوق الصيصان، وكانت هذه الطيور مصابةً "بالحبن ascites" (انتفاخ البطن)، وبوذمة تحت جلدية subcutaneous oedema للعنق، وباضطرابات عصبية (رنح ataxia). وأظهر فحص النسج وجود تغيرات تنكسية في العضلات الهيكلية وعضلة القلب، وتشابهت مظاهر

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 401, 16 September 1999. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

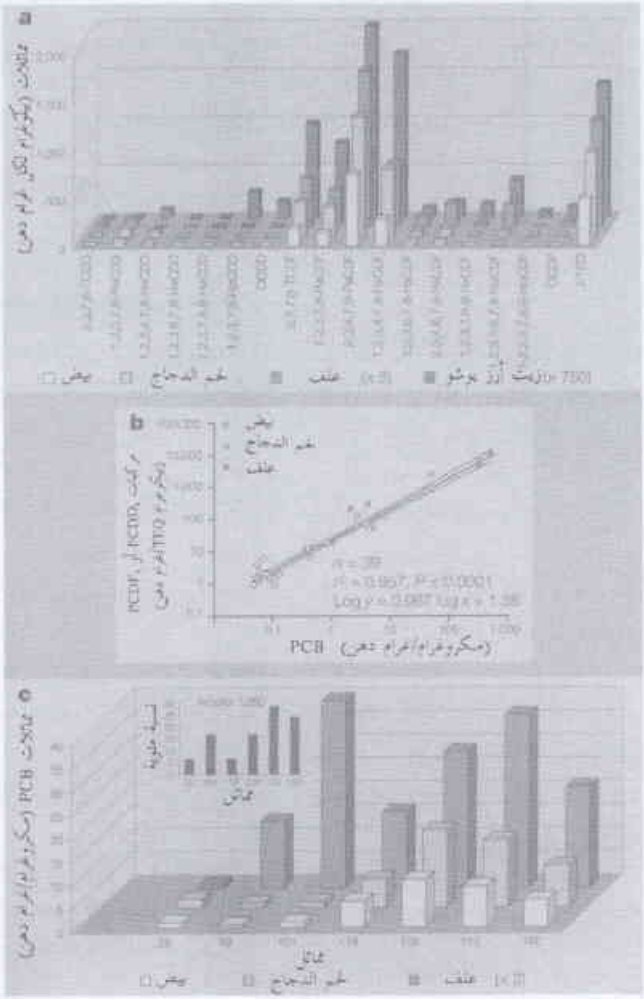
الإصابة هذه مع "مرض الصوص الوَذِم chick-oedema disease" الذي سبق الإبلاغ عنه خلال الخمسينيات والسبعينيات في عدة حالات تفشّت فيها حوادث تسمم للدواجن بمركبات البوليكلورنيتد بايفينايلز polychlorinated biphenyls (التي يطلق عليها اختصاراً PCBs)، والديوكسينات dioxins [1]، الأمر الذي يُرشّح احتمال كون الديوكسينات مسؤولة عن الأحداث التي ظهرت مؤخراً في بلجيكا. وقد أعقب ذلك اكتشاف تركيزات عالية من الديوكسينات في لحم الدجاج وأعلافه. وفي نهاية شهر نيسان (إبريل) أمكن اقتفاء مصدر الديوكسينات إلى خامة دهن معاد تدويرها وُرِّدت إلى مُصنِّع للأعلاف الحيوانية في منتصف شهر حزيران.

وأظهر تحليل المواد العلفية ومنتجات الدواجن وجود نمط ثابت من مماثلات الديوكسين التي تشتمل في معظمها على مركبات "البوليكلورودايبنزوفيورانات Polychlorodibenzofurans (PCDFs)، (الشكل 1a). أما مركبات البوليكلورودايبنزودايوكسينات (PCDDs) وبخاصة مركب 2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin الذي كان العامل المسبب لحادث سيفيسو Seveso بإيطاليا عام 1976 وللتلوث بالعامل البرتقالي مسقط الأوراق the Agent Orange defoliant، فقد شكلت نسبة ضئيلة من مجموع المماثلات الآنف ذكرها، وفي الواقع كان هذا النمط من مماثلات PCDD و PCDF متطابقاً مع ذلك الذي اكتشف في زيت الأرز الملوث الذي تسبب في عام 1968، بتسمم 2000 شخص يقطنون مدينة يوشو Yusho باليابان [2].

واحتوت جميع العينات الملوثة على كميات مرتفعة من مركبات PCBs التي تلازمت بشكل وثيق مع تراكيز الـ: PCDDs و PCDFs (الشكل 1b) والتي بلغ فيها المتوسط لنسبة PCDD/F:PCB حوالي 1:22000، وكان نمط مركبات الـ: PCB في المادة العلفية وثيق التشابه مع مزيج من هذه المركبات يتألف معظمه من المركب Aroclar 1260 (الشكل 1c). وفي بيض الدواجن ولحومها الملوثة تغير التوزع لمماثلات PCB نتيجة التحويل البيولوجي والتصفية التفضيليين للمماثلات المكلورة منخفضة الوزن الجزيئي (PCB 52 و101. هذا وقد قادتنا هذه المكتشفات إلى استخدام اختبار تحليل PCB للتعرف على منتجات غذائية ملوثة.

وباستخدام هذا الاختبار لمسح تلوث الأغذية بمركبات الـ PCB، استطعنا أن نؤكد على أن الدواجن هي التي كانت المتأثر الرئيسي؛ حيث بلغت تراكيز هذه المركبات في بيض ولحم الدجاج ما يعادل 250 ضعفاً لسوية التحمل التي هي 0.2 مكروغرام / غرام دهن (الشكل 1b). كذلك أصاب التلوث بعض الخنازير، ولكن بمستوى أقل مما هو عليه في الدجاج، حيث بلغت شدة تلوثها 75 ضعفاً لسوية التحمل المذكورة آنفاً، كما لم تظهر عليها أعراض التسمم. وعلى نقيض ما سبق، كانت حيوانات الفصيلة البقرية خالية من التلوث: فمن إجمالي 1320 عينة حليب بقري تبين أن اثنتين منها فقط تضمنتا كميات أعلى قليلاً (40-60%) من سوية التحمل لمركبات الـ PCBs (0.1 مكروغرام / غرام دهن) ولو أنهما وقعتا ضمن سوية التحمل للديوكسينات (5 بيكوغرام مكافىء سمية عالمي (I-TEQ) / غرام دهن).

وبالإمكان تفسير هذه المعطيات بوجود دورة حياة أطول لكل من الخنازير والماشية، وباعتماد أقل لهذين النوعين الحيوانيين على خلائط الغذاء المصنّع عند مقارنتهما بالدجاج. كذلك تعكس هذه المعطيات إجمالي كميتي الـ PCBs والديوكسينات التي تمكنت من الدخول إلى العلف الحيواني. ومن خلال استقراء التراكيز الموجودة في علف الدجاج ومقارنتها مع الكمية الأولية للدهن الملوث (80 طن كحد أقصى)، يغدو ممكناً



الشكل 1- مماثلات الديوكسينات ومركبات الـ PCB في منتجات الدواجن البلجيكية الملوثة.

(a) مقارنة لما يحويه كل من: البيض، ولحم الدجاج، والعلف، وزيت أرز يوشو من مماثلات PCDD و PCDF. تمثل كل قيمة المتوسط لعينتين (في العلف ولحم الدجاج) أو خمس عينات، أما عينات البيض فهي مزيج يتألف من 10-12 بيضة. حسبت الفعالية الإجمالية للديوكسين باستخدام المُعاملات العالمية لمكافىء السمية (I-TEQ) international toxic equivalent factors المعتمدة من قبل منظمة الصحة العالمية. ولسهولة العرض قُسِّم على 5 و 750 كل من العلف وزيت أرز يوشو على التوالي.

(b) الترابط بين مركبات PCBs وكل من PCCDs أو PCDFs في علف الدواجن وفي لحم الدجاج وبيضه. تعود قيم PCB إلى مجموع سبعة مماثلات واسمة وحيدة أو متعددة PCB-o- (IUPAC 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) جرى قياسها بتقنية كروماتوغرافيا الغاز / مطيافية الكتلة.

(c) التوزع لمماثلات PCB في كل من علف الدواجن ولحم الدجاج وبيضه (العينات هي كما سبق ذكره في a). قُسِّمت القيم الخاصة بعلف الدواجن على 2.

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

حساب إجمالي كميتي الديوكسينات والـ PCBs المقدرتين بحوالي 1 غرام و 50 كيلوغرام لكل منهما على التوالي، واللتين جرى بغير قصد مزجهما مع الدهن المعاد تدويره. ومن ناحية نظرية يمكن لمثل هاتين الكميتين أن تُلوّثا الملايين من طيور الدجاج لكنهما لن تؤثرا على أنواع الحيوانات الأخرى التي توجد في 3000 مزرعة تلقت شحنات العلف الملوّث.

وتُعدّ حادثة التلوث بالديوكسينات في بلجيكا شبه تكرار لحوادث مماثلة لتسمم الدواجن بمركبات متعددة التكلور polychlorinated compounds ظهرت مراراً في الولايات المتحدة واليابان في الخمسينيات والسبعينيات من هذا القرن. وقد سببت حوادث التسمم هذه ظهور أعراض إصابة على الجهاز التناسلي للطيور مشابهة لتلك التي سببتها حادثة التلوث الأخيرة في بلجيكا. وفي اثنتين من الحوادث السابقة كان العامل السمّي المسؤول خليطاً من مركبات الـ PCB (Kanechlor 400 و Aroclor 1242) [3 ، 4].

وكما هو الحال في حوادث التسمم السابقة، فإنه مستبعد جداً أن ينجم عن حادثة التلوث المفردة في بلجيكا تأثيرات صحية سيئة على عامة السكان، حيث أن ذلك يتطلب استهلاك 30–40 وجبة من لحم وبيض الدجاج الملوثين بشدة (بسويات من الديوكسينات تقع في حدود 1000 بيكوغرام TEQ لكل غرام دهن) من أجل مضاعفة حمولة الجسم من مركبات الـ PCB والديوكسينات. وحتى في مثل هذه الحالة شديدة التطرف، سوف تظل الحمولة القصوى للجسم عاملاً أقل بمئة مرة على الأقل من تلك التي وجدت في ضحايا حادث يوشو Yusho (في اليابان) وفي قاطني بلدة سيفيسو (في إيطاليا) [مشيرين بذلك إلى القيمة الوسطية لأشد المناطق تلوثاً]، لكنها ستكون مماثلة لزيادة في مركبات الـ PCB والديوكسينات تقدر بضعفي أو ثلاثة أضعاف حمولة الجسم لأشخاص أصيبوا بحالة التسمم في الثمانينيات [5] أو لأولئك الأشخاص الذين تناولوا بانتظام أغذية بحرية ملوثة [6].

المراجع REFERENCES

[1] Gilbertson, M., Kubiak, T., Ludwig, J. & Fox, G. J. Toxicol. Environ. Health 33, 455-520 (1991).

[2] Masuda, Y. in Dioxins and Health Vol. 1 (ed. Schecter, A.) 633-659 (Plenum, New York, 1994).

[3] Kohanawa, M., Shoya, S., Yonemura, T., Nishimura, K. & Tsushio, Y. Natl Inst. Anim. Health Q. Tokyo 9, 220-228 (1969).

[4] Harris, J. R. & Rose, L. J. Am. Vet. Med. Assoc. 161, 1584-1586 (1972).

[5] Papke, O. Environ. Health Perspect. 106 (suppl. 2), 723-731 (1998).

[6] Asplund, L. et al. Arch. Envion. Health 49, 477-486 (1994).■

5– إعطاء دفع للذرات*

يمكن في الوقت الحالي للأمواج المادية أن تتضخم بنفس الطريقة التي يُضخّم فيها الليزر الضوء، وسوف تغدو مثل هذه المضخّمات للموجة المادية ضرورية لإحداث تطويرات مستقبلية في علم الضوء الذرّي.

من الصعب تخيل حياة عصرية بدون مضخمات. ولا يوجد شك، سواء تمكن الستريو الذي لديك أن يعيد بإخلاص عزف كونشرتو موزارت أو استطاع هاتفك الخلوي أن يعزز نداءً لاسلكياً، بأن المضخمات أصبحت تستخدم على نطاق واسع في حياتنا اليومية. والمضخمات amplifiers كما يوحي اسمها، تعمد إلى تضخيم أو تعزيز الإشارة. وفي الحالة النموذجية، تعد الإشارة بمثابة موجة، كما هي الحال في تيار كهربائي اهتزازي، أو في موجة راديوية، أو في حزمة ضوئية. ومن الممكن أيضاً، من وجهة نظر ميكانيك الكم، أن ينظر إلى المادة على أنها أمواج؛ وعليه كان منطقياً، كما هو الحال في بقية أنواع الأمواج، تخيل إمكانية تضخيم الأمواج المادية. وتقوم حالياً مجموعة بحثية لدى معهد MIT بالمراقبة العلمية لمثل هذا التضخيم المباشر للأمواج الذرّية؛ وقد أعلن الباحث إنيوي Inouye وزملاؤه [1] إمكانية إحداث تضخيم للموجة المادية مترابطة الطور وذلك باستخدام تكثّف بوز–آينشتاين Bose-Einstein condensate.

بموجب ميكانيك الكم أو الميكانيك الموجي لصورة المادة، يوجد للذرات طول موجيّ يتناسب عكساً مع سرعتها، ويكون هذا الطول الموجي أقل من 1 نانومتر بالنسبة لذرات توجد في درجة حرارة الغرفة. إضافة لما سبق، تندفع الذرات في كل الاتجاهات؛ ويعد احتمالاً صغيراً جداً أن توجد ذرتان في المكان نفسه والزمن ذاته ولهما السرعة ذاتها، الأمر الذي يجعل من الصعب رؤية الخواص الموجية للذرات تحت الظروف اليومية المألوفة. أما متكثف بوز – آينشتاين، فهو غاز كمومي تشارك فيه كثير من الجسيمات الحالة الكمومية ذاتها [2]، بمعنى أنها تكون في المكان نفسه والوقت ذاته ولها السرعة ذاتها. وهكذا، فإن لمتكثف بوز – آينشتاين سلوك الموجة الجهرية. وعند درجات الحرارة فائقة البرودة (عشرات من النانو كلفن) المميزة لتكثف بوز – آينشتاين تصبح الأطوال الموجية للذرات في حدود عشرات من المكرومتر وبالإمكان عندئذ رؤيتها باستعمال بصريات تقليدية. مثل هذا العدد الكبير من الذرات ذات الطول الموجي الطويل ذاته تجعل من متكثف بوز – آينشتاين منظومة مثالية يمكن فيها إقامة الدليل على تضخيم الموجة المادية.

والوظيفة الأساسية للمضخم هي أخذ موجة (الدخل) ومن ثم إحداث موجة أعظم شدة لكنها متماثلة في نواح أخرى (الخرج). وعملياً، فإن للمضخم وسط كسب يحدث فيه نقل للطاقة الخارجية (منبع الضخ) إلى الخرج بما يتفق مع الدخل. وكسب المضخم هو المقدار الذي يزداد به

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol.402, 9 December 1999. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

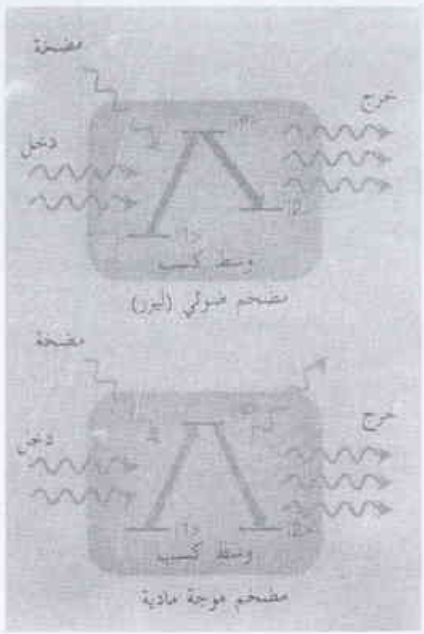
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

الخرج عند مقارنته مع الدخل. وفي مضخم ضوئي، أو ليزر، يتألف وسط الكسب من مجموعة من الذرات أو الجزيئات (بحالة غازية أو مائعة أو صلبة) ذات سويات طاقية يكون التحول فيما بينها موافقاً للطول الموجي الخاص بالضوء المراد تضخيمه. ويقوم منبع الضخ بنقل بعض الذرات إلى السويّة الأعلى من بين سويتي الطاقة. بعد ذلك تُحرّض موجة الدخل هذه المجموعة للانتقال إلى سوية طاقية أدنى، مصدرة إشعاعاً بنفس الاتجاه وبنفس الطول الموجي لموجة الدخل (الشكل 1). يطلق على هذه العملية اسم "إصدار محثوث stimulated emission" وهي تفسر ما يقصد من كلمة "ليزر laser" والتي تشير الأحرف فيها إلى: تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للإشعاع light amplification by stimulated emission of radiation.

ويعتمد مضخم الموجة المادية المبدأ ذاته الخاص بإصدار محثوث لكنه إصدار محرّض للذرات وليس للإشعاع. وعلى عكس ما هو عليه الضوء، لا يمكن للذرات أن تخلق من خلاء، لذلك فإنك تحتاج إلى خزّان ذرات من أجل إصدارها. وقد قام الباحث إينوي وزملاؤه [1] بتحضير موجتهم المادية الداخلة عن طريق انعراج براغ مُحرّض ضوئياً لمتكشف بوز - آينشتاين، وهي عملية تُعرّض فيها الذرات إلى حزمتين ليزريتين تختلفان قليلاً في تواتريهما. وفي البداية تكون الذرات في وضع الراحة ثم تمتص فوتوناً من الحزمة الأعلى تواتراً وتصدر إلى داخل الحزمة الأخفض تواتراً. وتكون النتيجة تلقي الذرات لهزة اندفاع momentum kick مساوية للفرق في الاندفاع للحزمتين والذي يُقدَّر بطوليهما الموجيين واتجاهيهما النسبيين. وهكذا يجري إحداث موجة مادية ترتد باتجاه مختار.

يتحقق تضخيم موجة الدخل بضخ متكشف بوز - آينشتاين بنبضة قوية صادرة عن واحد من الليزرات المستعملة من أجل انعراج براغ؛ وهنا يسلك المتكشف سلوك وسط الكسب (الشكل 1). وتمتص بعض ذرات المتكشف فوتوناً من الحزمة الليزرية، وإذا صادفت في طريقها الموجة المادية الداخلة، وقبل أن تتمكن من إصدار الفوتون الممتص بإصدار تلقائي، فإنها ستحرض لإصدار فوتونات بموازاة اتجاه الحزمة الليزرية الأخرى. ونتيجة لما سبق، سيكون للذرات المرتدة الاندفاع ذاته (الاتجاه والطول الموجي ذاته) كما لموجة الدخل. وبعبارة أخرى، جرى تضخيم موجة الدخل بإصدار محثوث، الأمر الذي أدى إلى إنتاج موجة خرج أضخم صادرة من وسط الكسب المضخوخ. وقد تمكن الباحث إينوي وزملاؤه من ملاحظة كسوب نموذجية تراوحت ما بين 10 إلى 100، أي أن عدد الذرات في نبضة الدخل قد ارتفع بعد التضخيم بمقدار يراوح ما بين 10 - 100 ضعف.

ويطلق على مضخم يستطيع إنتاج موجة خرج أشد لكنها مطابقة من نواح أخرى لموجة الدخل اسم مضخّم مترابط الطور phase coherent amplifier. وهذا ما يميز هذا النوع من المضخّمات عن تلك التي تعمل ببساطة على زيادة قوة الخرج، وهذا يمكن أن يكون مقبولاً إن كنت ترغب ببساطة الحصول على حزمة ضوئية عالية الاستطاعة من أجل قطع مادة ما. لكن التضخيم مترابط الطور يُعدّ إجراءً مهماً في تطبيقات تتميز بكونها حساسة للطور، كما هو الحال في قياس التداخل interferometry وفي نقل إشارة معدلة الطور. وقد استخدم إينوي وزملاؤه قياس التداخل كي يتحققوا من صحة الترابط الطوري لمضخمهم فاستعملوا انعراج براغ المُحرّض ضوئياً لإحداث نبضة مادة مرجعية مطابقة للنبضة الداخلة. وبرؤية تداخل هذه النبضة المرجعية مع النبضة المضخمة تأكد الباحثون من أن العملية كانت مترابطة الطور.



الشكل 1- أهي أمواج ضوئية أم أمواج مادية؟ في مضخم ضوئي أو ليزر، يتألف وسط الكسب من ذرات أو جزيئات لها ثلاث سويات طاقية على الأقل. تنتقل الذرات التي في السوية |1> إلى السوية |e> بوساطة منبع ضخّ من الممكن أن يكون ليزراً آخر. تُحرّض الموجة الداخلة الذرات ناقلة إياها إلى السوية |2> وتصدر فوتوناً غير متميز عن الفوتونات الداخلة. وهكذا يظهر من الخرج موجة ضوئية أعظم شدة لكنها مطابقة من نواح أخرى. أما بالنسبة لمضخم الموجة المادية، فيتطلب الأمر ثلاث سويات أو حالات طاقية مميزة للذرات. وخلافاً لما هو عليه في الضوء، لا يمكن ببساطة خلق الذرات في مضخم الموجة المادية، ولهذا فإن وسط الكسب يعمل أيضاً كمخزن للذرات. وبعد امتصاص فوتون ضخي pump photon تستطيع ذرة ما في حالة استثارة |e> أن تُصدر فوتوناً كي تصل في نهاية المطاف إلى حالة مختلفة (كسوية |2> ذات طور عشوائي). لكن الاحتمال الأعظم، في وجود الموجة المادية الداخلة، هو أن تنتهي الذرة المستثارة إلى السوية |2> وأن يكون لها سرعة وطور مماثلين لما هما عليه في الذرات الداخلة. وهكذا تظهر من الخرج موجة مادية أعظم شدة لكنها مطابقة من نواح أخرى. وسوف يتوقف التضخيم عندما تكون جميع الذرات في وسط الكسب قد انتقلت إلى السوية |2>.

لقد رصدت أبحاث سابقة إصداراً محثوثاً دون رؤية الترابط الطوري، لكن مجموعة بحثية عاملة لدى معهد MIT هي التي رصدت لأول مرة قدرة ذرات المتكشف المضخوخ ضوئياً على القيام بوظيفة وسط كسب لتضخيم الموجة المادية [4]، وبينت أن متكثفاً مضخوخاً، يُشع في البدء فوتونات بإصدار تلقائي، يمتلك قدراً كافياً من الكسب كي يضخم إصداراً باتجاه عشوائي. هذا، وتشابه العملية السابقة الإصدار التلقائي المضخم للضوء في أبخرة ذرية. كذلك، أمكن التحقق من حدوث إصدار محثوث للذرات بالمزج الموجي الرباعي للأمواج المادية [5]. وفي هذه الحالة حدث إصدار محثوث للذرات بتأثر حقل وسطي للذرات في متكثف بوز - آينشتاين وليس عن طريق الضخ من حقل ضوئي.

ويُعَد ما أثبته إينوي وزملاؤه [1] حول إمكانية تضخيم أمواج مادية مع المحافظة على طورها اكتشافاً مثيراً في حقل ضوئيات الموجة المادية المتطور سريعاً. وتوجد الآن تقارير حول تجارب مماثلة قام بها باحثون يابانيون من جامعة طوكيو (م. كوزوما M.Kozuma . اتصالات شخصية)، لكن عملاً كهذا لا يعد إنجازاً سهلاً؛ إذ قدّر إينوي وزملاؤه كسباً قدره 4 لتضخيم

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

مترابط الطور (مقارنة مع عدد للكسب براوح بين 10-100). فالذرات، بعكس الفوتونات، يمكنها أن تتآثر مباشرة مع بعضها البعض مما يؤدي إلى تشويه الموجة المادية المضخمة. وعلى أية حال، قد تكون مثل هذه التجارب هي الأشد، بين تجارب الموجة المادية، صلة وقرابة بمكافئاتها في مجال الليزر الضوئي. واعتمد الأساس لأول جيل من الليزرات الذرية على الاستخلاص المترابط لحزمة ذرات من متكثف بوز - آينشتاين، ولو أن البعض يجادل بأن التشابه الوظيفي مع الليزرات الضوئية يظل ناقصاً لأنك لا تستطيع بالفعل تضخيم الذرات. وإن إثبات تضخيم موجة مادية مترابطة الطور بوساطة إصدار محثوث للذرات يُعدّ الأكثر تشابهاً وقرابة مع ليزر ذري حقيقي.

من الصعب تخيّل التأثيرات المستقبلية لدراسات كتلك الآنف ذكرها، فقليل أولئك الذين تنبأوا بنجاح الليزر المعاصر، كما كانت أوائل الليزرات الضوئية مجرد نبائط سمجة تبلى في المختبرات لسنوات عديدة قبل أن يحاول أحد إيجاد استخدام لها. لكن الموجة المادية المترابطة تظل، من حيث التعامل معها، أكثر صعوبة من الحزمة الضوئية. فعلى سبيل المثال، لا يتوفر مكافىء مادي للزجاج يسمح لحزمة من الذرات أن تمر عبره بسهولة ويسر، ولا بد من الحفاظ على الذرات في خلاء فوق العالي. وعلى أية حال، قد تغدو الموجات المادية في بعض الأحيان أفضل من الضوء الليزري. فعلى سبيل المثال، تستخدم المضخمات الضوئية مترابطة الطور في جيروسكوبات ضوئية مقياس التداخل وذلك من أجل إجراء قياس دقيق للثقالة. وفي الوقت الحالي تُعدّ جيروسكوبات مقياس التداخل ذات الموجة المادية أكثر حساسية من نظيراتها الضوئية [7]، ولو أنه من الممكن إجراء المزيد من التحسينات عليها عن طريق دمجها بمضخم موجة مادية. كذلك تستخدم المضخمات الضوئية مترابطة الطور لتقوية الخرج الخاص بليزرما، كما يحصل عادةً في الاتصالات الليفية الضوئية fiber-optic communications. وبطريقةٍ مماثلة، يمكن استخدام مضخم موجة مادية مترابط الطور لتقوية الخرج الخاص بليزر ذري، كما يحصل عادة في الطباعة الحجرية الذرية atom lithography. وقد يُشكّل تضخيم كهذا للأمواج المادية المستقبل لليزرات ذرية أفضل وأشد سطوعاً.

المراجع REFERENCES

[1] Inouye, S. et al. Nature 402, 641-644 (1999).

[2] Townsend, C., Ketterle, W. & Stringari, S. Phys. World 29-34 March (1999).

[3] Kozuma, M. et al. Phys. Rev. Lett. 82, 871-875 (1999).

[4] Inouye, S. et al. Science 285, 571-574 (1999).

[5] Deng, L. et al. Nature 398, 218-220 (1999).

[6] Helmerson, K., Hutchinson, D., Burnett, K. & Phillips, W. D. Phys. World 31-35 August (1999).

[7] Gustavson, T. L., Bouyer, P. & Kasevich, M. A. Phys. Rev. Lett. 78, 2046-2049 (1997).■

6- على حافة المجموعة الشمسية*

لا تحتوي المجموعة الشمسية على أي من الأجسام (الأجرام) الضخمة في المنطقة البعيدة خارج مدار كوكب نبتون. وبموجب نماذج طُرحت للمجموعة الشمسية [1,2] يوجد في هذه المناطق البعيدة أعداد ضخمة من الأجسام الصغيرة التي تدور حول الشمس. وباستثناء بلوتو Pluto، ظلّت هذه الأجسام، ولأمد طويل، خارج نطاق إمكانيات الكشف أو التحري؛ لكن طرائق التصوير الحديثة مكّنت من التغلب على هذه المعضلة. فبعد أن تأكدت التوقعات الأولى باكتشاف الجسم الأول ضمن حزام إدغورث - كويبر Edgeworth-Kuiper Belt (EKB) في عام 1992 [3]، أمكن رؤية ما يقارب 200 من هذه الأجسام الواقعة على بعد من الشمس يراوح ما بين 30-50 وحدة فلكية** astronomical units (AU) [4]. وقد أدّت غزارة البيانات الجديدة إلى ظهور إجماع على بعض القضايا المركزية وخلاف على بعضها الآخر وذلك حول ما يتعلق بتطور المناطق الخارجية للمنظومة الشمسية وبنيتها.

وحسب رأي إدغورث [1] وكويبر [2]، لا بد أن يقطن المنطقة المشار إليها بحزام إدغورث-كويبر عدد ضخم من الأجسام الصغيرة. والسيناريو الأكثر احتمالاً هو أن الحزام المذكور كان في شكله البدائي أعظم تماسكاً بحيث يتطلب تشكيل أضخم الأجسام الموجودة فيه، بما في ذلك بلوتو، كتلة إجمالية تعادل حوالي 30 مرة من كتلة الأرض، وهذا أضخم بمقدار مرتبتين من الكتلة المشار إليها من خلال المشاهدات الفعلية. وقد فُقِدت الكتلة في الفترة اللاحقة لأن التقاربية من كوكبي نبتون وأورانوس أحدثت وسطاً مدارياً تحريكياً وأدّت إمّا إلى تصادم الأجسام مع هذه الكواكب الضخمة، أو إلى القذف خارج المنظومة الشمسية، أو إلى تحطّم الأجسام الأعظم ضخامة [6,5]. وعلى بعد يزيد عن 50 وحدة فلكية تكون الكواكب بعيدة جداً وبالقدر الذي لا تتمكن فيه من إحداث تشويش للمدارات؛ ولهذا كان متوقعاً من الناحية النظرية أن يوجد في تلك المناطق مقدار أضخم من الكتلة. ولسوء الحظ،لا تتوفر حتى تاريخه مشاهدات لأي من أجسام حزام إدغورث-كويبر، أثناء مدارها الكامل، خارج حدود الـ 50 وحدة فلكية، وبالتالي لا يمكن إثبات أو دحض هذا الجانب من النظرية دون توفّر مزيد من البيانات.

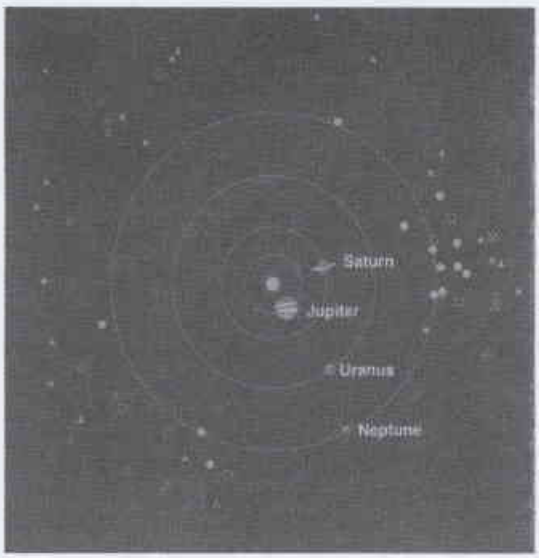
وهناك ثلاث مجموعات مختلفة من أجسام EKB معروفة حالياً. المجموعة التجاوبية التي يوجد معظم أجسامها في موقع التجاوب 2:3 مع كوكب نبتون، بمعنى أنها تكمل مدارين حول الشمس في زمن يكمل فيه نبتون ثلاثة مدارات حولها. ومن المحتمل أن يعمل التجاوب 2:3 على استقرار أو حفظ توازن هذه الأجسام "البلوتونية plutinos" مقابل الاضطرابات الثقالية التمزيقية بوساطة نبتون (انظر الشكل). ويوجد عدد قليل من هذه الأجسام في مواقع التجاوب: 3:4، 5:7، 3:5؛ كما يوجد

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol. 286, 19 November 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

** الوحدة الفلكية قياس يُستعمل داخل المنظومة الشمسية ويساوي المسافة الوسطية بين الأرض والشمس وقدرها 149599000 كيلو متر.

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

اثنان من هذه الأجسام في موقع التجاوب 1:2. ويمكن أن تصل اللامركزيات والميول لهذه الأجسام البلوتونية إلى 0.34 و40 رمز 176°، على التوالي. أما أجسام المجموعة (الثانية) اللاتجاوبية، فقد تبين أن معظمها موجود بين موقعي التجاوب 3:2 و 2:1 وبأن لها متوسط لا تمركزيات وميول تقدر بحوالي 0.07 و 9.5 symbol 176°، على التوالي. أما المجموعة (الثالثة) المبعثرة، فتتألف من أجسام ذات مدارات شديدة اللامركزية. وقد أمكن، حتى الآن، التعرف على هوية خمسة أجسام من هذه المجموعة تُعدّ، من بين الأجسام المعروفة كافة، أقلها إثارة للجدل من حيث نشوؤها؛ إذ يعتقد بأنها تمثل بقايا مجموعة مدارات هزيلة الاستقرار (بالكاد أن تكون مستقرة) لها نقطة رأس perihelion (هي الأكثر قرباً من الشمس) أبعد قليلاً من تلك العائدة لكوكب نبتون. وقد أمكن تحقيق هذه المدارات بعد حدوث لقاءات قريبة مع الكوكب نبتون وذلك إما من منطقة ذات انتشار بطيء ضمن حزام كوبير [7] على أبعاد تراوح بين 35 و 42 وحدة فلكية، أو من منطقة أعظم في عدم استقرارها تقع بين مدار أورانوس وحتى مسافة بسيطة من مدار نبتون ضمن الحزام البدائي لإدغورث ـ كوبير [8]. ويعتقد بأن الأجسام الأخيرة هي التي كانت مصدر المذنبات الخاصة بعائلة المشتري [8].



الموقع لأجسام إدغورث-كوبير Edgeworth-Kuiper Belt Objects (EKBOs) بتاريخ 1 كانون الثاني (يناير) من عام 1998. كذلك يرى الشكل مدارات الكواكب العملاقة (مرتبة على التوالي، من حيث قربها إلى الشمس: المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون). هذا، وتشير كل من: الدوائر الزرقاء إلى الأجسام البلوتونية plutinos، والمثلثات الحمراء إلى أجسام أخرى في حزام إدغورث كوبير، وبينما تشير الرموز المعتمة إلى أجسام ذات مدارات موثوق بها نسبياً، تشير الرموز المفرغة إلى أجسام ذات مدار أقل وثوقاً [16].

وهناك نظريتان رئيستان حول ما يتعلق بنشوء مجموعتي الأجسام الأولى والثانية:

نظرية الارتحال الكوكبي [9]، ونظرية الكويكبات الضخمة المبعثرة [10]. وتفترض كلتا النظريتين وجود تشكيلة أولية يتخذ فيها نبتون مداراً ضمن وسط غني بالكويكبات. وعندما تكون الكويكبات كثيرة العدد وصغيرة فإن تبادل الاندفاع الزاوي والطاقة لسرب الأجسام مع أسلاف الكواكب الأربعة الرئيسية سيحرّض هذه الكواكب على الترحال باتجاه شمسي. هذا ويعاني كوكب نبتون من ترحال خارج مداره يقدر بحوالي 7 إلى 8 وحدات فلكية ويُوقع في شراك التجاوب عدداً من الكويكبات التي بالتالي تتعرض لا تمركزياتها وميولها للإثارة. ويمكن لهذه النظرية أن تفسر وجود أجسام EKB، بما في ذلك بلوتو عند التجاوب 2:3 مع نبتون [9]. من ناحية ثانية، تبدو منطقة التجاوب 1:2 أقل كثيراً في احتوائها على الكويكبات مما يُتوقع الحصول عليه من نماذج المحاكاة الرقمية. كذلك لا تستطيع النظرية تفسير اللامركزيات والميول العالية نوعاً ما لأجسام المجموعة اللاتجاوبية. أما النظرية الثانية فإنها تفترض عدداً قليلاً من الكويكبات الضخمة (من مرتبة كتلة الأرض) التي تتخذ مداراً لها بالقرب من كوكب نبتون. وسريعاً ما تكتسب الكويكبات مداراً لا تمركزياً يُدخل معظم أجسام EKB إلى مناطق من الحزام لا مستقرة، الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى تحات كتلة الحزام البدائي إلى ما يقارب الكتلة الحالية المفترضة وإلى إثارة نقاط اللامتمركز للأجسام المتبقية. وإضافة إلى تفسيرها ظاهرة الاستنفاد الكتلي لحزام إدغورث-كوبير فإن النظرية الثانية تفسر أيضاً الكثير بشأن التشكيلة المدارية المعروفة لهذا الحزام ولو أنها لا تعطي تفسيراً جيداً للمجموعة التجاوبية كونها لا تستطيع تفسير الافتقار إلى أجسام بلوتونية ذات مدارات قريبة من الدائرية.

وليس بالضرورة أن تكون النظريتان حصريتين بالتبادل، لكن صعوبة التوفيق بينهما تكمن في أن حدوث لقاءات قريبة للكويكبات الضخمة مع نبتون سيسبب ترحالاً شعّياً شديد الضجيج لهذا الكوكب -معيقاً بذلك أسر كويكبات- الذي يتطلب، في واقع الحال، أن يكون له ترحال شعّي هادئ. وقد يعمد جمع متوازن للنظريتين إلى تفسير المشاهدات آنفة الذكر.

وهناك حجم متعاظم من الأدلة التي تقترح بأن حزام EKB هو المصدر لمجموعة من المذنبات المعروفة باسم "قنطورسات (ظلمانات) Centaurs"، والتي جرى اكتشاف أول أعضائها المسمى "قيرون Chiron" في عام 1977 من قِبل الباحث كوال Kowal [11]. وقد جرى حتى الآن اكتشاف ما مجموعه 15 من أجسام القنطورسات. وتختلف الألوان الطيفية للقنطورسات ما بين تلك التي لا لون لها وتلك التي تماثل أشد الأجسام احمراراً في المنظومة الشمسية [12-14]. ويبدو أن كلاً من القنطورسات وأجسام EKB تمتلك الخصائص الطيفية ذاتها؛ ويبقى موضع خلاف القول بأن ألوانهما تقع ضمن مجموعتين جيدّتي التمايز [13] أو ضمن مجال لوني مستمر واسع [12-14]. وقد ينشأ مجال مستمر واسع من الألوان عندما يُجابَه احمرار متدرج وشامل - ناتج من تعرّض سطوح أجسام للقصف بأشعة كونية - لمادة لا لون لها في طورها البدائي [12]. وكتفسير بديل للألوان المختلفة هو الاختلاف في المسافات التي تبعد بها الأجسام عن الشمس وفي درجات الحرارة السائدة عند تشكّلها. وإذا اعتمدنا التفسير الأخير لمنشأ الطيف اللوني الواسع، وإذا كانت نظرية الترحال الكوكبي هي المسؤولة عن نشوء EK فلا بدّ، عندئذ، أن تتوافق الألوان المختلفة لأجسام EKB مع اللامتمركزيات المختلفة للمجموعة التجاوبية، وبخاصة تلك العائدة للأجسام البلوتونية. وخلافاً لما سبق ذكره، فإنه لا يتوقع أن يعتمد اللون على اللامتمركزيات في حال اعتماد نظرية الكويكبات الضخمة المبعثرة. وفي الوقت الراهن لا يتوفر

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

الدليل على وجود توافق لألوان الأجسام البلوتونية مع لا تمركزياتها أو مع متوسط أبعادها عن الشمس ولو أن هناك بعض التوافق مع ميولها. وكمتغير أفضل يحدد التوافق بين أجسام EKB التجاوبية والقرائن اللونية color indices هو ذلك الذي يجمع مختلف البارامترات المدارية [15]؛ لكن وجود عدد بسيط من المشاهدات وأخطاء كبيرة في القرائن اللونية يجعل من السابق لأوانه استخلاص استنتاجات نهائية من بيانات الرصد المتوفرة. من المشكوك فيه أيضاً أن التدرّج البسيط لدرجات الحرارة الذي يسود حزام EKB البدائي هو السبب وراء التنوع السطحي في أجسام كوبير.

من ناحية أخرى، سيؤدي المزيد من الملاحظات إلى تأكيد السيناريو البديل القاضي بوجود مجموعتين لونيتين متمايزتين، لكنه يبقى من الصعب أيضاً تفسير وجود أجسام EKB بدائية (وقنطورسات) في منطقتين منفصلتين تماماً من المجموعة الشمسية وهي في طورها البدائي. ومما لا ريب فيه. سيشكل إثبات صفة اللون اللامستمر تحدياً كبيراً لعلماء المجموعة الشمسية.

المراجع REFERENCES

[1] K. E. Edgeworth, Mon. Not. R. Astron. Soc. 109, 600 (1949).

[2] G. P. Kuiper, in Astrophysics: A Topical Symposium, J. A. Hynek, Ed. (McGraw-Hill, New York, 1951), pp. 357-414.

[3] D. Jewitt and J. Luu, Nature 362, 730 (1993).

[4] B. G Marsden, List of transneptunian objects (equiva-lent to EKBOs), http://cfa-WWW.harvard.edu/cfa/ps/lists/TNOs.html (1999).

[5] D. R. Davis and P. Farinella, Icarus 125, 50 (1997).

[6] S. A. Stern and J. E. Colwell. Astrophys. J. 490, 879 (1997).

[7] H. F. Levison and M. J. Duncan, Icarus 127, 13 (1997).

[8] R. Malhotra, M. J. Duncan, H. F. Levison, in Protostars and Planets IV, Arizona Space Science Series (University of Arizona Press, Tucson, AZ, in press).

[9] R. Malhotra, Astron. J. 110, 420 (1995).

[10] J. M. Petit, A. Morbidelli, G. B. Valsecchi, Icarus 141, 367 (1999).

[11] C. Kowal, Icarus 77, 118 (1989).

[12] J. Luu and D. Jewitt, Astron. J. 112, 2310 (1996).

[13] S. C. Tegler and W. Romanishin, Nature 392, 49 (1998).

[14] M. A. Barucci, A. Doressoundiram, D. Tholen, M. Fulchignoni, M. Lazzarin, Icarus, in press.

[15] R. S. Gomes, Astron. J. 114, 2166 (1997).

[16] D. C. Jewitt, J. X. Luu, C. Trujillo, Astron. J. 115, 2125 (1998).■

7- إنماء بلّورات فوتونية كهركيميائياً*

توجد مجموعة خاصة من المواد المسامية المِكروية (بنيات كهرنافذة تبدي دورية في ثلاثة أبعاد تدعى البلّورات الفوتونية) التي لها أهمية خاصة بسبب خواصها الضوئية الفريدة [1]: إذ يمكنها تداول الضوء بالطريقة ذاتها التي يُداول بها ناقل فائق الإلكترونات. وهنا نستخدم تقنية يشترك فيها توضّع كهركيميائي ضمن قالب غرواني لإحداث مواد مسامية أقوى ولها قرينة انكسار أعلى مما كان ممكناً من قبل.

في البحث عن زيادة في قرينة انكسار المواد المسامية المِكروية، أُجريت محاولات لاستخدام تجميعات غروانية كقوالب في عملية التنسّخ replication [2-5]. يُدعّم جدوى هذا الأسلوب بحسابات تتنبأ بحامل يتمتّع بقرينة انكسار عالية ويحتوي على شبيكة مكعبة مركزية الوجوه من كرات قرينة انكسارها منخفضة، بصورة خاصة الهواء، ويمكن أن يُحدث فرجة كاملة في بنية العصابة الفوتونية [7,6]. وعلى الرغم من إمكانية بناء هذه البنى طبقة بعد طبقة عبر طباعة حجرية lithography عرفية فإنّ صعوبات المعالجة تحدّ من تشكّل أكثر من عدة طبقات [9,8].

وتكون البُنى التي لها دورية جوهرية ثلاثية الأبعاد مطلوبة من أجل الكثير من التطبيقات الفوتونية ولكن تبيّن حتى الآن أنّه يصعب تمعدن الفضاء البيني للتجميع الغرواني بصورة كاملة وتوليد مثل هذه البنية ثلاثية الأبعاد. وهذا يحتاج من حيث المبدأ إلى خطوتين فقط: تمعدن الفضاء البيني للتجميع الغرواني والإزالة اللاحقة للقالب الغرواني البدئي (ومن المحتمل بعض المنتوجات الثانوية للتفاعلات الكيميائية). أنتجت المحاولات السابقة الواعدة نسخاً بكثافة متوسطة فقط، وبالتالي قرينة انكسار فعّالة التي هي أصغر من قرينة انكسار المادة الحجمية. وهي أيضاً هشة ميكانيكياً [5, 10-2].

تكون التجميعات الغروانية جذابة بسبب حجمها وقابليتها للتوليف وبنيتها ثلاثية الأبعاد. تكمن المسألة الحاسمة في إحداث المواد الفوتونية في كيفية ملء الفضاء البيني تماماً بمركّب له قرينة انكسار عالية. لهذا فقد رسّبنا كهرليتياً أنصاف نواقل من مجموعة II-VI في رواسب غروانية لملء الفضاء البيني بمواد ذات قرينة انكسار عالية (الشكل 1). تتيح المواد المترسّبة إلكتروليتياً دوماً إزالة القالب الغرواني الذي يكون ضرورياً لإعطاء أكبر قيمة من التباين في قرينة الانكسار.

