عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

91

السنة التاسعة عشرة / أيار- حزيران/

2004

مجلة دورية تصدر ستّ مرّات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهورية العربية السورية وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذرّي والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

المدير المسؤول

الدكتور ابراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسام

رئيس هيئة التحرير

الدكتور محمد قعقع

الدكتور فؤاد العجل

الدكتور أحمد الحاج سعيد

الدكتور محمد فؤاد الرباط

الدكتور الياس أبو شاهين

الأستاذ انطون مارين

الدكتور زياد قطب

الدكتور بسام معصراني

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

14 ـ تُوجه المراسلات باسم رئيس هيئة التحرير إلى العنوان التالي:

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

E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy

رسوم الاشتراك

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

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

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

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13

مزة ـ جبل ـ ص.ب 16005

رقم الحساب 2/3012

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

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

مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل

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

سعر العدد الواحد

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

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

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

هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر

دمشق ص.ب 6091 ـ الجمهورية العربية السورية

أو الاتصال على رقم الهاتف 6111926/7 ـ فاكس 6112289

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقـــالات

- هل تتغير قوانين الطبيعة مع الزمن؟ ..... ج. ويب 7
  ترجمة أحمد ميمون شاذلي
- ليزرات الإلكترونات الحرّة تعمل في نظام أشعة X ـ ..... إ. بلونجيز، ج. فيلدهاوز، ت. موليير 14
  ترجمة هيئة التحرير
- من سيلتقط بوزون هِغز ..... ب.كولاس، ب. توشمينغ 20
  ترجمة هيئة التحرير
- تطبيقات لظواهر نووية تولّدها ليزرات بالغة الشدة ..... ك.و.د. لدينغهام وآخرون 27
  ترجمة هيئة التحرير
- إشعاعات X تُعيِّن بدقة أهدافاً ورمية ..... مـــتين دُرّاني 34
  ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

- حماسيات الكواركات تتوارد بكثرة 39
- أشعة غاما لها زاوية مغنطيسية 40
- حساب مالا يُحسب 42
- أسَلاتٌ لتحريك جزيئات وحيدة 45
- السيمياء النووية 46
- السّر القاتل للإشعاع 49
- التنقيب عن النفط "بأنف بصري" 50
- جسيمات نانويّة مغنطيسية تحدِّد الفيروسات بدقة في مسوح الجسم 52
- اليود 53

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

- كشف العيوب المرتبطة بالأكسجين في GaAs باستخدام مطيافية إصدار الإلكترون السطحي ..... د. منذر نداف 57
  شيفا هولافاراد، س. ف. بوراسكر
- فصل الرصاص عن السترونسيوم من عيّنات مرجعية بالتبادل الأيوني وقياس الرصاص على شكل معقد إيوسين$^{-2}$ و رصاص ـ كربتاند $(2.2.2)^{+2}$ بالمطيافية الضوئية ..... د. رفعت المرعي، عمر الشياح 62

■ إدارة النفايات الحاوية لمواد مشعة طبيعية في صناعة النفط والغاز: الخبرة السورية..... د. محمد سعيد المصري، د. حازم سومان. 67

■ تقانة بسيطة لتقويم تفاعل أنماط الشعير الوراثية مع العامل الممرض..... د. محمد عماد الدين عرابي، محمد جوهر 71
Pyrenophora graminea

■ الاختيار الأمثل لمسابير غاما- غاما الطيفية باستخدام مصادر إشعاعية ..... د. جمـــال أصـــفهاني 74
منخفضة لتحديد الرماد في مخزونات الفحم

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

■ دراسة نظرية وتجريبية لتحديد تابع انتقال المفاعل MNSR ..... د. علي حينون - د. إبراهيم خميس ... 80
جورج سابا، وائل سليمان

■ دراسة أثر وجود فتحات متعددة داخل مجاوب ليزري على الأنماط وضياعها ... د. محمد خير صبرة، د. بسام عباس 82

■ دراسة علمية مخبرية حول تحضير طاقم EC وضبط جودته ..... د.توفيق ياسين 84
لها الريس، ماجدة دادوخ، رناء المالكي

■ محاكاة الحت الكيميائي الرطب لرقائق سليكونية من كلا الوجهين ..... د. محسن شحود، سامر آغابي 86

■ مراقبة الأشخاص المعرَّضين مهنياً لعنصر التريتيوم ..... د. محمد حسان خريطة 87
ميسون المغربي، عامر النشواتي

■ أتمتة تقدير الجرعات الإشعاعية الفردية..... د. محمد حسان خريطة 89
إيفا البحرة، عاطف البزال، غادة الشللي

■ تقييم الأداء التحليلي للمخابر المشاركة في البرنامج الوطني لضبط جودة التحاليل المخبرية عبد الغني شـــخاشيرو وآخرون 90

كتب حديثة مختارة

■ استشعار المحيط بالليزر من بُعد: طرائق وتطبيقات..... (تأليف: أ. بَنكين، ك. فولياك)..... 94
(عرض وتحليل: غ. نويمان)

■ أثر كازيمير: دلالات فيزيائية على طاقة نقطة الصفر..... (تأليف: ك. أ. ميلتون)..... 95
(عرض وتحليل: ب. و. ميلوني)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد 104

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

هل تتغير قوانين الطبيعة مع الزمن؟★

ج. ويب
مدرسة الفيزياء ـ جامعة جنوب ويلز الجديدة (UNSW) ـ سيدني ـ استراليا.