يجب أن يكون الترسيب الإلكتروليتي وسيلة مثالية لملء البنى المعقدة من الناحية الشكلية topologically بسبب أنه يبدأ من العمق وينمو نحو الخارج حتى السطوح المكشوفة. لقد حصلنا على بنى مسامية مِكروية من الكادميوم - السلينيوم (Cd-Se) بترسيب كموني سكوني

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 402, 9 December 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

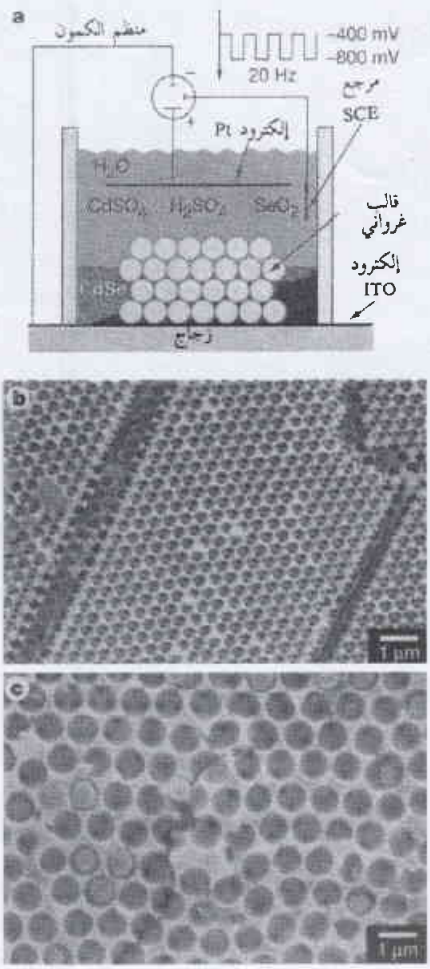
potentiostatic deposition [11] في الفضاء البيني لقالب غرواني من البوليسترين (الشكل 1 a,b). أمّا كبريتيد الكادميوم (Cd S) فقد نما أيضاً عن طريق الغلفنة السكونية galvanostatic [12] (الشكل 1 c) وترسيب كموني سكوني (نتائج غير مرئية) في التجميعات الغروانية، وأعطى أيضاً بنى دورية ثلاثية الأبعاد بعد إزالة القالب.

وبسبب تمتّع كُل من كبريتيد الكادميوم والكادميوم – السلينيوم بقرائن انكسار مرتفعة (2.5 عند 600 نانومتر و2.75 عند 750 نانومتر على التالي) يمكن أن يكون لهذه البنى فرجات gaps عميقة في بنية عصابتها الفوتونية بعد إزالة القالب. وتعدّ مادتا كبريتيد الكادميوم والكادميوم السلينيوم من المواد الواعدة من أجل التطبيقات الفوتونية بسبب أنّها شفّافة من الناحية الضوئية في المنطقة المرئية ومنطقة الأحمر القريب من الطيف بخلاف معظم المواد ذات قرينة الانكسار العالية.

إنّ أحد المتطلّبات الحاسمة من أجل وجود فرجة عصابية فوتونية حقيقية في كل الاتجاهات هو دورية ثلاثية الأبعاد وانتظامها. ويفضي قالبنا الموجّه نحو الترسيب الإلكتروليتي لأنصاف النواقل إلى بنى ثلاثية الأبعاد (الشكل 1 c,b) كما تدلّ عليها الفجوات المرئية بوضوح في الطبقة (في الأسفل) في كل المنظومات. وشكل هذه الفجوات في نقاط التماس بين كرات القالب وترتيبها على شبيكة مثلثة هو دليل على أنّ الفراغات المجوّفة تكون على شكل صفيفة سداسية متراصة.

وكما تم تحديد البنية ثلاثية الأبعاد سمحت الفجوات بين الفراغات بالإزالة التامة للقالب بمذيب أو بحمض أو عبر الحرق. وتظهر موادنا المترسبة إلكتروليتياً كثيفةً، كما تلاحظ في المجاهر الإلكترونية الماسحة ذات التكبير القوي المواد الأخرى المرسبة إلكتروليتياً الموجهة بالقالب. وكنتيجة لذلك فإنّ البنى ذات المسامات المكروية تنكمش فقط انكماشاً قليلاً (< 2 %) عندما يزال القالب.

يتلاءم الترسيب الإلكتروليتي الموجّه بالقالب تماماً مع إحداث بنىً مكروية ثلاثية الأبعاد: إذ يمكن إلكتروليتياً ترسيب الكثير من المواد



الترسيب الإلكتروليتي في تجميعات غروانية a، تمثيل تخطيطي للإعداد التجريبي c,b. صورة مكروية للمنتج بالمجهر الإلكتروني الماسح b: كادميوم سلينيوم مترسب بالكمون السكوني في الفراغات البينية في تجميع غرواني من البوليسترين مؤلف من كرات من البوليسترين قطرها 0.466 ميكرومتر. بعد الترسيب الإلكتروليتي يُحلّ قالب البوليسترين في التولوين. SCE: إلكترود معياري من الكالومل. ITO: أكسيد القصدير والإنديوم. c: نمو كبريتيد الكادميوم CdS بالغلفنة السكونية حول قالب غرواني من السيليكا المكوّنة من كرات سيليكا قطرها 1 ميكرومتر. جرى حلّ القالب جزئياً بعد الترسيب الإلكتروليتي بغمس العيّنة في محلول مائي من 4.8% من فلوريد الهدروجين لمدة 10 دقائق، وهذا المحلول لا يحلّ تماماً القالب وهذا ما يتيح مباشرة رؤية العلاقة بين القالب الغرواني والبنية الناتجة ثلاثية الأبعاد.

ذات قرائن انكسار مرتفعة تتضمّن أنصاف نواقل من المجموعات II-VI أو III-V أو IV وجميعها تكون ذات ممانعة مغنطيسية كبيرة جداً لتشكيل بنى مكروية ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات تقليدية. وهذه المواد، التي لها الكثير من الخواص الإلكترونية والضوئية المرغوبة، تستخدم بصورة شائعة في صناعة أنصاف النواقل. والعرض المحتمل لدمج بنيات عصابة الفرجة الفوتونية بنبائط نصف ناقلة يُحدث تغيراً أساسياً في الحوسبة الضوئية والإلكترونية الضوئية. وستكون الأمور بسيطة في توسيع طرائقنا إلى المواد المعدنية التي يمكن أن تترسّب إلكتروليتياً بسهولة. وإنّ هذه البنى المعدنية الدورية المكروية ثلاثية الأبعاد يمكن أن يكون لها خواص مكانيكية وحرارية استثنائية.

المراجع REFERENCES

[1] Joannopoulos, J. D., Meade, R. D. & Winn, J. N. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light (Princeton Univ. Press, New Jersey, 1995).

[2] Holland, B. T., Blanford, C. F. & Stein, A. Science 281, 538-540 (1998).

[3] Wijnhoven, J. E. G. J. & Vos, W. L. Science 281, 802-804 (1998).

[4] Zakhidov, A. A. et al. Science 282, 897-901 (1998).

[5] Vlasov, Y. A., Yao, N. & Norris, D. J. Adv. Mater. 11, 165-169 (1999).

[6] Biswas, R., Sigalas, M. M., Subramania, G. & Ho, K. M. Phys. Rev. B 57, 3701-3705 (1998).

[7] Busch, K. & John, S. Phys. Rev. E58, 3896-3908 (1998).

[8] Lin, S. Y. et al. Nature 394, 251-253 (1998).

[9] Fleming, J. G. & Lin, S. Y. Opt. Lett. 24, 49-51 (1999).

[10] Imhof, A. & Pine, D. J. Nature 389, 948-951 (1997).

[11] Klein, J. D. et al. Chem. Mater. 5, 902-904 (1993).

[12] Edamura, T. & Muto, J. Thin Solid Films 235, 198-201 (1993).■

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

8- أدوات جديدة من أجل التحليل النظيري*

تتأثر التركيبات النظيرية للمواد الطبيعية بعدد من الإجراءات. فعلى الكرة الأرضية يشكل كل من الاضمحلال المتولد بالإشعاع والتجزئة الفيزيائية الكيميائية الآليتين المسيطرتين. فالاضمحلال المتولد بالإشعاع يتم بسرعة نوعية ويوفّر للمتخصصين بتعيين الأزمنة الجيولوجية تحديد أعمار الصخور بقياس نسبة ذرات السلف إلى الذرات الوليدة. أما التجزئة الفيزيائية الكيميائية فتنشأ من تبعية الكتلة لبعض سرعات التفاعلات الكيميائية وتنتج انحرافات bias منهجية (مع كتلة) في وفرة النظائر. أما العينات خارج نطاق الكرة الأرضية فتبدي مفعول التشظية spallation أي تصدّع النوى بتأثير الأشعة الكونية المتصادمة ويمكن أن تبدي شذوذات نظيرية كبيرة نتيجة اندماج مواد الاصطناع النووي حيث يختلف التركيب النظيري بصورة جوهرية عما يتوفر على الكرة الأرضية.

ويمكن أن تختلف الفوارق النظيرية الناجمة عن هذه الإجراءات اختلافاً كبيراً في القدر magnitude. والشيء الأكثر أهمية هو أن التركيب النظيري يمكن أن يكون متجانساً على أحجام كبيرة نسبياً أو غير متجانس في مقاييس أصغر، وهذا أدى إلى ظهور عمليتين مختلفتين بصورة أساسية في القياس النظيري. فالتحليل المسمى التحليل التقليدي يتطلب فصلاً كيميائياً للعنصر ومن ثم مزجه مع مادة ذات تركيب نظيري شاذ معروف (تمديد نظيري)، يتبعه تحليل عالي الدقة. وبالمقابل فإن التحليل في الموقع بمسبار مِكروي أيوني يقود إلى تحليل مباشر لكميات صغيرة جداً من المادة، وتكون الدقة بصورة نموذجية محددة بعدد الأيونات المحسوبة في التحليل. وغالباً ما أدت هاتان الطريقتان إلى نتائج متضادة بسبب الفروق في حجم المواد المحلّلة والمسائل المتعلقة بالإحكام والدقة والقابلية للتولد.

لقد تم حديثاً تقدم كبير في تقنية مطيافية الكتلة المقرونة تحريضياً ذات الإزالة بالليزر (LA-ICPMS) وهي تقنية تملأ الفراغ في حجم العينة بين مطيافية كتلة التمديد النظيري (IDMS) والتحليل المسباري المِكروي الأيوني [مطيافية الكتلة للأيونات الثانوية (SIMS)]. وكما سنرى فيما بعد، إن هذه التقنيات تكمل بعضها بعضاً في تأثيرها التحليلي. ولكن يبقى أن نرى أياً من هذه الترسانة من الأدوات الجيوكيميائية ستكون كافية من أجل الأهداف التحليلية الطموحة في المستقبل القريب.

تغيرت أساسيات تقنية مطيافية الكتلة تغيراً طفيفاً منذ العمل الرائد الذي قام به جونسون Johnson ونيير Nier [1]. والشيء الذي تغير هو الطريقة التي استخدمت في أخذ عينات المواد. والهدف ذو الدقة الأعلى يتنافس مع هدف حجم العينة الأصغر، وعلى المحلّل أن يقرر في النهاية إما قياس حجم عينة أكبر بأعلى دقة ممكنة أو تحليل الوجود المحتمل لعدم التجانس في ذلك الحجم باختيار التقنية التي تأخذ عيّنات بكميات أصغر. يتحدد الخيار بطبيعة المفعول المتوقع: من المفضل قياس تغير موحد وصغير على حجم كبير بدقة عالية بينما تتطلب أجسام صغيرة ومتميزة من الناحية النظيرية تحليلاً انتقائياً أكثر.

فمن أجل المسائل التي تتطلب تحليلاً عالي الدقة (الشكل A-1) يمكن أن تنجز مطايف كتلية حديثة مؤيّنة حرارياً سويّات عالية جداً من الدقة من خلال التحليل المستمر والإنقاص الإحصائي في خطأ المتوسط. ويمكن تحسين الإحصائيات الداخلية أكثر من خلال الجمع المتعدد حيث تقاس حزم الأيونات الفردية في مكاشيف منفصلة، وبذلك نحصل على مردود أعظمي وإزالة للشكوك مترافقة مع تغيرات زمنية في كامل الحزمة. ومع ذلك ففي سوية ما من الشك يمكن أن تحصل أخطاء منهجية، والتي تنقص أي ربح منجز خلال إنقاص الأخطاء العشوائية. وعند هذه الحدود فإن التقسيم الواضح بين الأخطاء المنهجية والعشوائية ليس بسيطاً ويجب أن يعتمد على قابلية التولد المبينة. ومثل هذه القياسات لا تهدف إلى إنقاص كمية المادة المستهلكة أثناء التحليل وإنما تشحن كمية كافية من المادة لإنجاز شروط التشغيل المثلى من أجل التحليل.

وعند النهاية الأخرى من تحليل مطياف كتلة التمديد النظيري (IDMS) أُجريت جهود كبيرة لجعل تحليل كميات صغيرة من الرصاص في معادن حاملة لليورانيوم (الزركون بصورة رئيسة) من أجل تحديد الأزمنة الجيولوجية. ويتطلب هذا النمط من التحليل مراقبة كيميائية كبيرة لتجنب التلوث بالرصاص الذي يدرّك الإشارة المتولدة بالإشعاع. ويمكن في الوقت الحاضر قياس نسب يورانيوم/ رصاص في الزركون في حبيبة واحدة منفردة وحتى في مستوى ما دون الحبيبة sub-grain (الشكل C-1) ولكن الزركون يمكن أن يكون معقّداً إلى درجة كبيرة ومن الصعب أن نحدد بصورة صحيحة عمر الزركون المعقد الذي تم تحليله بمطياف كتلة التمديد النظيري (IDMS).

كانت الانتقائية المحدودة لحجم صغير للعينات، التي يجري تحريها بمطياف كتلة التمديد النظيري إحدى المحرّضات الرئيسة لتطوير أدوات التحليل المِكروي المكاني مثل المسابر المِكروية الأيونية [2]. تستخدم في هذه التقنيات حزمة أيونية مبأرة لرش العينة مباشرة. يتم تأيّن جزء صغير من العينة وتسرع هذه الأيونات الثانوية إلى مطيافية الكتلة لتحليلها. وحتى من أجل الأهداف البسيطة تتعقد مطيافية الكتلة للأيونات الثانوية بفرط الأنواع الجزيئية والذرية التي تختلف قليلاً فقط في الكتلة. وهكذا تتطلب مطيافية الكتلة للأيونات الثانوية ميزاً عالي الكتلة من أجل فصل إيزوباري isobaric separation. وتكون مجاهر كاميكا Cameca الأيونية الصغيرة قادرة على قياس الميز عالي الكتلة، ولكن على حساب الإنفاذ.

والتحليل النظيري المستقر ممكن [3] عند سوية واحد من مليون أو دون ذلك بسبب مردود التأيّن العالي. كانت هذه الأجهزة ناجحة جداً في البحث عن الشذوذات النظيرية في النيازك حيث تغطي التغيرات النظيرية مراتب من القدر [4]. ويتيح أيضاً استهلاك العينة البطيء والفعالية العالية إجراء عدة تحاليل، حتى تحليل حبيبات غبارية مِكرومترية الحجم. كان الجهاز SHRIMP (المسبار المكروي الأيوني الحساس عالي الميز) أول جهاز يجمع ما بين الميز عالي الكتلة والإنفاذ المرتفع. وهذا أنجز من خلال محلل ذي كتلة كبيرة فيزيائياً وأدى إلى تحاليل نظيرية يورانيوم/ رصاص في الزركون [5 و6]. وتكون المسابر المِكروية الأيونية كبيرة الأبعاد مثل

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol 286, 17 December 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

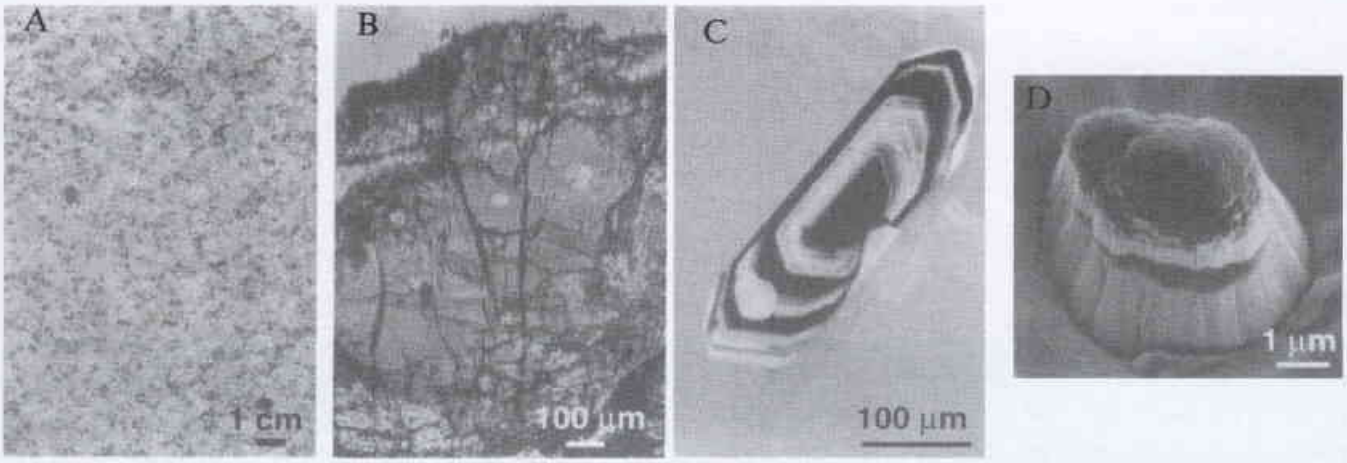
SHRIMP و Cameca 1270 متاحة ولكنها مكلفة وإتاحيتها كانت محدودة.

لم يحدث خلاف في أي مكان عند المقارنة بين تقنيتي SIMS وIDMS أكثر من الخلاف الذي حصل في حقل تحديد الأزمنة الجيولوجية بطريقة اليورانيوم/ الرصاص. فالهدف من تقنية IDMS هو الحصول على العمر بدقة عالية بينما تهدف تقنية SIMS إلى استنتاج عمر أقل دقة نسبياً لمنطقة واحدة أو عدة مناطق مختلفة من الناحية الصخرية ضمن حبيبة معدنية واحدة. وتنشأ الاختلافات الأكبر عندما يتم تحليل الزركونات المعقدة (الشكل 1C)، فتحليل عادي فقط لحبيبة واحدة يمكن أن يحدد بصورة مألوفة وجود مركبات عمر متعددة بينما يمكن أن يحدد تحليل بقع خاصة مركبات عمر نوعية. وهذا هو بالفعل مقدرة التحليل بتقنية SIMS وخاصة عندما تقرن مع تقانات التصوير الإلكتروني مثل التألق الكاتودي cathodoluminescence الذي يتيح استهدافاً أفضل. أما المقارنة بين تقنيتي SIMS و IDMS فهي جيدة بالنسبة إلى الزركونات غير المعقدة [7]. ومع ذلك ونظراً لأن معطيات تقنية SIMS الخاصة تتميز بدقة منخفضة نسبياً في تحديد العمر، يوجد بعض حالات من مركبات العمر المتميزة، التي لا يمكن أن يتم حلها بصورة إفرادية، قد تجمع مع بعضها. ففي هذه الحالة يصبح المتوسط وسطي المركبات التي قد لا يكون لها معنى من الناحية الجيولوجية.

يجب أن تكون التقنية المختارة من أجل مشكلة خاصة قادرة على تحليل العمر للمجالات المفردة من الزركون، كما يجب أن تتمتع بتحديد كاف لوصف تلك المركبات من الأعمار بصورة إفرادية. فإذا وجدت حبيبات منفردة من الزركون التي تحوي فقط مركباً بعمرٍ واحد. إذاً لا يوجد أية مشكلة بأن يكون التحليل بتقنية IDMS أكثر دقة وأعلى ضبطاً. وإذا كانت المجالات المتعددة موجودة في حبيبة منفردة ستعطي تقنية SIMS أكثر التقديرات ضبطاً للأعمار من تلك المركبات. وهكذا ربما يعطي دمج التحليل بتقنية SIMS مع التحليل بتقنية IDMS بصورة عامة أفضل النتائج.

تستخدم مطيافية الكتلة المقرونة تحريضياً (ICPMS)، الأداة الجديدة نسبياً في ترسانة الأدوات، بلازما الأرغون لتأيين معظم العناصر. ويمكن إدخال العينة إما من محلول (ومن هنا تعطي تقنية ICPMS نتائج أفضل من تقنية IDMS) أو عبر الإزالة بالليزر. وتتميز مطيافية الكتلة المقرونة تحريضياً ذات الإزالة بالليزر LA-ICPMS بقابليتها على أخذ العينات المكروية وبدقتها العالية وبإمكانية ربطها لبعض القابليات التحليلية بين تقنيتي IDMS و SIMS (الشكل B1) وكذلك فتح قابليات جديدة [8]. وقد استخدمت أيضاً المطاييف الكتلية ذات القطاع المغنطيسي magnetic sector ورباعية الأقطاب quadrupole. إن سرعة الإزالة العالية ومستويات تأيّن التحاليل النظيرية المجزأة بصورة صحيحة fractionation-corrected عند 0.1 بالمليون تتيح إنجاز هذه التحاليل. ولكن لا بد من إحصاء عدد كبير من الأيونات للوصول إلى دقة عالية، والبقعة المزالة يمكن أن تستهلك موادّ بقدر ما يستهلكه التحليل بتقنية IDMS. إن المزية التي تتمتع بها تقنية LA-ICPMS مع ذلك هي السهولة التي تحلل بها العناصر المقاومة للحرارة وكمية العينة الصغيرة.

يمكننا أن نؤيد أن طريقة التأريخ بتقنية مطيافية LA-ICPMS U-Pb ستحل محل تقنية التحليل بالمسبار المكروي الأيوني بسبب دقتها الأكبر، ولكن ليس من المحتمل إلى حد ما أن تتجاوز كل أنماط التحليل الأخرى.



الشكل 1- ماذا يوجد في الحبيبة؟ يتم تحديد سلّم التحليل النظيري اعتماداً على الأسئلة التي يجب الإجابة عليها وعلى طبيعة العينة. فالتحليل النظيري الجرمي لصخر الغرانيت (A) يتطلب هدم الصخر وتجانس كل أطواره أو فصل فلزاته بالتقاطها باليد. فمن أجل أمثال هذه العينات فإن التحليل التقليدي الذي ينطوي على تحديد نظيري يمكن أن يعطي نسباً نظيرية عند 10 أجزاء بالمليون. وعندما تكون العينات غير متجانسة، على الرغم من أنّ التحليل في الموقع مناسباً، يمكن أن يرتبط الإطار البتروغرافي بالتركيب النظيري. ففي متضمّن اللندي المقاوم للحرارة (B) لا بد من تجنّب الكسور والمساحات المتغيرة ولكن توجد الأطوار الفلزية المتجانسة في كل المقطع الرقيق. أمّا من أجل التحليل النظيري فعدم التجانس الشاقولي لا يشكل معضلة وستعطي تقنية مطيافية الكتلة المقرونة تحريضياً ذات الإزالة بالليزر LA-ICPMS أكثر النتائج دقة وسرعة لأن التحليل يتم بنحو 30 نانوغرام من المادة. ويمكن أن يكون الزركون (C) متجانساً على سلّم ذرّة ذرّة أو يمكن أن يبدي مناطق نمو معقدة في بلورة أحادية. الزركون المبيّن في الشكل يتميز بتمنطق تذبذبي خشن [يعود إلى ما قبل 370 مليون سنة] الذي تراكب عليه حدث مهلي لاحق [يعود إلى ما قبل 340 مليون سنة] أدى إلى انثناء طرف الزركون وأدى أيضاً إلى إحداث "جزيرة" من زركون أحدث محاط بطور مهلي أقدم. وحتى يتم تحديد العمر بصورة أدق لمثل هذه الحبيبات المعقدة لا بد من اعتيان سطحي كما لو كان بمسبار مكروي أيوني الذي يستهلك فقط 2 نانوغرام من الزركون في التحليل . وتعد الحبيبات بين النجمية (D) مصدراً ثميناً تتطلب تحليلاً نظيرياً عنصرياً متعدد لحبيبات منفردة. وقد يستهلك تحليل واحد بمطيافية المسبار المكروي الأيوني نحو 10 بيكوغرام من المادة.

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

ما تزال الصعوبات باقية لإنجاز الدقة العالية في نسب يورانيوم/ رصاص وفي قياس الرصاص 204 [9 و10]. يسهل ميز العمق الأعلى لتقنية مطيافية الكتلة للأيونات الثانوية SIMS تحليل العينات المعقدة حيث تكون حجوم المجالات محدودة، ولا يمكن تجاوز تقنية مطيافية كتلة التمدد النظيري IDMS من أجل متطلبات دقة معايرة مقياس الزمن. في تحليل اليورانيوم – الرصاص ستملأ تقنية LA-ICPMS فراغاً حيث تكون حجوم المجالات كبيرة ويكون تحليل الزركون السريع مطلوباً، مثل ما هو في قطاعات الزركون الحطامية وتوثيق النظم المهلية البسيطة.

تعطي تقنية LA-ICPMS أساساً واعداً لتغيير الجيو كيمياء الأرضية تغيراً جذرياً في تحليل العناصر وفي التحليل النظيري للمواد الملائمة. ونذكر من الأدوات المتنوعة المتاحة مطياف الكتلة رباعي الأقطاب الذي يناسب تحليل عناصر الأثر بينما ستتطلب تقنية ICPMS مجموعة متعددة من أجل التحليل النظيري. تتضمن التطبيقات الآن تحليل هافنيوم Hf النظيري للزركون [11] وجيوكيميائية عناصر الأثر للمواد (12). ولكن التحليل المكاني بتقنية LA-ICPMS أو بتقنية SIMS سيكون غير قادر على حل معظم الأيزوبارات (المكاتلات) الذرية atomic isobars، ولذلك لا يمكن إنجاز تطبيقات مثل تحليل الروبيديوم–السترونسيوم (Rb-Sr) النظيري. هذا العمل يتطلب إجراء التحليل والفصل الكيميائي بتقنية IDMS.

ومن المحتمل أن المجالات الأكثر إثارة من أجل جيو كيميائية العناصر في السنوات العشرين القادمة ستكون في المواد الخارجة عن نطاق الكرة الأرضية من المريخ والكويكبات والمذنبات والرياح الشمسية. فهل تسمح التقنيات المتاحة الآن وصف صفات هذه المواد إلى أبعد مدى ممكن؟ والمطلوب من أجل أعلى حصيلة تحليلية لكل غرام أو جزء منه هو أن يقع في حدود الإنجاز. سيتم وصف صفات المواد المريخية والكويكبية ككل غير مجزأ بتقنيتي IDMS و ICPMS. ومع ذلك فإن الطبيعة الخاصة للغبار المذنبي تتلاءم مع تقنيات المقاييس المكروية. وسيكون عصر تقنية Flight-SIMS ناجحاً في تحليل الغبار المذنبي لأنه يمكننا من إنجاز التحليل النظيري لكل الأيونات وبهذه الطريقة تنخفض النفايات. أما تحليل العينات المعرضة إلى الرياح الشمسية التي تسبب انغراز ذرة بعد ذرّة في ركازة، فتتطلب حساسية عالية. كيف يمكن تحليل الأهداف المنغرزة بالرياح الشمسية بصورة فعالة لإعطاء الدقة المطلوبة لاختبار نماذج السدم الشمسية الحالية؟ ستكون تراكيز عناصر الهدف منخفضة ويكون التلوث هو الهاجس الرئيس. إن الحصول على هذه المواد وعلى الطلبات التقنية التي تحتاجها، سوف تدعم حقبة من تطور تقنيات التحليل الشبيهة بالحقبة التي رأيناها بعد عودة البعثات القمرية.

المراجع REFERENCES

[1] E. G. Johnson and A. O. Nier, Phys. Rev. 91,10 (1953).

[2] T. R. Ireland, Adv. Anal. Geochem. 2,1 (1995).

[3] L. R. Riciputi, B. A. Paterson, R. L. Ripperdan, int. J. Mass Spectrom. 178,81 (1998).

[4] E. Zinner, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 26,147 (1998).

[5] W. Compston, I. S. Williams, C. Meyer, J. Geophys. Res. Suppl. 89, B525 (1984).

[6] I. S. Williams, Rev. Econ. Geol. 7,1 (1998).

[7] R. D. Tucker and W. S. McKerrow, Can. J. Earth Sci. 32,368 (1995).

[8] D.-C. Lee and A. N. Halliday, Nature 378,771 (1995).

[9] I. Hom, W. F. McDonough, R. Rudnick, Chem. Geol., in press.

[10] W. Compston, Mineral. Mag. 63,297 (1999).

[11] M. F. Thirwall and A. J. Walder, Chem Geol. 122,241 (1995).

[12] S. M. Eggins, R. L. Rudnick, W. F. McDonough, Earth Planet. Sci. Lett. 154,53 (1998).■

9- طاقة لا محدودة*

يجيش الفضاء الخالي بكميات ضخمة من الطاقة. حبذا لو نستطيع استجرارها.

يُقدّم هنري بورتمان تقريراً حول آلة ميكروية مصممة لتحقيق ذلك.

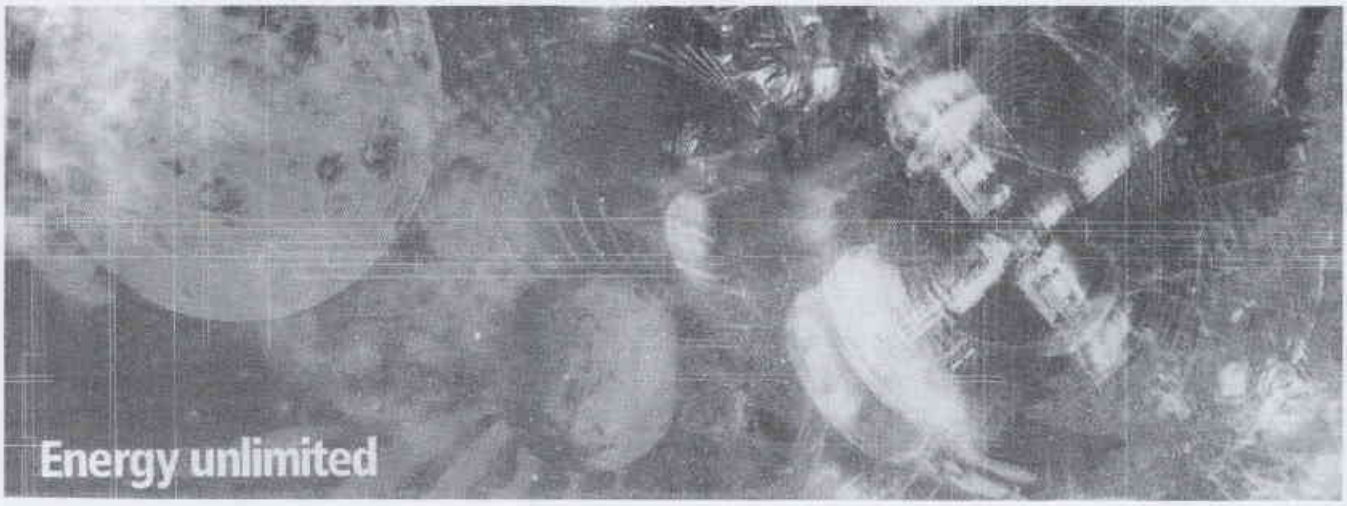
" إنني في البرهة الحالية مشغول مرة أخرى بالكهرطيسية، وأعتقد أنني أمسكت بشيء ثمين، لكنني لست جازماً بعد فلربما، وبعد كل هذا العناء، قد أمسكت عشبة عوضاً عن السمكة".

كان مايكل فارادي Michael Faraday هو الذي كتب العبارة السابقة. وبالفعل، فقد تحوّل صيده ليصبح سمكة كبيرة جداً. فأعمال فارادي بشأن العلاقة بين الكهرباء والمغنطيسية تعد ضمن مجموعة أهم الأبحاث التي ظهرت في القرن التاسع عشر، لكن كتاباته تُقدّم رؤية فريدة لما قد يواجه العالم من قلق وهو يعمل عند حافة المعرفة الإنسانية. ويمكنك القول بأن الباحث جوردان ماكلي J. Maclay هو الآن في موقع مماثل.

في العام الماضي، استطاع ماكلي تأمين تمويل من وكالة NASA لدراسة الطاقة في الخلاء، حيث تُشكل أبحاثه جزءاً من برنامج التقدم المعرفي في فيزياء الدفع Breakthrough Propulsion Physics الجاري تنفيذه لدى " مركز أبحاث غلن التابع لوكالة الفضاء والطيران الأمريكية NASA Glen Research Center في مدينة كليفلاند بولاية أوهايو. يهدف البرنامج المذكور إلى إيجاد طرائق جديدة للدفع يمكنها أن تزوّد مركبات الفضاء بالقدرة. وتتضمن خطة ماكلي بناء آلة صغيرة جداً قادرة

* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 22 January 2000. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



على قياس طاقة الخلاء هذه والقوى التي تستطيع توليدها. وإذا ما جرت الأمور على ما يرام، فإن ماكلي سيصيد سمكة من حجم هائل جداً، حيث يأمل الباحث المذكور بإيجاد طريقة يستثمر فيها هذه القوى لفعل شيء مفيد، كأن تُسيِّر مكبساً بالغ الصِغر، أو تسخّن الماء، أو تعمد حتى إلى تزويد مركبة فضاء بالقدرة. وفي الأسبوع القادم، سيقدّم ماكلي موجزاً لما ينوي القيام به وذلك في اجتماع المنتدى العام العالمي لتقانة الفضاء وتطبيقاتها، الذي سيعقد في مدينة ألباكركي بولاية نيومكسيكو.

ومعظم الناس يفترضون أن الخلاء فارغ من كل شيء، لكنه بموجب التحريك الكهربائي الكمومي، وهو النظرية التي تصف سلوك الكون على المقاس الشديد الصِغر، لا شيء يمكن أن يكون أبعد من الحقيقة. وبالفعل، يُزبد الخلاء بطاقة كهرمغنطيسية يطلق عليها اسم " طاقة نقطة الصفر zeropoint energy "، وهذه هي الطاقة التي يأمل ماكلي باستثمارها. و "الصفر" في نقطة الصفر يشير إلى حقيقة مفادها بأنك إن أردت تبريد الكون إلى درجة الصفر المطلق، أي إلى أخفض حالة ممكنة من حالاته الطاقية، فسوف يتبقّى هناك بعض الطاقة، بل سيتبقى فعلياً الكثير منها. ويختلف الفيزيائيون فيما بينهم حول مقدار هذا الجزء المتبقي من الطاقة، لكن ماكلي بيّن بالحساب أن أي منطقة من الخلاء بحجم بروتون واحد قد تحتوي على قدر من الطاقة يوازي كلّ المادة التي يحتوي عليها الكون برمته.

> يأمل ماكلي أنه بإجراء موازنة دقيقة للقوى يمكنه صنع هزاز دقيق مسوّق بقوى كازيمير

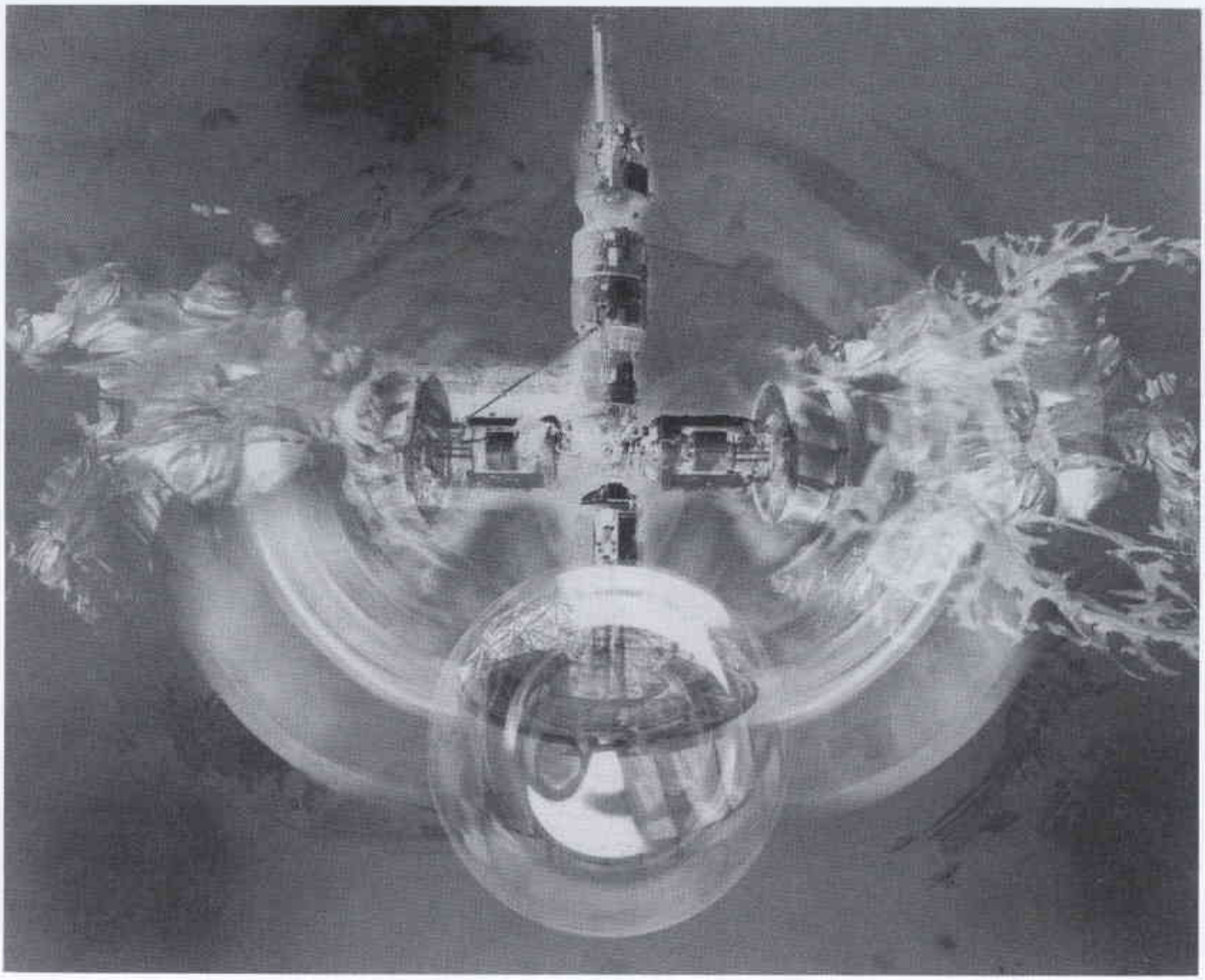
وفي عام 1948، اقترح فيزيائي هولندي يدعى هندريل كازيمير H. Casimir، خطة لاختبار وجود هذه الطاقة. فمن الناحية النظرية تأخذ طاقة الخلاء شكل جسيمات تتشكل وتختفي باستمرار على مقاس بالغ الصِغر. في الحالة الطبيعية يكون الخلاء ممتلئاً بجسيمات لها على وجه التقريب أي طول موجي لكن كازيمير حاول البرهان بأنك إن وضعت في الخلاء صفيحتين معدنيتين رقيقتين غير مشحونتين على مقربة شديدة من بعضهما فإن ذلك سيؤدي إلى استبعاد الأطوال الموجية الطويلة. ولا بدّ عندئذ أن تولّد الأمواج الإضافية خارج الصفيحتين قوة تنزع إلى دفعهما نحو بعضهما، وكلما اقتربت الصفيحتان من بعضهما كلما كان التجاذب أقوى شدة (راجع مقالة "رُجّ الخلاء لتولّد ضوءاً" العدد 56 من مجلة عالم الذرّة). وفي عام 1996، تمكن الفيزيائيون، ولأول مرة من قياس ما يسمى " أثر كازيمير Casimir effect".

أما ماكلي، وهو أستاذ سابق في الهندسة الكهربائية لدى جامعة إلينوي بمدينة شيكاغو، فكانت لديه الرغبة بالمضي قدماً، حيث أسس في مدينة ريتشلاند سنتر بولاية ويسكنسن شركة خاصة أطلق عليها اسم "الحقول الكمومية" وذلك من أجل تطوير أفكاره. وبالحساب توصّل ماكلي وآخرون غيره إلى نتيجة مفادها بأنه يمكن لأثر كازيمير توليد قوى تنافر وقوى تجاذب على حدٍّ سواء. هذا ولم يُركّز تحليل ماكلي على صفائح معدنية بل على علب معدنية منمنمة يبلغ طول الجانب الواحد منها قرابة 1 مكرومتر أو أقل أطلق عليها اسم " تجاويف cavities " (انظر الشكل المبيّن في الصفحة). وقد تبين فيما بعد أن قوة كازيمير واتجاهها يعتمدان على شكل التجويف. ويقول ماكلي في هذا السياق: " إذا كان لديك تجويف له شكل العلبة المخصصة لوضع فطيرة البيزا فإن الضغط على الجانبين الواسعين للعلبة سيدفع باتجاه انجذابهما، لكن القوة على الجانبين الضيقين ستدفع إلى تنافرهما.

والتجويف الذي يراه ماكلي أكثر تلبية لفضوله هو الشكل الطويل الرفيع أشبه بالعلبة المحتوية على ماسورة معجون الأسنان، لكنه بحجم يوازي تقريباً حجم جرثومة الإشريكية القولونية Escherichia coli. والشيء المهم حول هذا التجويف أن أحد جانبيه الطويلين يكون في وضع توازن مثالي، بمعنى أن يكون ضغطا الخلاء الداخلي والخارجي متساويين تماماً، لكن مثل هذا التوازن يبقى غامضاً غير محدد المعالم، وهذا ما يجعله مثيراً للاهتمام.

وينوي ماكلي بناء علبة يكون فيها الجانب، الذي في وضع توازن - ولنسميه الغطاء lid - حراً قابلاً للحركة. فعندما يتحرك الغطاء من نقطة التوازن قليلاً باتجاه الداخل ينخفض ضغط الخلاء داخل التجويف وينجذب الغطاء لمسافة أبعد نحو الداخل. ويحدث العكس إذا تحرك الغطاء باتجاه الخارج فيدفع الغطاء بعيداً. هذا مع العلم بأن مسافات التحريك المذكورة آنفاً هي مسافات بالغة الصِغر وأقل من 100 نانومتر.

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



وسوف يجري ربط الغطاء بنابض مجهري، الأمر الذي يؤدي عند تحرك الغطاء، إمّا إلى تمدد أو إلى انضغاط النابض ومن ثم نزوعه للعودة إلى وضعه الأصلي. ومن خلال إجراء موازنة دقيقة لضغط خلاء التجويف ولمرونة النابض وبإعطاء الغطاء النبضة الأولية المناسبة تماماً، يأمل ماكلي من استنباط هزّاز دقيق tiny oscillator مُسيَّر بقوى كازيمير.

وعلى أية حال يعد ما سبق ذكره السيناريو المثالي لما هدف إليه ماكلي، لكنه من السهل جعل الأشياء تبدو بشكل جيد عند وضعها على الورق.

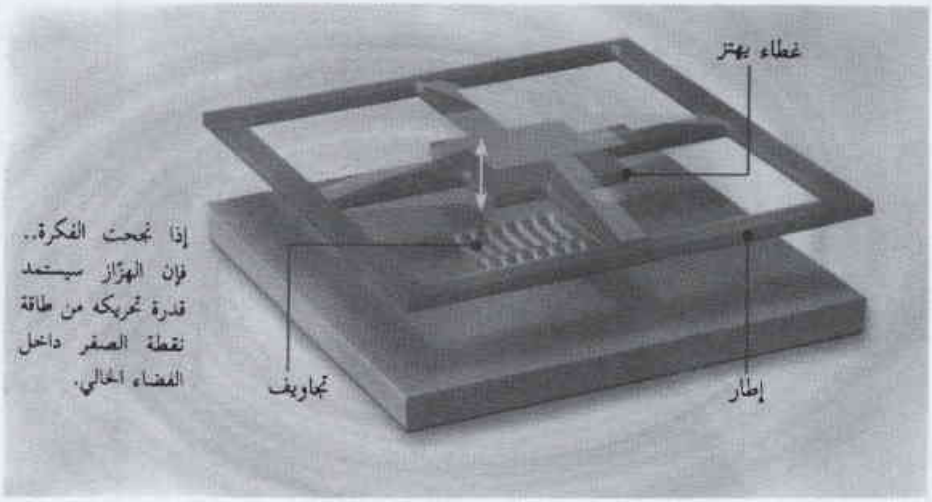
وحول هذا يقول ماكلي: " من الناحية النظرية، يمكن لأنواع الأشياء جميعها أن تهتز، ولكن هل يحصل هذا أيضاً في العالم الواقعي؟ حَسنٌ! هذا بالذات ما يجب علينا استقصاؤه".

وينوي ماكلي أن يجابه المشكلة على عدة مراحل، وحيث أنه لم يسبق مطلقاً أن جرى قياس قوى كازيمير التنافرية فإن واجبه الأول يملي عليه أن يستطلع فيما إذا كان بإمكانه إجراء مثل هذا القياس. بعد ذلك سيعمد إلى قياس القوى ذات الاتجاهين الداخل والخارج عند سطوح التجاويف بأشكال مختلفة وذلك كي يرى فيما إذا كانت متفقة مع التوقعات المقدرة لها. وإذا كانت نتائج جميع ما سبق ذكره مرضية، فسيكون عندئذ مستعداً لبناء تجويف هزّاز.

وتقع على عاتق رود كلارك R. Clark، وهو مهندس نووي سابق ويرأس حالياً شركة " MEMS Optical " (وهي شركة تقانة يقع مقرها في مدينة هنتسفيل بولاية ألاباما) التي تقوم بتصنيع نبائط مكروية كهرميكانيكية وحتى يتمكن من بناء تجاويف ماكلي من مادة السليكون، يأمل كلارك أن يستخدم الجمع بين تقنيتين تقليديتين، ألا وهما التنميش بالطباعة الحجرية والترسيب وهما التقنيتان المستخدمتان في صناعة الدارات المتكاملة.

وإن كلارك واثق من أنه يستطيع إنتاج التراكيب اللازمة، لكنه في نفس الوقت يدرك تماماً مستوى التحديات التي يواجهها والتي أوّلها تلك التي تتعلق بالحجم. فحسب ما أفاد به كلارك تقع المواصفات التي يطالب بها ماكلي عند أقصى حدود وصلت إليها حالياً تقانة التصنيع. وفي هذا السياق يقول كلارك: " نود أن نصنعها صغيرة كي نجعل القوى الناتجة منها كبيرة، لكننا لا نستطيع صنعها بحجم بالغ الصِغر وبالقدر الذي لا تتوفر لدينا عنده إمكانية التصنيع ".

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



وتنحصر الخطة الحالية لماكلي وكلارك في صنع صفيفة تضم مئات من تجاويف لا غطاء لها فوق ركازة، ومن ثم إيجاد غطاء مفرد يلائم تغطية الصفيفة بكاملها. وسوف يُعلّق هذا الغطاء على نوابض مثبتة فوق الصفيفة التي سيجري تحريكها في مراحل منمنمة باتجاه الغطاء. وفي بداية الأمر سيبقى الغطاء ساكناً، ولكن عندما تصبح التجاويف على مقربة كافية منه فإن الفرق في ضغط الخلاء سيجعله يتحرك ولربما ينتهي الأمر به لأن يهتز. ومن خلال النظر عبر مجهر إلى سطح الغطاء سيغدو ممكناً قياس انزياحه بدقة بالغة.

ولا يتوقع كل من ماكلي أو كلارك الحصول على نتائج سريعة ولو أنهما يأملان أن يتمكنا من بناء ثلاثة أجيال من النبائط.

ولا يزال ماكلي يحلم بإيجاد أنماط مختلفة من " ماكينات كازيمير " التي قد يغدو تنفيذها أمراً ممكناً فيما إذا تكللت تجاربه بالنجاح، ويتبادر إلى ذهنه - على سبيل المثال - استنباط رافعات، وبكرات، ومكابس مجهرية مُسيّرة بالخلاء. ولربما يغدو ممكناً استنباط آلة تحوي تجاويف تولد ضغوط خلاء مختلفة ومن ثم العمل على استثمار هذا الاختلاف بنفس الأسلوب الذي تستثمر فيه الآلة الحرارية اختلافات في درجة الحرارة. وفي هذا السياق يقول ماكلي: " ما نتطلع إليه الآن هو إيجاد أشياء بسيطة جداً لكنها ستستخدم في نهاية المطاف كمكونات لمنظومات أكثر تعقيداً، ولا بد بطريقة ما العبث بهذه الأشياء لنرى ما يمكنها فعله ".

كيف يُثمّن ماكلي فرص نجاحه؟ كإجابة على هذا السؤال يعلق ماكلي فيقول: " لو شعرت أن فرصة النجاح لعمل كهذا ستكون صفراً، ما أقدمت على تبديد وقتي للقيام به، وأنا مقتنع بأنني سأجد في النهاية بعض الأشياء المثيرة؛ أما بشأن ماهية هذه الأشياء والمنفعة المتوخّاة منها فلا أزال جاهلاً بهما.

وللسيد مارك ميليز M. Millis، الذي يرأس برنامج وكالة NASA لاختراق فيزياء الدفع NASA's Breakthrough Propulsion Physics programme، نظرة فلسفية تجاه ما يتعلق باحتمالات النجاح. ولا شك بأنه سيهتز طرباً إن استطاع ماكلي تسليمه مفاتيح قيادة الدفع البينجمي. وبصدد مشروع الدفع بكامله يقول ميليز: " سوف تكون دهشتي عظيمة جداً إن لم نستطع التوصّل إلى نوع ما من الاختراقات ". وفي حال استطاع ماكلي الإمساك بسمكته فسوف يحظى بشيء ينافس ظاهرة فارادي من حيث الأهمية. وكما قال فارادي في إحدى المرات: " لا شيء أعظم روعة من التوصّل إلى حقيقة واقعة تتماشى مع قوانين الطبيعة ".■

☆ ★ ☆

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

ورقات البحوث

البرهان على مساهمة عيبين متمايزين في الذروة H4 لطيف المصائد العميقة في InP المشعّع بالإلكترونات*

بسام المعصراني، رامي درويش
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية
محمد قعقع، فوزي عوض
قسم الفيزياء - جامعة دمشق

ملخص

استخدمت المطيافية الانتقالية للمصائد العميقة (DLTS) لدراسة العيب العميق ذي الذروة H4 وهو العيب الرئيسي الذي ينتج لدى تشعيع InP بالإلكترونات. وقد درست مميزات هذه الذروة في InP المشوب بـ Zn بدلالة عرض النبضة (t_p) قبل الإحماء وبعده. وتُبيّن نتائجنا وجود مصيدتين traps على الأقل تساهمان في H4، إحداهما مصيدة سريعة (سميناها $H4_F$) والثانية مصيدة بطيئة (سميناها $H4_S$). وقد تم البرهان على ذلك من خلال عدة نتائج تتعلق بطاقة التنشيط وبالمقطع العرضي للأسر وبعرض الذروة عند منتصف ارتفاعها (FWHM) وكذلك بانزياح درجة حرارة الذروة. وقد بيّنا أن كلتا المصيدتين هما عيبان في الشبيكة البلّورية الفرعية للفسفور ينتجان من التشعيع.

الكلمات المفتاحية: المطيافية الانتقالية للمصائد العميقة DLTS، عيب بلّوري، المقطع العرضي للأسر، طاقة التنشيط، إحماء.

مقدمة

كُرّس العديد من البحوث لدراسة العيوب البلّورية الناجمة عن تشعيع InP نظراً للأهمية المتزايدة لهذه المادة لاستخدامها في مجالات النبائط الإلكترونية والإلكترونية الضوئية وفي الخلايا الشمسية المقاومة للتخريب الإشعاعي [2,1]. إن العيوب التي تكشفها تقانة DLTS في عينات InP من النوع p المشععة في درجة الحرارة العادية هي مصائد الثقوب التي يرمز إليها بـ H4 و H5. وقد احتدّ النقاش لسنوات طويلة حول ماهية هذين العيبين [4,3]. وبينت قياسات معدل إحداث العيوب اللامتناحي أن H4 ينشأ في الشبيكة الفرعية P [5] بينما ينشأ H5 في الشبيكة الفرعية In [6]. كما بينت دراسات الإحماء، الحرارية المحضة وتلك المعززة باتحاد الثقوب والإلكترونات، أن هذه العيوب ليست عيوباً بسيطة وإنما هي عيوب مركبة تنشأ عن ارتباط العيوب الأولية بالشوائب. ويؤيد هذا التأويل سلوك زوالها المعقد [8,7]. فقد وجد أن حركية الزوال للعيب H4 في المادة المشوبة بـ Zn لا أُسيّة [10, 9, 5, 3] بينما هي أُسيّة في المادة المشوبة بـ Cd [11]. كما وجد أن العيوب الفارغة (من الثقوب) تزول بسرعة أكبر من زوال العيوب المملوءة [4]. وفي حين تزول معظم العيوب (أكثر من 90% منها) المكونة للذروة H4 لدى الإحماء الحراري، يبقى جزء منها لا يستهان به (نحو 25%) بعد الإحماء المعزز بحقن حوامل الشحنات [12].

وقد ذكر بعض الباحثين [13] حدوث تحول H4→H'4 نتيجة للإحماء الحراري أو لحقن الشحنات الأقلية، فالعيب H4 يزول نتيجة تحوله إلى مصيدة ثقوب أخرى (H'4) تؤدي إلى ظهور ذروة في طيف DLTS عند درجة حرارة الذروة H4 نفسها، لكن طاقة تنشيط العيب الجديد أعلى والمقطع العرضي للأسر أصغر بكثير ولذلك لا يمكن كشفه باستخدام تجهيزات DLTS العادية، وإنما يحتاج الأمر إلى معدات إلكترونية خاصة تؤمن نبضات عريضة جداً (4s) لملء المصائد.

تهدف هذه الورقة إلى تقديم البرهان التجريبي على وجود مصيدتين متمايزتين على الأقل تساهمان في الذروة H4 من طيف DLTS وإلى تعيين مميزاتهما. إن الطريقة المتبعة عادة لفصل ذروتين متراكبتين في طيف DLTS تعودان إلى مصيدتين تختلفان في مقطعيهما العرضيين للأسر هي استخدام نبضات قصيرة الأمد (t_p) لملء المصائد السريعة فقط، ذلك أن الجزء n_T الذي تملؤه النبضة يعطى (في المادة من النوع p) بالعلاقة:

$$n_T = N_T[1-\exp(-C_p t_p)] \qquad (1)$$

حيث N_T هو تركيز المصائد الكلي و C_p هو معدّل أسر الثقوب الحرة. إن تغير وسعية ثنائي شوتكي Schottky المطبق عليه انحياز عكسي بنتيجة تطبيق نبضة في الاتجاه الأمامي (حتى الانحياز صفر) عرضها t_p يعطى بالعلاقة:

$$\Delta C(t_p) = \Delta C_{max}[1-\exp(-C_p t_p)] \qquad (2)$$

حيث ΔC_{max} هو تغير الوسعية الأعظمي الناجم عن ملء كل المصائد N_T. ويتعلق C_p بدرجة حرارة الذروة T_m وفق العلاقة:

$$C_p = \sigma v p = \sigma_\infty v p \exp(-E_B/kT_m) \qquad (3)$$

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *The American Physical Society*, Vol. 58, No. 20, 15 November 1998.

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

حيث σ هو المقطع العرضي لأسر الثقوب و v السرعة الحرارية الوسطية للثقوب وp تركيز الثقوب الحرة و E_B طاقة حاجز الأسر و k ثابت بولتزمان.. وبما أن T_m تتزايد مع تزايد تواتر النبضات f فيمكن أن نملأ الجزء n_T الذي نشاء بواسطة تطبيق النبضات المناسبة التي عرضها t_p وتواترها f. ولكي نتمكن من كشف المصائد البطيئة فلا بد من زيادة الجداء $C_p t_p$ الذي يعين الجزء من المصائد الذي تملؤه النبضة. وبما أن C_p متناسب تقريباً مع f فينبغي إذن زيادة كل من t_p و f. إلا أن هناك حداً لهذه الزيادة في الطريقة التي تستخدم محلل lock-in المضاعف، وهو $t_p f < 1/4$.

سوف نورد في المقطع التالي التفصيلات التجريبية، وفي المقطع III نورد النتائج المتعلقة بـ H4. أما المقطعان IV و V فمكرّسان لمناقشة النتائج وللخاتمة.

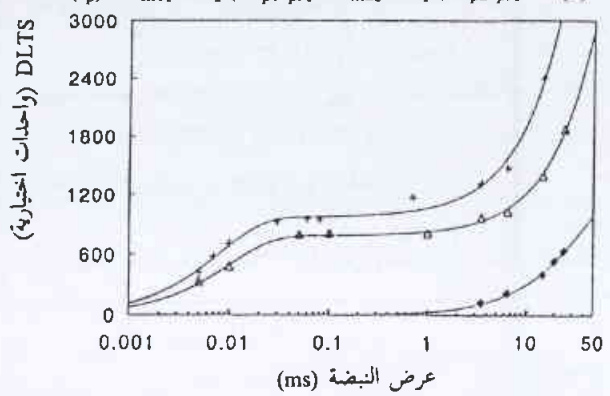
التفصيلات التجريبية

إن العينات المستخدمة في هذا البحث مماثلة للعينات التي كانت موضوع دراسة سابقة [6]. وهي مجموعة متماثلة من ثنائيات شوتكي المصنوعة من InP المشوب بـ Zn بطريقة التنضيد من الطور السائل (LPE) على ركائز من InP من النوع p^+ المشوب بـ Zn وقد جهزت التماسات الأومية على الجانب p^+ بواسطة الترسيب بتبخير Au-Zn، أما حواجز شوتكي فقد صنعت بتبخير Au-Ti على الجانب المنضّد. وكان تركيز الثقوب، الذي عين من قياس الوسعية بدلالة الفولطية عند درجة الحرارة العادية، نحو 1.2×10^{17} cm^{-3}. وقد أجري تشعيع العينات عند درجة الحرارة العادية باستخدام مسرّع إلكترونات من النوع فاندوغراف في مجال طاقة الإلكترونات بين 0.3 و 1.6 MeV. واختيرت الجرعات الإلكترونية بطريقة تجعل تركيز الثقوب الحرة بعد التشعيع لا تختلف عن تركيزها قبله بأكثر من 10%. ولكي يُضمن عدم ارتفاع درجة حرارة العينة أثناء التشعيع أكثر من 10°C لم تزد كثافة تيار الإلكترونات عن 0.5 μAcm^{-2}. سجلنا منحنيات C-V وأطياف DLTS بعد التشعيع وبعد كل إحماء متساوي درجة الحرارة مع تطبيق انحياز عكسي مقداره 2.5 V أو بدونه. وقد اخترنا أن يكون معدل رفع درجة حرارة العينة أثناء تسجيل أطياف DLTS منخفضاً لا يتجاوز 3 درجات في الدقيقة وصممنا حاملاً خاصاً للعينة ذا سعة حرارية كبيرة لضمان التجانس الحراري بين العينة والمزدوجة الكهرحرارية. وقد وجدنا أن هذا الترتيب أساسي لكشف الانزياحات الصغيرة في درجة حرارة ذروة الطيف DLTS كما اخترنا سعة نبضة الملء ΔV صغيرة تساوي 1V فقط لنضمن البقاء في الجزء الخطي من المنحني الممثل لتغيرات ارتفاع الذروة S بدلالة ΔV وذلك من أجل قيمة t_p وهذا ما يقلل من أثر الحقل الكهربائي الداخلي [14]. سجلنا أطياف DLTS باستخدام مقياس الوسعية Boonton والمحلل lock-in المضاعف PAR-5204 لسلسلة من قيم عرض نبضة الملء t_p تتراوح قيمها بين 5×10^{-6} و 5×10^{-2}s باستخدام سلسلة من قيم تواتر النبضة f في المجال من 1 وحتى $0.1/t_p$ Hz. وقسنا لكل ذروة H4 مسجلة، المقادير التالية: ارتفاعها S وعرضها عند منتصف الارتفاع ΔT ودرجة حرارة نهايتها العظمى T_m.

النتائج

يبين الشكل 1 ارتفاع الذروة H4، بدلالة عرض النبضة t_p على سلم لوغارتمي وذلك قبل الإحماء الحراري عند الدرجة 110°C وبعده مع تطبيق انحياز عكسي على العينة مقداره 2.5V (المصائد فارغة). تتفق هذه النتائج اتفاقاً جيداً مع المنحنيات المرسومة وفق العلاقة التالية، التي هي مجموع علاقتي ملء (2) بعد إعطاء المقادير S_{m1} و S_{m2} و C_{p1} و C_{p2} القيم المناسبة:

$$S(t_p) = S_{m1}[1-\exp(-C_{p1}t_p)] + S_{m2}[1-\exp(-C_{p2}t_p)] \quad (4)$$



الشكل 1– تغير ارتفاع الذروة بدلالة عرض نبضة الملء (سلم لوغارتمي) قبل الإحماء (+) وبعد الإحماء عند الدرجة 110°C مع انحياز عكسي 2.5 V لمدة 10 دقائق (Δ). ولمدة 60 دقيقة (◇).

وهذا ما يشير إشارة قوية إلى أن S هو مجموع إشارتين S_1 و S_2 ناتجتين من عيبين مختلفين: أحدهما سريع ($H4_F$) يعطي إشارة تشبع عند $t_p = 0.05$ ms تقريباً والآخر بطيء ($H4_S$) يعطي إشارة تبدأ عند $t_p = 0.5$ ms تقريباً ولا تبلغ الإشباع حتى وإن جعل $t_p > 50$ ms. ويمكن أن نرى من الشكل 1 كذلك أن الإحماء الحراري يؤدي إلى نقصان إشارة H4 عند كل قيم t_p. ويؤدي الإحماء لمدة 100 دقيقة تقريباً إلى أن تصبح الإشارة غير قابلة للكشف عملياً في مجال t_p الصغيرة ($t_p \leqslant 0.5$ ms) بينما يبقى نحو 20% من الإشارة الابتدائية في مجال قيم t_p الكبيرة ($t_p \geqslant 10$ ms). ولا تتغير الإشارة المتبقية حتى بعد الإحماء لعدة ساعات في درجة حرارة أعلى (حتى 150°C).

وبغية تعيين المميزات الرئيسة لهذين العيبين سوف نعرض نتائجنا المستخلصة من سلسلة أطياف DLTS التي سجلناها لصنفين من العينات المشععة: عينات تعرضت لإحماء كامل وعينات لم تتعرض لأيّ إحماء. ونقصد بالإحماء الكامل زوال العيب السريع زوالاً كاملاً.

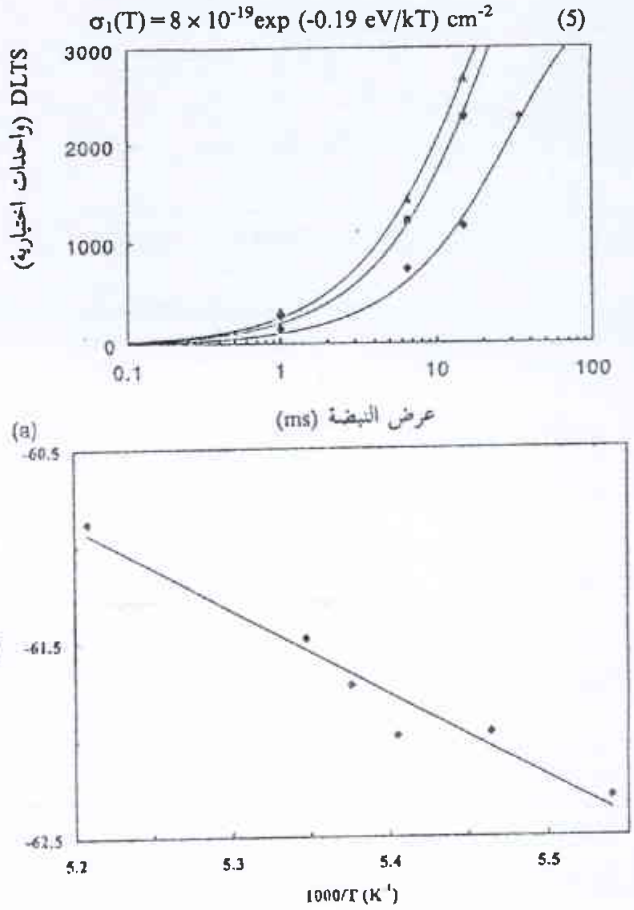
آ) العينات التي تعرضت لإحماء كامل

نجد لهذه العينات، حين تُطبق عليها نبضات ملء عريضة نسبياً ($t_p \geqslant 1$ms)، ذروة H4 لا يستهان بها حتى بعد أن تكون قد تعرضت لإحماء لمدة عدة ساعات عند الدرجة 150°C. يزداد ارتفاع الذروة بازدياد t_p وفقاً لعلاقة الملء (2) (الشكل 2a). لقد عيّنا المقطع العرضي

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

لأسر الثقوب σ_1 عند درجات حرارة مختلفة باستخدام محلل lock-in المضاعف [15] وقد وجدنا (الشكل 2a) أنه يستحيل من الناحية العملية ملء كل المصائد لتحديد N_T، لكننا حصلنا على قيمة الإشباع ΔC_{max} بواسطة المواءمة الحاسوبية. ويبين الشكل 2b الرسم البياني لتغيرات $\ln\sigma_1(T)$ بدلالة 1/T الذي استخلصنا منه العبارة التالية للمقطع العرضي σ_1:

$$\sigma_1(T) = 8 \times 10^{-19} \exp(-0.19\ eV/kT)\ cm^{-2} \qquad (5)$$

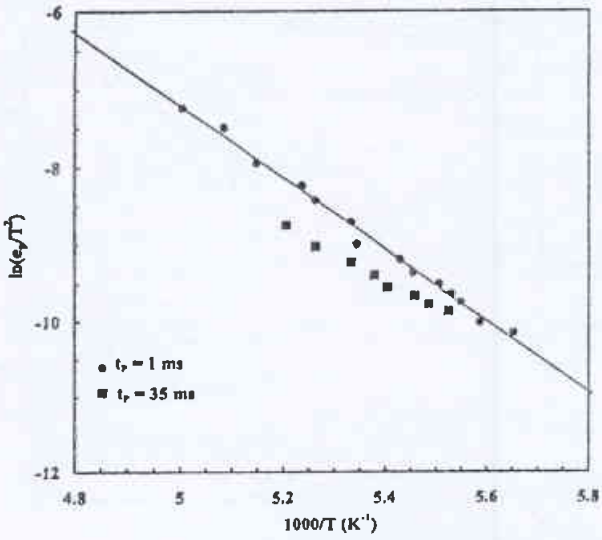


الشكل 2– (a) تغير ارتفاع الذروة H4 بدلالة عرض نبضة الملء (سلم لوغارتمي) في العينات المعرضة للإحماء من أجل تواتر 5.55Hz(Δ)؛ 3.33Hz (●)؛ 1.40Hz (◇). تتفق النتائج التجريبية اتفاقاً جيداً مع المنحنيات الممثلة لعلاقة الملء (2)، (b) $\sigma_1(T)$ بدلالة 1/T.

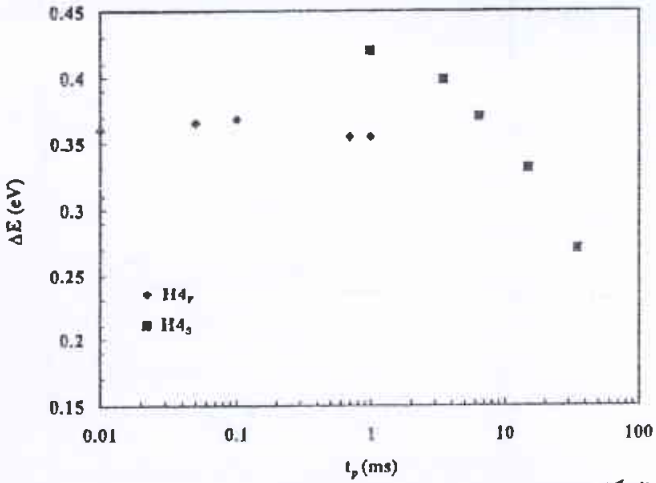
أما الخط البياني، المسمى بصمة (أو توقيع) العيب، فهو مبين في الشكل 3 الذي يعطي $\ln(e_p/T^2)$ بدلالة 1/T وفق العلاقة:

$$e_p = \gamma\sigma T^2_m \exp(-\Delta E/kT_m) \qquad (6)$$

حيث e_p هو معدل إصدار الثقوب و γ ثابتة تتعلق بالكتلةالفعالة لحوامل الشحنات وبمعامل الانطباق degeneracy factor. وقد وجدنا أن طاقة التنشيط الظاهرية ΔE_1 المعينة من البصمة تتناقص من 0.42 إلى 0.3eV حين تزداد t_p من 1 إلى 50 ms كما هو مبين في الشكل 4 وهذا ما سنناقشه في المقطع التالي. ويبين الشكلان 5a و 5b أن زيادة t_p تؤدي إلى زيادة في درجة حرارة النهاية العظمى T_{m1} وإلى تناقص في العرض



الشكل 3– بصمة $H4_F$ (في العينات المعرضة للإحماء) مسجلة عند $t_p = 1$ ms وعند $t_p = 35$ ms.



الشكل 4– طاقة تنشيط $H4_F$ و $H4_I$ بدلالة t_p.

$3\Delta T_1$ للذروة H4. إن عرض ذروة DLTS عند منتصف ارتفاعها (FWHM) يمكن أن يحسب من اشتقاق العلاقة (6) بالنسبة إلى T [16]. ويبين الشكل 6 أن قيم ΔT_1 المقيسة عند $t_p = 35$ ms تتعلق بشكل جيد مع المنحني النظري المرسوم من أجل $\Delta E = 0.4$ eV بينما تكون القيم المقيسة $t_p = 1$ ms أعلى قليلاً من المنحني. وهذا ما سنناقشه كذلك في المقطع التالي.

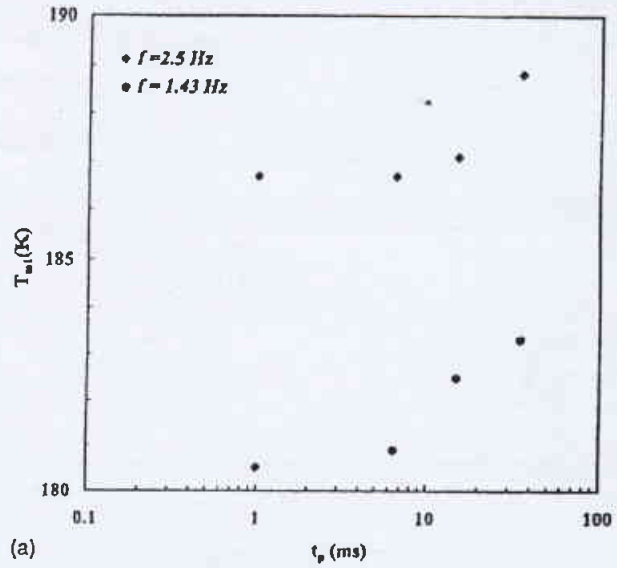
ب) العينات التي لم تتعرض لأي إحماء

نستطيع بعد أن عينّا C_{p1} للعيب البطيء، أن نجعل الحد الأول في العلاقة (4) صغيراً بقدر ما نشاء إذا اخترنا قيمتي t_p و f اختياراً مناسباً. ذلك أننا يمكن أن نضع الشرط اللازم لملء العيب السريع لوحده كما يلي: $C_{p1}t_p < 0.01$. في هذه الحالة لا يملأ من العيب البطيء سوى أقل من 1%. وقد حسبنا المقطع العرضي للأسر لهذا العيب السريع σ_2، فوجدنا:

$$\sigma_2(T) = 1.9 \times 10^{-18} \exp(-0.05\ eV/kT)\ cm^2 \qquad (7)$$

وهو أعظم بخمس مراتب كبر من σ_1 عند الدرجة 150 K.

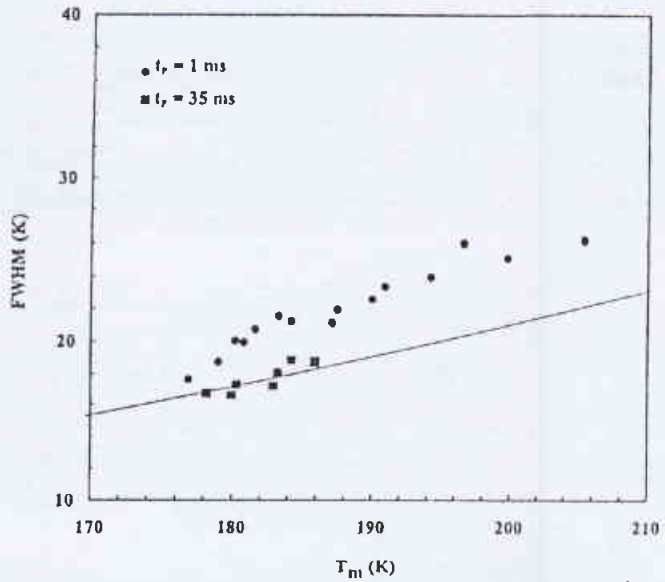
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



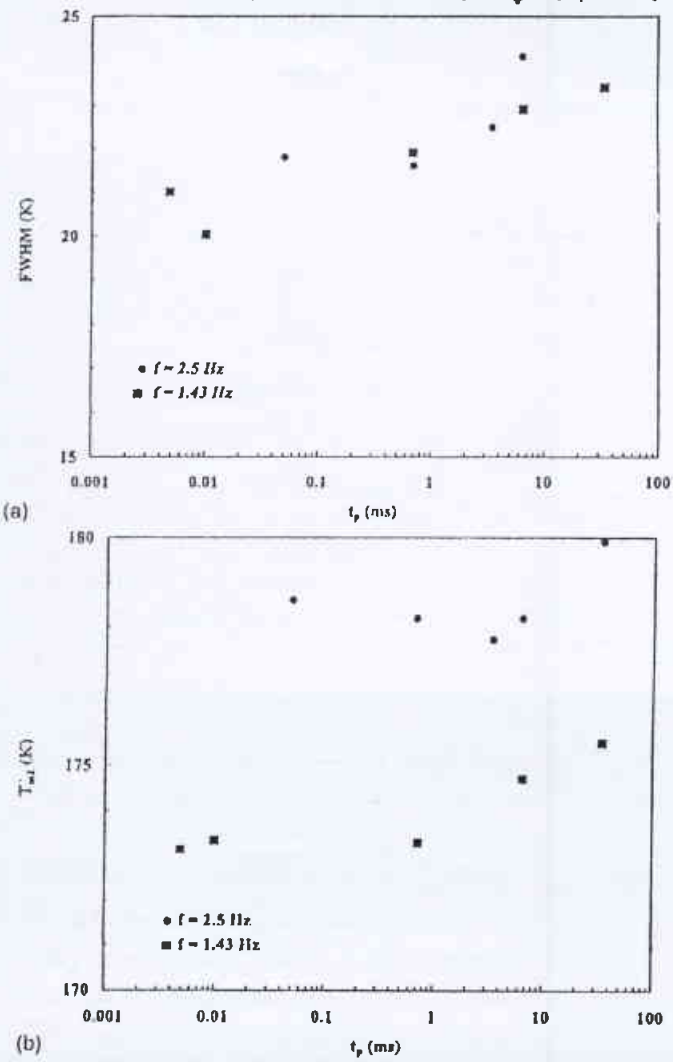
الشكل 5– درجة حرارة الذروة H4 (a) وعرضها FWHM (b) بدلالة t_p من أجل قيمتين مختلفتين للتواتر في العينات المعرضة للإحماء.

لقد وجدنا أن طاقة التنشيط الظاهرية ΔE_2 المعينة من بصمة العيب تساوي 0.36 ± 0.01eV كما وجدنا أنها لا تتغير تغيراً ملحوظاً مع تغير t_p (الشكل 4).

يظهر الشكلان 7a و7b ازدياد عرض الذروة الكلي عند منتصف ارتفاعها بازدياد t_p ابتداءً من قيمة t_pالمساوية تقريباً 1ms وهي القيمة المقابلة لبدء مساهمة $H4_s$ كما أن درجة حرارة الذروة T_m تبدأ بالازدياد عند قيمة t_p المذكورة نفسها. وقد قارنّا في الشكل 8 قيم ΔT_2 المقيسة مع المنحني النظري المرسوم من أجل $\Delta E = 0.35$eV فوجدنا اتفاقاً جيداً جداً من أجل $t_p = 0.05$ms في مجال درجات الحرارة العالية، أما في مجال درجات الحرارة المنخفضة، ومن أجل $t_p = 15$ms فقد كان عرض الذروة أكبر بشكل واضح وسنناقش ذلك في المقطع التالي.



الشكل 6– العرض FWHM للذروة H4 بدلالة درجة الحرارة المسجلة عند $t_p = 1$ms و $t_p = 35$ms والمنحني النظري لتغير ΔT بدلالة T_m من أجل $\Delta E = 0.40$ eV.



الشكل 7– العرض FWHM للذروة H4 (a)، ودرجة حرارتها (b) بدلالة t_p من أجل قيمتين مختلفتين للتواتر في العينات غير المعرضة للإحماء.

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

المناقشة

لقد تمكنّا من فصل الذروة H4 إلى مركّبتين بسبب الاختلاف الكبير بين مقطعيهما العرضيين للأسر وبين معدّلي الزوال لهما. وقد أتاح لنا هذا أن نُعيّن المميزات الرئيسة لهذين العيبين. ويمكن تفسير السلوك اللاأسي لزوال H4 في العينات المشوبة بـ Zn [8,5] إذا أخذنا بعين الاعتبار أن الذروة H4 المقيسة مؤلفة من مركبتين إحداهما تزول عند درجة الحرارة T بمعدل زوال K في حين أن معدل زوال المركبة الأخرى عند درجة الحرارة هذه صغير إلى حد كبير:

$$S = S_1 + S_2 \exp[-K(T)t] \qquad (8)$$

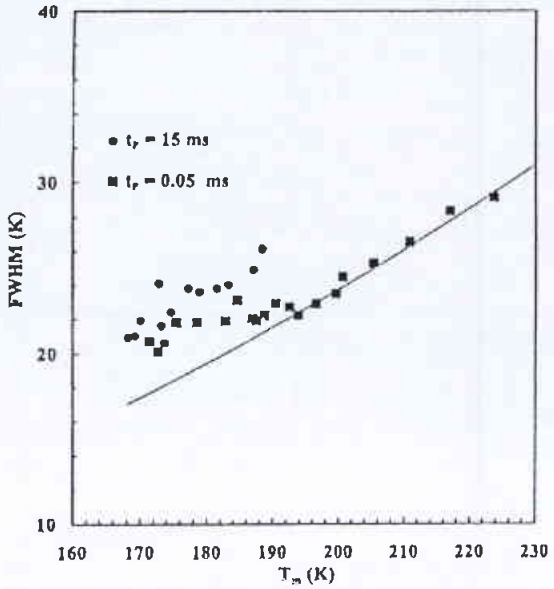
حيث تمثل S_1 المركبة المستقرة الناجمة عن العيب البطيء بينما تُمثّل S_2 المركبة الناجمة عن العيب السريع و t مدة الإحماء. وتشير حقيقة أنّ الزوال اللاأسي يُلاحظ في العينات المشوبة بـ Zn وليس في تلك المشوبة بـ Cd إلى أن العيب البطيء، المستقر، ينسب إلى مركب مؤلف من الشائبة Zn وعيب. ولا بد من إجراء اختبارات أخرى على InP المشوب بـ Cd للتأكد من عدم تشكل العيب البطيء فيه.

لم تكشف لنا سعات الذروة H4 المقيسة قبل المعالجة بالحرارة (التي تزيل $H4_F$) وبعدها أية زيادة في $H4_s$ نتيجة لتحول $H4_F \rightarrow H4_s$ محتمل. وهذا يدل على أن كلا العيبين ينشآن أثناء التشعيع. أما ازدياد كل من العرض FWHM و T_m مع ازدياد $t_p > 1ms$ الذي لاحظناه في العينات غير المعرّضة لأي إحماء (الأشكال 8,7b,7a) فيمكن تفسيره بسهولة إذا أخذنا في الحسبان وجود مركبتي H4 السريعة والبطيئة.

أما ازدياد FWHM الملاحظ في مجال درجات الحرارة المنخفضة من الشكل 8 فمن المحتمل أن يكون ناجماً عن تأثير الحقل الكهربائي الداخلي على معدل الإصدار، هذا التأثير الذي تكون أهميته أكبر عند درجات الحرارة المنخفضة [17] وقد يكون تناقص FWHM مع ازدياد t_p الذي لاحظناه في العينات المعرضة للإحماء (الشكل 5b) ناتجاً عن وجود مصيدة مشبعة ذات درجة حرارة T_m أدنى بقليل وذات تركيز منخفض. إن زيادة t_p تزيد من مساهمة $H4_s$ حتى يصبح هو المهيمن في النهاية في حين تبقى مساهمة العيب المشبع ثابتة. وهذا ما يؤكده الازدياد الحاصل في T_m مع ازدياد t_p كما هو ظاهر في الشكل 5a. ويظهر كذلك في الشكل 6 أن قيم العرض FWHM المقيسة عند $t_p = 1ms$ في العينات المعرضة للإحماء هي أكبر من تلك المقيسة عند $t_p = 35$ ms.

إن تناقص طاقة التنشيط الظاهرية ΔE_1 في العينات المعرضة للإحماء مع ازدياد t_p (الشكل 4) عائد إلى حقيقة أنه عندما يزداد t_p تزداد T_m كذلك (انظر الشكل 5a). وهذا يفسر انزياح النقاط التجريبية من أجل $t_p = 35$ ms نحو قيم T_m الأعلى مقارنة بتلك المقيسة من أجل $t_p = 1$ ms كما هو واضح من الشكل 3. إلا أنه لا يمكن إجراء القياسات عندما تكون قيمة t_p كبيرة إلا عند التواترات المنخفضة فقط أي عند قيم T_m المنخفضة وفي مجال ضيق نسبياً من 1/T، ولذلك لا تكون قيمة التنشيط المستنتجة دقيقة. لقد لاحظنا (الشكل 3) نقصاناً بسيطاً في ميل البصمة عند طرفها من ناحية درجات الحرارة المنخفضة. وهذا عائد على الأرجح إلى تأثير الحقل الكهربائي الداخلي الذي تزداد أهميته عند قيم T_m المنخفضة في الديودات عالية درجة الإشابة. وقد حسبنا قيمة هذا الحقل في ديوداتنا فوجدناها تقارب $1.5 \times 10^7 V/m$ وهذا يخفض قيمة طاقة التنشيط المستخدمة من جزء البصمة الواقع في مجال درجات الحرارة المنخفضة تخفيضاً إضافياً.

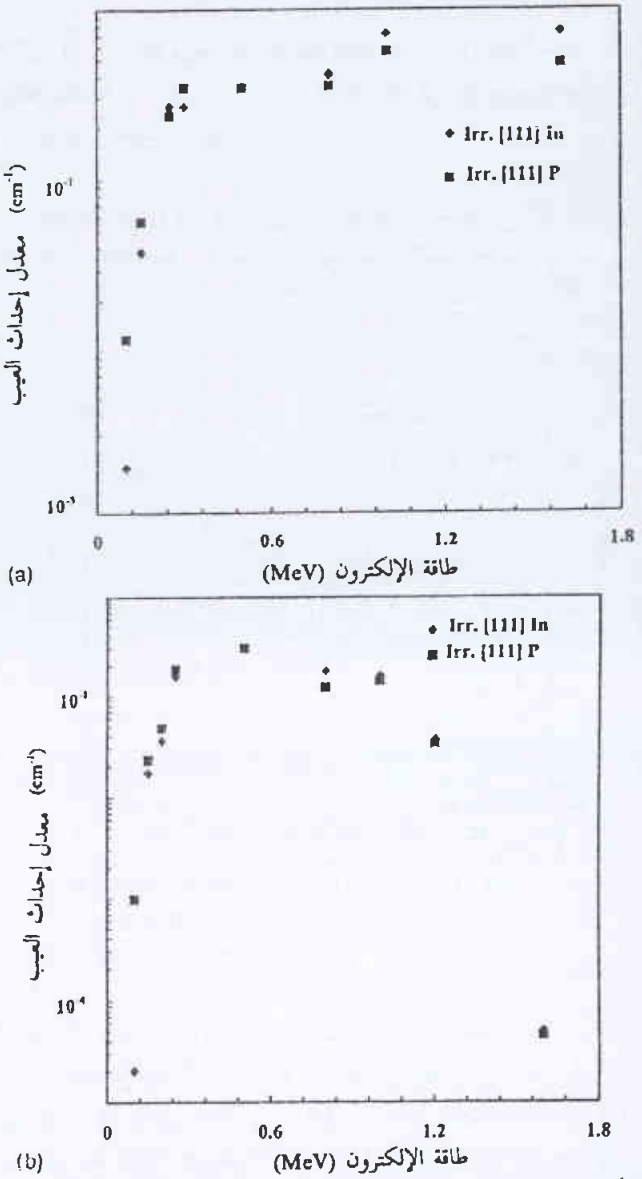
اعتبرت الذروة H4 في كثير من الدراسات السابقة كما لو أنها تعود إلى نوع واحد فقط من العيوب، وفي ضوء نتائجنا الحالية التي بينا فيها



الشكل 8– العرض FWHM للذروة H4 بدلالة درجة حرارتها المسجلة عند $t_p = 0.05$ms و $t_p = 35$ms والمنحني النظري لتغير ΔT بدلالة T_m من أجل $\Delta E = 0.35$ eV.

بجلاء أن نوعين على الأقل من العيوب يساهمان في هذه الذروة لا بد من إعادة النظر في هذه الدراسات. وبصورة خاصة قيس في العمل [6] معدل إحداث H4 كتابع لطاقة إلكترونات التشعيع وذلك من أجل اتجاهي تشعيع متعاكسين هما P[111] و In[111]. وخلصت الدراسة إلى أن العيب المؤدي إلى الذروة H4 ينشأ في شبكة الفسفور الفرعية. لقد جرى قياس ارتفاع الذروة في المرجع [6] بعد التشعيع (أي قبل أي إحماء) باستخدام نبضات ملء عرضها 5ms وهذا يعني أن الذروة المقيسة تقابل $H4_F + H4_s$. ويبين الشكل 9a النتائج السابقة نفسها إنما بعد طرح $H4_s$. أما نتائج القياسات التي أجريت على الذروة المتبقية المسجلة بعد الإحماء (لمدة ساعة عند الدرجة 150°C)، وهي التي تقابل $H4_s$، فتُرى في الشكل 9b. وقد صححنا في هذا الشكل قيم معدل الإحداث η بحيث نأخذ بالحسبان أن النبضة التي عرضها 5ms لا تملأ سوى نحو 20% من هذه العيوب. ونستطيع أن نستنتج من الجزء المتعلق بالطاقات المنخفضة من هذين الشكلين، حيث نرى أن $\eta[111]In > \eta[111]P$، أن كلاً من $H4_F$ و $H4_s$ ينشأ في الشبكة الفرعية P. غير أن السمة الهامة لهذين الشكلين هي أنه حين تزداد طاقة الإلكترونات يميل كل من معدلي الإحداث $\eta[111]P$ و $\eta[111]In$ للازدياد ازدياداً طفيفاً بالنسبة للعيب $H4_F$، في حين أنه بالنسبة للعيب $H4_s$ يميل كلا المعدلين إلى الانخفاض خلافاً لسلوك الإشباع الذي يتنبأ به نموذج ماكنلي – فيشباخ [18] للتصادم

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



الشكل 9– معدل إحداث العيب $H4_F$ (a) والعيب $H4_s$ (b) بدلالة طاقة إلكترونات التشعيع في الاتجاهين In [111] و P[111].

الأولي إلكترون – ذرة. ويدل هذا السلوك على دور محتمل للتصادمات الثانوية ذرة – ذرة في إحداث هذه العيوب [20,19,6,5]. إلا أن أية محاولة لتحديد هوية العيبين المسؤولين عن $H4_F$ و$H4_s$ لا بد أن تأخذ بعين الاعتبار الحقائق التالية:

1) يوجد $H4_F$ في المادة المشوبة بـ Cd أو بـ Zn بينما لا يوجد $H4_s$ إلا في المادة المشوبة بـ Zn.

2) ينشأ كل من $H4_F$ و $H4_s$ أثناء التشعيع بالإلكترونات في درجة الحرارة العادية (انظر الشكل 1) ولم نتمكن من إيجاد مؤشر على تحول أحدهما إلى الآخر أثناء الإحماء.

3) ينشأ كل من $h4_F$ و $H4_s$ في الشبكة الفرعية P (الشكلان 9b و 9a).

4) بينما تؤدي التصادمات الثانوية إلى زيادة طفيفة في معدل إحداث $H4_F$ عند طاقات إلكترونات التشعيع العالية، يلاحظ العكس بالنسبة إلى $H4_s$.

5) إن معدل زوال $H4_F$ أعلى بكثير من مثيله لـ $H4_s$ ويزول $H4_F$ وفق حركية من المرتبة الأولى. ويعتمد معدل زواله اعتماداً كلياً على شحنته كما يمكن إزالته بواسطة حقن الحوامل الأقلية.

6) إن المقطع العرضي لأسر الثقوب (عند الدرجة 150°K) وكذلك طاقة حاجز الأسر هما أصغر كثيراً للعيب $H4_s$ منهما للعيب $H4_F$.

يمكننا تحديد هوية العيب $H4_F$ بصورة تتفق مع الحقائق 1–5 بأحد شكلين: إما أن تكون فجوة الفسفور V_pأو يكون زوج فرنكل V_p-P_i المؤلف من فجوة وحشوة. وهذا يتفق مع ما اقترحه عدد من الباحثين [8,7,2]. أما $H4_s$ فيمكن أن نحدد هويته مبدئياً على أنه V_p - Zn. وفي الحقيقة فإن التناقص الملاحظ في معدل الإحداث مع ازدياد طاقة الإلكترونات يعني انخفاض احتمال تشكيل V_p مجاورة لذرة Zn لتشكل فجوات مضاعفة (V_p - P_p) أو مركبات أخرى نتيجة للتصادمات الثانوية بين ذرة P المزاحة وذرة P في الجوار الثاني أو حتى ذرة In في الجوار الأول. وينتج هذا بسبب ازدياد كل من زاوية الارتداد الوسطية والطاقة المنتقلة إلى الذرة المزاحة مع ازدياد طاقة الإلكترونات [21].

من الواضح أنه لا بد من إجراء المزيد من الدراسات النظرية لأخذ المميزات النوعية التي وجدناها للعيبين $H4_F$ و $H4_s$ بالحسبان. أما من وجهة النظر التجريبية فسيكون من المفيد تبيان ما إذا كان معدل إحداث $H4_s$ يزداد بازدياد تركيز Zn.

الخاتمة

اقترحنا نموذجاً بسيطاً مفاده وجود مصيدتي ثقوب متمايزتين تحدثان أثناء التشعيع وتساهمان في الذروة H4 لطيف DLTS: واحدة سريعة ($H4_F$) ذات مقطع عرضي كبير لأسر الثقوب وطاقة تنشيط منخفضة ($\Delta E_2 = 0.36$ eV) وتزول عند الدرجة 110°C، والأخرى بطيئة ($H4_s$) ذات مقطع عرضي للأسر أصغر كثيراً وذات طاقة تنشيط أعلى ($\Delta E_1 = 0.42$ eV) وهي مستقرة لا تزول حتى عند درجات حرارة أكثر ارتفاعاً. ومن المحتمل وجود عيب ثالث ذي تركيز منخفض يساهم في الذروة نفسها. يفسر هذا النموذج كافة النتائج التجريبية ويفسر على وجه خاص السلوك اللاأسي لزوال H4 في العينات المشوبة بـ Zn كما يفسر انزياح درجة حرارة الذروة لدى الإحماء وتغير عرضها بتغير عرض نبضة الملء t_p.

وعلاوة على ذلك فقد مكننا تحليل النتائج المتعلقة بمعدلات الإحداث اللامتناحية من أن نبين أن كلا العيبين ($H4_F$و $H4_s$) ينتميان إلى شبكة الفسفور الفرعية.

المراجع

REFERENCES

[1] M.Yamaguchi, C. Uemura, A. Yamamoto, and A.Shibukawa, Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 23, 30 (1984).

[2] M. Yamaguchi and K. Ando, J. Appl. Phys. 63, 5555 (1988).

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

[3] A. Sibille, J. Suski, and M. Gilleron, J. Appl. Phys. 60, 595 (1982).

[4] J. Suski, A. Sibille, and J. C. Bourgoin, Solid state Commun. 49, 875 (1984).

[5] A. Sibille, J. Suski, and G. LeRoux, Phys. Rev. B 30, 1119 (1984).

[6] B. Massarani and J. C. Bourgoin, Phys. Rev. B 34, 2470 (1986).

[7] K. Ando, M. Yamaguchi, and C. Uemura, Phys. Rev. B 34, 3041 (1986).

[8] A. Sibille, Phys. Rev. B 35, 3929 (1987).

[9] A. sibille, Solid State Commun. 46, 673 (1983).

[10] K. Ando, M. Yamaguchi, H Yamamoto, and C. Uemura, in Title, edited by Editor(s), Full Journal Title (Publisher, City, 1985), p. 770.

[11] T. Bretagnon, G. Bastide, and M. Rouzeyre, Phys. Rev. B 40, 3749 (1984).

[12] S.R. Messenger, R. J. Walters, and G. P. Sumers, J. Appl. Phys. 71, 4201 (1992).

[13] T. Bretagnon, G. Bastide, and M. Rouzeyre, Phys. Rev. B 41, 1028 (1990).

[14] D. Pons, P. M. Mooney, and J. C. Bourgoin, J. Appl. Phys. 51, 2038 (1980).

[15] E. Simoen, P. Clauws, M. Lamon, and J. Vennik, Semicond. Sci. Technol. 1, 53 (1989).

[16] D. Pons, These 3ème cycle, Université Paris 7, 1979.

[17] G. Vincent, A.Chantre, and D. Bois, J. Appl. Phys. 50, 5484 (1979).

[18] W. A. McKinley, Jr. and H. Feshbach, Phys. Rev. 74, 1759 (1948).

[19] D. Pons and J. C. Bourgoin, Phys. Rev. Lett. 47, 1293 (1981).

[20] D. Pons, J. Appl. Phys. 55, 2839 (1984).

[21] F. Seitz and J. S. Koehler, In Solid State Physics, edited by H. Ehrenreich, F. Seitz, and Turnbull (Academic, New York, 1956), Vol.2.■

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

تحديد عمر الجيل للنترونات اللحظية للمفاعل منسر بقياس تابع الانتقال النتروني ★

علي حيدون - إبراهيم خميس
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تم في هذا العمل تحديد عمر الجيل للنترونات اللحظية Λ والحصة الكلية للنترونات المتأخرة β في مفاعل البحث السوري منسر. لتحديد كلتا القيمتين قِيس تابع الانتقال للدارة المفتوحة باعتماد طريقة التغير القفزي للتفاعلية. لقد تم إحداث التغير القفزي على التفاعلية انطلاقاً من الحالة المستقرة للمفاعل عند استطاعة عمل متدنية وذلك بسحب عيّنة من الكادميوم كانت قد أُدخلت مسبقاً إلى أحد مواضع التشعيع الداخلية قبل إقلاع المفاعل بواسطة نظام إرسال العينات الهوائي. بقياس التغير الزمني للتفاعلية والتدفق النتروني النسبي، والاستعانة بتقريب القفزة اللحظية للتدفق النتروني تم حساب الحصة الكلية للنترونات المتأخرة حيث وجد أنها تساوي 0.00017 + 0.00783. بحساب تابع الانتقال وتحديد توابع التوفيق الموافقة (fitting function) تم تحديد عمر الجيل للنترونات الضوئية حيث وجد أنه يكافىء 1.57 + 74.6 µs. لقد وجد أن كلتا القيمتين تتفقان جيداً مع القيم النظرية الواردة في تقرير الأمان.

الكلمات المفتاحية: عمر الجيل للنترونات اللحظية، الحصة الفعالة للنترونات المتأخرة، تابع الانتقال النتروني، مفاعل البحث منسر، النترونات الضوئية، التغير القفزي للتفاعلية.

مدخل

يعرف عمر الجيل للنترونات اللحظية، أو ما يسمى بزمن التوالد، على أنه الزمن الوسطي الذي يحتاجه جيل من النترونات لتوليد جيل جديد من النترونات اللحظية بواسطة عملية الانشطار. تعتبر هذه الثابتة الفيزيائية المعامل الأهم في دراسة ديناميكية المفاعل [1,2] ونظراً لصغرها وطبيعة العلاقة التي تربطها بثوابت المفاعل الأخرى فإن قياسها بشكل مباشر يمثل عملية صعبة، لذلك يُصار عادة إلى قياس النسبة β/Λ اعتماداً على تقنية تابع الانتقال. لقد تم في هذا العمل قياس تابع انتقال الدارة المفتوحة للمفاعل منسر الذي ينتمي إلى مرتبة مفاعلات البحث ذات التدفق النتروني المنخفض من نوع الحوض في بركة (tank-in-pool reactor) بطاقة حرارية منخفضة تبلغ 30 kW. يستخدم اليورانيوم ذو الإغناء العالي كوقود والماء الخفيف كمهدىء ومبرّد. ومعدن البريليوم كعاكس يحيط بقلب المفاعل. يتم التخلص من الطاقة الحرارية المتولدة في القلب عن طريق التبريد بالحمل الطبيعي. يمتلك المفاعل عنصر تحكم واحد متوضع في مركز القلب، يستخدم للتحكم بالاستطاعة، وتعديل التفاعلية وإطفاء المفاعل عند الضرورة. يأخذ التدفق النتروني الحراري قيمته العظمى في موضع التشعيع الداخلي ضمن عاكس البريليوم حيث تبلغ 1×10^{12} n cm^{-2}s^{-1}. يستخدم المفاعل لأغراض التحليل بالتنشيط النتروني وإنتاج بعض النظائر قصيرة العمر إضافة لتدريب الكوادر في مجال التقنية النووية.

يهدف هذا العمل إلى إظهار المنهجية التجريبية المستخدمة في قياس حصة النترونات المتأخرة وعمر الجيل للنترونات اللحظية. لقد تم تحقيق التجربة بإحداث تغير قفزي في التفاعلية عن طريق إرسال عينة من الكادميوم متوضعة ضمن كبسولة من البولي أتيلين - تستخدم عادة في أغراض التحليل بالتنشيط النتروني - إلى أحد مواضع التشعيع الداخلية.

الخلفية النظرية

باعتماد تقريب التحريك النقطي يمكن صياغة المعادلات التفاضلية التي تصف السلوك الزمني للتدفق النتروني ومولدات النترونات المتأخرة والضوئية (بسبب البريليوم العاكس) بالشكل:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} n + \sum_{i=1}^{6} \lambda_i C_i^d + \sum_{j=1}^{9} \lambda_j C_j^p \qquad (1)$$

$$\frac{dC_i^d}{dt} = \frac{\gamma^d \beta_i^d}{\Lambda} n - \lambda_i C_i^d \qquad i = 1 \ldots 6 \qquad (2)$$

$$\frac{dC_j^p}{dt} = \frac{\gamma^p \beta_j^p}{\Lambda} n - \lambda_j C_j^p \qquad j = 1 \ldots 9 \qquad (3)$$

حيث n الكثافة النترونية، ρ التفاعلية، β الحصة الكلية للنترونات المتأخرة والضوئية و Λ عمر الجيل للنترونات اللحظية. C_i^d, C_j^p التراكيز الذرية، β_i^d, β_j^p الحصص النسبية و λ_i, λ_j ثوابت التفكك للنترونات الضوئية والمتأخرة على التوالي. γ^d, γ^p المعاملات الفعالة للنترونات الضوئية والمتأخرة بقيم نظرية تبلغ 1.23 و 0.246 (MNSR, 1992).

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Nuclear Engineering and Design*, (1999).

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

لتبسيط الحل تم جمع النترونات المتأخرة والضوئية المتأخرة إلى مجموعة واحدة [3, 4] بقيم وسطية:

$$C = \sum_{i=1}^{6} C_i^d + \sum_{j=1}^{9} C_j^p \tag{4}$$

$$\beta = \gamma^d \sum_{i=1}^{6} \beta_i^d + \gamma^p \sum_{j=1}^{9} \beta_j^p \tag{5}$$

$$\lambda = \frac{\gamma^d \sum_{1}^{6} \beta_i^d + \gamma^r \sum_{1}^{9} \beta_j^p}{\sum_{i=1}^{6} \frac{\beta_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^{9} \frac{\beta_j}{\lambda_j}} \tag{6}$$

بحيث أن المعادلات (1)، (2)، (3) تأخذ الشكل:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} n + \lambda C \tag{7}$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\beta}{\Lambda} n - \lambda C \tag{8}$$

بافتراض أن التفاعلية هي المتغير الوحيد [1] وباستخدام نظرية الانزياحات الصغيرة حول القيم البدئية (n_0, c_0, p_0) بالشكل:

$$\delta n = n(t) - n_0\,, \quad \delta\rho = \rho(t) - \rho_0\,, \quad \delta c = c(t) - c_0$$

يمكننا باستبدال هذه الانزياحات في المعادلتين (7) و (8) ونقل الحل إلى المستوى اللابلاسي الحصول على الشكل الآتي لتابع انتقال الدارة المفتوحة:

$$G(p) = \frac{\delta n(p)}{\delta \rho} = \frac{n_0(p+\lambda)}{\Lambda p(p+\lambda+\beta/\Lambda)} \tag{9}$$

يسمى هذا التابع أحياناً بتابع الاستطاعة الصفرية [3,4,5] لأن صلاحيته تقتصر على الاستطاعة المنخفضة للمفاعل حيث يمكن إهمال كافة المفعولات الترابطية والاقتصار على تأثير النترونات المتأخرة فقط. في مقام العلاقة السابقة يمكن إهمال الثابتة λ نظراً لصغرها بالمقارنة مع القيمة β/Λ.

طرائق إجراء التجربة

أجريت ثلاث تجارب عند سويات الاستطاعة البدئية النسبية 0.2%، 2.0% و 20% بالنسبة للاستطاعة الاسمية باستخدام عينة من الكادميوم بتفاعلية سالبة تبلغ 1.07 mk.

في كل من هذه التجارب تم إرسال عينة الكادميوم إلى أحد مواضع التشعيع الداخلية ضمن عاكس البريليوم باستخدام نظام إرسال العينات الهوائي (pneumatic rabbit system) في الحالة الباردة للمفاعل (المفاعل مطفأ). ثم جرى بعدها إقلاع المفاعل في الطور الآلي وتحويله بعد ذلك إلى الطور اليدوي (دارة مفتوحة) بمجرد وصول المفاعل واستقراره عند سوية الاستطاعة المختارة. بعد ذلك بدئ بتسجيل الاستطاعة ثم سحبت عينة الكادميوم من المفاعل مع متابعة تسجيل المعطيات لبضع دقائق لاحقة. لقد سجلت قيم الاستطاعة بتواتر عالٍ بلغ 125 Hz. وتم تجميع الإشارات الملتقطة من حجرة الانشطار وتسجيلها بواسطة المحول التماثلي الرقمي ADVANTECH PCL-816 المعد للقياسات الانتقالية في المفاعل. ثم جرى بعدها معالجة القيم المسجلة بواسطة البرنامج NOISETRA المعد تحت نظام GENIE.

حساب قيمة λ و β

لتبيان الفارق الزمني بين إصدار نواتج الانشطار للنترونات المتأخرة وإصدار البريليوم العاكس للنترونات الضوئية المتأخرة، نقارن أعمار النصف لنواتج الانشطار وبواعث النترونات الضوئية الأقصر عمراً (الجدول 1). تؤثر هاتان الفئتان بشكل أسرع من البواعث الأخرى على الحصة الكلية للنترونات المتأخرة والضوئية بسبب أعمار نصفها القصيرة. إذا أخذنا على سبيل المثال مولّدي النترونات المتأخرة الأقصر عمراً (ذات ثوابت التفكك الأكبر) التي تظهر حصة نسبية من مجموع النترونات المتأخرة

الجدول 1– ثوابت النترونات المتأخرة لليورانيوم -235 والمتأخرة الضوئية للبريليوم [1,6,7].

النترونات المتأخرة		النترونات الضوئية	
حصة المجموعة $\beta_i^d \times 10^{-3}$	ثابتة التفكك λi [sec-1]	حصة المجموعة $\beta_j^p \times 10^{-6}$	ثابتة التفكك λ_j [sec^{-1}]
0.246	0.0127	20.7	2.265×10^{-2}
1.363	0.0317	36.6	8.886×10^{-3}
1.203	0.115	18.5	3.610×10^{-3}
2.605	0.311	36.8	7.453×10^{-4}
0.819	1.4	3.66	2.674×10^{-4}
0.167	3.87	32.0	6.191×10^{-5}
$\Sigma \beta_i^d = 6.4 \times 10^{-3}$		2.6	1.591×10^{-5}
		0.38	2.478×10^{-6}
		0.57	6.098×10^{-7}
		$\Sigma \beta_j^p = 1.5175 \times 10^{-4}$	

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

تبلغ حوالي 15%، نجد أن عمر النصف لكليها يبلغ 0.675 s. للمقارنة نجد أن مولّدي النترونات الضوئية الأقصر عمراً بحصة نسبية تبلغ 13% من الحصة الكلية للنترونات الضوئية تظهر عمر نصف يبلغ 30 s. وبالتالي فإن تأثير النترونات الضوئية أكثر تأخراً بكثير من النترونات المتأخرة الصادرة عن نواتج الانشطار.

لحساب الحصة الكلية للنترونات المتأخرة والضوئية المتأخرة نراقب السلوك الزمني للتدفق بعد التغير القفزي للتفاعلية مباشرةً وذلك لأجل فترة زمنية قصيرة ($t_p = 0.1s$). هذه الفترة الزمنية لا تمثل سوى 14% من مجموع عمري النصف لناتجي الانشطار الأقصر عمراً وحوالي 0.3% من عمر النصف لباعث النترونات الضوئية الأقصر عمراً. برغم ذلك فإن هذه الفترة القصيرة كبيرة بالنسبة لعمر توالد النترونات اللحظية ($\sim 10^{-4}$ s) بما يكفي لتوالد 100 إلى 1000 جيل جديد منها. بناءً عليه فإن تركيز نواتج الانشطار لم يتغير خلال هذه الفترة إلا بشكل طفيف عن قيمته البدئية بحيث أن معدل إصدار النترونات المتأخرة ما زال تقريباً عند نفس السوية الأولية قبل تغير التفاعلية. لذلك فإن السوية التي ارتفع إليها التدفق خلال هذا الزمن نتجت من معدل التوالد الجديد للنترونات اللحظية مضافاً إليه توالد النترونات المتأخرة عند الوضعية القديمة التي لم تتغير بعد [8] إن استقرار توالد النترونات اللحظية لأجل الوضع الجديد الناتج من التغير القفزي للتفاعلية يحدث بشكل سريع جداً بحيث ينمو التدفق قفزياً (prompt jump). بالاعتماد على الاستنتاجات السابقة يمكن حساب توزع التدفق ضمن هذا المجال الزمني على اعتبار عدم تغير تركيز نواتج الانشطار خلال ذلك عن القيمة البدئية ($C(t) = C_0$). بتعويض هذه القيمة في العلاقتين (7) و (8) نحصل على معادلة تفاضلية خطية غير متجانسة من الدرجة الأولى تقبل الحل الآتي:

$$\frac{n(t)}{n_0} = \exp\left(\frac{t}{T_p}\right) + \frac{\beta}{\beta - \rho}\left[1 - \exp\left(\frac{t}{T_p}\right)\right],$$

$$T_p = \frac{\Lambda}{\rho - \beta} \qquad (10)$$

بما أن التجربة تحقق الحرجية المتأخرة ($\rho < \beta$) فإن قيمة الدور T_p سالبة وتقع بحدود $1x10^{-2}$ s. أي أنه خلال الفاصل الزمني 0.1 s سيتلاشى الحد الأسّي في المعادلة السابقة بشكل كامل تقريباً. بإهمال هذا الحد في المعادلة السابقة وصياغة المعادلة من جديد نحصل على الصيغة التقريبية للحصة الكلية للنترونات المتأخرة كتابع للتدفق النسبي والتفاعلية:

$$\beta = \frac{\rho}{1 - \frac{n_0}{n_{(t+dt)}}} \qquad (11)$$

حيث n_0 تمثل التدفق النتروني قبل تغير التفاعلية ($t = 0$) و $n(t + dt)$ القيمة الجديدة التي قفز إليها التدفق بعيد قفزة التفاعلية. تعطي هذه العلاقة تقريباً جيداً لحساب الحصة الكلية للنترونات المتأخرة وذلك بقياس سوية التدفق النتروني قبل وبعد التغير القفزي لقيمة التفاعلية المعروفة سلفاً.

حساب قيمة λ

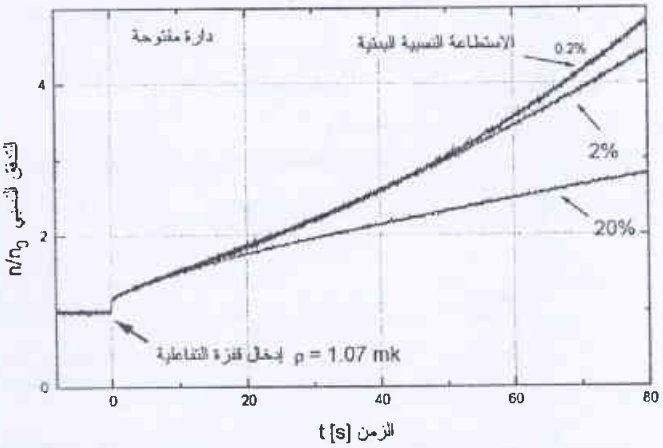
لحساب قيمة ثابتة التفكك الوسطية لمولدات النترونات المتأخرة نقوم بحل المعادلتين التفاضليتين (7)،(8) لأجل التغير القفزي على التفاعلية فنحصل على العلاقة [9,10]:

$$\frac{n(t)}{n_0} = \frac{\beta}{\beta - \rho}\exp\left(\frac{\rho\lambda}{\beta - \rho}t\right) - \frac{\rho}{\beta - \rho}\exp\left(\frac{\rho - \beta}{\Lambda}t\right) \qquad (12)$$

يمثل الحد الثاني في هذه العلاقة مفعول النترونات اللحظية الذي يتلاشى بشكل شبه تام بعد انقضاء القفزة اللحظية ($t > 10^{-1}$ s) وبالتالي يمكن كتابة علاقة توزع التدفق بالشكل:

$$\frac{n(t)}{n_0} \cong \frac{\beta}{\beta - \rho}\exp\left(\frac{\lambda\rho}{\beta - \rho}t\right) \qquad (13)$$

لنفترض الآن أن الزمن الوسطي اللازم لتتشكل نسبة التوازن الجديدة بين النترونات اللحظية والمتأخرة يقع بحدود 10 ثانية (وهذه قيمة واقعية بالنسبة للعمر الوسطي لمولدات النترونات المتأخرة كما سنرى لاحقاً). يمكننا الآن بعد تحليل المعطيات التجريبية (regression analysis) (الشكل 1) تحديد توابع التوفيق الموافقة عند الاستطاعة 0.2% و 2% ضمن المجال الزمني الذي يسمح بإهمال مفعول الترابطات كما أسلفنا.



الشكل 1– التوزع النسبي للتدفق النتروني نتيجة تغير قفزي على التفاعلية لأجل سويات استطاعة بدئية مختلفة.

$$\mathrm{Fit}_{0.2\%} = 1.1626\exp(0.01604t) \qquad t \geq 10 \text{ s} \qquad (14)$$

$$\mathrm{Fit}_{2\%} = 1.1737\exp(0.01647t) \qquad 10 \leq t \leq 50 \text{ s} \qquad (15)$$

بمقارنة هذه التوابع مع العلاقة (12) يمكننا حساب القيمة الوسطية لثابتة التفكك λ.

حساب تابع الانتقال النتروني

لقراءة ومعالجة قيم التدفق بتواتر قدره 125 Hz ($\Delta t = 8 \times 10^{-3}$ s) تم تطوير البرنامج LAPT.FOR بلغة الفورتران الذي يقوم بمعالجة القيم المقيسة وحساب تابع الانتقال.

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

لتحديد مجال التأرجحات القياسية المرافقة لقيم التدفق المقيسة في الحالة المستقرة قبل بدء تغير التفاعلية، تحدد القيمة الوسطى للتدفق n لأجل فترة قياس طويلة نسبياً (عدد كاف من القيم M = 3500 بما يقارب نصف دقيقة قياس):

$$\bar{n} = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} n_j \qquad (16)$$

- حساب الانحراف المعياري σ لهذه القيم:

$$\sigma^2 = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M}(n_j - \bar{n})^2 \qquad (17)$$

- تحديد عتبة عليا لاهتزازات القيم المقيسة بالشكل:

$$\chi = \bar{n} + 6\sigma \qquad (18)$$

تم اختيار المعامل 6 بشكل توفيقي بناءً على القيم العظمى لاهتزازات القياس الملاحظة وبما يضمن وقوع كافة القيم المقيسة في الحالة المستقرة تحت القيمة χ بشكل مؤكد.

- تحدد الآن نقطة بداية تغير التفاعلية (t_0) عند موضع التدفق $n(t_0)$ الذي يحقق ولأول مرة الشرط:

$$n(t_0) = n_i > \chi \qquad (19)$$

اعتماداً على ما تقدم فقد تم عددياً بمساعدة البرنامج LAPT حساب الانتقالات اللابلاسية لقيم الدخل والخرج بالشكل:

$$L(\rho(t)) = \int_0^\infty \rho(t)\, e^{-pt}\mathrm{d}t$$

$$\cong \Delta t \rho_{cd} \sum_{i=i_0}^{N} \exp[-p\Delta t(i-i_0)] \qquad (20)$$

$$L(\delta n) = \int_0^\infty \delta n(t)\, e^{-pt}\mathrm{d}t \cong L(\Delta n)$$

$$= \Delta t \sum_{i=i_0}^{N} \Delta n_i \exp[-p\Delta t(i-i_0)] \qquad (21)$$

حيث $\Delta t\ (i\text{-}i_0) = t_i\text{-}t_0$ المجال الزمني بعد تغير التفاعلية، N العدد الكلي لنقاط القياس، Δn_i تغير التدفق النتروني بالنسبة للسوية البدئية n_0 و p التواتر الذي يتغير ضمن المجال 10^{-2}-150 Hz^{-1}. أما تابع الانتقال فتتم صياغته بالشكل:

$$G_n(p) = \frac{L(\Delta N)}{n_0 L(\rho)} \qquad (22)$$

في النهاية حسبت قيم تابع الانتقال لسويات الاستطاعة الثلاث. بتحليل النتائج العددية والاستعانة بقيم β و λ التي حددت سابقاً وبالصيغة التحليلية التقريبية لتابع الانتقال المعطاة بالعلاقة (9) تم إعطاء توابع التوفيق المقابلة ومنه تم حساب النسبة Λ/β.

النتائج والمناقشة

يظهر الجدول 2 حصة النترونات المتأخرة وثابتة التفكك الوسطى بينما يظهر الجدول 3 القيم الوسطى للنسبة Λ/β ولزمن التوالد Λ المحسوبة لأجل سويات الاستطاعة الثلاث.

الجدول 2– حساب قيمة β و λ تجريبياً بإجراء تغير قفزي على التفاعلية بقيمة 1.07 mk عند استطاعات مختلفة.

الاستطاعة النسبية (p/p_0) [%]	التدفق النتروني النسبي (n/n_0) بعد 10^{-1} sec	الحصة الكلية للنترونات المتأخرة β	ثابتة التفكك الوسطية لنواتج الانشطار λ [sec^{-1}]
0.2	1.16267± 0.042	0.00806	0.0986
2	1.17370±0.025	0.00776	0.0948
20	1.16590±0.020	0.00766	-
σ ± القيمة الوسطية		*0.00783* ± 0.00017	*0.0967* ± 0.0018

الجدول 3– القيم المقيسة لـ Λ/β و Λ عند سويات الاستطاعة المختلفة.

الاستطاعة النسبية (p/p_0) [%]	Λ/β [s]	عمر الجيل للنترونات Λ [10^{-5} s]
0.2	0.00929	7.487
2	0.00984	7.636
20	0.00947	7.254
σ ± القيمة الوسطية	0.00953 ± 0.00023	*7.459* ± 0.157

يمكن أن تكون موثوقية القيم المحسوبة لأجل سوية الاستطاعة 20% أقل منها بالنسبة للسويتين الأخريين بسبب الارتفاع البسيط في درجة حرارة المبرد عند هذه السوية وتأثيرها العكسي على التفاعلية بحيث أن الافتراضات التي ذكرت سابقاً بخصوص الدارة المفتوحة وانعدام المفعولات الترابطية ليست دقيقة تماماً لأجل هذه الحالة.

تُظهر القيم الوسطى لـ Λ و β التي حُصل عليها تجريبياً بنتيجة هذه الدراسة توافقاً جيداً مع القيم النظرية الواردة في تقرير الأمان [7] والتي تم حسابها بواسطة الكود EXTERMINATOR-2. تعطي نتائج حساب الكود القيم 8.12×10^{-5} s, 8.08×10^{-3} لـ Λ و β على التوالي.

تبلغ القيمة الوسطى المحسوبة لـ β بناءً على القيم التجريبية المعطاة في الجدول 2 7.83×10^{-3} وبذلك يكون الفرق النسبي بين القيمة التجريبية والنظرية 3%. بمقارنة القيمة الناتجة للحصة الكلية للنترونات المتأخرة للمفاعل منسر مع القيم المعطاة في المراجع لأجل الانشطارات الحرارية في اليورانيوم -235 والتي تقع بحدود 6.4×10^{-3} إلى 7×10^{-3} [4] نجد أن القيمة الناتجة أعلى بحوالي 11-18%. إن هذا الفرق يعود إلى دور النترونات الضوئية الصادرة عن البريليوم العاكس المحيط بالمفاعل وبذلك يكون مفعول النترونات الضوئية قد أثبت تجريبياً.

تبلغ القيمة الوسطى المحسوبة لـ Λ بناءً على القيم التجريبية المعطاة في الجدول 2 $\Lambda = 7.46 \times 10^{-5}$ s وبالتالي يكون الفرق النسبي مع القيمة المحسوبة بالكود والواردة في تقرير الأمان حوالي 9%.

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

بتعويض قيم الثوابت النترونية الناتجة في العلاقة (9) نحصل على الشكل النهائي لتابع انتقال الدارة المفتوحة للمفاعل منسر:

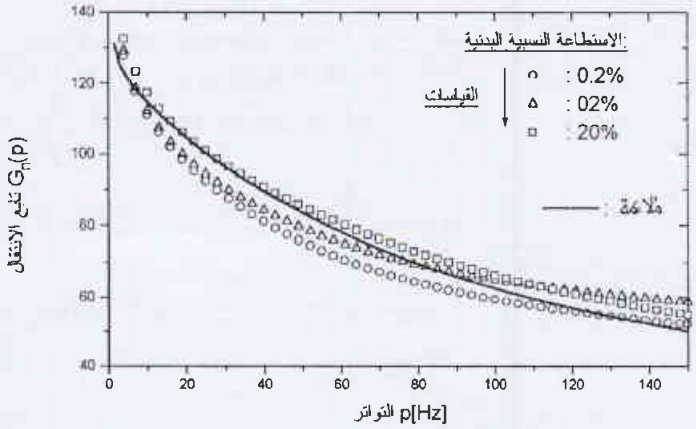
$$G_n(p) = \frac{p + 0.0967}{7.46 \times 10^{-5} p(p + 104.9)} \qquad (23)$$

تمثل هذه العلاقة التابع التوفيقي العام لتابع الانتقال المحسوب بناءً على نتائج التجارب الثلاث.

بمقارنة هذا التابع مع القيم التجريبية لسويات الطاقة المختلفة (الشكل 2) نجد توافقاً جيداً، مما يبرر صحة الافتراضات النظرية والتقريبات الحسابية التي اعتمدت في هذا البحث.

خاتمة

تظهر تقنية تابع الانتقال بأنها طريقة دقيقة في تحديد عمر الجيل للنترونات اللحظية وذلك بشكل خاص عند سويات استطاعة منخفضة. لقد تم اعتماداً على هذه الطريقة قياس عمر الجيل للنترونات اللحظية والحصة الكلية للنترونات المتأخرة بما فيها الضوئية حيث بلغت قيمة كلتا



الشكل 2- مقارنة تابع الانتقال المقيس عند سويات استطاعة مختلفة مع تابع الملاءمة المشتق اعتماداً على النموذج النقطي لأجل مجموعة واحدة من النترونات المتأخرة.

الثابتتين النترونيتين $7.46 \pm 0.157\ 10^{-5}$ s , 0.00783 ± 0.00017 على التوالي. هذه القيم المقيسة تتفق بشكل جيد مع القيم المحسوبة نظرياً في تقرير الأمان. إضافة لذلك فقد درس مبدئياً مفعول النترونات الضوئية وأظهر تجريبياً الأثر الخاص لهذه النترونات على سلوك المفاعل منسر.

المراجع REFERENCES

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

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

[3] D. Sturm, "Reactor Laboratory Experiments", ANL-6410 (1961).

[4] M. Ash, "Nuclear Kinetics", McGraw-Hill Inc. (1979).

[5] M. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants", McGraw-Hill Inc. (1961).

[6] G. R. Keepin et al., Delayed Neutrons from Fissionable Isotopes of Uranium, Plutonium, and Thorium", Phys. Rev., 107, 1044 (1957).

[7] The Syrian MNSR Safety Report, internal report(1992).

[8] K. Almenas, R. Lee, Nuclear Engineering, an Introduction, Springer, Berlin (1992).

[9] D. Smidt, Reaktortechnik 2", Braun, Karlsruhe (1971) (in German).

[10] K. Wirtz, Reaktortheorie II", O. Berenz, Karlsruhe (1966) (in German).■

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

دراسة استكيومترية لمعقّد فسفوفانادوموليبدات واستخدامه لتحديد تأثير عملية استخلاص اليورانيوم بـ DEHPA/TOPO على تركيز حمض الفسفور بطريقة المطيافية الضوئية*

رفعت المرعي، رولانا بوظو
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذّرية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تم استخدام طريقة طيفية ضوئية بسيطة المبدأ من أجل تعيين تركيز الفسفور في حمض الفسفور التجاري السوري وذلك أثناء عملية استخلاص اليورانيوم بطريقة DEHPA/TOPO. قِيسَت شدة الامتصاص لمعقّد فسفوفانادوموليبدات الأصفر اللون عند طول موجة 320 nm.

درس طيفياً عند pH 1 الشكل التحليلي الأكثر استقراراً للمعقد المتشكل (P: V: Mo). بيّنت الدراسة أن النسبة المولية لـ (P:V:Mo) كانت (1:1: 25) وهي النسبة التي تعطي إشارة تحليلية واحدة وبعيدة عن مجال الضجيج.

لقد وُجِدَ في هذه الدراسة أن مزيج الاستخلاص (DEHPA/TOPO) يستخلص 9% من P_2O_5 إلى الطور العضوي أثناء عملية استخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور التجاري، وقد تم تأكيد ذلك باستخدام عنصر الفسفور المشع ^{32}P كعنصر أثر.

إن دقة، ووثوقية، وحدّ الكشف لهذه الطريقة هي 1.5% و 0,0551µg P ml^{-1}، و 0.06µg P ml^{-1} على التتالي. قورنت نتائج هذه الطريقة مع الطريقة الوزنية العيارية والتي تعتمد على تشكيل معقد كينولي، إضافة إلى أن هذه الطريقة تقتصد في الوقت وفي المواد الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: حمض فسفور تجاري، معقد فسفوفانادوموليبدات، عنصر الفسفور المشع ^{32}P، مطيافية ضوئية، استكيومتري.

مقدمة

تعتبر عملية تحديد عنصر الفسفور في حمض الفسفور عملية حيوية لأنها تدرس تأثير تغير تركيز الفسفور أثناء عمليات تنقية الفسفور التجاري. لأسباب بيئية يجب استخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور التجاري. يعتبر مزيج الاستخلاص (DEHPA/TOPO(Di-2-ethyle hexylphosphoric acid/Tri-n- octyl phosphoric oxide) من أكثر المذيبات شيوعاً لاسترداد اليورانيوم من حمض الفسفور التجاري.

يتم عادةً تحديد الفسفور في حمض الفسفور بالطريقة الوزنية [1]، وأيضاً بالكروماتوغرافيا [2]، ومطيافية الامتصاص الذرّي [3]، وتقنيات أخرى مُستخدمة. إن الطريقة الطيفية لمعقد فسفوفانادوموليبدات الأصفر معتمدة سابقاً [4] ولكن لم يتم تطبيقها على عيّنات حمض فسفور تجاري.

بما أننا نحتاج أثناء عمليات تنقية الحمض إلى قيم دقيقة وسريعة الإنجاز، وخاصةً عند عملية استخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور، يُقدّم هذا العمل طريقة طيفية ضوئية سريعة لتحديد تركيز الفسفور في حمض الفسفور التجاري قبل وبعد عملية استخلاص اليورانيوم بواسطة المستخلص (DEHPA/TOPO).

توجد معلومات متناقضة حول النسبة المولية لـ P: V: Mo في المعقد فسفوفانادوموليبدات المستخدم كمعقّد لوني لتحديد الفسفور بطرائق المطيافية الضوئية [5]. فقد تمت دراسة النسب المولية P: V: Mo للمعقد المذكور، ووجد أن النسبة الأكثر وضوحاً هي 25 : 1 : 1. أُجريت عملية مسح لطيف معقد فسفوفانادوموليبدات بين طولي موجة 190-500 nm، وتبيّن أن λ max هي 320 nm.

المواد والطرائق

المواد الكيميائية

الكاشف A: حضر محلول $HClO_4$ 70% (0.3 M) بماء ثنائي التقطير.

الكاشف B: أخذ 0.229gr من فانادات الأمونيوم (NH_4VO_3) وحُلّ في 125 ml من الماء المقطّر الساخن، بعد التبريد أضيف 4 ml من $HClO_4$، أكمل الحجم إلى واحد ليتر بالماء المقطر.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Afinidad*, No.483, Vol.6, Sep.1999. مراجعة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

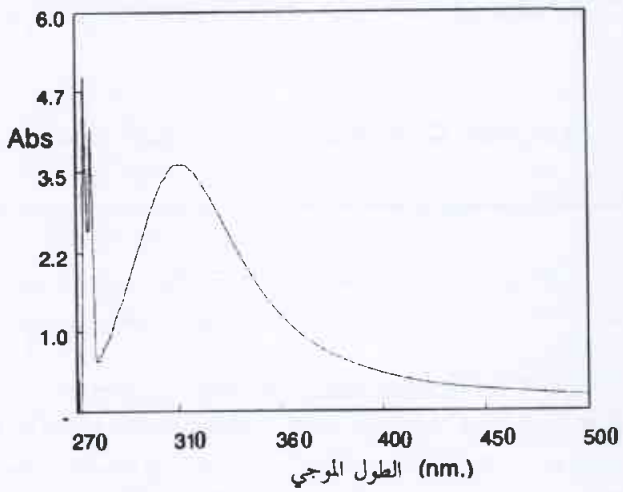
الكاشف C: أُخذ 8.577gr من موليبدات الأمونيوم $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O]$ وحُلّ بـ 150 ml ماء مقطّر ساخن وأكمل الحجم إلى واحد ليتر بالماء المقطّر.

الإجراء

قبل إجراء عملية القياس. نأخذ حجوماً متساوية من الكواشف A, B, C, (5 ml) ونضعها في بالون عياري سعة 50 ml. ونضيف كمية معلومة من عينة حمض فسفور تجاري (لاتحتوي على أكثر من (300µg P) وغير معالجة إلى البالون ويُتمم الحجم إلى 50 ml بواسطة ماء ثنائي التقطير. بعد تعديل الوسط إلى pH 1. يُخضّ المزيج ويترك لمدة 10 دقائق لتشكيل معقد فسفوفانادوموليبدات. ثم يتم قياس شدة الامتصاص للمعقد الأصفر المتشكل عند طول موجة 320 nm. كذلك تم تحضير كل من الشاهد والمحاليل العيارية كما حُضّرت العيّنة.

المسح الطيفي

تم مسح شدة الامتصاص لمعقد فسفوفانادوموليبدات بين طولي موجة 190-500 nm، وبيّن المسح بأن λ max عند طول موجة 320 nm (الشكل 1).



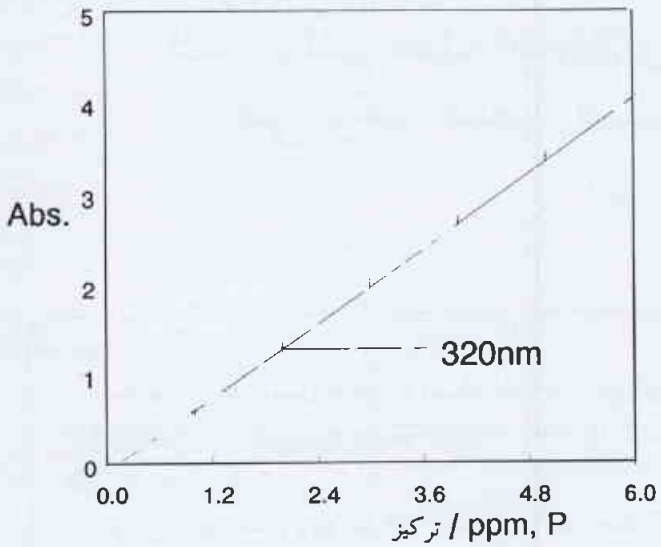
الشكل 1– مسح طيفي للطريقة اللونية.

منحني المعايرة

حصل على منحني المعايرة (الشكل 2) من تراكيز معلومة من محلول فسفور عياري محضّر مثل العيّنة.

دراسة استكيومترية لمعقد فسفوفانادوموليبدات المتشكل

تم تشكيل نسب مولية متعددة (P: V: Mo) لمعقدات فسفوفانادوموليبدات وذلك بمزج كميات من الفسفات و الفانادات والموليبدات في الوسط الحمضي حسب الطرائق في [6] وجد بأن الإشارة التحليلية لـ (P: V: Mo) للمعقد المدروس (حسب [7]) قريبة من مجال الضجيج، ولم نحصل على شكل طيفي واضح حسب طريقة [7] كما

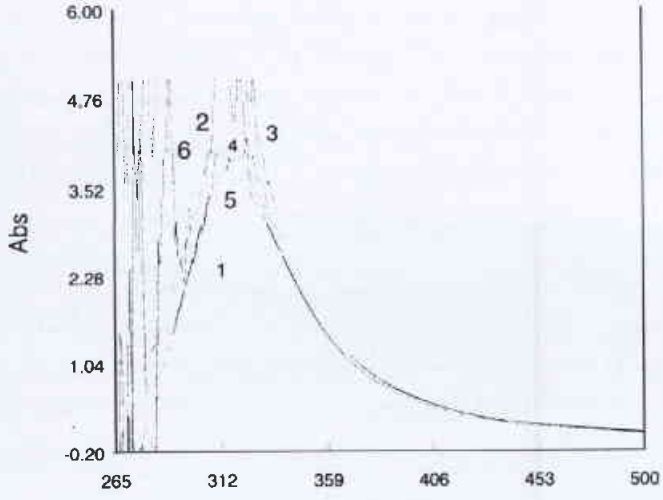


الشكل 2– منحني المعايرة للطريقة المقترحة.

هو واضح في الشكل 4. كما وجد أن هناك استهلاكاً كبيراً للمواد الكيميائية المستخدمة في عملية التعقيد بالمقارنة مع الكميات اللازمة من أجل تشكيل المعقدات الستكيومترية المذكورة في هذه الطرائق. ولتحديد استكيومترية العناصر التالية: فسفات، فانادات، موليبدات من أجل تفاعل تحليلي لتشكيل المعقدات الملونة، أُعدت دراسة أولية وذلك عن طريق تحضير سلسلة من النسب المولية لـ (P: V: Mo)

(1:1:8, 1:1:14, 1:1:16, 1:1:20, 1:1:25, 1:1:30, 1:0.5:25,1:2:25, 1:2.5:25) عند وسط pH 1.

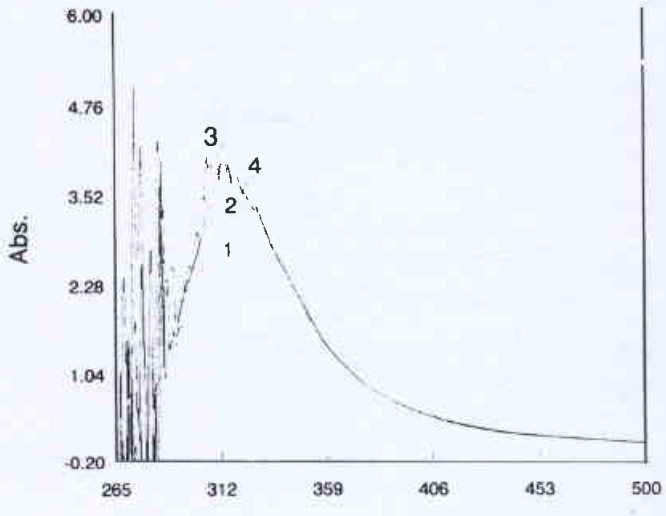
استخدم هذا الإجراء لدراسة تفاعلات استكيومترية بين موليبدات الفاناديوم وأيون الفسفور، ثم أُجريت عملية مسح طيفي للمعقدات المتشكلة بين طولي موجة 270-500 nm (الشكل 3a,3b). نجد بمقارنة



الشكل 3a– أطياف معقد P:V:Mo من أجل نسب مولية من الموليبدات بينما النسب المولية للفسفات والفانادات ثابتة.

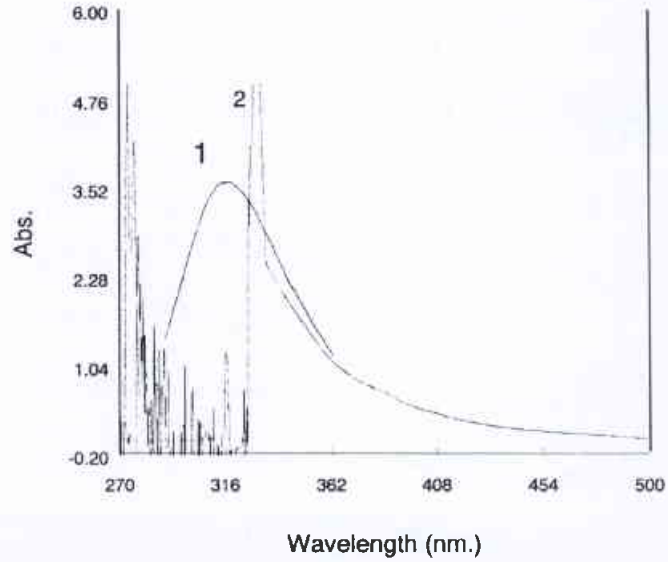
[P:V:Mo # 1-(1:1:8),2-(1:1:14),3-(1:1:16),4-(1:1:20).5-(1:1:25), 6-(1:1:30)]

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



الشكل 3b– أطياف معقد P:V:Mo من أجر[7] عدة نسب مولية من الفانادات بينما النسب المولية للفسفات والموليبدات ثابتة.
[P:V:Mo # 1-(1:0.5:25),2-(1:1:25),3-(1:2:25),4-(1:2.5:25)]

الأطياف مع بعضها أن النسبة المولية 1:1:25 هي النسبة الحرجة التي تعطي إشارة تحليلية نقيّة بعيدة عن منطقة التشويش.



الشكل 4– طيفا معقد فسفوفانادوموليبدات في
- الطريقة المقترحة.
- الطريقة الموصى بها [7].

التقييم الإحصائي

استُخدمت العيّنة المرجعيّة BCR-32 (صخور فسفاتية) وحمض فسفور GR Merck، حيث النسبة النظرية لـ P_2O_5 فيه 61.58% وحُدّدت عملياً بطريقة المعايرة الكمونية وكانت 61.49%، لتحضير عشر عينات بتراكيز مختلفة لتحديد صحة الطريقة. وباختيار آخر تم استخدام تركيزين مختلفين من حمض فسفور نقي GR، وكرر الاختبار تسع مرات من أجل وثوقية القياس. عين حد الكشف اعتماداً على ثلاثة أمثال الانحراف المعياري للقيم المقيسة لمحلول العيّنة الحاوية على سبعة أمثال أدنى تركيز قابل للكشف (حسب [8]).

النتائج والمناقشة

على الرغم من أن العيّنات المدروسة هي عينات حمضية يتوجب المحافظة على حموضة الوسط عند pH 1 كما هو موضّح بالجدول 1.

الجدول 1– تأثير pH الوسط على تحديد الفسفور.

المأخوذ	1.91 µg p g^{-1}	3.80 µg p g^{-1}
PH غير مضبوطة	1.80	3.50
الخطأ المئوي	5.20	7.80
PH مضبوط	1.88	3.86
الخطأ المئوي	1.57	1.58

وجد أن المعقد المتشكل يبقى ثابتاً زمنياً لفترة لاتقل عن 72 ساعة (الجدول 2). وجد أن الكاشف A يمكن أن يحضّر بـ $HClO_4$ ويعطي نتائج أفضل من تحضيره بـ HCl أو HNO_3. أُنجزت التجربة بدرجات حرارة مختلفة (35,27,25,20)°C وبيّنت النتائج أن تغيير درجة الحرارة لايؤثر على المعقد. كذلك دُرس تأثير بعض الأيونات (F,U,Fe,Si) الموجودة في حمض الفسفور التجاري السوري، ولكن كما هو معلوم إن نسبة هذه العناصر إلى الحمض قليلة فليس لها أي تأثير على تحديد الفسفور في حمض الفسفور.

الجدول 2– تأثير الزمن على ثباتية المعقد المتشكل.

زمن القياس	30 دقيقة	ساعتين	75 ساعة
الشاهد	0.486	0.493	0.500
St_1 (µg/g)	0.415	0.408	0.398
St_2 (µg/g)	1.750	1.730	1.680

تأثير محلول الاستخلاص على تركيز الفسفور

إن أكثرالمستخلصات العضوية المستخدمة لاستخلاص اليورانيوم من حمض الفسفور التجاري هو المزيج DEHPA/TOPO. ولقد تم تحديد تركيز الفسفور في حمض الفسفور التجاري قبل وبعد عملية استخلاص اليورانيوم. يوضح الجدول 3 أن مزيج الاستخلاص DEHPA/TOPO ينقل حوالي 9% من P_2O_5 من الحمض إلى الطور العضوي أثناء عملية استخلاص اليورانيوم. واختُبِرَ ذلك أيضاً باستخدام النظير المشع ^{32}P

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

الجدول 3- تحديد نسبة الـ P_2O_5 في طبخات مختلفة من حمض فسفور تجاري سوري قبل وبعد استخلاص اليورانيوم بواسطة DEHPA/TOPO.

قبل الاسترداد	بعد الاسترداد
P_2O_5%	P_2O_5%
29.18	26.88
28.51	26.23
34.77	31.86
27.48	25.37
26.03	23.97

• إن كل قيمة هي عبارة عن متوسط أربعة قياسات.

الجدول 4- صحة، وثوقية، وحد الكشف لهذه الطريقة.

وثوقية		حد الكشف	دقة		
µg P. ml^{-1}	µg P. ml^{-1}	µg P. ml^{-1}	المأخوذ µg P. ml^{-1}	المقاس (µg P. ml^{-1})[a]	الخطأ %
0.9915	5.413	1.727	0.550	0.558	+1.45
1.016	5.278	1.734	1.65	1.63	-1.21
1.006	5.401	1.785	3.85	3.81	-1.04
0.9915	5.394	1.742	5.50	5.53	+0.55
0.9915	5.302	1.757	7.15	7.23	+1.12
0.9965	5.342	1.734	0.687	0.697	+1.46
1.004	5.292	1.762	1.374	1.400	+1.89
1.006	5.311	1.767	3.435	3.480	+1.31
0.989	5.276	1.772	6.18	6.220	+0.65
[a] $\overline{X}$ = 0.9991	$\overline{X}$ = 5.3343	$\overline{X}$ = 1.753	8.244	8.152	-1.12
[b]SD=0.0093	SD=0.0550	SD=0.0200			
[c]CV=0.931	CV=1.031	[d]DL=0.060			

a متوسط القياسات.
b الانحراف المعياري.
c معامل التغير.
d حدود الكشف.

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

وذلك بإضافة كمية معلومة منه إلى 10 ml من حمض الفسفور، أضيف 5 ml من DEHPA/TOPO (حيث أُخذ 17 gr من DEHPA (0.5 M) و4.5 gr من TOPO في 100 ml من الكيروسين) وخُضَّ المحتوى لمدة 5-10 دقائق ثم ترك المحتوى حتى فصل الطورين عن بعضهما.

وأخيراً تم قياس النشاط الإشعاعي في الطور المائي بواسطة عدّاد الوميض السائل Liquid Scintillation Counter (Packared Tri-Carb 1500) باستخدام تقنية شرنكوف.

الصحة وحد الكشف والوثوقية

قيس الخطأ المئوي للفسفور بهذه الطريقة ووجد بأنه أقل من 1.5% مما يشير إلى الدقة العالية للقياسات. إن قيم الانحراف المعياري هي (0.0093-0.055 µg P g^{-1}) لقياسات متكررة لمجالين مختلفين من التراكيز لعينات من حمض فسفور نقي (GR) بينت وثوقية عالية للطريقة (الجدول 4). حُدّد حد الكشف لقياسات متكررة لعينة تحتوي على سبعة أضعاف لأقل تركيز قابل للكشف والقيمة هي 0.06µg P ml^{-1} (الجدول 4).

مقارنة بين الطريقة اللونية والطريقة الوزنية المعيارية

تدل القيم المقيسة المعطاة في الجدول 5 على تراكيز الفسفور باستخدام الطريقة اللونية والطريقة الوزنية المعيارية باستخدام المعقد الكينولييني [1] [$(C_9H_7N)_3H_3PO_4.12MoO_3$]. إن قيمة اختبار t هي 1.85، في حين أن القيمة الحرجة لـ t هي 2.36 من أجل سبع درجات حرية. وهذا يشير إلى أن الطريقتين متوافقتان بشكلٍ كبير.

الجدول 5- تحديد تركيز الفسفور في حمض الفسفور (التجاري والنقي) بالطريقة اللونية وبالمقارنة مع الطريقة الوزنية المعيارية.

P2O5	الطريقة اللونية* P_2O_5%	الطريقة الوزنية P_2O_5% *
عينة حمض G.R	60.82	60.10
عينة حمض تجاري	23.64	24.11

* كل قيمة هي متوسط سبعة قياسات.

النتيجة

وجد من خلال هذه النتيجة بأن استكيومترية التفاعل هي (1:1:25) من أجل (P:V:Mo) والتي تعطي لمعقد فسفوفانادوموليبدات إشارة تحليلية واضحة.

وجد من خلال عملية استخلاص اليورانيوم من حمض فسفور تجاري أن 9% من P_2O_5 ينتقل إلى الطور العضوي. ولقد حدد ذلك إشعاعياً باستخدام حمض موسوم بـ ^{32}P وحُدّد أيضاً بالطريقة اللونية.

وجد أن هناك توافقاً بين الطريقة اللونية التي اتبعت والطريقة الوزنية الكينولينية المعيارية، ولكن بالطريقة اللونية نختصر الوقت واستهلاك المواد الكيميائية.

المراجع

REFERENCES

[1] Bs 4258, part7, 1978, Mohan, et al, 1989, and Xiaoqing & Songxian, 1991.

[2] Sheridan, 1987.

[3] Miloset al, 1987 and Peter et al, 1987.

[4] Jackson, 1985; Griffith & Grayson, 1970; Pakalns, 1970; Hesse, 1971; Olsen & Sommers, 1982; and Rao, 1984.

[5] Snell & Snell, 1951; Dee Snell 1978; and Hamiti et al, 1985.

[6] Jackson, 1958, Hahn & Schmitt, 1969, Hesse, 1971, and Olsen & Sommers, 1982.

[7] Hesse, 1971; Olsen & Sommers, 1982.

[8] Miller & Miller, 1993.■

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

تأثير أشعة غاما على قابلية تخزين ثمار التفاح*

محفوظ البشير
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى اختبار قابلية تخزين ثمار صنفين رئيسيين من أصناف التفاح المزروعة في سوريا هما الغولدن ديليشس والستاركنج إضافة إلى اختبار تأثير أشعة غاما على إطالة فترة التخزين لثمار هذين الصنفين.

نُفِّذت تجارب الدراسة خلال موسمي 1995 و 1996 حيث عُرِّضت الثمار للجرعات 0.0 و 0.5 و 1.0 و 1.5 كيلوغراي من أشعة غاما وتم تخزين الثمار المعالجة وغير المعالجة بالأشعة بغرف مُبرَّدة تراوحت درجة حرارتها بين 1 و 2 درجة مئوية وبرطوبة نسبية تراوحت بين 80% و 90%.

قُدِّرت خلال مراحل التخزين المختلفة معدلات فقد الوزن والتلف الفطري والفيزيولوجي كما تم قياس صلابة الثمار وتلونها وقيم pH العصير بعد التشعيع مباشرة.

بيّنت نتائج هذه التجارب أنّ لاستخدام أشعة غاما تأثيراً على ثمار كلا الصنفين، تمثل هذا التأثير في زيادة معدل فقد الوزن في المراحل التخزينية الأولى (45 يوماً) خلال تجارب الموسم الأول، علماً بأن هذا التأثير لم يلاحظ خلال تجارب الموسم الثاني. واختلف تأثير أشعة غاما على معدلات فقد الوزن عند ثمار التفاح المخزنة لمدة 180 يوماً باختلاف موسم الإنتاج والصنف المستخدم، وكان لاستخدام الأشعة تأثير في زيادة معدلات التلف الناتجة من إصابة الثمار بالفطريات.

وقد أدى استخدام المعالجات الإشعاعية إلى الحد من نمو العفن الأسود Aspergillus niger ومن انتشار تبقع ثمار الغولدن، كما أدى استخدام المعالجات الإشعاعية إلى زيادة طراوة الثمار وتغيير لونها من الأخضر إلى الأصفر وخفض قيمة الـ pH في عصيرها وذلك بعد التشعيع مباشرة.

الكلمات المفتاحية: تفاح، تلوّن، أمراض فطرية، المعالجة بأشعة غاما، قابلية التخزين، الفقد التخزيني، القوام.

مقدمة

دُرست إمكانية تحسين قابلية تخزين ثمار التفاح باستخدام أشعة غاما ومحاولة الاستفادة من دور الأشعة في خفض التلف الفيزيولوجي والفطري الذي يمكن أن تتعرض له الثمار المخزّنة. وقد أشارت نتائج هذه الدراسات إلى وجود آراء متناقضة حول إمكانية استخدام هذه التقانة في هذا المجال تحديداً، حيث بيّنت بعض هذه الدراسات وجود تأثير إيجابي للتشعيع أدى إلى إطالة العمر التخزيني لثمار التفاح وذلك عند معاملتها بالأشعة قبل وصولها إلى مرحلة التنفس الكليماكتيري preclimacteric [1]. في حين ذكرت بعض المصادر أن عملية تشعيع الثمار غير مجدية اقتصادياً [2]. وقد سجل انخفاض في ظهور بعض الأمراض على الثمار المخزنة وذلك عند استخدام جرعات مرتفعة نسبياً من أشعة غاما [3, 4]، ومع ذلك فإن لاستخدام هذا المستوى المرتفع من جرعات أشعة غاما تأثيراً سلبياً على قوام الثمار وعلى صفاتها النوعية.

ويمكن تحسين أثر أشعة غاما على ثمار التفاح وتجاوز الآثار السلبية الناتجة من استخدام الجرعات المرتفعة نسبياً من الأشعة باستخدام معاملات مركبة قوامها التشعيع مع تخزين الثمار في جو هوائي مراقب [5] أو التغليف [6] أو المعاملات الكيميائية [7] أو الحرارية [8] أو بتغطيس الثمار في محلول يحتوي على الكالسيوم [9].

تهدف تجارب هذه الدراسة إلى اختبار تأثير أشعة غاما على قابلية تخزين ثمار صنفين من أصناف التفاح هما الغولدن والستاركنج المزروعين في سورية على نطاق واسع وخصوصاً في المنطقة الجنوبية.

المواد وطريقة العمل

استُخدم في تجارب هذا البحث صنفا التفاح الغولدن ديليشيس والستاركنج حيث كان مصدر الثمار حقول مركز أبحاث ظهر الجبل وحقل خاص في منطقة القنوات (في محافظة السويداء).

تم إجراء التجربة خلال موسمي إنتاج متتاليين حيث استعمل في تجارب موسمي 1995 و 1996 ثمار من حقول مركز أبحاث ظهر الجبل في حين دخلت الثمار المنتجة من حقل منطقة القنوات في التجارب المنفّذة خلال موسم 1996 فقط.

تم جني الثمار في بداية الأسبوع الثاني من شهر تشرين الأول من حقول مركز أبحاث ظهر الجبل وفي الأسبوع الأخير من شهر أيلول من حقل منطقة القنوات. حيث تم انتقاء 220 ثمرة متجانسة تتراوح أقطارها

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Plant Foods For Human Nutrition* (1999).

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

بين 60 و 70 م وقسّمت إلى أربعة مكررات (55 ثمرة في كل مكرر) ثم عرّضت الثمار للجرعات (0.0 و 0.5 و 1.0 و 1.5 كيلوغراي) من أشعة غاما الصادرة عن النظير المشع كوبالت 60 بمعدل جرعة يقدر بـ 719 غراي / الساعة.

بعد تنفيذ المعاملات الإشعاعية مباشرة تم اختيار خمس ثمار عشوائياً من كل مكرر (20 ثمرة من كل معاملة) لتقدير الصلابة باستخدام جهاز Instron strip chart recorder نموذج 1011 ، وتم قياس قيم الحموضة في العصير باستخدام مقياس للـ pH المصنّع في شركة Hanna نموذج HI 8521، أما شدة تلون الثمار فقد تم قياسها باستخدام جهاز الـ Chroma meter نموذج CR-300.

تم تخزين الثمار بعد التشعيع بدرجة حرارة تراوحت بين 1 و 2 درجة مئوية ورطوبة نسبية تراوحت بين 80% و 90%.

تم تقدير فقد الوزن بعد 45 و 90 و 180 يوماً، أما التلف الفيزيولوجي والفطري فقد تم تقديره وتدوينه بعد 45 و 90 و 180 و 210 و 250 يوماً من التخزين، حيث استُخدمت 200 ثمرة لكل معاملة في أربع معاملات (50 ثمرة لكل مكرر)، وضمن كل معاملة أُخذ وزن الثمار بشكل إفرادي لتقدير فقد الوزن ولتقدير نسبة التلف حيث اعتبرت الثمرة تالفة عند تجاوز قطر المساحة المتضررة على قشرة الثمرة الـ 1 سم [10]. قُدّر التلف الناتج عن الإصابة الفطرية وقياسها عن طريق المراقبة بالعين المجردة، وتم تمييز الأنواع الفطرية المسببة للتلف عن طريق لون الميسيليوم والأبواغ المتشكلة في المراحل المتقدمة من النمو الفطري، فاللون الأزرق دل على نمو فطر البينسليوم Penicillium في حين دلّ اللون الرمادي على نمو فطر البوتريتس Botrytis.

تم إجراء التجربة وفق مخطط عشوائي كامل بأربع معاملات وأربعة مكررات وتم تحليل النتائج إحصائياً وتحليل التباين (ANOVA) باستخدام برنامج (Statview 4) الذي يعمل على نظام حواسب الماكنتوش حيث قورنت متوسطات المعاملات باعتماد LSD عند حدود ثقة قدرها 95%.

النتائج والمناقشة

تأثير أشعة غاما على فقد الوزن

تظهر الأرقام المدونة في الجدول 1 تأثير أشعة غاما على معدلات فقد الوزن لدى صنف الغولدن ديليشيس، حيث تبين هذه النتائج عدم وجود فروق معنوية في فقد الوزن بين المعاملات المختلفة عند الثمار المنتجة في موسم 1996 في كلا الموقعين والمخزنة لمدة 45 يوماً. أما عند الثمار المنتجة في موسم 1995 فكان لاستخدام الجرعات الثلاث من أشعة غاما تأثير معنوي في زيادة فقد الوزن مقارنة مع الشاهد، وكانت الجرعة 0.5 كيلو غراي الأبرز تأثيراً في هذا المجال.

أما بعد 90 يوماً من التخزين، فقد أدى استخدام الجرعة 0.5 كيلوغراي من أشعة غاما إلى زيادة في فقد الوزن عند الثمار المنتجة من موقع ظهر الجبل في موسم 1995 ، في حين كان لاستخدام الجرعة 1.5 كيلوغراي نفس الأثر عند الثمار المنتجة في موسم 1996 ومن نفس الموقع.

الجدول 1– تأثير أشعة غاما على فقد الوزن % في ثمار تفاح الغولدن.

موسم الانتاج	1995			1996					
موقع الانتاج	ظهر الجبل			ظهر الجبل			قنوات		
مدة التخزين/ يوم	45	90	180	45	90	180	45	90	180
الشاهد	1.3 a	2.7 a	5.1 a	1.78 a	2.90 a	3.78 a	1.20 a	1.88	3.75 b
0.5 kGy	1.8 c	3.1 b	5.7 a	1.93 a	2.63 a	4.18 ab	1.28 a	1.9	3.60 b
1.0 kGy	1.6 b	2.9 ab	5.5 a	1.85 a	2.88 a	4.52 b	1.28 a	1.9	3.20 a
1.5 kGy	1.6 b	2.6 a	5.4 a	2.03 a	3.05 a	4.33 ab	1.20 a	1.88	3.58 ab

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

وفي المراحل المتقدمة من التخزين بعد 180 يوماً، كان فقد الوزن في الثمار المشعة والمنتجة من موقع ظهر الجبل خلال موسمي 1995 و 1996 أعلى نسبياً إذا ما قورن مع عينات الشاهد.

وكانت الزيادة في فقد الوزن معنوية في المعاملات 0.5 و 1.0 كيلوغراي فقط وذلك بعد 90 يوماً من التخزين في موسم 1995 وبعد 180 يوماً من التخزين عند الثمار المنتجة في موسم 1996 . وخلافاً لذلك فقد أبدت الثمار المخزنة لفترة تقدر بـ 180 يوماً والمنتجة أصلاً في موقع القنوات منحىً آخر، حيث أدى استخدام التشعيع إلى تناقص فقد الوزن، وكان هذا التناقص ذا دلالة معنوية في العينات المشعة بجرعة إشعاعية قدرها 1.0 كيلوغراي إذا ما قورن مع عينات الشاهد.

تدل الأرقام المثبتة في الجدول 2 على وجود تأثير لأشعة غاما على معدلات فقد الوزن عند ثمار صنف الستاركنج، ففي موسم 1995 ارتفع فقد الوزن في الثمار المشعّة والمخزنة لمدة 45 يوماً وكان هذا الارتفاع معنوياً إذا ما قورن مع عينات الشاهد. في حين انخفض فقد الوزن عند الثمار المنتجة في موسم 1996 وكان هذا الانخفاض معنوياً عند استخدام الجرعة 1.5 كيلوغراي وعند تخزين هذه الثمار لفترة تتجاوز الـ 180 يوماً.

الجدول 2– تأثير أشعة غاما على فقد الوزن % في ثمار تفاح الستاركنج.

موسم الانتاج	1995			1996		
مدة التخزين/ يوم	45	90	180	45	90	180
الشاهد	1.0 a	1.8 a	3.5 ab	1.00 ab	1.63 a	2.63 b
0.5 kGy	1.1 a	1.9 a	3.6 a	1.15 b	1.65 a	2.55 ab
1.0 kGy	1.1 b	1.8 a	3.4 b	1.08 ab	1.63 a	2.38 ab
1.5 kGy	1.1 b	1.8 a	3.4 b	0.93 a	1.48 a	2.35 a

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

يمكن أن يُعزى المعدل المرتفع في فقد الوزن خلال المرحلة الأولى من التخزين (45 يوماً) للتأثير التحريضي للأشعة على العمليات الاستقلابية والمتمثلة بشدة التنفس والنشاط الأنزيمي. ويمكن أن يُعزى الانخفاض في فقد الوزن عند ثمار أصناف الغولدن والستاركنج المنتجة في منطقة القنوات إلى الانخفاض المفاجئ في معدل تنفس هذه الثمار عند نهاية فترة التخزين (180 يوماً).

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

وتتفق هذه التفسيرات مع النتائج التي حصل عليها [11] الذين أشاروا إلى وجود أثر تنشيطي تمثل في زيادة استهلاك الأكسجين وارتفاع في معدلات التنفس عند ثمار أصناف الماكنتوش والكورتلاند والروم بيوتي وذلك عند تعريضها للجرعات 0.0 و 0.1 و 0.5 كيلوغراي من أشعة غاما.

وذكر شاشين وأوغاتا [12] أن معدل تنفس ثمار التفاح قد ازداد خلال اليومين التاليين لعملية التشعيع، ثم تناقص بعد ذلك واستمر هذا التناقص ليصل إلى المستوى الذي كان عليه قبل عملية التشعيع.

وأظهرت نتائج كل من البشير وساس [13] ارتفاعاً في شدة التنفس عند ثمار صنف الجوناثان بعد التشعيع مباشرة، إلا أن هذا الارتفاع زال خلال التخزين وانخفض إلى مستوى يقل عن مستوى الشاهد وذلك في نهاية فترة التخزين.

وتشير نتائج هذه الدراسة إلى وجود تداخل في التأثير بين التشعيع وموقع الإنتاج، وبين التشعيع وموسم الإنتاج، والذي يجب أخذه بالاعتبار عند إجراء المزيد من التجارب والبحوث في هذا المجال. ويمكن لهذا التداخل أن يفسر النتائج المتناقضة التي ذكرت في المراجع العلمية.

تأثير أشعة غاما على التلف الفطري

يبين الجدول 3 تأثير أشعة غاما على نسب التلف الفطري في ثمار صنفي التفاح عند تخزينهما لفترات زمنية تراوحت بين 180 و 250 يوماً. وكانت هذه الزيادة الناتجة من التشعيع في نسب التلف الفطري عند ثمار كلا الصنفين معنوية وأكثر وضوحاً عند استخدام جرعات منخفضة من أشعة غاما (0.5 كيلوغراي) مقارنة مع استخدام الجرعات المرتفعة. لقد تمثلت مظاهر التلف في ثمار كلا الصنفين بانتشار الأعفان وأهمها العفن الأزرق الذي يسببه النوع Penicillium expansum والعفن الرمادي الذي يسببه النوع Botrytis cinerea حيث يبدأ ظهور الإصابة بهذه الأعفان بعد دخول الأبواغ عبر الثغرات والفجوات الطبيعية في قشرة الثمرة أو عبر الشقوق والجروح الصناعية الناتجة عن تداول الثمار خلال عمليات القطاف والتوضيب.

تتفق نتائج هذه الدراسة مع النتائج التي توصل إليها [15] والتي تشير إلى أن استخدام الجرعات 2 و 5 كيلوغراي قد سرّع من ظهور التلف الفطري الناتج عن إصابة الثمار بالنوع P.expansum، في حين أدى استخدام الجرعة 5 كيلوغراي إلى تقليل احتمالات تسرب الأبواغ الفطرية عبر قشرة ثمار الغولدن.

وذكرت بعض الدراسات ومنها نتائج [16 ,3] أن معالجة الثمار بجرعة إشعاعية قدرها 2 كيلوغراي قد أدى إلى تثبيط النمو الفطري. في حين لم يظهر لاستخدام الجرعات الأدنى أي تأثير في هذا المجال. ويفترض للوصول إلى هذا الأثر الإيجابي باستخدام الجرعة 2 كيلوغراي استخدام ثمار سليمة وخالية من الإصابات والأضرار عند جنيها حيث أن ثماراً كهذه يمكن أن تتحمل المستوى المرتفع من الجرعات الإشعاعية. فقد وُجد [15] أن استخدام الجرعتين 1 و 2 كيلوغراي يمكن أن يسرع ظهور التلف الناتج من إصابة الثمار بالفطر P.expansum. وبالمقابل فإن استخدام الجرعة 5 كيلوغراي يمكن أن يحدّ من تسرب وتغلغل ميسيليوم الفطور عبر قشرة ثمار الغولدن.

يمكن أن يُعزى ارتفاع نسب التلف الفطري في الثمار المشعّة إلى التأثير السلبي للأشعة على قشرة هذه الثمار حيث تصبح الثمار المعالجة بالأشعة أكثر حساسية وأقل مقاومة لدخول الأبواغ الفطرية الباقية على قيد الحياة بعد التشعيع أو الهيفا الناتجة من هذه الأبواغ. ويتفق هذا التفسير مع ما ذكر في دراسات سابقة لـ البشير [7] والتي أشارت إلى انخفاض في سماكة القشرة عند تفاح الجوناثان من 100.2 مكرون إلى 67.9 مكرون عند تعريض هذه الثمار لجرعة قدرها 1 كيلوغراي من أشعة غاما.

في حين أشار [18] إلى حدوث تحلل في الأغشية خلال عمليات التشعيع، حيث بدأت هذه الأغشية بالتلف بعد تعرضها لجرعة إشعاعية قدرها 0.1 كيلوغراي وذلك بعد 38 ساعة.

الجدول 3- تأثير أشعة غاما على التلف الفطري والإصابة بالعفن الأسود عند ثمار التفاح (%).

نوع المرض الفيزيولوجي	التلف الفطري									العفن الاسود		
الصنف	ستاركنج						غولدن					
موسم الانتاج	1995			1996			1995			1996		
مدة التخزين/ يوم	180	210	250	180	210	250	180	210	250	180	210	250
الشاهد	1.5 a	5.5 a	5.5 a	1.5 b	17.5 b	27.5 b	0 a	2 a	4.25 a	75.0 c	92.5 c	100 b
0.5 kGy	14.5 c	21.0 b	31.5 b	0.5 b	1.5 a	3.0 a	5 b	7 a	13.5 b	7.5 a	22.5 ab	36.3 a
1.0 kGy	2.0 b	6.0 a	12.75 a	2.5 b	37.5 c	38.8 c	2 b	3.5 a	4.0 a	5.5 a	13.8 a	42.5 a
1.5 kGy	6.5 b	8.0 a	16.5 a	0 a	3.8 a	9.0 a	2 b	2 a	3.75 a	18.8 b	30.0 b	58.8 a

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

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

تأثير أشعة غاما على العفن الأسود

تبين النتائج المثبتة في الجدول 3 أن لجميع الجرعات الإشعاعية المستخدمة تأثيراً في إعاقة انتشار العفن الأسود على السطح الخارجي للثمار المعالجة، وكان هذا التأثير للأشعة في إعاقة انتشار العفن معنوياً وأكثر وضوحاً عند استخدام الجرعات المنخفضة (0.5 و 1.0 كيلو غراي) وذلك مقارنة مع استخدام الجرعة المرتفعة (1.5 كيلوغراي).

يعتبر النوع A.Niger المسبب للعفن الأسود فطراً رمياً ينمو على القشرة الخارجية للثمرة عند تكاثف الرطوبة الجوية عليها خلال التخزين ضمن شروط مبردة، ويكون تطوره ونموه بطيئاً ضمن هذه الشروط ولا يصل إلى مستوى ملحوظ في النمو إلا في نهاية فترة التخزين [14].

يمكن تفسير دور الأشعة في إعاقة نمو وتكاثر هذا الفطر من خلال تأثيرها المباشر على الأبواغ الموجودة على قشرة الثمار أو من خلال التغيرات والتبدلات التي تحدثها على مركبات ومكونات القشرة والتي تجعلها وسطاً غير ملائم لنمو هذا الفطر. لقد كانت نتائج هذه الدراسة متوافقة مع النتائج التي حصل عليها [7]. والذي أوضح أن ثمار التفاح الحاملة لهذا الفطر يمكن أن تخزن لمدة تتراوح بين 5 و 7 أيام في درجة حرارة 20 °C بعد تشعيعها بجرعات قدرها 1.5 و 2 كيلوغراي وذلك من دون ظهور أية أضرار مرئية على الثمار. ويتفق هذا التفسير مع نتائج البشير [17] التي بينت ازدياد سماكة القشرة والطبقة الشمعية (الكوتيكل Cutical) عند الثمار المعرضة للأشعة خلال فترة التخزين، حيث كانت سماكة الطبقة الشمعية 2.83 مكرون في ثمار الشاهد، في حين كانت 3.15 مكرون عند الثمار المعاملة بجرعة إشعاعية قدرها 1.5 كيلوغراي. كما لوحظ أن الإصابة بالعفن الأسود قد ظهرت في ثمار صنف الغولدن ولم تظهر في ثمار الستاركنج. ويمكن أن يعزى ذلك إلى الاختلافات في سماكة القشرة بين الصنفين وهو ما يتفق مع ما ذكره [19] في دراسته التي فحص فيها الخصائص المختلفة للقشرة في صنفين من أصناف التفاح هما الغولدن الذي كانت سماكة قشرته 52.9 مكرون والستاركنج الذي كانت سماكة قشرته بحدود 54.5 مكرون.

تأثير أشعة غاما على تبقع قشرة ثمار الغولدن (Lenticel spots)

لقد كانت نسبة إصابة الثمار بالتبقع 49% عند تخزينها لمدة 180 يوماً في تجارب الموسم الأول وعند تخزينها لمدة 250 يوماً في تجارب الموسم الثاني. ويبين الجدول 4 أن جميع الجرعات الإشعاعية المستخدمة قد أدت إلى خفض معدل ظهور الإصابة بتبقع القشرة وذلك خلال

الجدول 4– تأثير أشعة غاما على تبقع قشرة ثمار تفاح الغولدن (%).

موسم الانتاج	1995			1996		
مدة التخزين/ يوم	180	210	250	180	210	250
الشاهد	48.5 a	67.5 c	97.5 b	8.5 b	41.3 b	48.8 b
0.5 kGy	10.5 b	15.5 a	64.0 ab	0.0 a	1.3 a	2.0 a
1.0 kGy	13.0 b	27.0 a	55.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a
1.5 kGy	5.0 b	19.0 a	32.5 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

مراحل التخزين المختلفة، وكان هذا الخفض معنوياً وتناسب طرداً مع الجرعة الإشعاعية المستخدَمة.

وتتفق نتائج تجارب هذا البحث مع نتائج كل من [4] و [17] التي بينت أن استخدام الجرعات 1.0 و 1.5 و 2.0 كيلوغراي قد أعاق ظهور تبقع الجوناثان.

يعود ظهور التبقع إلى تغيرات ناتجة عن زوال في لون خلايا البشرة، ويتمثل ظهور التبقعات بتغير لون صبغة الأنثوسيانين وتحولها من اللون الأحمر إلى الأزرق.

ويمكن أن يعزى انخفاض ظهور التبقع في ثمار التفاح المعامل بأشعة غاما إلى ارتفاع مستوى الحموض في الثمار المشععة، علماً أن هناك علاقة عكسية بين محتوى الثمار من الأحماض من جهة وإصابتها بالتبقع من جهة أخرى، حيث قدرت الـ pH في الأنسجة السليمة بـ pH = 3.8 ، في حين قدرت قيم الـ pH في الأنسجة المصابة بـ 4.7 [14].

ويمكن أن يُعزى هذا التأثير لأشعة غاما في دورها المنظم لعمليات الاستقلاب و الأكسدة في الثمار المخزنة، ويدعم هذا الاقتراح نتائج [12, 20] التي بينت أن لأشعة غاما تأثيراً واضحاً على نشاط أنزيم الـ malate dehydrogenase (MDH) في ثمار التفاح.

وهناك تفسير مماثل اقتُرح من قبل [11] الذي درس جرعات إشعاعية تراوحت بين 0.5 و 1.0 كيلوغراي على ثلاثة أصناف من التفاح (الماكنتوش، الكورتلاند، الروم بيوتي).

تأثير أشعة غاما على صلابة الثمار

لقد كان لجميع الجرعات الإشعاعية المستخدمة دور في خفض صلابة ثمار كلا الصنفين بعد التشعيع مباشرة وكان هذا الانخفاض معنوياً وأكثر وضوحاً عند استخدام الجرعات المرتفعة (الجدول 5). تتفق هذه النتائج مع تلك التي توصل إليها [11] و [22] والتي أشارت إلى اختلاف مستوى الجرعة التي تسبب الطراوة من صنف لآخر. ومع ذلك فإن الجرعات التي تزيد عن 0.1 كيلوغراي تسبب طراوة للعديد من أصناف ثمار التفاح وذلك بعد التشعيع مباشرة.

وربما يعود انخفاض صلابة الثمار المعاملة بالأشعة إلى انخفاض محتوى هذه الثمار من المركبات البكتينية والبكتين غير القابل للذوبان في

الجدول 5– تأثير أشعة غاما على صلابة ثمار التفاح (نيوتن /سم).

الموقع	ظهر الجبل		القنوات
الصنف / المعاملة	ستاركنج	غولدن	
الشاهد	93.2 c	97.5 d	71.7 c
0.5 kGy	84.2 b	78.7 c	66.1 b
1.0 kGy	84.0 b	69.1 b	63.3 ab
1.5 kGy	75.8 a	61.7 a	59.5 a

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

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

الماء. (البروتوبكتين Protopectin) وتحولها إلى أشكال بكتينية قابلة للذوبان في الماء. ويتفق هذا التعليل مع نتائج [24] التي بينت تساوي الجرعة المسببة لطراوة الثمار مع الجرعة اللازمة لتحلل مركبات السليلوز والبكتين، ومع نتائج م. البشير [17] التي بينت ارتفاع نشاط الأنزيمات المحللة للبكتين مثل أنزيم pectin methyl esterase (PME) في ثمار الجوناثان وذلك بعد معاملتها بالجرعات 0.5 و 1 و 1.5 كيلوغراي مباشرة.

تأثير أشعة غاما على قيم الـ pH في عصير ثمار التفاح

تبين النتائج المثبتة في الجدول 6 أن جميع الجرعات الإشعاعية المستخدمة قد أدت إلى خفض معنوي في قيم الـ pH في عصير ثمار كلا الصنفين وذلك بعد التشعيع مباشرة.

الجدول 6– تأثير أشعة غاما على قيم الـ pH عند عصير ثمار التفاح.

الصنف / الجرعة	غولدن	ستاركنج
الشاهد	3.48c	3.88c
0.5 kGy	3.35c	3.71b
1.0 kGy	3.23a	3.42a
1.5 kGy	3.21a	3.48a

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

وبذلك تتوافق نتائج هذه الدراسة مع نتائج تجارب. [25] الذين أشاروا إلى حدوث انخفاض في قيم الـ pH عند الثمار المعاملة بالأشعة وذلك عند تخزينها لمدة شهر بعد تشعيعها.

وأشار كل من [26, 27] والبشير [17] إلى أن التشعيع يؤدي إلى إسراع تلف حمض التفاح Malic acid خلال فترة التخزين وذلك كنتيجة لزيادة شدة التنفس ونشاط بعض الأنزيمات الاستقلابية.

يمكن تفسير الانخفاض في قيم pH العصير بزيادة كمية بعض الأحماض العضوية كحمض الليمون Citric وحمض السكسنيك succinic وحمض الكونيك quinic في الثمار. ولتأكيد هذا التفسير يجب تنفيذ المزيد من التجارب المعمقة في المستقبل، علماً بأن هذا التفسير يتفق مع نتائج تجارب [28] التي أشارت إلى زيادة في كمية حمض الليمون عند ثمار التفاح المعاملة بجرعات إشعاعية قدرها 1 و 2 كيلوغراي، في حين لم يسجل اختلاف في نسبة حمض Quinic بعد تنفيذ عملية التشعيع، كما أورد [29] أيضاً زيادة في تراكم حمض السكسنيك عند ثمار التفاح المعالجة بالأشعة.

تأثير أشعة غاما على تبدلات اللون عند ثمار التفاح

لقد كان لجميع الجرعات الإشعاعية المستخدمة تأثير واضح في زيادة شدة اللون الأصفر وانخفاض شدة اللون الأخضر عند الثمار المشعة لكلا الصنفين (الجدول 7). وكان لجميع الجرعات الإشعاعية المستخدمة تأثير معنوي في زيادة شدة اللون الأصفر عند ثمار صنف الغولدن ديليشيس، في حين اقتصرت هذه المعنوية على استخدام الجرعة 1.0 كيلوغراي من الأشعة عند ثمار الستاركنج. وبشكل عام يمكن التأكيد على وجود تناسب طردي بين زيادة شدة اللون الأصفر والجرعة الإشعاعية المستخدمة عند الصنفين.

الجدول 7– تأثير أشعة غاما على تبدلات اللون عند ثمار التفاح (%).

اللون	اللون الاصفر		اللون الاخضر	
الصنف / الجرعة	غولدن	ستاركنج	غولدن	ستاركنج
الشاهد	100 a	100 a	100 b	100 a
0.5 kGy	107 b	114 ab	86 a	97 a
1.0 kGy	109 b	128 b	91 ab	78 a
1.5 kGy	109 b	120 ab	91 ab	74 a

لا توجد فروق معنوية بين الأرقام التي تحمل حروفاً متماثلة ضمن العمود الواحد.

لقد اختُزِل اللون الأخضر عند ثمار التفاح المشعة من كلا الصنفين مقارنة مع الثمار الشاهد، وكان هذا الاختزال في اللون الأخضر معنوياً (على مستوى ثقة 5%) عند ثمار الغولدن التي عُرِّضت لجرعة قدرها 0.5 كيلوغراي وظاهرياً عند بقية الجرعات الإشعاعية المستخدمة.

تعود زيادة شدة اللون الأصفر إلى زيادة تشكل الكاروتينات Carotenes، في حين أن انخفاض اللون الأخضر يعود إلى تفكك الكلوروفيل Chlorophyll. وتشير هذه التبدلات في اللون إلى دور الأشعة في تسريع نضج ثمار التفاح، وهو ما يتفق مع نتائج دراسات أخرى أجريت على أنواع متعددة من الفاكهة كالدراق [30] والفريز [31] والتي بينت أن للتشعيع دوراً واضحاً في تحويل لون هذه الثمار من الأخضر إلى الأصفر أو الأحمر على التوالي.

المراجع REFERENCES

[1] Mikaelson K. and Roer, L. (1960) Radiation experiments with potatoes and other plant products in Norway, in Rep. 16, Danish Atomic Energy Commission, Riso. 65.

[2] Smock R. M. and Sparrow A. H. (1957) A study of the effect of gamma radiation on apples, Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 70: 76.

[3] Beraha L; Ramsey G. B; Smith M. A; Wright W. R. and Heiligman F. (1961) Gamma radiation in the control of decay in strawberries, grapes and apples, Food Technol. 15: 49

[4] Terui M. and Harada Y (1969). Gamma irradiation for control of diseases in stored apples. Hirosaki Daigaku Nogakubu Gokujustsu Hokoku, 15:21.

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

[5] Okamoto T; Harata J. and Osanai J. (1972) Radioinduced changes in respiration, organoleptic properties, weight, flesh firmness and surface color of apple fruits during controlled atmosphere storage, Hirosaki Daigaku Nogakubu Gakujutsu Hokoku, 18:1.

[6] Park N. P; Choi E. H; Lee O. H. and Kim Y. M. (1971) Studies on the storage of apples. I. Effects of single or combined treatments of gamma radiation and Technology. 2(1): 81-87.

[7] Roy M. K. and Mukewar P. M. (1973) Combined gamma irradiation and chemical treatment in the control of Aspergillus niger van Tighem and Fusarium coeruleum (Lib). sacc, in Radiation preservation of Food, IAEA, Vienna 193.

[8] Langerak D. (1982) Combined heat and irradiation treatments to control mould contamination in fruit and vegetables; technical and preliminary res. no. 93; IAEA research contract no. 2491/R1/RF, research institute italy, Wageningen.

[9] Kovacs E; Keresztes A. and Kovacs J. (1988) The effects of gamma irradiation and calcium treatment on the ultrastructure of apples and pears. Food Microstructure 7(1): 1-14.

[10] Sass P. (1982) Variety, production place and storage system affecting apple storability (Az alma tarolhatosagat meghatarozo torvenyszerosegek a fajta, termohej es tarolasi modszerek osszefuggesei alapjan) Akademiai Doktore Ertekezes BP.

[11] Massey L. M. Jr; Parsons G. F. and Smock R. M. (1964) Radiation Processing of foods;some effects of gamma radiation on the keeping qualities of apples, J. Agric. Food Chem. 12:268.

[12] Chachin K. and Ogata K. (1976) Alteration of respiration chain in some fruits and vegetables irradiated by gamma radiation. Food Irradiation. 11(1/2): 13-15.

[13] Al-Bachir M. and Sass P. (1969) Effect of ionizing radiation on the respiration intensity of pear and apple during storage. Acta Agronomica Hungarica. V. 38(1-2): 49-57.

[14] Sass P. (1993) Fruit storage, Mezogazdasagi Kiado, Budapest.

[15] Matthe F. N. and Marais P. G. (1963) Preservation of food by means of gamma rays. Food Irradiation. 4(1):10.

[16] Beraha L; Ramsey G. B; Smith M. A. and Wrihgt W. R. (1959) Gamma radiation for possible control of post-harvest diseases of apples, strawberries, grapes and peaches. Phytopathology, 47,4.

[17] Al-Bachir M. (1986) Az ionizalo sugarza shatasa a gyumolcs-felek es a csemegeszolo Tarolhatosagara. Kreszeti eqyetem, kandidatusi ertekezes. Budapest.

[18] Xin Zhi Jiao. (1989) The effects of gamma-rays ultrastructure and ethylene biosynthesis in apple pulp cells, Plant Physiology Supplement v. 89(4):194.

[19] Babos k; Sass P. and Mohachy P. (1984) Relationship between the peel structure and storability of apples. Acta Agr. Sci. Hung. 33(1-2): 41-50.

[20] Bogdan J-ne; Al-Bachir M; Gasztonyi K. and Sass p. (1987a) Ionizalo Sugarzas hatasa, a tarolt korte es alma enzimaktivitasara Lippay Tud. Ulesszak, Budapest II. Kot: 18-22.

[21] Bogdan J-ne; Al-Bachir M. and Sass P. (1987b) Tarolt gyumolcsok enzimaktivitas- valtozasa. Lippay Tud. Ulesszak, Budapest. II. Kot:136-142.

[22] Boyle F. P; Kertesz Z. I; Glegg R. E. and Connor M. A. (1957) Effect of ionizing radiation on plant tissues, II softening of different varieties of apples and carrots by gamma rays, J. Food Res, 22:89.

[23] Clark I. D. (1968) Effects of ionizing radiation on the storage properties of fruits, in preservation of fruit and vegetables by radiation, IAEA. Vienna, 65.

[24] Kertesz Z. I; Glegg R. E; Boyle F. P; Parsons G. F. and Massey L. M. Jr. (1964) Effect of ionizing radiation on plant tissues III. softening and changes in pectins and cellulose of apples, carrots and beets, J.Food Sci.29:40.

[25] Kovalszkaja L. L; Zaharova N. V; Vidoro feeve E; Siskina N. Sz. and Petras I. P. (1973) Vlijanie ionizit rujuscsih izlucsenij na funkcionalnue rasztrojsztva v tkanjah jalblok. Dokladu naucsno. Tehnicseszkij Konferenci; po iszszledovaniju ioniziruscsih izuucsenij v narodnon hozjajsztve. 3. K.I.r.P.3-21

[26] Saito Z. and Igarashi Y. (1971) Effects of gamma irradiation on changes in acidity, vitamin C, and nonprotein nitrogein of apples, Hirosaki Daigaku Nogakubu Gakujutsu Hokoku 16(1):1.

[27] Saito Z. and Igarashi Y. (1972) Effects of gamma irradiation on changes in acidity, vitamin C, and nonprotein nitrogen of apples stored in a controlled

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

atomsphere, Hirosaki Daigaku Nogakubu Gakujustsu Hokoku. 20:13.

[28] Fernandez S. J. G. and Clark I. D. (1962) Effects of ionizing radiation on the acid metabolism of apples (Cox orange pippin), J. Sci, Food Agric. 13:23.

[29] Hulme A. C. (1962) Effects of ionizing radiation on the acid metabolism of apples (Cox orange pippin).- datacited in Fernandez, S. J. G, and Clark I, D. (1962). J. Sci. Food Agric; 13:23.

[30] Williams J, Bramlage H, Melvin C (1965) Gamma radiation of fruits to extend market life, Market Quality Research Division, Agricultural Research Service.

[31] Farkas J, Kalman B, Kiss I, Stenger V, Vas K. and Zacharier Gy (1981) Sugartechnologiak elelmiszeripari felhesznalasa, orszegos Musza; Fejlesztesi Bizottsag, 8-8104-T. Budapest.

[32] Internationao Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI) (1994) Irradiation as a quarantine treatment of fresh fruits and vegetables. Vienna ICGFI Document No. 17.■

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

الاختيار الأمثل لتشكيل مسبار غاما – غاما الطيفية البئرية يستخدم مصادر إشعاعية منخفضة جداً لتحديد درجة الرصاص والزنك*

جمال أصفهاني
قسم الجيولوجيا – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

برهنا في هذا البحث على ملاءمة مسبار غاما – غاما الطيفية المتبعثرة الراجعة المستخدمة في القياسات الجيوفيزيائية البئرية في توقع الرصاص والزنك المعدني المكافيء (Zinc Metal Equivalent) ZME. استخدمنا مسباراً ممركزاً ومصادر ذات شدات إشعاعية منخفضة جداً من مرتبة 1.8 ميغا بكريل (MBq). اختبرنا مسبار القياسات البئرية باستخدام الباريوم ^{133}Ba والسيزيوم ^{137}Cs، وكان الكاشف عبارة عن بلّورة يوديد الصوديوم المشعة بالتتاليوم أبعادها 37 mm x 75 mm (قطر). درسنا خمسة تشكيلات ما بين المنبع المشع والكاشف وطبقناها من أجل دراسة ثمانية عشرَ نموذجاً جيوفيزيائياً، ثلاثة عشرَ منها كان قطر البئر فيها 130 mm، والخمسة الباقية كان قطر البئر فيها 160 mm. طبقنا تقانة تحليل التراجع regression analysis على المعطيات الجيوفيزيائية المخبرية من أجل كل تشكيل مدروس، وذلك بهدف الحصول على معادلة المعايرة التي يسمح استنتاجها بالتنبؤ الكمي عن محتوى الرصاص والزنك المعدني المكافيء (ZME). وجدنا أن التشكيل الأمثل في حالة استخدام مصدر الباريوم هو 52 mm بين المنبع المشع والكاشف. يعطي هذا التشكيل أفضل النتائج من حيث تحديد محتوى Pb و ZME، فقد كانت الانحرافات المعيارية (r.m.s) من أجل كل من Pb و ZME من مرتبة 0.33% و 2.3% على التوالي. كما وجدنا أن التشكيل الأمثل في حالة استخدام مصدر السيزيوم هو 64 mm بين المنبع والكاشف، فهذا التشكيل يعطي أفضل النتائج إذ كانت الانحرافات المعيارية من أجل Pb و ZME من مرتبة 0.36% و 2.2% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: قياسات بئرية، طريقة غاما– غاما، قياسات طيفية، مسبار بئري.

مقدمة

هناك حاجة ملحة ومستمرة في مجال الاستكشاف المعدني والصناعات المنجمية، لتطوير تقانات تتصف بكونها سريعة جداً وذات دقة عالية لتحديد خصائص التوضعات المعدنية وتقدير المحتوى المعدني فيها. وبسبب هذه الحاجة أضحت القياسات الجيوفيزيائية البئرية جزءاً متكاملاً في فعاليات الاستكشاف الحديث والتطوير المنجمي. ومن بين مختلف تقانات القياسات الجيوفيزيائية البئرية تبرز التقانات النووية التي تملك القدرة على تقديم توصيف وتقدير كمّي، وتعد تقانة غاما – غاما واحدة من عائلة القياسات الجيوفيزيائية البئرية النووية.

تَستخدِم مسابر غاما – غاما مصادر إشعاعية ذات فعّالية عالية جداً من مرتبة 2000 - 6000 ميغا بكريل (MBq). تنطوي هذه السويات العالية من النشاط الإشعاعي على صعوبات ومخاطر جمّة تتعلق بسلامة وأمان الأشخاص العاملين بهذا المجال من جهة، وأثر ذلك على المستوى البيئي من جهة أخرى، وأكثر من ذلك فهذه المسابر ليست طيفية وهي تستخدم بشكلٍ أساسي لتحديد جسم الخام المعدني فقط.

تؤمن التجهيزات البئرية النووية، التي تَستخدم مصادر ذات شدات إشعاعية أقل من 3.7 MBq إعطاء توصيف كمّي لسلامة البيئة والعاملين في مجال القياسات البئرية ويكون الخطر المرافق لهذه القياسات بحدوده الدنيا.

تم تطبيق تقانة غاما – غاما الطيفية المتبعثرة الراجعة، والتي تَستخدم مصدراً إشعاعياً ذا فعّالية منخفضة، في مجال مناجم الفحم والحديد [1,2,3,4]، بالإضافة إلى تطبيق هذه التقانة في حقل المناجم المعدنية [5].

يهدف هذا العمل البحثي إلى البرهنة على إمكانية استخدام مسبار غاما – غاما الطيفية المتبعثرة الراجعة، باستخدام مصدر الباريوم المشع ذي الشدة الإشعاعية المنخفضة جداً، من أجل التحديد الكمّي لكلٍ من الرصاص والزنك، كما يهدف أيضاً إلى مقارنة الحساسية والدقة التي يتم الحصول عليها باستخدام هذا المصدر مع الحساسية والدقة التي يتم الحصول عليها باستخدام مصدر السيزيوم المشع ذي الشدة الإشعاعية المنخفضة جداً. فقد تم الاعتقاد أن مصدر الباريوم ^{133}Ba ذا الفعّالية المنخفضة يمكنه أن يقدم حساسية أفضل من تلك التي نحصل عليها باستخدام السيزيوم ^{137}Cs من أجل تقدير المحتوى الكمّي لكل من Pb وZME [5]، ومن أجل ذلك، تمت دراسة وتحليل خصائص تشكيلات مختلفة بين المصدر المشع والكاشف بهدف الحصول على أفضل تشكيل جيوفيزيائي بئري. تعد عملية الحصول على تشكيل لتباعد أمثل بين المصدر

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Radiation and Isotopes*, (1999).

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

والكاشف أساسية وضرورية من أجل تمعدن خاص، وذلك بهدف الحصول على أفضل النتائج.

مواصفات مسبار القياس

هذا المسبار مصنوع من الألمنيوم بسماكة 3 مم وقطره الخارجي 60 مم، محمّل عليه كاشف NaI(Ti) أبعاده 75 mm × 37 mm لكشف إشعاعات غاما. تمت دراسة هذا المسبار الممركز باستخدام مصدرين مشعين هما الباريوم 133 و السيزيوم 137 ذي الشدات الإشعاعية من مرتبة 1.8 MBq.

تم عزل الكاشف عن مصدر إشعاعات غاما بوساطة 30 مم من الرصاص، كما تم وضع مصفاة من الكاديوم والنحاس بين العازل الرصاصي والكاشف وذلك لامتصاص أي أشعة X غير مرغوب بها. وعلى اعتبار أن أشعة غاما الناتجة من مصدر الباريوم المشع لا يمكنها اختراق العازل الرصاصي، فقد تمت إضافة مصدر إشعاعي آخر بجسم المسبار وهو السيزيوم 137 ذي الفعالية 0.37 MBq، ليؤمّن إحداث نبضة (Peak) عند 662 keV، الهدف منها ضمان الحصول على كامل طيف غاما المتبعثرة الراجعة. تم تسجيل أطياف غاما المتبعثرة الراجعة المدروسة في هذا البحث في حالة السكون (في حين تنفذ هذه القياسات البئرية عادة في وضعية الحركة وبسرعة تحرك المسبار من 2-3 م/ دقيقة)، وتم تخزين معطيات هذه الأطياف مباشرة على القرص الصلب في حواسب I.B.M الشخصية وذلك تمهيداً لتحليلها وتفسيرها فيما بعد.

مبدأ التحديد الكمّي للرصاص

يتم تحديد المحتوى الكتي للرصاص من أشعة X عند الطاقة 80 keV، فهذه النبضة (Peak) الناتجة من وجود هذا المعدن مميزة في طيف شعاع غاما المتبعثر الراجع. إن إشعاعات غاما التي تملك طاقة أعلى من 80 keV يمكنها أن تهيّج أشعة X من الرصاص منتجةً بذلك نبضة عند 80 keV. تُستخدم هذه النبضة لتحديد تركيز الرصاص، حيث أن عدد أشعة X المسجلة في هذه النبضة ترتبط مباشرة بتركيز الرصاص الموجود في خام الرصاص - زنك. ومع ذلك لا يمكن أن تكون العلاقة بين تركيز الرصاص ومساحة النبضة خطية تماماً، وهذا عائد إلى تشوه حزمة أشعة غاما بوساطة كامل الخام المعدني، ويجب أن تؤخذ هذه التغيرات بالحسبان أثناء معالجة وتفسير المعطيات.

تحديد الزنك المعدني المكافىء (ZME)

تعد وحدات الزنك المعدني المكافىء (ZME) قياساً مفيداً، إذ يزوّدنا باستجابة مسبار القياس غاما - غاما للتركيب الكلي للخام. إن أهمية إدخال هذا المتحول في هذا النوع من البحوث مرتبط بحقيقة أن تقانة غاما - غاما ليست ملاءمة لتمييز الزنك عن بقية العناصر الثقيلة الأخرى مثل Pb، Fe و Mn المترافقة مع خامات الرصاص والزنك.

يمكن تعريف ZME استناداً إلى المعادلة التالية:

$$ZME = Zn\% + Pb\% \times Ef(Pb/Zn) \qquad (1)$$

Ef(Pb/Zn) عبارة عن عداد (multiplier). حيث أن إشعاعات غاما، المتصة والمتبعثرة الراجعة من قِبل تركيب كيميائي مؤلف من عدة عناصر ثقيلة ومقيسة خلال طيف طاقي محدد، تعطي نفس النتيجة فيما لو قيست بتركيب كيميائي يحوي عنصر ثقيل واحد فقط (أي Zn فقط). تم تحديد قيمة Ef(Pb/Zn) في هذا البحث بحيث تكون مساوية إلى 4، والتي من أجلها حصلنا على أفضل انحراف معياري (r.m.s) بين ZME المستنتجة من التحاليل الكيميائية و ZME المستنتجة من خلال استجابة مسبار القياس المستخدم.

العمل المخبري

مصدر الباريوم ^{133}Ba

أجريت قياسات غاما - غاما المتبعثرة الراجعة في المخبر بهدف تحديد التشكيل الجيوفيزيائي البئري الأمثل، الذي يتمتع بأفضل حساسية من أجل تحديد تركيز كلٍّ من الرصاص والزنك. كانت التشكيلات بين المصدر المشع وأسفل الكاشف 40، 52، 64، 76، 88، مم.

أُجريت القياسات باستخدام مصدر مشع من الباريوم ذي الشدة الإشعاعية 1.8 ميغا بكرل في ثمانية عشرَ نموذجاً حيوفيزيائياً، ثلاثة عشرَ منها قطر البئر فيها 130 مم (النماذج: 3، 4، 5، 6، 10، 11، 12، 13، 14، 15، 16، 17، 18) بينما النماذج الخمسة الأخرى قطر البئر فيها 160 مم (النماذج: 1، 2، 7، 8، 9): يتألف كل نموذج من 200 ليتر من الخام المعدني المطحون للرصاص والزنك ويكون مسبار القياس المستخدم ممركزٍ في النموذج المدروس.

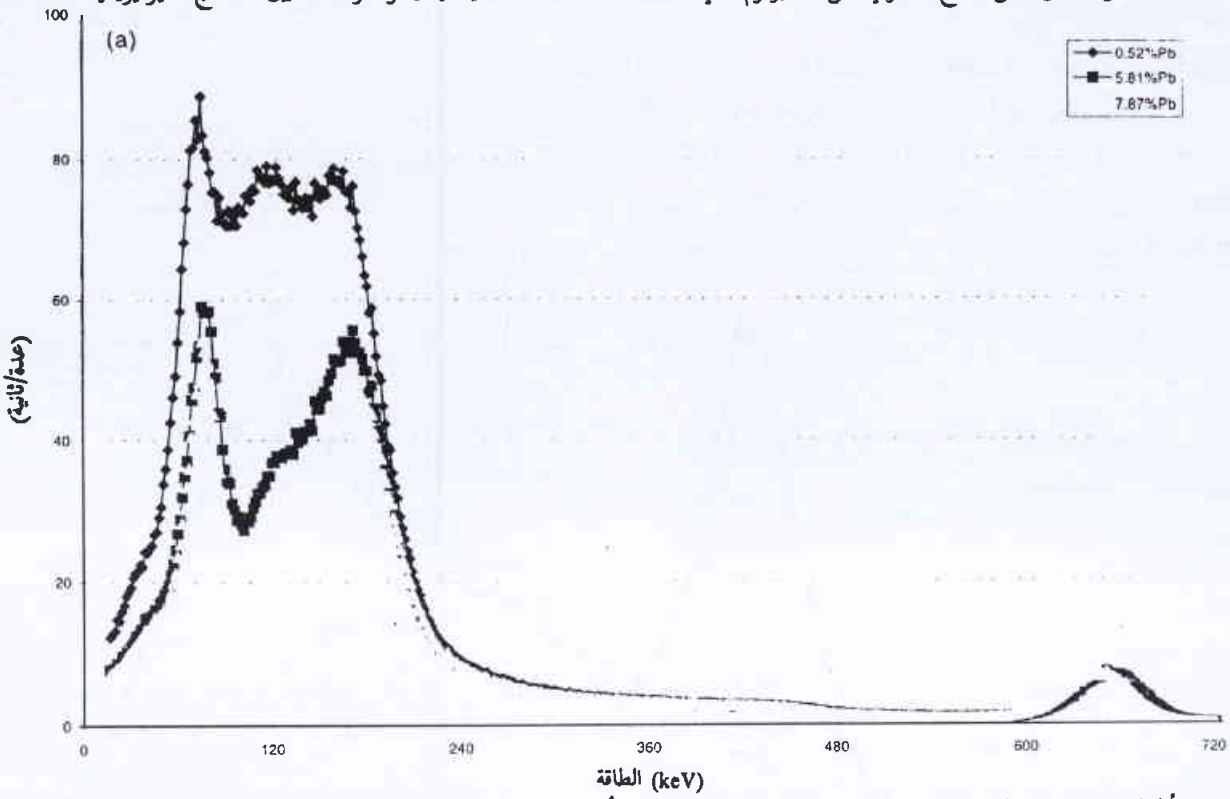
يُظهر الجدول 1 التركيب الكيميائي للنماذج الجيوفيزيائية المدروسة، ويُظهر الشكل 1a الطيف الذي تم تسجيله باستخدام مصدر الباريوم في

الجدول 1- التركيب الكيميائي لـ 18 نموذجاً جيوفيزيائياً مدروساً.

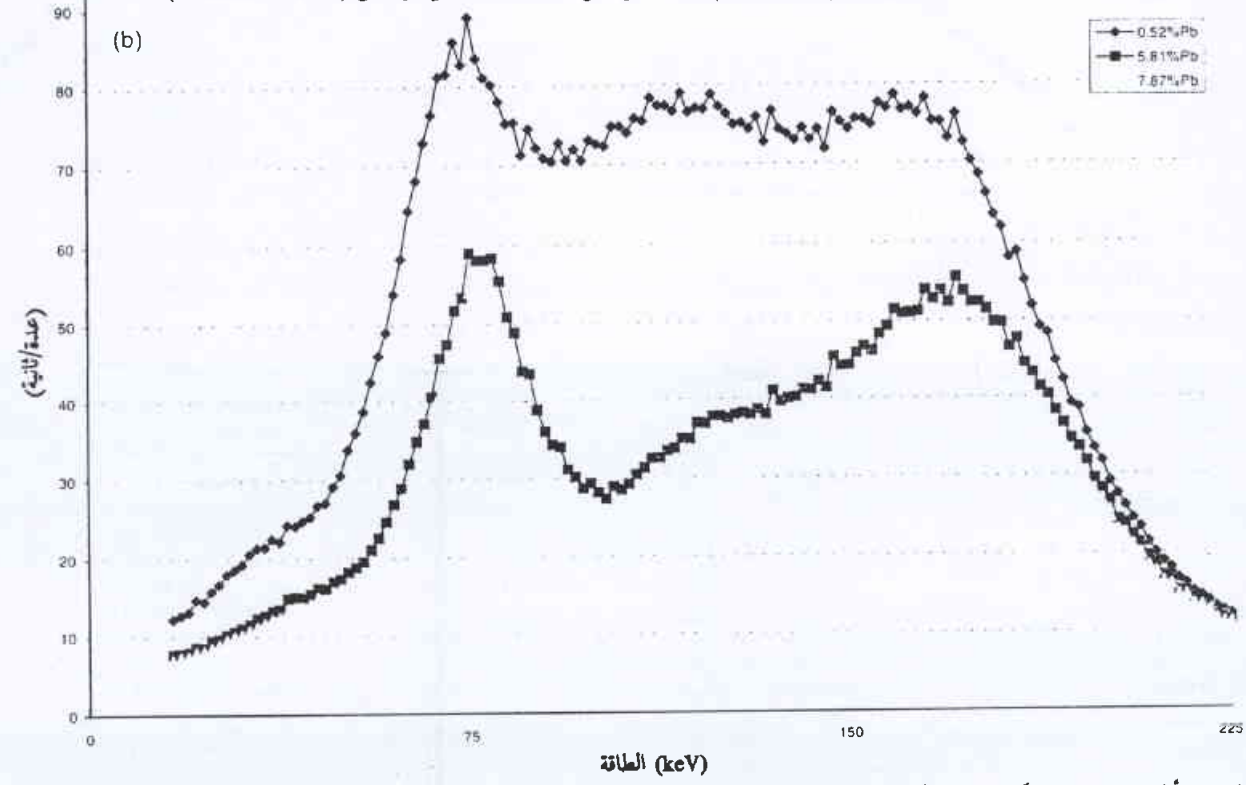
النموذج الجيوفيزيائي	قطر النموذج (mm)	Pb%	Zn%	Cu%	Fe%
1	160	1.82	7.63	-	7.53
2	160	1.49	18	-	6.65
3	130	4.27	4.71	0.051	13.24
4	130	3.83	4.32	0.043	13.22
5	130	5.81	5.86	0.065	13.34
6	130	0.52	0.52	0.033	5.49
7	160	0.445	3.13	-	8
8	160	1.9	19.1	-	6.01
9	160	2.62	11.5	-	6.07
10	130	7.1	19.08	0.081	15.50
11	130	5.02	6.03	0.066	13.41
12	130	5.4	6.52	0.08	12.01
13	130	5.06	6.42	0.063	12.67
14	130	5.74	12.48	0.09	12.26
15	130	7.87	9.4	0.080	16.23
16	130	0.65	0.87	0.02	5.51
17	130	7.77	9.47	0.073	15.4
18	130	6.66	9.2	0.07	15.86

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

النماذج الجيوفيزيائية (5، 6، 15) والتي تختلف عن بعضها بكمية الرصاص (5.8% ,0.52% ,7.87%)، كما يُظهر الشكل ذاته النبضة عند المجال 662 keV والصادرة عن المنبع الثانوي من السيزيوم ذي الشدة 0.37MBq. يتضح من الشكل 1b وهو عبارة عن صورة تفصيلية للطيف المعروض في الشكل 1a مأخوذ في نطاق الطاقات المنخفضة، أن تمايز الشدة الطاقية فيه يكون واضحاً بين النماذج الجيوفيزيائية الثلاثة المدروسة.



الشكل 1a– أطياف غاما – غاما المتبعثرة الراجعة باستخدام مصدر الباريوم ^{133}Ba. من أجل كميات مختلفة من الرصاص (5.81، 0.52، 7.87 %).



الشكل 1b– أطياف تفصيلية للشكل 1a في المجالات الطاقية المنخفضة.

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

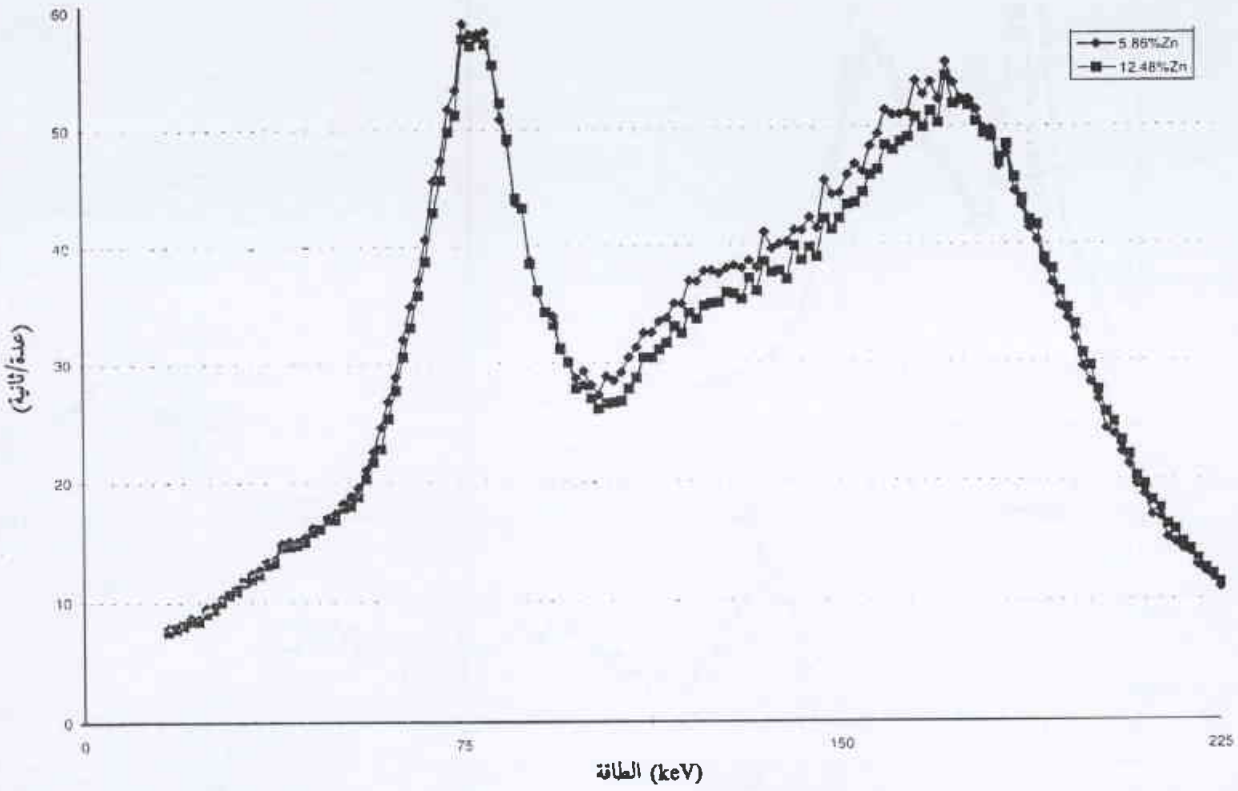
ترتبط شدة غاما المتبعثرة الراجعة بعاملين أساسين هما كثافة الوسط وتركيبه الكيميائي، إذ يؤثر التركيب الكيميائي للوسط بدوره على مجال الطاقات المنخفضة، بينما يحمل لنا مجال الطاقات المرتفعة معلومات عن كثافة الوسط المحيط بالبئر [6].

يمثل الشكل 2 الطيف المسجل في مجال الطاقة المنخفضة الذي تم الحصول عليه من خلال دراسة نموذجين جيوفيزيائيين هما النموذج 5 و14، اللذان يختلفان عن بعضهما فقط في كمية الزنك (5.86% و 12.48% على التوالي)، بينما تكون كمية الرصاص فيهما تقريباً متساوية (5.8%)،

ومن السهل أن نلاحظ الاختلاف بالشدة الإشعاعية في هذين النموذجين والذي يُعزى للتباين في كمية الزنك.

طبقّنا طريقة التراجع لتحليل وتفسير المعطيات التي تم الحصول عليها من خلال دراسة ثلاثة عشرَ نموذجاً جيوفيزيائياً قطر البئر فيها 130 مم، وذلك من أجل كل تشكيل من التشكيلات المدروسة (40، 52، 64، 76، 88 مم) ونتائج هذا التحليل موضحة في الجدول 2.

تُظهر هذه النتائج القيم العالية لمعامل الارتباط (Rc>0.95) بين قيم الرصاص المحللة كيميائياً وبين مختلف النسب الطيفية وثوابت Pz(Pz هي النسبة بين العدات الإشعاعية المقيسة في مجالين طاقيين عالي ومنخفض)،



الشكل 2– أطياف تم الحصول عليها في المجالات الطاقية المنخفضة باستخدام نموذجين جيوفيزيائيين لهما نفس كمية الرصاص (5.8%) تقريباً ولكن كمية الزنك مختلفة (5.86، 12.48 %).

الجدول 2– نتائج تحليل التراجع المطبق من أجل خمسة تشكيلات مدروسة في حالة استخدام مصدر الباريوم المشع ^{133}Ba.

S-D التباعد	%Pb				%ZME			
	rms	R_c	σ	المتحولات	rms	R_c	σ	المتحولات
40 mm	0.41	0.96	2.3	Roi3 (51-100.5) keV Rat1 (51-100.5)/(97.5-105) keV	2.88	0.949	13.47	Roi6 (135-180) keV Rat2 (225-300)/(75-105) keV
52 mm	0.33	0.97	2.3	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.6)/(105-135) keV	2.3	0.961	13.47	Roi3 (150-180) keV Rat3 (225-300)/(45-120) keV
64 mm	0.39	0.96	2.3	Roi2 (52.6-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.6	0.94	13.47	Roi6 (135-180) keV Rat1 (135-210)/(60-105) keV
76 mm	0.34	0.98	2.3	Roi2 (52.5-1108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.72	0.93	13.47	Roi6 (135-180) keV Rat1 (135-210)/(60-105) keV
88 mm	0.34	0.98	2.3	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.78	0.94	13.47	Roi7 (180-232.5) keV Rat8 (135-180)/(51-100.5) keV

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

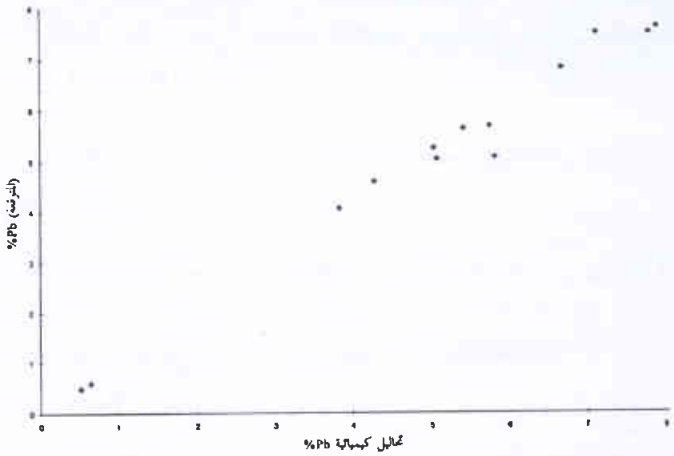
تتراوح قيمة r.m.s (الانحراف المعياري) بين نتائج القياسات الكيميائية والنتائج المحصول عليها من خلال تطبيق تقانة غاما – غاما الطيفية من 0.33% إلى 0.4% للرصاص. كما يعطي تطبيق التحليل التراجعي قيماً عالية لمعامل الارتباط (Rc>0.92) بين قيم ZME المحسوبة كيميائياً وبين مختلف النسب الطيفية وثوابت Pz، إذ تتراوح r.m.s بين القيم المحللة كيميائياً ونتائج التنبؤ بتقانة غاما – غاما من 2.3% إلى 2.88% لـ ZME. ومن الواضح أيضاً من الجدول 2 أن المسبار ذا التشكيل 52 مم بين المنبع والكاشف، يعد الأفضل لتقدير محتوى الرصاص و ZME كمياً، فقد حصلنا من أجل هذا المسبار على أصغر قيمة لـ r.m.s وأعلى قيمة لمعامل الارتباط Rc.

يشير الشكل 3 إلى منحني المعايرة بين نتائج التحليل الكيميائي للرصاص ونتائج التنبؤ عن الرصاص باستخدام مصدر الباريوم المشع ^{133}Ba من أجل مسبار غاما – غاما ذي التشكيل 52 مم. وبموجب التحليل التراجعي حصلنا على المعادلة التالية:

$$Pb\% = -7.15 - 0.024Roi2 + 13.377Rat2 \qquad (2)$$

حيث Roi2: هي العدات الإشعاعية المقيسة في المجال الطاقي من (52.5-108 keV).

Rat2: هي النسبة بين العدات الإشعاعية المقيسة في المجالين الطاقيين (51-100.5 keV) و (105 - 135 keV).



الشكل 3– مقارنة بين نتائج التحليل الكيميائي لـ Pb ونتائج التنبؤ باستخدام مسبار غاما – غاما ومصدر مشع من الباريوم ^{133}Ba.

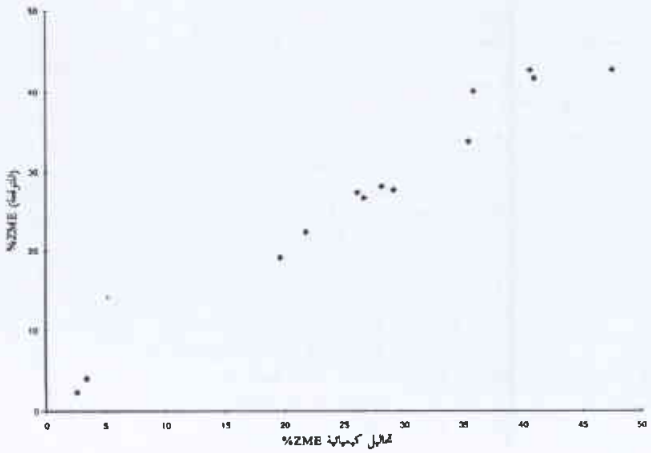
ومن أجل هذا المسبار ذي التشكيل 52 مم فإن r.m.s بين التنبؤ باستخدام غاما – غاما ونتائج التحليل الكيميائي هي 0.33% للرصاص، والانحراف المعياري من أجل التجمع هو 2.3% للرصاص.

يشير الشكل 4 إلى منحني المعايرة بين نتائج التحليل الكيميائي لـ ZME ونتائج التنبؤ باستخدام مصدر الباريوم المشع ^{133}Ba من أجل مسبار غاما – غاما ذي التشكيل 52 مم. نحصل بتطبيق التراجع الخطي على المعادلة الناظمة التالية:

$$ZME\% = -182.28 + 0.041Roi3 + 1827.3Rat3 \qquad (3)$$

حيث Roi3: هي العدات الإشعاعية المقيسة في المجال الطاقي (150-180 keV).

وRat3: هي النسبة بين العدات الإشعاعية المقيسة في المجالين الطاقيين (255 - 300 keV) و (45 - 120 keV).

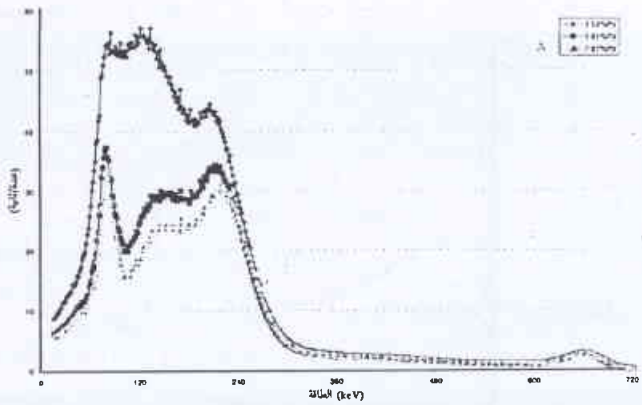


الشكل 4– مقارنة بين نتائج التحليل الكيميائي لـ %ZME ونتائج التنبؤ باستخدام مسبار غاما – غاما ومصدر مشع من الباريوم ^{133}Ba.

إن r.m.s بين نتائج التحليل الكيميائي ونتائج التنبؤ باستخدام تقانة غاما –غاما هو 2.3% لـ ZME، والانحراف المعياري من أجل التجمع هو 13.4% لـ ZME. إن كلا المتحولين المستخدمين في المعادلة 3 لهما معنىً فيزيائي، فالنسبة Rat3 تعد كنسبة Pz وهي ترتبط بالتركيب الكيميائي لـ Zn وبالتالي لـ ZME، بينما ترتبط Roi3 على الأغلب بكثافة المادة.

مصدر السيزيوم ^{137}Cs

تم اختبار التشكيلات الخمسة لمسبار غاما – غاما التي أتينا على ذكرها باستخدام مصدر أولي مشع هو ^{137}Cs ذي الطاقة الإشعاعية 1.8MBq. يظهر الشكل 5 طيف تم الحصول عليه باستخدام ثلاثة نماذج



الشكل 5– أطياف غاما – غاما المتبعثرة الراجعة باستخدام مصدر مشع من السيزيوم ^{137}Cs من أجل كميات مختلفة من الرصاص (5.81، 0.52، 7.87 %).

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

جيوفيزيائية (النموذج 5، 6، 15). إن القمة المميزة عند المجال 662 keV واضحة على هذا الشكل وهي تُستخدَم من أجل استقرار الطيف. طبقنا تحليل التراجع لتفسير المعطيات التي قسناها في ثلاثة عشرَ نموذجاً جيوفيزيائياً كان قطر البئر فيها 130 مم. يظهر الجدول 3 نتائج هذه المعالجة للتشكيلات الخمسة المدروسة. تشير علاقات التراجع من أجل كل تشكيل مدروس إلى قيم عالية لمعامل الارتباط (Re>0.92) بين قيم الرصاص المحللة وبين مختلف النسب الطاقية المبينة على المجالات الطاقية وثوابت الـ Pz.

تتراوح قيم r.m.s بين قيم التحليل الكيميائي وقيم التنبؤ بتقانة غاما-غاما من 0.29% إلى 0.37% بالنسبة للرصاص، كما تشير علاقات التراجع إلى قيم عالية لمعامل الارتباط (Re>0.89) بين قيم ZME التحليلية وبين مختلف التحولات الطاقية المستخدمة في معادلات المعايرة. تتراوح قيم r.m.s بين القيم المحللة لـ ZME وقيم التنبؤ بغاما - غاما من 2.20% إلى 2.83% لـ ZME. ويتضح من الجدول 3 أن المسبار ذا التشكيل 64 مم هو الأفضل للتنبؤ عن كلٍ من Pb و ZME باستخدام مصدر السيزيوم المشع.

يشير الشكل 6 إلى منحني المعايرة بين نتائج التحليل الكيميائي للرصاص ونتائج التنبؤ عن هذا المحتوى باستخدام مسبار غاما - غاما ذي التشكيل 64 مم، وبموجب التراجع الخطي نحصل على المعادلة الناظمة التالية:

$$Pb\% = -0.0459\ Roi2 + 13.35\ Rat2 - 2.94 \qquad (4)$$

حيث Roi2: هي العدات الإشعاعية المقيسة في المجال الطاقي (52.5 - 108 keV)

Rat2: هي النسبة بين العدات الإشعاعية المقيسة في المجالين الطاقيين (51-100.5 keV) و (105-135 keV).

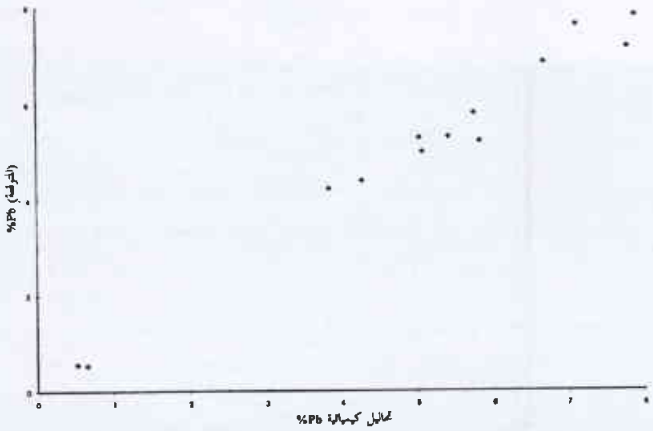
إن قيمة r.m.s بين قيم التنبؤ التي تم الحصول عليها بغاما - غاما ونتائج التحليل الكيميائي هي 0.36 % من أجل الرصاص، والانحراف المعياري للتجمع هو 2.33 %. يشير الشكل 7 إلى منحني المعايرة بين نتائج التحليل الكيميائي لـ ZME ونتائج التنبؤ باستخدام مصدر السيزيوم المشع ومسبار القياس ذي التشكيل 64 مم. إن معادلة المعايرة للتنبؤ عن ZME لها الشكل التالي:

$$ZME\% = -0.21\ Roi7 - 78.26\ Rat5 + 414.17 \qquad (5)$$

حيث Roi7: هي العدات الإشعاعية المقيسة في المجال الطاقي (180 - 232.5 keV).

Rat5: هي النسبة بين العدات الإشعاعية المقيسة في المجالين الطاقيين (65 - 262.5 keV) و (45 - 105 keV).

إن قيمة r.m.s بين نتائج التحليل الكيميائي ونتائج التنبؤ هي 2.2 % لـ ZME والانحراف المعياري للتجمع هو 13.465 %. إن كلا المتحولين المستخدمين في المعادلة 5 لهما نفس المعنى الفيزيائي المستخدم في المعادلة 3.

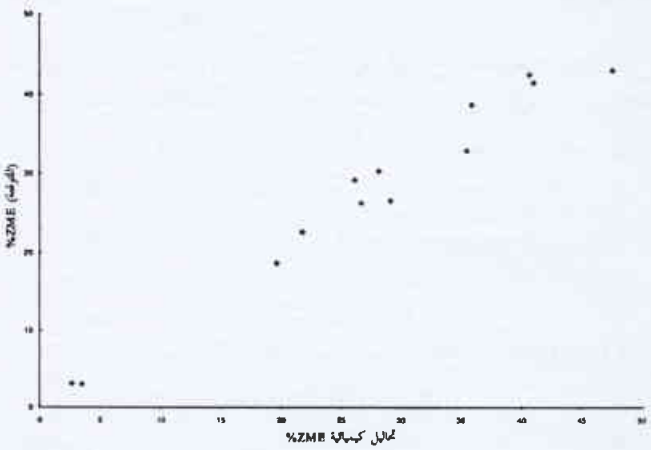


الشكل 6- مقارنة بين نتائج التحليل الكيميائي لـ Pb ونتائج التنبؤ باستخدام مسبار غاما - غاما ومصدر مشع من السيزيوم ^{137}Cs.

الجدول 3- نتائج تحليل التراجع المطبق من أجل خمسة تشكيلات مدروسة في حالة استخدام مصدر السيزيوم المشع ^{137}Cs.

S-D التباعد	%Pb				%ZME			
	rms	R_c	σ	التحولات	rms	R_c	σ	التحولات
40 mm	0.29	0.987	2.33	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.48	0.95	13.46	Roi14 (75-105) keV Rat7 (190.5-210)/(105-142.5) keV
52 mm	0.35	0.98	2.33	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.73	0.9	13.46	Roi1 (30-52.5) keV Rat8 (135-180)/(51-100.5) keV
64 mm	0.36	0.971	2.33	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.2	0.95	13.46	Roi7 (180-232.5) keV Rat5 (165-262.5)/(45-105) keV
76 mm	0.306	0.988	2.33	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.83	0.94	13.46	Roi6 (135-180) keV Rat8 (135-180)/(51-100.5) keV
88 mm	0.377	0.98	2.33	Roi2 (52.5-108) keV Rat2 (51-100.5)/(105-135) keV	2.79	0.89	13.46	Roi11 (37.5-60) keV Rat8 (135-180)/(51-100.5) keV

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



الشكل 7– مقارنة بين نتائج التحليل الكيميائي لـ ZME ونتائج التنبؤ باستخدام مسبار غاما – غاما ومصدر مشع من السيزيوم ^{137}Cs.

تأثير قطر البئر على فعالية وأداء مسبار غاما–غاما ذي الشدات الإشعاعية المنخفضة

من المعروف أن تقانة غاما – غاما البئرية تتأثر بتغيرات قطر البئر، وهو أحد مصادر الخطأ عندما نطبق تلك التقانة، وهذا الخطأ يكبر عندما نتعامل مع مسابر ذات تشكيلات قصيرة بين المنبع والكاشف. لقد تحرّينا مسبار غاما – غاما موضوع البحث الحالي ودرسنا تأثير تغيرات قطر البئر على النموذج الجيوفيزيائي رقم [2]، وذلك بأن استخدمنا قطرين مختلفين هما 130 مم و 160 مم.

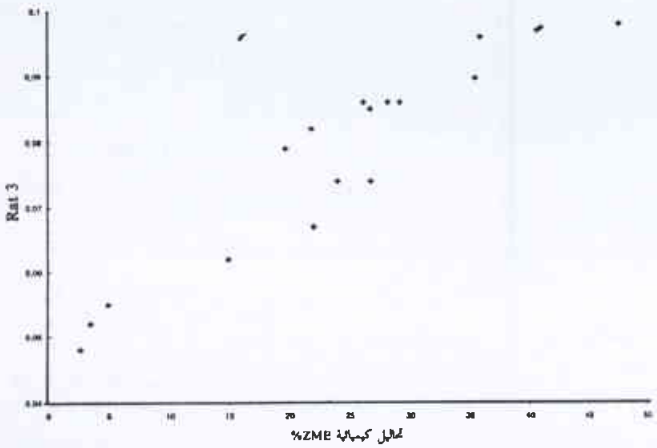
يظهر الجدول 4 تأثير قطر البئر على المجالات الطاقية التي تهمنا في التفسير ونسب تلك المجالات المستخدمة في معادلات المعايرة من أجل كل مسبار من المسابر المدروسة، وتمت هذه الدراسة من أجل كل من المصدرين السيزيوم ^{137}Cs والباريوم ^{133}Ba. يتضح من الجدول 4 أن النسب بين المجالات الطاقية تكون أقل حساسية لتغيرات قطر البئر، وهذا يعني أنه ينصح باستخدام هذه النسب في معادلات المعايرة بهدف تحديد Pb و ZME كمياً.

لم يسمح لنا العدد غير الكافي من النماذج التي تمت دراستها بوجود قطر بئر 160 مم (النماذج 1، 2، 7، 8، 9) بتطبيق تحليل التراجع في حالة استخدام الباريوم المشع، ومع ذلك فقد قمنا بتطبيق تحليل التراجع لدراسة وتحليل ثمانية عشرَ نموذجاً منها ثلاثة عشرَ تمت بقطر 130 مم وخمسة تمت بقطر بئر 160 مم وذلك بعد أن طبقنا عامل تصحيح يأخذ بعين الاعتبار قطر البئر. قمنا بهذا الإجراء لزيادة عدد النقاط التي تدخل في عملية إنشاء معادلة المعايرة ووجدنا أن إنشاء هذه المعادلة باستخدام ثماني عشرة نقطة، بالاعتماد على متحولين يزيد من قيمة الـ r.m.s،بالمقابل فقد حصلنا على تحسين في قيمة r.m.s عندما اعتمدنا على متحولٍ واحدٍ فقط، وفي هذه الحالة انخفضت قيمة r.m.s من 4.5 إلى 4.1 من أجل ZME.

الجدول 4– تأثير قطر البئر في حالة استخدام كل من الباريوم والسيزيوم.

S-D التباعد	Ba المصدر (قطر 160/130)		Cs المصدر (قطر 160/130)	
	Pb	ZME	Pb	ZME
40 mm	Roi3 = 0.69	Roi6 = 0.92	Roi2 = 0.8	Roi14 = 0.81
	Rat1 = 0.91	Rat2 = 1.07	Rat2 = 0.98	Rat7 = 1.19
52 mm	Roi2 = 0.94	Roi3 = 0.94	Roi2 = 0.88	Roi1 = 0.90
	Rat2 = 1.01	Rat3 = 0.98	Rat2 = 0.99	Rat8 = 1.03
64 mm	Roi2 = 1.42	Roi6 = 1.7	Roi2 = 0.85	Roi7 = 0.98
	Rat2 = 0.98	Rat1 = 0.97	Rat2 = 0.97	Rat5 = 1.02
76 mm	Roi2 = 1.02	Roi6 = 1.07	Roi2 = 0.88	Roi6 = 0.92
	Rat2 = 1.01	Rat1 = 0.92	Rat2 = 0.98	Rat8 = 1.06
88 mm	Roi2 = 1.03	Roi7 = 0.71	Roi2 = 1.40	Roi11 = 1.43
	Rat2 = 1.01	Rat8 = 1.06	Rat2 = 0.978	Rat8 = 1.04

يظهر الشكل 8 منحني المعايرة لثماني عشرَ نقطة مدروسة بالنسبة للمتحول Rat3. إن Rat3 محددة سابقاً بالمعادلة 3.



الشكل 8– منحني معايرة بين ZME% و Rat3 يرتكز على معطيات ثمانية عشرَ نموذجاً جيوفيزيائياً (13+5).

النتائج والمناقشة

تسمح المقارنة بين نتائج غاما – غاما المتبعثرة الراجعة في حالتي استخدام السيزيوم والباريوم باستنتاج النقاط التالية:

1 – من الملاحظ أن تغيير التشكيل بين المصدر المشع والكاشف من 40 مم إلى 88 مم ليس له تأثير كبير على الأطياف المستنتجة، ومع ذلك فقد وجدنا أن التشكيل 52 مم بين المصدر والكاشف، في حال استخدام الباريوم المشع كمصدر، هو الأفضل، بينما يعد التشكيل 62 مم الأفضل في حالة استخدام السيزيوم كمصدر مشع وذلك بسبب حصولنا على ترابط عالي من جهة، وحصولنا على r.m.s في الحدود المقبولة من أجل التنبؤ عن ZME و Pb من جهة أخرى.

2 – إن المتحولات الطاقية المستخدمة في معادلات التراجع من أجل كل من ^{137}Cs و ^{133}Ba لها معنىً فيزيائي ذو دلالة إحصائية.

3 – من أجل الحصول على معادلة المعايرة لكلٍ من ZME و Pb علينا اختيار ثابت أو ثوابت النموذج الذي يعطي أقل r.m.s ممكنة، وهذا واحدٌ من الشروط التي نتبناها من أجل إنشاء هذه المعادلات. فعلى سبيل المثال في المعادلة 4 فإن أفضل r.m.s حصلنا عليه من أجل نموذج يدخل فيه متحولان هما Roi2 و Rat2 المعرّفان سابقاً.

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

ويجب الإشارة أيضاً إلى أن تفسير هذه المعطيات أُجري من أجل ثلاثة عشرَ نموذجاً جيوفيزيائياً لها نفس قطر البئر (130 mm)، بالمقابل عندما فسّرنا نتائج ثمانية عشرَ نموذجاً جيوفيزيائياً مجتمعة (5 + 13)، لها أقطار مختلفة (130، 160 م)، وجدنا أن Rat3 فقط هي التي تعطي أفضل النتائج للنموذج وبموجبها نحصل على أخفض قيمة لـ r.m.s كما وضحنا في النص.

4 - إن المتحولات المستخدمة في معادلات المعايرة من أجل التنبؤ عن الرصاص (Roi2, Rat2) هي نفسها من أجل الباريوم ^{133}Ba و السيزيوم ^{137}Cs.

5 - اختبرنا حساسية مسبار القياس (S) في كلتا الحالتين من المصادر المشعة، السيزيوم والباريوم، وقارنا النتائج في الحالتين.

تعطى هذه الحساسية (S) بالعلاقة:

$$S = \frac{Y_2 - Y_1}{\bar{Y}} \Big/ \frac{X_2 - X_1}{\bar{X}}$$

حيث Y2,Y1: قيم التنبؤ من أجل نقطتين 1 و 2.

$\bar{Y}$: وسطي التنبؤ من أجل 13 نقطة.

X1 و X2: قيم التحاليل الكيميائية من أجل نقطتين 1 و 2.

$\bar{X}$: وسطي التحليل الكيميائي من أجل 13 نقطة.

يشير الجدول 5 إلى هذه النتائج التي نلاحظ من خلالها اختلافاً طفيفاً في الحساسية بين المصدرين، ومع ذلك إذا قارنّا تلك الحساسية في حالة المسبار 52 م وباستخدام كل من المصدرين الباريوم والسيزيوم، لوجدنا أن تلك الحساسية أفضل بقليل في حالة استخدام مصدر الباريوم.

6 - لا يختلف تأثير قطر البئر على الأطياف المسجلة باستخدام مسبار الإشعاعات الضعيفة سواء استخدمنا الباريوم أم السيزيوم.

7 - إذا أخذنا بالحسبان كل من r.m.s و Rc، والحساسية التي حصلنا عليها باستخدام كلٍ من الباريوم والسيزيوم، ومن أجل التشكيلات الخمسة المدروسة لمسبار القياس، لوجدنا أن فعالية أداء هذا المسبار باستخدام المصدرين المشعين هي ذاتها إلى حد ما، ولا توجد فروق تذكر تنجم عن استخدام الباريوم أو السيزيوم.

الجدول 5- حساسية مسبار القياس في حالة استخدام كل من الباريوم والسيزيوم.

التباعد S-D	المصدر Ba (حساسية)		المصدر Cs (حساسية)	
	Pb	ZME	Pb	ZME
40 mm	0.764	0.954	0.917	1.07
52 mm	0.876	1.057	0.837	1.04
64 mm	0.861	1.069	0.881	0.924
76 mm	0.872	1.062	0.944	1.1
88 mm	0.84	1.05	0.77	1.09

الخلاصة

برهنا من خلال هذا العمل على إمكانية تقانة غاما - غاما المتبعثرة الراجعة في القياسات البئرية وباستخدام مصدر إشعاعي ضعيف الشدة (1.8 MBq) من أجل التحديد الكمي لكلٍ من Pb و ZME، كما تشير النتائج التجريبية إلى أن التشكيل البئري الأفضل هو المسبار ذو التشكيل 52 م عندما نستخدم الباريوم كمصدر إشعاعي، وأن التشكيل البئري الأفضل هو المسبار ذو التشكيل 64 م عندما نستخدم السيزيوم كمصدر إشعاعي.

عندما نستخدم السيزيوم كمصدر إشعاعي لا نحتاج إلى استخدام مصدر آخر يمكننا من الحصول على القمة عند 662 KeV، والتي تُستخدَم لاستقرار الأطياف أثناء تنفيذ القياسات البئرية، إذ نستخدم المصدر ذاته كمصدر أولي للإشعاعات ولاستقرار الأطياف، إضافة إلى ذلك فإن مصدر السيزيوم المستخدم يتصف بعمر نصف أكبر، كما أن إشعاعات غاما الصادرة عنه تتميز بعمق اختراق أكبر. بالمقابل يتطلب استخدام الباريوم المشع كمصدر إشعاعي وضع مصدر مشع إضافي من السيزيوم، وذلك للحصول على استقرار للأطياف.

يبدو أن هذه التقانة البئرية واعدة لتحديد الأجسام الفلزّية في توضعات الرصاص والزنك، وهذا عائد إلى حساسيتها العالية تجاه تغيرات تراكيز العناصر ذات العدد الذرّي الكبير، ومن بينها Pb و Zn. كما يمكن لهذه التقانة أن تُستخدم بنجاح كبير لتحديد محتوى الزنك كمياً عندما تكون بقية العناصر الثقيلة من Fe و Mn و Cu المرافقة للزنك ثابتة أو يمكن تحديدها بتطبيق تقانات أخرى.

المراجع REFERENCES

[1] Charbucinski j., (1993) The 'ZERO PROBE' -Low radioactivity borehole logging tool. In Transactions of the 1993 Nuclear Science Symposium, San Francisco, USA, Vol. 2, p.855.

[2] Borsaru M. and Ceravolo C. (1994) A low activity spectrometric gamma - gamma borehole logging tool for the coal industry. Nucl. Geophys. 8,343-350.

[3] Borsaru M., Ceravolo C. and Tchen T. (1995) The application of the low activity borehole logging tool to the iron mining industry. Nucl. Geophys. 9,55-62.

[4] Charbucinski J., Ceravolo C. and Tchen T. (1996) Ultra - low activity spectrometric probe for the coal mining industry. Journal of Radiochemical and Nuclear Chemistry, Articles, Vol. 206, No 2,311-319.

[5] Charbucinski J., Borsaru M., and Gladwin M., (1997) Ultra - Low radiation intensity spectrometric probe for ore body delineation and grade controle of Pb, ZN ore. Fourth Decennial international conference Ore Mineral exploration, september 14-18, 1997, Toronto, Canada.

[6] Borsaru M., Charbucinski J., Eisler P.L. and Youl S. F. (1985) Determination of ash content in coal by borehole logging in dry boreholes using gamma - gamma methods. Geoexploration 23,503-518.■

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

التقارير العلمية

قياسات على الكاشف الغازي GEM بمرحلتين*

جمال الدين عتاف
قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

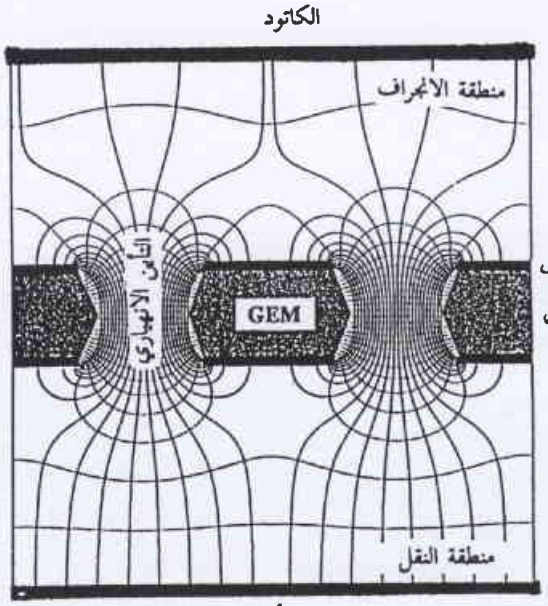
تم في هذا العمل إجراء قياسات على كاشف الإشعاع النووي المملوء بالغاز الحديث العهد والذي يدعى GEM، وذلك بهدف الحصول على أكبر قدر ممكن من التفاصيل عن آلية عمله وخاصة فيما يتعلق بتأثير الجهود العالية المطبقة على أقطاب هذا الكاشف. يتكون الكاشف المستخدم في هذه التجربة من مرحلتي تضخيم ذاتي وتمت القياسات باستخدام أشعة X من المنبع Fe^{55}.

الكلمات المفتاحية: كاشف GEM، كاشف غازي، تضخيم الشحنات.

مقدمة

قُدّم هذا النوع من الكواشف لأول مرة عام 1997 من قبل سولي [1,2] وهو كان أحد التطورات التي أساسها الكاشف MSGC [3] وكلا النوعين تم تطويرهما من أجل تطبيقات كواشف موضع الإشعاع localization detectors. تتكون صفيحة GEM Gas Electrons Multiplication عموماً، وكما يبين الشكل 1، من رقيقة من مادة عازلة متوضعة على جانبيها طبقة من مادة معدنية ناقلة، والكل مثقب كيميائياً بثقوب شبه مربعة. وتقدّر سماكة الطبقات وأبعاد الثقوب بالمكرومتر.

يوضح الشكل 1 أيضاً مبدأ عمل هذا الكاشف حيث توضع شريحة من GEM بين قطبين معدنيين يشكلان الكاتود والأنود يوجد بينهما فرق



الشكل 1- مبدأ عمل كاشف GEM.

كمون ناجم عن تطبيق فولطية عالية (HV). يُطبّق بشكل مشابه بين الوجهين الناقلين للشريحة (طبقة النحاس) فرق كمون عالٍ مناسب، وبذلك نحصل على ثلاث مناطق عمل وهي:

- **منطقة الانجراف drift**: تكون في مواجهة الإشعاع ويشكل الكاتود غالباً النافذة وفيها يتم التأين الأولي للغاز معطياً إلكترونات وأيونات. نتيجة وجود حقل الانجراف الكهربائي تتجه الأيونات نحو الكاتود والإلكترونات باتجاه شريحة GEM.

- **منطقة التأين الانهياري avalanche**: وتقع بين ثقوب الصفيحة، ويسود، نتيجة الأبعاد الصغيرة، في هذه المنطقة حقل كهربائي عالٍ جداً من مرتبة 40 kV /cm يساعد على إجراء عملية التأين الإنهياري التي هي أساس التضخيم الذاتي في الكواشف الغازية.

- **منطقة الانتقال transfer**: وفيها تتجه الإلكترونات الناتجة من عمليات التأين الإنهياري إلى الأنود محرضة عليه إشارة الكاشف النهائية.

بملاحظة كثافة خطوط الحقول الكهربائية في المناطق السابقة نرى أنها كثيفة جداً بين الثقوب وأقل بكثير في مناطق الانجراف والانتقال. من هنا نرى أن الربح الأعظم للكاشف يتعلق بأبعاد الثقوب وبالفولطيات الخارجية المطبقة وطبعاً بنوعية الغاز. إن الميزة الرئيسة لهذا الكاشف هو إعطاء إشارة سريعة تتكون عملياً من مركبة الإلكترونات فقط التي تتجه في النهاية نحو الأنود وبالتالي إمكانية العمل في الأوساط ذات التدفق العالي دون أن يؤثر ذلك على الربح الكلي.

المواد والطرائق والقياسات

يهدف هذا العمل إلى إجراء القياسات اللازمة على كاشف ذي مرحلتي تضخيم تتكونان من صفيحتي GEM، وذلك لمعرفة تأثير الفولطيات العالية المختلفة المطبقة على الكاشف وبالتالي معرفة أفضل شروط العمل لهذه التركيبة: حيث تبين من التجارب الأولى أن العمل بمرحلة واحدة (أي استخدام صفحية واحدة) لايعطي ربحاً كافياً، لذلك تم اقتراح أن يُشكل الكاشف من أكثر من مرحلة، سواءً كانت هذه

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أُنجزت في قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

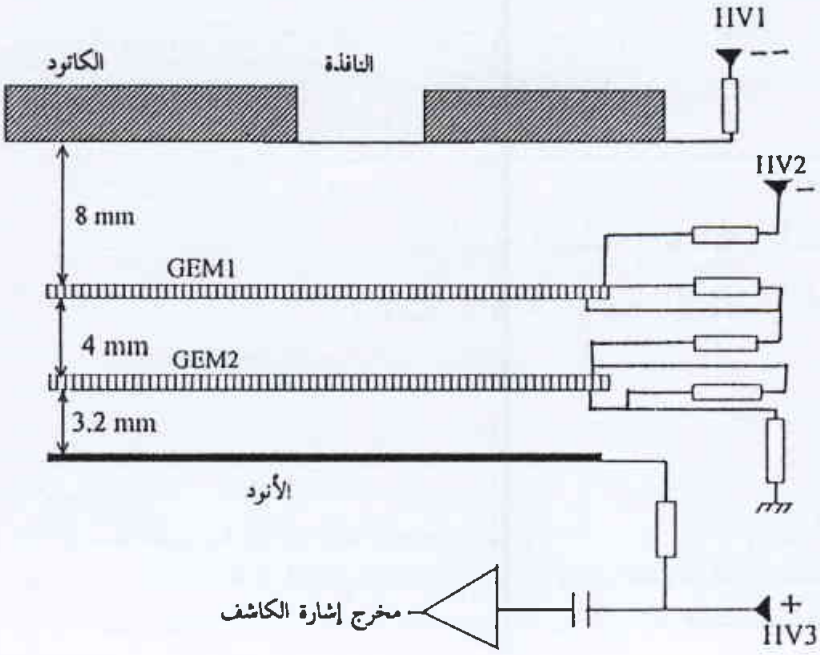
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

المراحل عبارة عن عدة صفائح GEM أو صفيحة واحدة مع كواشف أخرى مثل MWPC أو MSGC.

تتكون صفيحة GEM المستخدمة في هذا العمل، من ركيزة من مادة الكابتون kapton العازل بسماكة 25 µm، تتوضع على جانبيها طبقة من النحاس وبسماكة 18µ m. بالنسبة للثقوب فهي دائرية ذات قطر 50 µm وبتباعد مساوٍ لـ 100 µm بين مركزي كل ثقبين. تم صنع هذه الصفائح في مركز الأبحاث الأوربية CERN. يتكون الكاشف من صفيحتين GEM_1 وGEM_2 مع أقطاب مساعدة أخرى كما يوضح الشكل 2 أي من مرحلتي تضخيم ذاتي.

يتكون الغاز الموجود داخل الكاشف من مزيج من الغازين $Ar85\% + C_2H_6$ 15% تحت الضغط الجوي، أما الإشعاع المكشوف فهو إشعاع X للمنبع ^{55}fe والذي يعطي طاقة رئيسية قدرها 5.8 keV والذي يدخل عبر نافذة من مادة Mylar الناقلة والملتصقة بإحكام مع حاضن الكاشف.

بالنسبة لقطب التجميع أو الأنود كان عبارة عن شرائح من النحاس مُرسَّبة على ركيزة من الفيبرالعازل. وُصلت أقطاب الكاشف كما هو موضح في الشكل مع ثلاث فولطيات عالية HV_1- وHV_2- وHV_3+ وهي الفولطيات المولدة بشكل رئيسي للحقول الكهربائية في مناطق الانجراف والتأين الانهياري والانتقال على التوالي: فالفولطية السالبة HV_1 وصلت مع الكاتود، أما HV_2 وهي أقل سلبية فقد وصلت مع الصفيحتين عن طريق مجزىء كمون بوساطة مقاومات كهربائية، أما الأنود فوصل مع الفولطية الموجبة وهي HV_3. تم تثبيت الفولطية HV_1 لأنها لا تؤثر كثيراً على قيمة الربح الكلي في الكاشف عند القيمة HV_1 = - 3000 V وجرت دراسة تأثير تغير الفولطيتين HV_2 وHV_3.



الشكل 2 – أجزاء الكاشف المستخدم في هذا العمل.

أولى القياسات كان هدفها دراسة تأثير الفولطيات العالية على الربح الكلي للكاشف. لذلك تم وصل HV_3 إلى الصفر (الأرضي)، وتمت دراسة تغير مطال إشارة الخرج كتابع للفولطية HV_2. حيث تبين أن أكبر مطال إشارة حصلنا عليه يساوي 50 mV الموافق لربح كلي قدره 7.5×10^3. كذلك تمت معرفة الفولطيات الموافقة لبدء ظهور الإشارات وظهور الانهيارات breakdowns وهي توافق على الترتيب قيم لـ HV_2 : 1750 V- و 2050 V-. لمعرفة تأثير الفولطية HV_3 دُرس تطور إشارة الكاشف أيضاً كتابع لـ HV_2 ولكن من أجل قيم لـ HV_3 هي: 500 V+ و1000 V+ و1500 V+. حيث حصلنا على تضخيم أكبر وصل إلى 4.5×10^4. لاحظنا أيضاً أنه في هذه الحالة تمت عملية إزاحة لقيم HV_2 الموافقة لبدء الإشارة والانهيار نحو قيم أخفض. كذلك تمت دراسة تغير مطال الإشارة كتابع لفولطية الأنود HV_3 حيث أمكن البرهان على دور هذا الجهد في تسريع الإلكترونات نحو الأنود.

في المجموعة الثانية من القياسات جرى تسجيل إشارة الكاشف من أجل دراسة تأثير الفولطيات العالية على شكل الإشارة، لقد تبين أنه قبل بداية ظهور التأين الإنهياري فإن الإشارة تتكون من مركبات الإلكترونات الآتية من منطقة الإنجراف وهي بطيئة ولا تتأثر كثيراً بالفولطية HV_3. كذلك تبين أن زمن صعود الإشارة ثابت ويساوي حوالي 100 ns ولايتعلق بتغير قيمة شدة الحقل في منطقة الانتقال الذي تمت دراسته بين القيمتين: 6.18 kV / cm و 2.475 kV /cm حيث يبدو أنه في هذا المجال من شدة الحقل وفي المزيج من الغاز المستخدم فإن سرعة الإلكترونات ثابتة كما تبينه المنحنيات المرجعية الخاصة بذلك.

أما القياس الأخير فكان هدفه قياس طيف الطاقة وهذا ضروري لمعرفة صحة عمل أي كاشف حتى لو لم يستخدم لهذا الغرض بالذات. إن أفضل طيف حصلنا عليه كان ضمن الشروط التالية:

$$HV_1 = -3000\ V,\ HV_2 = -1120\ V,\ HV_3 = +1000\ V$$

أما مقدرة فصل الطاقة فكانت 0.368.

بعد هذه الاختبارات وبعد معرفة أفضل البارمترات لعمل الكاشف، فقد أصبح استخدامه جاهزاً في تطبيقات كشف لموضع الإشعاع وهو الهدف الأساسي منه بعد وضع الدارات الإلكترونية المناسبة لهذا الغرض.

المناقشة

تؤكد النتائج على الميزات الجيدة والمرجوة من هذا الكاشف وهي إعطاء إشارات سريعة، كما تبين تأثير وضع مرحلتي تكبير ذاتي للحصول على إشارة مناسبة ذات مطال كافي لأخذ معلومات منها. كذلك بينت هذه القياسات تفاصيل عن آلية عمل هذا الكاشف وعمل كافة الأجزاء التي تدخل في آلية تأيين الإشعاع وتشكل إشارة الكشف.

في النهاية حصلنا على قيم الفولطيات العالية المطبقة على هذا الكاشف التي تعطي أفضل شروط عمل مع عامل تضخيم ذاتي وصل 4.5×10^4 ومطال أعظمي للإشارة عند خرج المضخم الأولي تساوي 300 mV.

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

المراجع

[2] F.Sauli, A. Sharma, Micro-Pattern gaseous detectors, CERN-EP/99-69, 10 May 1999.

[3] A. Oed, , Nucl.Instr. and Meth A263 (1990).

REFERENCES

[1] F. Sauli, GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, Nucl.Instr. and Meth. A386 (1997).

دراسة استقرارية الماء الثقيل زمانياً باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء*

موسى الإبراهيم - هالة الصواف

قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

أجريت مجموعة من التجارب العملية التمهيدية لمجال تركيز الماء الثقيل في الماء العادي من 99.677% حتى 99.743% (وزن/وزن) المقترح للدراسة عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$ بهدف وضع الشروط المثلى لسماكة كل من خليتي الشاهد والعينة.

تم الحصول بنتيجة التجارب العملية عند الزمن ($t_o=0$) على خط مستقيم دالاً على تغير الكثافة الضوئية (O.D) بتغير تركيز الماء الثقيل في الماء العادي عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$.

توضح النتائج العملية للعينات المدروسة، أنه يحصل ازدياد في الكثافة الضوئية مع الزمن للزمرة O - H عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$، مما يبرهن أن مجال تركيز الماء الثقيل المستخدم في هذه الدراسة يمتص بشدة بخار الماء الموجود في الهواء، وتتناسب امتصاصية الماء الثقيل لبخار الماء طرداً مع زمن تعرض العينة للهواء.

الكلمات المفتاحية: ماء ثقيل، مطيافية الأشعة تحت الحمراء، كثافة ضوئية.

مقدمة

يتمتع الماء الثقيل بخصائص هامة في مجال المفاعلات النووية تميزه عن غيره من المواد وهي قدرته على تهدئة النترونات الناتجة من الانشطارات النووية من جهة، واستخدامه كمبرد أولي في المفاعل من جهة أخرى. كما أنه يؤدي دوراً أساسياً في كثير من التطبيقات الهامة الأخرى ليس فقط في الصناعة النووية، وإنما في مجالات مختلفة كالبحوث التطبيقية والأساسية لعلوم الفيزياء والكيمياء، وعمليات الوسم البيولوجية، والتفاعلات الكيميائية، ودراسات المقارنة لخواص الهيدروجين والديتيريوم ومركباتهما. ولذلك فإن دراسة الماء الثقيل من حيث تأثره بالرطوبة التي يمكن أن يمتصها بسرعة من الهواء المحيط تعتبر أمراً هاماً وضرورياً لمختلف التطبيقات التي تستخدم الماء الثقيل كمادة أساسية. وتأتي دراستنا هذه باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء لتحقيق هذا الغرض حيث ترتكز بشكل أساسي على التحديد الكمي للماء الثقيل في الماء العادي ضمن مجال محدد من التراكيز عند عدد موجي ثابت وفي الزمن $t_o=0$ وهو الزمن الذي لم تتعرض فيه العيّنات المدروسة للهواء، بهدف تحديد النفوذية % ثم تطبيق قانون بيير - لامبرت لتحديد المنحني العياري (الكثافة الضوئية بدلالة تركيز الماء الثقيل في الماء العادي عند عدد موجي ثابت)، وبناء على هذا المنحني يمكن مراقبة تركيز الماء الثقيل المستخدم في التطبيق العملي. وبعد ذلك تؤخذ العينات المحضرة ضمن مجال تركيز الماء الثقيل في الماء العادي المقترح للدراسة وتعرض للهواء المحيط خلال فترات زمنية مختلفة للحصول على طيوفها وتحديد قيم الكثافة الضوئية، ومن ثم رسم الكثافة الضوئية مع الزمن للماء العادي الممتص من قبل الماء الثقيل.

نتائج ومناقشة

لقد استخدمت مطيافية الأشعة تحت الحمراء لتحديد الرطوبة التي يمكن أن تمتص من قبل الماء الثقيل، وذلك بكشف الرابطة O - H الموجودة بتركيز قليل عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$، لكون العمل يتم بتراكيز عالية من الماء الثقيل. وعند تحديد المنحني العياري لتغير الكثافة الضوئية بتغير تركيز الماء الثقيل في الماء العادي عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$ وفي الزمن $t_o=0$ أي دون تعرض عينات الماء الثقيل المحضرة في الماء العادي للهواء وجد أن العلاقة ما بين الكثافة الضوئية وتركيز الماء الثقيل هي علاقة خطية وتخضع لمعادلة مستقيم حيث تزداد الكثافة الضوئية بتناقص تركيز الماء الثقيل.

فبموجب دراستنا هذه نستطيع أن نعتبر التوازن التالي:

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

$$H_2O + D_2O \leftrightarrow 2HDO$$

$$K = \frac{(HDO)^2}{(H_2O)(D_2O)} = 3.8 \qquad \text{عند } 25^\circ C$$

وبما أن المحاليل المدروسة تحوي على H_2O بتركيز منخفض جداً لذلك يمكن أن نهمل تركيز H_2O وبالتالي يكون سائداً في المحلول تركيز كلٍ من D_2O و HDO ونتيجة لذلك يستخدم من أجل التحليل الكمي في دراستنا هذه تواتر امتطاط الرابطة O - H العائدة لـ HDO، ويتم قياس هذه الرابطة عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$.

واستنادا إلى النتائج الحاصلة لتغير الكثافة الضوئية في الزمن $t_o = 0$ بتغير تركيز الماء الثقيل في الماء العادي عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$ يتبين لنا أن قانون بيير – لامبرت يكون محققاً من أجل مجال التركيز المستخدم في هذه الدراسة وأنه يمر بشكل شبه كامل من كافة النقاط المدروسة، كما يتبين لنا من حساب قيمة معامل الارتداد الخطي لهذه المستقيم والتي هي $r = -0.9998$ الدقة في الحصول على هذا المستقيم باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء وأنه يمكن وضع نتائج هذا المستقيم الحاصل في التطبيق العملي. وبناء عليه يمكن تحديد ومراقبة تركيز أي عينة من الماء الثقيل.

وعند دراسة تغير الكثافة الضوئية مع الزمن للزمرة O -H عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$ بتعريض كل عينة من عينات الماء الثقيل المحضرة ضمن مجال التركيز المذكور %(99.677 - 99.743) إلى الهواء وبأزمنة مختلفة يتبين لنا أن الكثافة الضوئية لكل عينة تزداد بازدياد زمن تعرض العينات للهواء وهذا يعني أنه عند تعريض عينات الماء الثقيل للهواء يحدث امتصاص شديد للماء العادي H_2O يتناسب مع زمن تعرض العينة للهواء، ويتم كشف هذا الامتصاص بمطيافية الأشعة تحت الحمراء من خلال مراقبة القمة العائدة للرابطة O - H عند العدد الموجي $3400\ cm^{-1}$ لكل عينة مع الزمن، فكانت شدة هذه القمة تزداد بازدياد زمن تعريض عيّنات الماء الثقيل للهواء أي تزداد الكثافة الضوئية.

بناء على ذلك نستنتج أن الماء الثقيل وهو ماص شديد للرطوبة الموجودة في الهواء لذلك يجب الحرص والانتباه عند التعامل معه وخاصة أثناء استخدامه في المجال العملي، وبالتالي يمكن وضع نتائج هذه الدراسة في التطبيق العملي لمراقبة تركيز الماء الثقيل والتغيرات التي يمكن أن تطرأ عليه وتؤدي إلى تدني أدائه.■

الظاهرة الشجرية المضاعفة في الكواشف البلاستيكية لمسارات الشظايا النووية★

عماد خضير
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية
إبراهيم عثمان
قسم تكنولوجيا الإشعاع – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تم البحث في النظريات التي يمكن الإستعانة بها لتفسير الظاهرة الشجرية المضاعفة والتي اكتشفت أثناء أمثلة شروط كشف شظايا انشطار ^{235}U بنترونات حرارية بواسطة الكواشف البلاستيكية المنمّشة كهركيميائياً كالتوفاك والليكسان $C_{16}H_{14}O_3$. انطلاقاً من اعتبارات طاقية ومعدل تواتر هذه المشاهدات التجريبية، أعطينا تفسيرين نظريين محتملين لظاهرة تشكل الظاهرة الشجرية المضاعفة في الكواشف البلاستيكية: الأول هو الانشطار الثلاثي لـ ^{235}U وإصدار جسيمات α أو ^{8}Be والثاني هو إصدار α التلقائي من ^{235}U. ودعمنا هذه التفسيرات بحسابات المدى لهذه الجسيمات في الليكسان. إضافة إلى ذلك، هناك ثلاث آليات أقل احتمالا من التفسيرين السابقين وهي ارتداد ذرات وسط الكاشف بنتيجة صدمها بشظايا الانشطار أو انعكاس شظايا الانشطار عن ركيزة عينة اليورانيوم المصنوعة من فولاذ لايصدأ (الستانلس ستيل) أو أفعال ميكانيكية في الكواشف إمّا من المصدر أو أثناء الشحن والاستثمار.

الكلمات المفتاحية: الكواشف البلاستيكية، الانشطار الثلاثي، حسابات المدى.

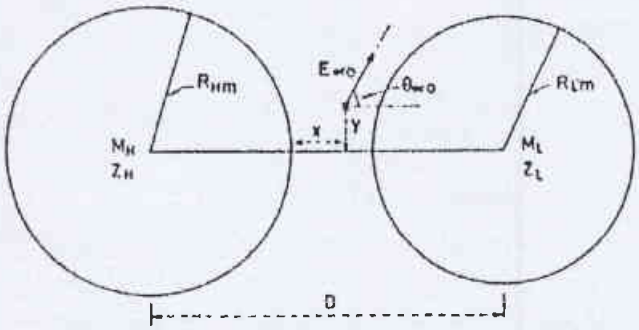
مقدمة

اكتشفت المسجلات الصلبة لمسارات الجسيمات النووية Solid State Nuclear Track Detectors - SSNTD عام 1958 من قبل يونغ A. D. Young عندما لاحظ تشكل مسارات على بلّورة LiF ملامسة لصفيحة من اليورانيوم وذلك إثر تشعيعها بالنترونات الحرارية وإجراء معالجة كيميائية مناسبة. وتشابه تقانة الكشف هذه الطرائق التي كانت متبعة سابقاً كاستخدام الحجرة الضبابية- 1911 والحجرة الفقاعية 1952 والحجرة الشرارية 1957 وتقانات تسجيل المسارات المطورة في نفس

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

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

الفترة تقريباً كاستخدام أفلام هاليدات الفضة AgCl, AgBr والمستحلبات النووية. وللاطلاع على مختلف الجوانب الفنية والتجريبية لاستخدام SSNTD نقترح المرجع [1]. ساهمت بساطة تقانة كشف مسارات الجسيمات النووية وتسجيلها ورخصها في انتشار الأبحاث المعتمدة عليها في العديد من التقانات ونذكر مثلاً استخدام تقانات SSNTD في الفيزياء النووية وفيزياء الأشعة الكونية والمجراعية بأنواعها وبحوث الرادون وتحديد العمر وتطبيقات بيولوجية وجيولوجية عديدة. ويجدر التذكير بإمكانية استخدام هذه التقانة البسيطة في تجارب مدرسية كتحديد شدة المنابع المشعة و قياس مدى جسيمات α في الأوساط البلاستيكية وفي الهواء والتحقق من العلاقة المعروفة لرذرفورد في التبعثر وغيرها [2]. وتعتمد حساسية هذه الكواشف على نوع الجسيمات المؤينة وطاقتها ولا يزيد قطر المسار المسجل فيها عن 50 Å فمثلاً، تستخدم الكواشف LR115 لتسجيل



8 ± 76 انشطاراً. ونشير إلى أن التأيين النوعي الكبير لـ ^{8}Be والمقدر بـ 1.02 MeV/mm يزيد بحوالي عشر مرات عن التأين الناجم عن ^{4}He 4.4 MeV الصادرة عن منبع ^{235}U.

حسابات لمدى الجسيمات المرافقة للانشطار الثلاثي لـ 235 - U باستخدام الكود DEDXT.

جسيمات مشحونة مرافقة للانشطار الثلاثي لـ ^{235}U	في الهواء (mm)	في الليكسان (mm)
17 MeV ^{8}Be	13	0.05
16 MeV ^{4}He	60	0.25

مسارات جسيمات α بطاقة 6 MeV الصادرة عن ^{252}Cf بينما تستخدم الكواشف الزجاجية كالسيليكا SiO_2 لتسجيل مسارات الأيونات الثقيلة والسريعة مثل ^{40}Ar بطاقة 16 MeV . وتمتاز الكواشف البلاستيكية عن المستحلبات النووية، مثلاً، بعدم حساسيتها للإلكترونات والنترونات والفوتونات وجسيمات α والبروتونات العالية الطاقة. وهناك عدة آليات لتشكيل المسارات في الكواشف الصلبة متباينة فيما بينها من حيث مجال التطبيق والمطابقة مع المشاهدات التجريبية.

لوحظت مؤخراً [3] ظاهرة الشجرة المضاعفة double tree، وقد تواتر ظهورها على الكاشف (التوفاك والليكسان) بحدود 1%. وقد تم في هذا البحث تقصي النظريات المتعلقة بإنشطار ^{235}U أو آليات تسجيل المسارات في الكواشف البلاستيكية التي من الممكن أن تعطي تفسيراً لهذه الظاهرة.

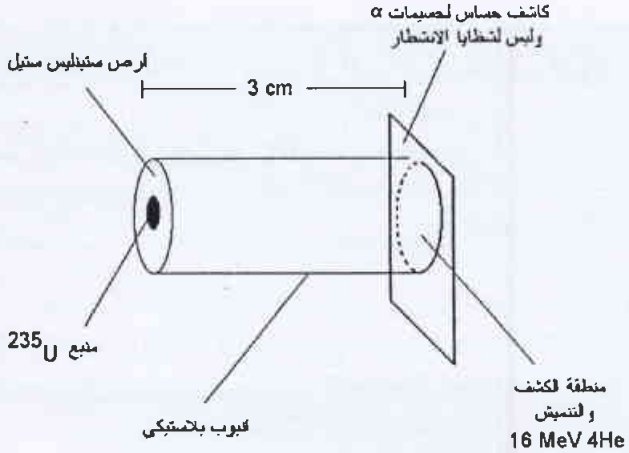
النتائج والمناقشة

اكتشفت ظاهرة الإنشطار الثلاثي عام 1947 [4] عندما لوحظ ترافق 3% من انشطارات ^{235}U بإصدار جسيمات مشحونة قصيرة المدى تم التعرّف عليها بأنها جسيمات α وتصدر بطاقة قدرت بـ 1 MeV ولايتجاوز مداها في الهواء 1 cm. ويعتقد أن آلية إصدار α في الإنشطار الثلاثي مرتبطة بإحدى الشظيتين التي غالبا ما تكون مثارة إلى درجة عالية جداً وتقع كتلتها في منطقة عدم إستقرار α مما يساعد في إصدار جسيم α خلال 10^{-2} s من لحظة حدوث الإنشطار كما يبين الرسم التوضيحي.

وتم تقدير المدى الأكثر احتمالاً لكلا الجسيمين قصير وطويل المدى كما هو مبين في الجدول. وتتوافق هذه الحسابات مع التقديرات التجريبية لـ [5] وهي 8 mm في الهواء بالنسبة لـ ^{8}Be وفي واحد لكل

إلاّ أن القياسات التجريبية [3] غير المدعمة باحصاءات مناسبة بينت أن أطوال المسارات المستعرضة المسجلة في الليكسان بعد التنميش تتراوح بين 0.002 mm و 0.007 mm فقط كما لم ترصد الزوايا التي تصنعها هذه المسارات المستعرضة مع اتجاه مسار شظايا الانشطار. وهذه القيم أصغر بحوالي عشرة مرات من القيم المقدرة نظرياً بالنسبة لـ 17 MeV ^{8}Be وبحوالي خمسين مرة بالنسبة لـ 16 MeV ^{4}He. كما أن مدى 4.4 MeV ^{4}He الصادرة عن منبع ^{235}U في الليكسان والمقدر بحوالي 0.015 mm ينسجم بعض الشيء مع القياسات التجريبية في ضوء الإحصاءات المتاحة الأمر الذي يُرجّح فرضية جسيمات α.

أما لإختبار نظرية جسيمات α المصدرة تلقائياً من ^{235}U أو المصدرة خلال الانشطار الثلاثي فقد تم اقتراح التجربة المبينة في الرسم التوضيحي



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

حيث يلزم تعديل طول الأنبوبة البلاستيكية تبعاً لجسيم α المراد تسجيله من الاصدار التلقائي لـ ^{235}U (1 cm) أو من الانشطار الثلاثي لـ ^{235}U (3 cm)

مع وجوب اختيار كاشف صلب غير حساس لشظايا انشطار ^{235}U.

المراجع

[1] R. L. Fleischer, P. B. Price and R. M. Walker, Univ. of California press, (1975) " Nuclear tracks in Solids: Principles and applications"

[2] R. K. Bull, Nucl. Tracks, Vol. 4, 1980 "The use of solid state track detectors in teaching - I and II"

[3] I. Othman et al., Nuc. Tracks Radit. Meas., 20 (1992) 4 "The electrochemical etching of fission fragments in tuffak polycarbonate"

[4] J. M. Cassels et al., Proc. Roy. Soc. (London), A 191 (1947) 428 "Attempts to detect the emission of secondary charged particles in the fission of ^{233}U by slow n"

[5] K. W. Allen and J. T. Dewan, Phys. Rev., Vol. 82, No. 4, (1951), 527 "The emission of short-range charged particles in the slow fission of Uranium".■

REFERENSES

تشخيص ومتابعة أورام البروستات: دراسة كيميائية حيوية وومضانية★

محمد عادل باكير
قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرية السورية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية
سعد جودة الكيال - علي وائل عيسى
مركز الطب النووي - دمشق
سامي مراد

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى: (1) تقويم الفوائد السريرية للمستضد النوعي البروستاتي (PSA) والنسبة المئوية للجزء الحر لهذا المستضد في التشخيص التفريقي لحالات فرط التصنع السليم وحالات سرطان البروستات. (2) وكذلك تقويم استعمال الـ PSA في التنبؤ بالانتقالات العظمية التي تبدو على ومضان العظام المجرى باستعمال النظائر المشعة لدى مرضى سرطان البروستات. تمت معايرة الواسمة الورمية الكلية PSA والجزء الحر لهذه الواسمة لدى عدد من المتطوعين بلغ 35 متطوعاًسليماً و 42 مريضاً مصاباً بحالات من فرط التصنع السليم. وتمت كذلك معايرة الـ PSA الكلية وإجراء ومضان العظام بالنظائر المشعة لدى 53 مريضاً مصاباً بسرطان البروستات. وأجريت معايرة الجزء الحر للواسمة الورمية PSA في حالات سرطان البروستات التي لم تبد فيها نتائج معايرة الواسمة الورمية الكلية ارتفاعاً كبيراً.

الكلمات المفتاحية: المستضد النوعي البروستاتي، سرطان البروستات، فرط التصنع السليم في البروستات.

تراوحت قيم الـ PSA في مصل الدم لدى المتطوعين الأصحاء مابين 0.6 – 5.7 نانو غرام / مل وبوسطي قدره 1.8 ± 1.22 نانو غرام / مل. وتراوحت قيم الجزء الحر للـ PSA مابين 0.28 - 0.9 نانو غرام / مل وبوسطي قدره 0.51 ±0.18 وبلغت النسبة المئوية للـ PSA لدى هذه المجموعة قيماً تراوحت ما بين 13 - 33% وبوسطي قدره 23.6 ±5.3%. وأبدت قيم الـ PSA لدى المرضى المصابين بحالات فرط التصنع السليم زيادة معتدلة تراوحت فيها قيم الـ PSA ما بين 0.9 - 11 نانو غرام / مل وبوسطي قدره 5.49 ± 2.31 نانو غرام / مل وتراوحت قيم الجزء الحر للـ PSA ما بين 0.05 - 5.46 وبوسطي قدره 1.2 ±0.96 نانو غرام / مل.

وكانت النسبة المئوية للجزء الحر لدى المرضى المصابين بفرط التصنع السليم مشابهة لنسب المتطوعين حيث تراوحت مابين 10 - 49% وبوسطي 22.1 ±9.9%. أما حالات الأورام الخبيثة للبروستات فأبدت ارتفاعات كبيرة في قيم الـPSA تراوحت ما بين 0.9 - 338 نانو غرام / مل وبوسطي 63.9 ± 69.7 نانو غرام / مل وأبدت نسبة الجزء الحر إلى الجزء الكلي للـ PSA قيماً منخفضة بالمقارنة مع حالات فرط التصنع السليم حيث تراوحت ما بين 3.3 - 16.7% نانو غرام / مل وبوسطي 10.9 ±4.2%.

★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

لم تُظهر حالات سرطان البروستات التي بلغ فيها تركيز الـ PSA حتى 15 نانو غرام / مل أية موجودات إيجابية على ومضان العظام تدل على وجود انتقالات ورمية. وبدت بعض التبدلات الومضانية في حالة واحدة كان فيها تركيز الـ PSA حتى 19 نانوغرام / مل في حين أبدت جميع حالات سرطان البروستات التي بلغ فيها تركيز الـ PSA أعلى من 50 نانو غرام / مل تبدلات ومضانية إيجابية تدل على وجود انتقالات من سرطان البروستات إلى الجهاز العظمي.

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن الواسمة الورمية PSA ذات فائدة كبيرة في تشخيص سرطان البروستات. كما تشير نتائج هذه الدراسة أيضاً إلى أن النسبة المئوية للجزء الحر لهذه الواسمة تكون منخفضة لدى مرضى سرطان البروستات بالمقارنة مع مرضى فرط التصنع السليم في البروستات مما يقدم وسيلة مخبرية بسيطة وغير راضة في تمييز الأورام الخبيثة عن الأورام السليمة للبروستات. وتدل النتائج كذلك على أن تركيز الواسمة PSA في المصل يعتبر مشعراً هاماً وموثوقاً في التنبؤ بالموجودات الومضانية للعظام، كذلك فإن إجراء ومضان العظام لتحديد مرحلة سرطان البروستات لايبدو أمراً ضرورياً لدى المرضى غير العرضيين وغير المعالجين سابقاً والذين يكون لديهم تركيز الـ PSA في المصل أقل أو مساوياً لـ 15 نانو غرام / مل، حيث أنه لايقدم أية معلومات إضافية عما يقدم تركيز الـ PSA.■

دراسة انتشار غاز الرادون عبر ثخانات مختلفة من الإسمنت المستخدم في دفن النفايات المشعة*

رياض شويكاني – صلاح الدين تكريتي – أحمد فارس علي – محمد حشري – مصطفى خيطو
قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تمت دراسة انبثاق غاز الرادون المتحرر من منابع الراديوم الصنعية حيث مزج كلور الراديوم مع الإسمنت البورتلاندي للحصول على منابع صنعية مختلفة التراكيز وأحيطت هذه المنابع بطبقات أسمنتية ذات سماكات مختلفة بهدف معرفة الآلية التي يسلكها انتشار غاز الرادون عبر الإسمنت.

وقد بيّنت النتائج أن هناك عدم تطابق بين انبثاق غاز الرادون المتحرر من منابع الراديوم الصنعية و المتحرر عند إحاطة هذه المنابع بطبقات إسمنتية ذات سماكات مختلفة. وقد أُجريت بعض التجارب الداعمة لهذا الموضوع حيث أُخذ أحد منابع الراديوم الصنعية وأحيط بطبقة من البولي إيتيلين، فلوحظ أن هذه المادة لعبت دوراً مهماً في الحد من انبثاق غاز الرادون المتحرر من منابع الراديوم الصنعية.

الكلمات المفتاحية: منابع الراديوم، الرادون، الإسمنت، دفن النفايات المشعة.

المقدمة

تمت دراسة انبثاق غاز الرادون المتحرر من منابع راديوم صنعية حيث مزج كلور الراديوم مع الإسمنت البورتلاندي وحُضّرت المنابع الصنعية على شكل أسطوانات بأبعاد 2.6 x2.6 سم (قطر X ارتفاع) بتراكيز مختلفة من نظير الراديوم -226 و (1200، 2400 و 3600 بكريل). أحيطت هذه المنابع بطبقات أسمنتية ذات سماكات مختلفة بهدف معرفة الآلية التي يسلكها انتشار غاز الرادون عبر الإسمنت.

وضعت هذه المنابع في حواضن زجاجية محكمة الإغلاق سعتها 7000 ml مزودة بفتحتي دخول وخروج وذلك من أجل الحصول على دارة مغلقة لسحب غاز الرادون من هذه الحواضن.استخدمت الطريقة الفعالة لقياس تغير تركيز الرادون داخل الحواضن مع الزمن.

ثم أحيطت هذه المنابع بطبقات من الإسمنت بالثخانات التالية: 1 و2 و 4 سم وقيست كمية الرادون المنبعثة من هذه التشكلات الجديدة من أجل كل ثخانة بنفس الطريقة الموصوفة سابقاً.

النتائج

أظهرت النتائج أن كمية الرادون المنبثقة عن المنابع الثلاثة متناسبة تماماً مع تركيز الراديوم ضمن العيّنات، وهذا سلوك متوقع تماماً ولكن من غير المتوقع ما لوحظ بأن كمية الرادون المنبثقة من المنابع دون وجود أي حاجز إسمنتي حولها أصغر بكثير منه بوجود هذه الحواجز وأن هذا الارتفاع في التركيز لايتوقف مطلقاً على سماكة الحاجز الإسمنتي.

وكانت هذه النتيجة مفاجأة كبيرة مما جعلنا نشك في كل خطوة من خطوات عملنا و لذلك قمنا بالأعمال التالية:

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

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

1- أعيدت التجارب للمرة الثانية والثالثة، كانت النتائج متطابقة تقريباً.

2- صُبَّت عيّنات إسمنتية مماثلة تماما للمنابع المشعة وذلك لقياس انبثاق الرادون من الإسمنت لوحده فأظهرت النتائج أن الإسمنت المستخدم لا يشارك في رفع قياسات الرادون.

3- تم التأكد من أنّ مرحلية صب الحاجز الإسمنتي حول المنبع (أي صب 1سم حول المنبع ثم 1سم آخر ومن ثم 2سم من الإسمنت) لاتؤثر على نتائج القياس.

4- نزع يدوياً الحاجز الإسمنتي ذو السماكة 4سم من حول المنبع ذي التركيز 1200 بكريل وقيس مجدداً انبثاق غاز الرادون من المنبع ومن الحاجز كل على حدة، و ذلك للتأكد فيما إذا كان عنصر الراديوم يهاجر من المنبع إلى الكتلة الإسمنتية. أظهرت النتائج أن تركيز غاز الرادون الناتج عن المنبع قد زاد بمقدار الضعف تقريباً، وهذا يدل على حصول تفاعل مابين المنبع والحاجز الإسمنتي كما وأن تركيز الرادون الناتج من الإسمنت الذي كان يحيط بالمنبع منخفض وهذا ما يؤكد عدم هجرة الراديوم من المنبع إليه.

5- غُلِّف نفس المنبع الناتج عن الخطوة السابقة بطبقة من البولي إيتلين وقيس انبثاق غاز الرادون منه مع الزمن ثم غُلِّف هذا المنبع المغلف بطبقة البولي إيتلين بطبقة من الإسمنت سماكتها 4سم وقيس انبثاق غاز الرادون مع الزمن. أظهرت النتائج أن حاجز البولي إيتلين قد خفَّض غاز الرادون مقارنة مع المنبع نفسه و خفّض أيضاً انبثاق الرادون عند الإحاطة بالإسمنت إلى النصف تقريباً.

المناقشة

إن كمية غاز الرادون المتحررة من المنابع تتناسب بشكل مباشر مع مسامية المنبع والعيوب الموجودة فيه والتي من خلالها يتم انبثاق غاز الرادون خارج العينة. ومن الممكن في بعض الأحيان أن يحدث تنافس بين ذرات الرادون و الجزيئات حول العيوب الموجودة في الإسمنت مما يعيق حركة ذرات الرادون باتجاه الخارج ويؤدي ذلك إلى إغلاق العيب بالكامل نتيجة تفكك بعض ذرات الرادون إلى نواتج تفككه الصلبة. أما بعد صب الغلاف الإسمنتي حول المنبع فإن جزيئات الماء تعمل على الانتشار ضمن المنبع الجاف وهذا يؤدي إلى دخول الماء والأملاح إلى المسامات والفجوات المجهرية الموجودة في المنبع المتشكلة أثناء تصلب المنبع وهذا يعطي الفرصة لجزيئات الغاز بالانطلاق من المنبع بقوه مخترقة الطبقة الإسمنتية الرطبة لتصل إلى السطح محدثة ممر لخروج الغاز من المنبع عبر الحاجز الإسمنتي الجديد، مما يؤدي إلى زيادة انبثاق غاز الرادون من المنبع الأصلي و بالتالي من المنبع والغلاف الإسمنتي مقارنة بالمنبع قبل الإحاطة. وقد جاءت تجربة تغليف المنبع بطبقة من البولي إيتلين إثباتاً لصحة هذه الفكرة حيث أن طبقة البولي إيتلين لم تعمل فقط على حجز غاز الرادون المنطلق من المنبع بل منعت أيضاً تفاعل الإسمنت الجديد بالمنبع مما أدى إلى انخفاض تركيز الرادون بعد الإحاطة بالإسمنت.

الخاتمة

أظهرت التجارب في هذه الدراسة أن النفايات المشعة السائلة الحاوية على نظير الراديوم - 226 يمكن تصليبها بالإسمنت ومن ثم إحاطتها بطبقة إسمنتية بعد عزلها بطبقة من البولي إيتلين للحد أولاً من انبثاق الرادون ومنع تفاعل الإسمنت لمنبع الراديوم السائل مع الإسمنت العازل ثانياً. أما بالنسبة لمنابع الراديوم المغلقة وهي عادة على شكل إبر فيجب دراستها دراسة مشابه للتأكد فيما إذا كان يجب تغليفها بشكل أولي بطبقة من البولي إيتلين ومن ثم تغليفها بطبقة من الإسمنت من أجل تقليل إطلاق غاز الرادون منها.■

تحديد المؤشرات التناسلية وتحليلها في ذكور العواس في القطعان المحسّنة*

معتز زرقاوي - محمد راتب المصري
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية
سليمان سلهب
قسم الإنتاج الحيواني - كلية الزراعة - جامعة دمشق
محمد فاضل وردة
المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة - دمشق
رياض قاسم
مركز الكريم لتربية الأغنام وتحسين المراعي - السلمية

ملخص

أُجريت ثلاث تجارب على ذكور العواس لتحديد وتحليل بعض المؤشرات التناسلية. كان الهدف من التجربة الأولى دراسة معدل نمو أبعاد الخصى وحجمها خلال مرحلة نموها، وتأثير بعض العوامل. أظهرت النتائج أن أعلى زيادة لأبعاد الخصى كان عند عمر 7 - 10

* تقرير مختصر عن بحث علمي أُنجز في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

أشهر ومتوسط وزن قدره 34.6 كغ كما وأظهرت عن وجود علاقة ارتباط كبيرة (r = 0.68 - 0.97) ومعنوية بين أبعاد الخصى، وقد تزايدت بصورة خطية وكان ارتباطها مع وزن جسم الحملان أعلى من عمرها.

بيّنت نتائج التجربة الثانية أن مستوى هرمون التستستيرون في دم حملان العواس النامية يزداد مع تقدم العمر، وأن الذروة الأولى ظهرت عندما أصبح عمر الحملان 9 أشهر. وأظهرت نتائج التحليل التباينى وجود تأثير معنوي لكل من عمر الحملان ونوع القطيع على تركيز هرمون التستستيرون. واستنتج أن موعد الوصول إلى البلوغ الجنسي بناءً على تركيز هرمون التستستيرون في دم حملان العواس النامية كان عند عمر 9 أشهر.

أجريت التجربة الثالثة لدراسة مواصفات السائل المنوي وتقويمه وتحديد بعض العوامل المؤثرة عليها. أظهرت النتائج وجود تأثير معنوي لكل من عمر الأم عند الولادة، ولعمر الحملان ولوزنها ولحجم الخصى، على كل من حجم القذفة، وحيوية النطاف وتركيزها. ووجدت علاقة ارتباط إيجابية ومعنوية بين صفات السائل المنوي المختلفة (ما عدا قراءة الموشور)، وكانت أعلى قيم ارتباط إيجابية ومعنوية بين عمر الحملان وهذه المواصفات مع حجم القذفة وحيوية النطاف وتركيزها، على التوالي.

الكلمات المفتاحية: مؤشرات تناسلية، ذكور العواس، خط الإنتاج، نوع الولادة، تستستيرون، مواصفات السائل المنوي.

مقدمة

تُعدُّ الثروة الحيوانية من الثروات القومية الهامة في الوطن العربي، وتعد أغنام العواس من أهم عروق الأغنام في منطقة الشرق الأوسط، وأكثرها انتشاراً. قام المركز العربي بالتعاون مع كلية الزراعة في جامعة دمشق، ومع هيئة الطاقة الذرّية في سورية بإجراء سلسلة من التجارب ضمن مشروع متكامل لتحديد المؤشرات التناسلية وتحليلها ومعرفة مدى إمكانية الاعتماد على هذه المؤشرات في انتخاب ذكور التلقيح وأمهات المستقبل.

نتائج ومناقشة

أظهرت نتائج التجربة الأولى وجود تزايد تدريجي بطيء في نمو الخصى عند عمر 3 إلى 6 أشهر، وتزايد حاد وسريع عند عمر 7 إلى 10 أشهر. كما أشارت نتائج التحليل التباينى إلى وجود تأثيرات معنوية لكل من وزن الأب عند التلقيح ووزن الأم عند الولادة والتفاعل بينهما ووزن الحملان عند كل قياس وأعمارها على حجم الخصى وأبعادها. إن أعلى نمو لأبعاد الخصى بدأ عندما كان وزن الحملان 34.6 كغ وبعمر 7 أشهر، واستمرت في الارتفاع حتى وزن 42.2 كغ وعمر 10 أشهر. يستنتج من نتائج هذه التجربة أن وصول حملان العواس إلى مرحلة البلوغ الجنسي، بناء على تطور أبعاد الخصى، يبدأ عندما يكون وزن هذه الحملان نحو 34.6 كغ وعمر 7 أشهر.

بيّنت نتائج التجربة الثانية أن مستوى هرمون التستستيرون بالدم يزداد مع تقدم العمر، وأن مستوى هذا الهرمون كان في حملان قطيع الحليب أعلى منه في حملان قطيع اللحم، وفي دم الولادات الفردية أعلى منه في الولادات التوأم. حدثت الذروة الأولى عندما أصبح عمر الحملان 9 أشهر والذروة الثانية عند عمر 15 شهراً. يستنتج بأن تقدير مستوى هرمون التستستيرون يمكن أن يعدّ أحد المؤشرات التناسلية التي يمكن الاعتماد عليها في تقدير موعد البلوغ الجنسي.

أشارت نتائج التجربة الثالثة أن حجم القذفة المنوية يزداد مع تقدم عمر الحملان، وأن حيوية النطاف كانت متشابهة تقريباً طوال أشهر السنة. كان لوزن الأب عند التلقيح علاقة ارتباط إيجابية ومعنوية فقط على حجم القذفة، في حين كان لوزن الأم عند الولادة علاقة ارتباط كبيرة ولكن سلبية مع كل من حجم القذفة وحيوية النطاف وتركيزها في شريحة العد، وكثافتها وفقاً لموشور تقدير الكثافة. وبصورة مشابهة كان لوزن الحملان عند جمع السائل المنوي علاقة ارتباط كبيرة وسلبية مع هذه الصفات.■

☆ ★ ☆

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

كتب حديثة مختارة

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

1- نظرية الحقل الكمومي:
من المؤثرات إلى تكاملات المسار
QUANTUM FIELD THEORY: FROM OPERATORS TO PATH INTEGRALS★

تأليف: ك. هوانغ
عرض وتحليل: م. بيسكين**

ظهرت في السنوات القليلة الماضية عدة كتب تفسر المفاهيم الأساسية لنظرية الحقل الكمومي ومخططات فاينمان Feynman. وتتضمن هذه المجموعة كتباً عن لويس رايدر L. Ryder وجورج شتيرمان G. Sterman و ستيفن فاينبرغ S. Weinberg و دانييل شرويدر D. Schroeder ولكاتب هذا العرض والتحليل نفسه. ومع ذلك، لم تفقد نظرية الحقل الكمومي حتى الآن شهرتها كمجال للدراسة صعب للغاية، ولهذا فأي كتاب تدريسي جديد يجب الترحيب به. كيرسون هوانغ K. Huang هو مؤلف أحد أفضل الكتب الجامعية في الميكانيك الإحصائي Statistical Mechanics Wiley, 1987, 2nd ed.. ولهذا فمن الملفت للنظر أن نرى كتاباً جديداً لهوانغ مصمماً لكشف الغطاء أو لتوضيح بعض المظاهر الأكثر غموضاً في هذا الموضوع. يعرض كتاب نظرية الحقل الكمومي لهوانغ "من المؤثرات إلى تكاملات المسار" شكلية نظرية الحقل الكمومي بسرعة، مؤكداً فقط على النقاط الأساسية ومعطياً أقل كمية من التطبيق العملي. وهذا ما مكّن المؤلف من تخصيص نصف حجم الكتاب في مناقشة إعادة الاستنظام وتطبيقاته الفيزيائية.

النصف الأول من الكتاب، إذا أبقينا عليه، عبارة عن مقدمة قيّمة لطرائق مخططات فاينمان. لقد عولجت بعض الموضوعات وبخاصة الحد اللانسبوي لمعادلة ديراك Dirac بشكل جديد وجميل. وفي أغلب الأحوال، يأخذ هوانغ الطريق المعياري ويعطي الأرضية بأسلوب رياضي محكم. إن الطريق الواضح والموجز الذي يرتب فيه هوانغ الموضوع له قيمة حقيقية. وبرغم ذلك، تحتاج بعض المواضيع إلى تغطية أكثر. ومثال على ذلك، هنالك فصل كامل عن توابع غرين Green مبني على اشتقاق معادلة بيثه - سالبيتر Bethe - Salpeter بدون أن يبقى مجال بعدئذٍ لأي تطبيق للحالات المرتبطة في منظومة حقيقية.

يعرض هوانغ في النصف الثاني من الكتاب نظرية استعادة الاستنظام و زمرة إعادة الاستنظام. ويقدم طريقة كينيث ويلسون K. Wilson في مكاملة درجات الحرية في الشكلية التابعية التكاملية لنظرية الحقل الكمومي لتوليد تدفق في فضاء اللاغرانجيانيات Langrangians الممكنة. ويفسر بشكل منهجي كيف تصف هذه الطريقة المنحى الذي يتغير فيه المحتوى الفيزيائي لنظرية الحقل الكمومي كتابع لسلم الاندفاع، ولماذا تظهر اللاغرانجيانيات القابلة لإعادة الاستنظام عند نقاط ثابتة لهذا التدفق. ولسوء الحظ، لاتتضمن المناقشة أي احتسابات لمخطط فاينمان، التي يجب أن تظهر بوضوح كيف تعمل الطريقة.

وحتى في حالة التحريك الكهربائي الكمومي، التي من أجلها جرى في النصف الأول من الكتاب احتساب ثابت الاقتران المعتمد على الاندفاع، لم يلتفت هوانغ لتحويل هذه المعلومة إلى اللغة الجديدة التي أنشأها وطوّرها. وبالمشابهة. فإن المؤلف يذكر التوسع (ε) للأسّات الحرجة ولكنه يفشل في تقديم أية احتسابات في هذا النطاق. وهكذا تُركت مناقشة إعادة الاستنظام كلية على المستوى الشكلي.

يتضمن الكتاب أيضاً مناقشة حول المبادىء الأساسية للتناظر المتقطع التلقائي. يعرض أحد الفصول في الكتاب بشكل واضح جداً نظرية كوسترليتز - ثولس Kosterlitz - Thouless المتعلقة بانتقالات الطور في النموذج XY ذي البعدين. على كل حال، لم تتعدَّ تطبيقات هذه النظرية ما هو معروف في منتصف السبعينيات، كما لم تناقش الصورة العامة لانتقالات الطور ذات البعدين الناتجة بواسطة اللاتغير الممثل. وكذلك فإن مراجع فيزياء الجسيمات الأولية أكثر قِدَماً.

علاوة على ذلك، فإن كتاب هوانغ لم يبلغ الهدف الذي يريده، أي أن يكون كتاباً أساسياً يوضح معنى إعادة الاستنظام. ولكنه يعطي توضيحات بنّاءة لكثير من مظاهر نظرية الحقل الكمومي، وبهذا يجب اعتباره عملاً مرجعياً مفيداً للطلاب.■

2- الصوتيات:
الفيزياء الأساسية، النظرية والطرائق
ACOUSTICS: BASIC PHYSICS, THEORY, AND METHODS★★★

تأليف: ب. فيليبي - د.هابولت - ج. ب. لوفيفر - إ. برغاسولي
عرض وتحليل: ف. سبارّو****

هنالك في الولايات المتحدة، منذ سنوات، ثلاثة كتب مدرسية ميسّرة وشائعة على المستوى الجامعي في تعليم الصوتيات. ووجد في الوقت الحالي منافس جديد لها.

★ by K. Huang, Wiley, New York 1998.

** م. بيسكين: جامعة ستانفورد - ستانفورد - كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية.
- العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, November 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

★★★ By P. Filippi, D. Habault, J. Pierre Lefebvre, and A.Bergassoli, Academic, San Diego, Calif. 1999.

**** ف. سبارّو : جامعة بنسلفانيا - جامعة بارك.
- العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, November 1999. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الكتب الثلاثة هي: الأول بعنوان أسس الصوتيات لمؤلفيه لورنس كينسلر L. Kinsler و أوستن فري A. Frey و ألان كوبنز A. Coppens وجيمس ساندرز J. Sanders (دار النشر ويلي Wiley،الطبعة الثالثة، 1982)، والكتاب الثاني بعنوان الصوتيات : مقدمة لمبادئها الأساسية وتطبيقاتها لمؤلفه ألان بيرس A. Pierce (الجمعية الصوتية في أمريكا 1989)، والكتاب الثالث بعنوان الصوتيات النظرية لمؤلفَيه فيليب مورس P. Morse و كارل يونو إنغارد K.U. Ingard (برنستون 1968). وفي كل كتاب مميزات ومواطن ضعف. وكان الكاتب عند تدريسه فصلين لمقررين متتابعين من الصوتيات لطلاب جامعة ولاية بنسلفانية يستخلص محاضراته عادةً من الكتب الثلاثة.

الكتاب الجديد لمؤلفيه بول فيليتي و دومينيك هابولت و جين بيير لفبفر و إيمي برغاسولي مساهمة هامة. فكتابهم ليس تفريغ مادة قديمة من الكتب الشائعة المذكورة سابقاً في قالب جديد. فكثير من مادته مُختارة من مصادر أُخرى والعديد من الأساليب الحديثة مستقاة من عمل المؤلفين أنفسهم : الكتاب مستمد من مقرر في الصوتيات مدته ستة أشهر لطلاب جامعة إكس – مارسيليا في فرنسا قام المؤلفون بتدريسه. (قامت جمعية الصوتيات الفرنسية بطباعة المحاضرات باللغة الفرنسية عام 1994، وتُرجمت لاحقاً إلى الإنكليزية بإلحاح من فيليب دوك P. Doak في جامعة ساوثامبتون في المملكة المتحدة).

وبخلاف كثير من الكتب في الصوتيات، لايحاول الكتاب الجديد أن يكون شاملاً بتغطية جميع الفروع التحتيّة لهذا الحقل من المعرفة. بل، بدلاً عن ذلك، ركّز الكتاب على تعليم وسائل التحليل الأساسية اللازمة للتحليل المتقدم. فمثلاً لايغطي الكتاب الإشعاع المنطلق من المكبس الدائري المحروف ولكنه يغطي المكبس عند نهايةٍ واحدةٍ من القناة وعند جدار القناة. وكذلك لايغطي الكتاب الكرة المهتزة عرضانياً ولكنه يغطي الصفيحة الرقيقة المحملة مائعاً لامتناهياً. إن فصول الكتاب التي تبحث في الانحباسات والقنوات ذات الجدران المائعة متقنة جداً ومقروءة، وبالمقابل تناقش الصوتيات وحيدة المخططات البيانية تأثيرات الطلاءات المانعة على التحلل المشروط بشكل كيفي فقط.

من عادة التعليم الجامعي في فرنسا افتراض سوية عالية من التعقيدات الرياضياتية، وهذا الأسلوب يدفع إلى مقسومات عديدة. فالتقنيات التي تقدم فيما يتصل بذلك تتضمن معادلات تكاملية حدية، كمونات طبقية، نظرية هندسية للانعراج، تقريباً مكافئياً، طريقة الطور المستقر، طريقة الهبوطات الأعمق، تقريب WKB، مقاربات فاينر – هوبف وطريقة غالركين Galerkin. عرض الموضوعات واضح إلى حد كبير وسهل المنال. يمكن أن يبدو الفصل الأول الخاص بالأسس الفيزيائية للصوتيات مثبطاً للهمة بالنسبة للقارىء العادي بسبب الدقة الرياضياتية البالغة. وأما أولئك المطّلعون بشكل جيد من قبل على الصوتيات، فمن المحتمل أنهم يودون الانتقال مباشرة إلى الفصول الأخيرة: الانحباسات، الانعراج ومعادلات التكامل الحدّية، اهتزازات الصوت الخارجية، تمددات التحليل والتقريبات، الأمواج الموجّهة، انتقال وإشعاع الصوت بالصفائح الرقيقة. وهنالك فصل إضافي يتضمن مسائل في الفروض المنزلية تخص الفصول الأولى السابقة. ويُختتم الكتاب بفصل في الرموز والتعاريف الرياضياتية. وأما الفهرس فيوجد بشكل موجز و محكم في صفحة وربع الصفحة.

يتضمن الكتاب قليلاً من العوائق تستحق الإشارة إليها. هنالك بعض الأخطاء المطبعية (أهمها كما ورد في المعادلتين 1.5 و 2.7). جرت محاولة لإجراء إحالات بين الفصول ولكن الترميزات كانت غالباً مختلفة: فنجد مثلاً في الفصل الأول استعمال "σ" للدلالة على تنسور الإجهاد بينما نجدها في الفصل الثاني ترمز إلى حد المنطقة. كثير من المفاهيم جرى تكرارها مثل نموذج ديلاني – بازلي الذي يعبر عن الممانعة النوعية للوسط المسامي. ويأمل الكاتب في المستقبل تدارك وحذف مثل هذه الإزعاجات إذ يقدم هذا الكتاب مسحاً شاملاً ومتقدماً في علم الصوتيات.

عموماً فالكتاب مقبول، ويوصي كاتب العرض والتحليل أي شخص مهتم في الصوتيات باقتنائه، كما يرى الكاتب أن يُعتبر الكتاب مرجعاً لهذه المادة وليس ككتاب يدرّس في أيّ صف من الصفوف.■

☆ ★ ☆

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

on ejaculate volume, and progressive motility and concentration of sperm. A positive and significant correlation between semen characteristics (except for spermiodensimeter) was found. The highest positive and significant correlation between lambs age and semen characteristics was found with the spermatozoa ejaculate volume, progressive motility and sperm concentration, respectively.

Key Words

reproductive parameter, Awassi rams, production line, birth type, testosterone, semen characteristics.

⋆ A short report on scientific research achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

☆ ★ ☆

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

(1cm, 2cm and 4cm). The exhalation of radon from these sources (before and after being surrounded) was studied using an active method for understanding the mechanism of radon diffusion through cement.

The results showed that radon exhalation from the sources itself is less than its exhalation from the same sources after being surrounded by cement, and this exhalation did not change with the thickness changes of the surrounded cement.

This was a surprise, therefore, many experiments were performed in order to find out the reasons behind this unexpected phenomena. One of which was surrounding the sources with a thin layer of polyethylene before surrounding it with cement. It was found that this additional layer reduced the exhalation of radon from the sources themselves, and in addition, stopped any reactions between the source and the surrounded cement during the solidification of the additional cement layers. These reactions are thought to be the reason behind the increase of radon exhalation from the sources with the surrounded cement.

Key Words

radium sources, radon, ciment, nuclear waste disposal.

* A short report on laboratory scientific study achieved in the Department of Protection, Atomic Energy Commission of Syria.

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF REPRODUCTIVE PARAMETERS IN AWASSI RAMS IN IMPROVED FLOCKS*

M. ZARKAWI, M. R. Al-MASRI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

S.SALHAB

Department of Animal Production, Faculty of Agriculture, University of Damascus

M. F. WARDEH

Department of Studies of Animal Wealth, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus

R. Kassem

Al-Kraim Center for Sheep Breeding and Range Improvement, Salamieh, Hama

ABSTRACT

Three experiments were conducted on Awassi rams to identify and characterize some reproductive parameters. The aim of the first experiment was to study the growth rate of testicular parameters, their relation to the development of body growth, and to study the effect of some factors. The highest increase in all testicular parameters was recorded at age 7 to 10 months and at an average live body weight of 34.6 kg. Measurements of testes were significantly and highly correlated to each other (r = 0.68-0.97). They increased linearly and correlated with body weight more than with age.

The results of the second experiment showed that testosterone level in the blood of the growing Awassi ram lambs increased with the age, and the level in the lambs of the milk line was higher than those of the meat line, and in the single than in twin births line. The first peak occurred at 9 months of age. There was a significant effect of the age of lambs and the production line on testosterone level. It was concluded that the attainment of puberty in the Awassi ram lambs based on the level of testosterone in the blood was at age of 9 months.

The third experiment was conducted to evaluate the semen and affecting factors on semen characteristics in Awassi ram lambs. The results showed a significant effect of the dame age at lambing age and weight of lambs, and testes' size

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

Key Words

Plastic detectors, ternary fission, range calculation

⋆ A short report on scientific research achieved in the Department of Technology of irradiation, Atomic Energy Commission of Syria.

DIAGNOSIS AND FOLLOW-UP OF PROSTATE CANCER: "BIOCHEMICAL AND SCINTIGRAPHIC STUDY"⋆

M. ADEL BAKIR

Department of Radiation Medicine, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. BOX 6091, Damascus, Syria

S. J. AL-KAIAL, A. W. ISSA

Nuclear medicine Center, Damascus

S. MURAD

Faculty of medicine University of Damascus

ABSTRACT

The aims of this study were: (1) to assess the clinical usefulness of total prostate-specific antigen (PSA) determination and the free-to-total PSA (FPSA) ratio in improving differential diagnosis of benign prostate hyperplasia (BPH) and prostate carcinoma (PC), (2) to evaluate the use of total PSA measurements in predicting radionuclide bone scintigraphy findings in patients with PC. Serum total PSA and free PSA concentrations were determined in 35 healthy volunteers and in 42 patients with BPH. Total PSA and bone scintigraphy were performed for 53 patients with PC. Also, FPSA was measured in PC cases where total PSA level in serum is not markedly elevated.

The results of this study suggest that serum PSA is a useful marker for detecting prostate cancer. Our data also showed that the ratio of FPSA/PSA in serum is lower in patients with PC than in patients with BPH. This ratio could be used in improving differential diagnosis of BPH and PC; it also, appears from this study that the serum PSA concentration is an important and reliable indicator of bone scan findings.

Key Words

Prostate specific Antigen, Prostate cancer, benign Prostate hyperplasia.

⋆ A short report on scientific research achieved in the Radiation Medicine, Atomic Energy Commission of Syria.

DIFFUSION OF RADON THROUGH DIFFERENT THICKNESS OF CEMENT WHICH IS USED FOR DISPOSAL OF NUCLEAR WASTE⋆

R. SHWEIKANI, S. TAKRITI, A. F. ALI, M. HUSHARI, M. KHEITOU

Department of Protection, Atomic Energy Commission of Syria, P. o. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Radium man - made sources were produced by mixing Portland cement with different concentration of radium chloride (1200Bq, 2400Bq and 3600Bq). These sources then surrounded with different thickness of Portland cement

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

Key Words

GEM detector, gas detector, charge amplification.

⋆ A short report on exploratory field experiment achieved in the Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.

STABILITY STUDY OF HEAVY WATER BY TIME USING INFRA-RED SPECTROSCOPY⋆

M. ALIBRAHIM, H. AL-SAWAF

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Several preliminary experiments were carried out on the range of heavy water concentration in normal water from 99.677% to 99.743% (weight/weight) suggested for the study at the wave number 3400 cm^{-1} in order to set the optimum conditions of both reference and sample cells.

As a result of practical experiments at the time ($t_o = 0$) we obtained a straight line showing the variation of optical density (O.D) along with the change of heavy water concentration in normal water at the wave number 3400 cm^{-1}.

The practical results of studied samples illustrate that the optical density of the group O-H increases by the time at the wave number 3400 cm^{-1} , which shows that the range of heavy water concentration used in this study absorbs highly the water vapor in the air , and the heavy water absorbance of water vapor increases in proportion to the time of sample exposure to the air.

Key Words

heavy water, IR spectrophotometry, optical density

⋆ A short report on laboratory scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

DOUBLE TREEING PHENOMENON OF FISSION FRAGMENT TRACKS IN PLASTIC DETECTORS⋆

I. KHUDEIR

Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. BOX 6091, Damascus, Syria

I. OTHMAN

Department of Technology of irradiation, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. BOX 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

We have presented several possible theories that explain the formation of double tree observed while detecting ^{235}U fission fragments in plastic detectors. We have given two likley explanations: First, ^{235}U ternary fission and the emission of long range alpha or ^{8}Be particles. The second is the spontaneous emission of 4.4 MeV alpha particles from ^{235}U. We have backed our assumption with appropriate range calculations in Lexan. Three less likely causes of the double tree phenomenon are: the recoil of the detector atoms as a result of the collision with fission fragments, the fission fragments themselves being reflected off the stainless-steel sample holder, and some mechanical and physical defects in the detectors at the production or utilization stage. We have made some suggestions related to experimental design that might prove these theories.

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

OPTIMISATION OF SPECTROMETRIC GAMMA - GAMMA PROBE CONFIGURATION USING VERY LOW RADIOACTIVITY SOURCES FOR LEAD AND ZINC GRADE DETERMINATION IN BOREHOLE LOGGING*

J. ASFAHANI

Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The suitability of spectrometric backscattered gamma - gamma well logging measurements to predict lead and zinc metal equivalent content is demonstrated. A centralised tool employing a gamma - ray source of very low radioactivity (1.8 MBq) is used. The logging tool is tested using ^{133}Ba and ^{137}Cs sources with a 37 mm (diameter) × 75 mm NaI (TI) scintillation detector. Five source - to - detector configurations were analysed for 18 geophysical models, 13 of which had a borehole diameter of 130 mm and the other 5 had a borehole diameter of 160 mm. Regression analysis on the laboratory logging data for each configuration in order to establish the calibration equation for a lead (Pb) and zinc metal equivalent (ZME) prediction is carried out.The optimum configuration for the logging probe using a ^{133}Ba source was determined to be 52 mm source - to - detector spacing. This configuration gives the best results for both Pb and ZME grade. The r.m.s deviations for Pb and ZME were 0.33 and 2.3%, respectively. The optimum configuration for the logging probe using a ^{137}Cs source was determined to be 64 mm source - to - detector spacing. This configuration gives the best results for both Pb and ZME grade. The r.m.s deviations for Pb and ZME were 0.36 and 2.2%, respectively.

Key Words

borehole logging, gamma - gamma method, Spectrometric measurements, probe logging.

* This paper appeared in *Applied Radiation and Isotopes*, 1999.

REPORTS

MEASUREMENTS ON THE TWO STAGES GEM DETECTOR*

J. ASSAF

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. BOX 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

This report describes experimental observations realized with a novel gas filled detector: Gas Electron Multiplier GEM. The reported measurements are essentially focused on the influence of different bias high voltages on the detector function. The detector was built from two stages of amplification using three high voltage bias. Each amplification stage consists of GEM mesh structured from isolate foil sandwiched between two conductive layers , etched to form regular matrix of open channels.

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

The most stable Stoichiometric (P:V:Mo) analytical complex in the formed phosphovanadomolybdate compound was studied by spectrophotometric method at pH 1. This study showed that the molar ratios (1:1:25) of (P:V:Mo) were the critical ratio which gives very pure analytical signal far from the noise region. The present study found that the extractant mixture (DEHPA/TOPO) extracts 9% of P_2O_5 to the organic phase during the recovery process of uranium from commercial phosphoric acid. This was also confirmed using radioactive tracer (^{32}P).

Accuracy, precision, and detection limit of the present method are 1.5%, 0.0551μg P ml^{-1}, and 0.06μg P ml^{-1} respectively. The results correlate significantly with the results of the standardized quenolene gravimetric method, and the present method saves time and chemicals.

Key Words

commerical phosphoric acid, phosphovanadomolybdate complex, radioactive phosphorus ^{32}P, spectrophotometry, stoichiometry.

⋆ This Paper appeared in *Afinidad,* No.483, Vol.6, Sep. 1999.

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON STORABILITY OF APPLES (MALUS DOMESTICA L.)⋆

M. AL-BACHIR

Department of Radiation Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria P.O.Box:6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effect of gamma irradiation on storability of the two main apple varieties, Golden Delicious and Starking, in Syria. The experiments were performed in 1995 and 1996. Fruits were irradiated with 0, 0.5, 1.0 and 1.5 kGy. Irradiated and unirradiated fruits were stored at 1 to 2 °C and 80 to 90% RH. Weight loss and spoilage due to physiological disorders and fungal diseases were evaluated throughout the different storage periods. Firmness, coloration and pH values were estimated immediately after irradiation. The results showed that, in both varieties, gamma irradiation increased the weight loss after 45 days of storage in apples gathered in 1995 but not in the 1996 season. After 180 days of storage, gamma irradiation had different effects on weight loss depending on the growing year and variety, and increased fungal spoilage. Application of gamma irradiation prevented the growth of Aspergillus niger and the formation of skin scald in 'Golden Delicious' fruits. Immediately after treatment, gamma irradiation increased the softening of fruits, changed their color from green to yellow and decreased the pH value of the juice.

Key Words

apples, coloration, fungal diseases, gamma irradiation, storability, storage losses, texture.

⋆ This Paper appeared in *Plant Foods for Human Nutrition,* 1999.

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

duration (t_p) before and after annealing. Our results slow that at least two traps contribute to the H4 peak: one is a fast trap (labeled $H4_F$) and the other is a show trap (labeled $H4_s$). This is slow through several results concerning the activation energy, the capture cross section, the full width at half-maximum, and the peak temperature shift.It is shown that both traps are irradiation defects created in the P sublattice.

Key Words

deep - level transient spectroscopy (DLTS), crystal defect, capture cross section, activation energy, annealing.

* This paper appeared in *The American Physical.* Vol. 58, No. 20, 15 November 1998.

DETERMINATION OF NEUTRON GENERATION TIME IN MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR BY MEASUREMENT OF THE NEUTRONICS TRANSFER FUNCTION*

A. HAINOUN, I. KHAMIS

Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The prompt neutron generation time Λ and the total effective fraction of delayed neutrons (including the effect of photoneutrons) β have been experimentally determined for the Miniature Neutron Source Reactor of Syria. The neutron generation time was found by taking measurements of the reactor open-loop transfer function using newly devised reactivity-step- ejection method by the reactor pneumatic rabbit system. Small reactivity perturbations i.e. step changes of reactivity starting from steady state, were introduced into the reactor during operation at low power level i.e. zero-power. Relative neutron flux and reactivity versus time were obtained. Using transfer function analysis as well as least square fitting techniques and measuring the delayed neutrons fraction, the neutron generation time was determined to be 74.6 ± 1.57 micro-seconds.

Using the prompt jump approximation of neutron flux, the total effective fraction of delayed neutrons was measured and found to be 0.00783 ± 0.00017. Measured values of Λ and β were to be very consistent with calculated ones reported in the Safety Analysis Report.

Key Words

prompt neutron generation time, effective fraction of delayed neutrons, neutronics transfer function, MNSR, photo neutrons, step-change of reactivity.

* This paper appeared in *Nuclear Engineering and Design*, 1999.

STOICHIOMETRIC STUDY OF PHOSPHOVANADOMOLYBDATE COMPLEX AND ITS USE TO DETERMINE EFFECT OF URANIUM EXTRACTION BY DEHPA/TOPO ON THE CONCENTRATION OF PHOSPHORIC ACID USING SPECTROPHOTOMETRIC METHOD*

R. Al-MEREY, R. BOUZO

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A simple spectrophotometric method was used for the determination of phosphorus concentration in Syria commercial phosphoric acid during Uranium recovery process using DEPHA/TOPO. The absorbance of yellow phosphovanadomolybdate complex was measured at 320nm wavelength.

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

BEWARE! ALLERGENS*

B. Perks
an assistant editor at Molecular Medicine Today

ABSTRACT

From the runny nose, itchy eyes and sneezing of hay fever to potentially fatal asthma and food allergies, millions of people suffer when their immune systems overreact to benign chemicals and particles.

What dose this tell us about the body's defences, and is it possible to prevent allergies from developing?

Key Words

allergy, immune response, antigen, allergen, asthma, hay fever, atopy, anaphylaxis, urticaria, eczema.

*This article appeared in *New Scientist*, 22 January 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

SILICON GERMANIUM MAKES ITS MARK*

D. PAUL
in the Cavendish Laboratory, University of Cambridge Madingley Road, Cambridge CB3 OHE, UK

ABSTRACT

By replacing a fraction of the silicon atoms with germanium, it is possible to design a wide range of electronic devices that are faster than silicon and almost as cheap to manufacture

Key Words

silicon germanium, electronic devices, transistors, optical detectors, quantum devices, SiGe system, strain, applications.

*This article appeared in *Physics World*, February, 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

EVIDENCE FOR TWO DISTINCT DEFECTS CONTRIBUTING TO THE H4 DEEP-LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY PEAK IN ELECTRON-IRRADIATED InP*

R. DARWICH, B. MASSARANI
Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria
M. KAAKA, F. AWAD
Department of Physics, Damascus University

ABSTRACT

Deep-level transient spectroscopy (DLTS) has been used to study the dominant deep-level H4 produced in InP by electron irradiation. The characteristics of the H4 peak in Zn-doped InP has been studied as a function of pulse

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS CHALLENGES: PROBLEMS AND APPLICATIONS IN BIOMEDICAL AND OTHER AREAS*

N. M. SPYROU
Department of Physics, University of Surrey, Guildford, Surrey, GU2 5XH, UK

ABSTRACT

Developments in neutron activation analysis in its various modes for trace element determination are described with reference to reactor and other neutron sources, competing methods, tomography and detection systems. A selected number of areas of application are highlighted which provide challenges into the next millennium and to which a useful and in some cases a unique contribution can be made. The role that neutron activation analysis can play in decommissioning, landmine detection, boron neutron capture therapy, Alzheimer's disease, diabetes mellitus, the complex mechanisms of initiation and termination of feeding and obesity as well as in scar formation and the requirements for artificial skin are presented.

Key Words

neutron activation analysis (NAA), trace elements, decommissioning, landmines clearance, boron neutron capture, neutron induced gamma-ray emission tomography, positron emission tomography (PET), alzheimer disease, diabetes mellitus, satiety and obesity, hypertrophic scars.

*This article appeared in *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 239, No 1, 1999. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PHOTONS PENETRATE WALL*

LIGHT CROSSES HOLES THAT ARE SMALLER THAN ITS WAVELENGTH

T. EBBESEN
Professor at Louis-Pasteur University of Strasbourg

ABSTRACT

Ten years ago, the fact of seeing through golden film pierced only of holes with diameter smaller than visible light wavelength, seemed to be incredible among most of physicists. Yet, this phenomenon is quite real, and theoretical foundations become progressively clear. Devices based on this principle have very various uses that we start just having an idea about.

Key Words

photons, holes, light wavelength, peak of transmission, surface plasmons resonance.

*This article appeared in *La Recherche*, No.329, March 2000. It has been translated into Arabic by Translation, Composition & Publication Office, Atomic Energy Commission of Syria.

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

☐ OPTIMISATION OF SPECTROMETRIC GAMMA-GAMMA PROBE CONFIGURATION USING VERY LOW RADIOACTIVITY SOURCES FOR LEAD AND ZINC GRADE DETERMINATION IN BOREHOLE LOGGING — J. ASFAHANI 87

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ MEASUREMENTS ON THE TWO STAGES GEM DETECTOR — J. ASSAF 96

☐ STABILITY STUDY OF HEAVY WATER BY TIME USING INFRA - RED SPECTROSCOPY — M. ALIBRAHIM, H. AL-SAWAF 98

☐ DOUBLE TREEING PHENOMENON OF FISSION FRAGMENT TRACKS IN PLASTIC DETECTORS — I. KHUDEIR, I. OTHMAN 99

☐ DIAGNOSIS AND FOLLOW-UP OF PROSTATE CANCER: "BIOCHEMICAL AND SCINTIGRAPHIC STUDY" — M. ADEL BAKIR et al. 101

☐ DIFFUSION OF RADON THROUGH DIFFERENT THICKNESS OF CEMENT WHICH IS USED FOR DISPOSAL OF NUCLEAR WASTE — R. SHWEIKANI, S. TAKRITI, A. F. ALI, M. HUSHARI, M. KHEITOU 102

☐ IDENTIFICATION AND CHARACTERISATION OF REPRODUCTIVE PEPRODUCTIVE PARAMETERS IN AWASSI RAMS IN IMPROVED FLOCKS — M. ZARKAWI et al. 103

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ QUANTUM FIELD THEORY: FROM OPERATORS TO PATH INTEGRALS — BY: K. HUANG, BY: M. E. PESKIN 106

☐ ACOUSTICS: BASIC PHYSICS, THEORY, AND METHODS — BY: P. FILIPPI et al., BY: F. W. SPARROW 106

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 115

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS CHALLENGES: PROBLEMS AND APPLICATIONS IN BIOMEDICAL AND OTHER AREAS ..... N. M. SPYROU 7

☐ PHOTONS PENETRATE WALL ..... T. EBBESEN 21

☐ BEWARE! ALLERGENS ..... B. PERKS 25

☐ SILICON GERMANIUM MAKES ITS MARK ..... D. PAUL 31

NEWS

1- AMPLIFIER MEANS GAINS FOR ATOM OPTICS ..... *PHYSICS WORLD* 41

2- NOVEL CRYSTALS FROM PRESSURED METALS ..... *PHYSICS WORLD* 42

3- THE BLOOD ..... *LA RECHERCHE* 44

4- FOOD CONTAMINATION BY PCBs AND DIOXINS ..... *NATURE* 47

5- GIVING A BOOST TO ATOMS ..... *NATURE* 49

6- ON THE EDGE OF THE SOLAR SYSTEM ..... *SCIENCE* 51

7- ELECTROCHEMICALLY GROWN PHOTONIC CRYSTALS ..... *NATURE* 53

8- NEW TOOLS FOR ISOTOPIC ANALYSIS ..... *SCIENCE* 55

9- ENERGY UNLIMITED ..... *NEW SCIENTIST* 57

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ EVIDENCE FOR TWO DISTINCT DEFECTS CONTRIBUTING TO THE H4 DEEP-LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY PEAK IN ELECTRON-IRRADIATED InP ..... R. DARWICH et al. 63

☐ DETERMINATION OF NEUTRON GENERATION TIME IN MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR BY MEASUREMENT OF THE NEUTRONICS TRANSFER FUNCTION ..... A. HAINOUN, I. KHAMIS ... 70

☐ STOICHIOMETRIC STUDY OF PHOSPHOVANADOMOLYBDATE COMPLEX AND ITS USE TO DETERMINE EFFECT OF URANIUM EXTRACTION BY DEHPA/TOPO ON THE CONCENTRATION OF PHOSPHORIC ACID USING SPECTROPHOTOMETRIC METHOD ..... R. AL-MEREY, R. BOUZO 75

☐ EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON STORABILITY OF APPLES (MALUS DOMESTICA L.) ..... M. AL-BACHIR 80

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.

Subscription rates, including first class postage charges: a) *Individuals* $ 30 *for one year*
b) *Establishments* $ 60 *for one year*
c) *For one issue* $ 6

It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\|2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

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° 70 | 15th Year | NOVEMBER/DECEMBER 2000

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***

Layout and Printing Supervision

Roula Al-Khatib

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