ملخص

توحي القياسات الدقيقة المجراة على الضوء القادم من الكوازارات quasars البعيدة بأن قيمة ثابت البنية الدقيقة ربما تكون قد تغيرت خلال تاريخ الكون. و إذا ما تأكد هذا الأمر فإن نتائجه ستكون عظيمة الأثر على أسس الفيزياء.

الكلمات المفتاحية: قوانين الطبيعة، كوازار، ثابت البنية الدقيقة، خط طيفي مزدوج، خطوط طيفية متعددة.

ما الذي نعنيه بقولنا «قوانين الطبيعة»؟ فهذه العبارة تستدعي إلى البال مجموعة من القواعد الإلهية غير المتغيرة التي تتجاوز "هذا المكان وهذه اللحظة" أي أنها سارية المفعول في كل مكان وفي أي زمان في الكون. غير أن الواقع ليس بهذه العظمة، فعندما نتحدث عن قوانين الطبيعة فإننا واقعياً نتحدث عن مجموعة خاصة من الأفكار المدهشة في بساطتها التي يبدو أنها كونية و قد برهنت التجربة على صحتها. لهذا فإن البشر هم الذين يعتبرون نظرية علمية على أنها "قانون طبيعي" (أي قانون من قوانين الطبيعة)، والبشر غالباً ما يحيدون عن جادة الصواب.

إنَّ تطور أيِّ نظريةٍ علميةٍ يلي دائماً الحاجةَ إلى فهم مشاهدةٍ لا يوجد لها شرحٌ كافٍ من قبل. و عندما يطور الفيزيائيون نظرياتٍ جديدةً فإنهم يميلون إلى افتراض أن الكمِّيات الأساسية، مثل شدة الثقالة أو سرعة الضوء في الخلاء أو شحنة الإلكترون، هي كمياتٌ ثابتةٌ. و عندما تُفلح هذه النظريات في التنبؤ بنتائج مشاهداتٍ جديدةٍ، يقوى اعتقادنا بأن هذه الكميات هي ثوابت أساسية.

كذلك فرغم التغير السريع في التقانة خلال العقود الأخيرة، فإن المدى الزمني الذي تتم فيه الاكتشافات الجديدة الأساسية في الفيزياء، هو مدىً يمكن مقارنته مع امتداد حياة إنسان. هذا يعني أن النظريات التي طُورت منذ عقودٍ خلت، يمكن أن تبدو كأنها نُقشت في الصخر.

النتيجة النهائية هي معارضةٌ طبيعيةٌ (غريزية) لتغيير فهمنا للعالم، غير أنه من الضروري تذكر الحدود التي فُرضت خلال اختبار هذه الفرضيات، فالعديد من التجارب التي نُجريها اختباراً للنظريات، تكون مقيدةً بالمكان والزمان في مختبرات مرتبطة بالأرض، أو بجزءٍ صغيرٍ من الكون نستطيع رصده بالمقراب (التلسكوب). و إذا ما أمكننا بطريقةٍ ما إجراء تجاربنا في مكان مختلف أو في زمن آخر لربما وجدنا نتائج مخالفةً لما لدينا. ويبدو أن هذا ما يحدث عندما نقيس ما يُسمى "ثابت البنية الدقيقة" fine structure constant في الماضي السحيق.

هل تتغير الثوابت الأساسية؟ مراقبة الضوء من كوازارات بعيدة تشير إلى إمكان حدوث ذلك.

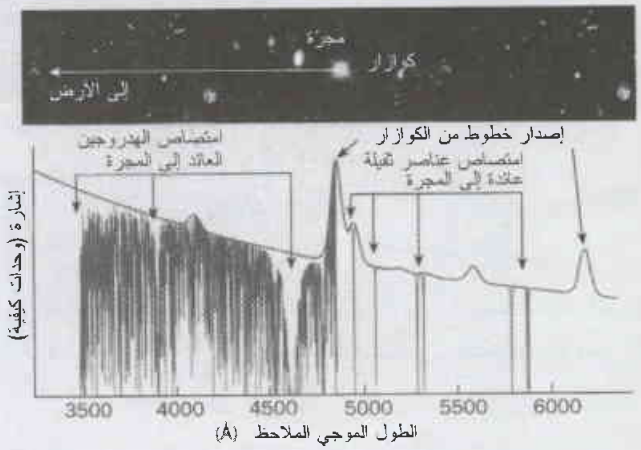
ما هو ثابت البنية الدقيقة ؟

هل بقيت قوانين الطبيعة على حالها منذ الانفجار العظيم قبل حوالي 13.5 بليون سنة؟ طرح هذا السؤال بول ديراك Paul Dirac للمرة الأولى عام 1937، و كان ما يزال منشغل البال بهذه الفكرة عندما زار جامعة نيو ساوث ويلز (UNSW) في سيدني عام 1975. حاول ديراك ربط شدة الثقالة، التي تصف خصائص الكون ذات النطاق الواسع، مع الثوابت والأرقام المختلفة التي توصِّف خصائص الكون ذات النطاق الضيق، ولتحقيق مبتغاه ادَّعى أنَّ شدة الثقالة، وهي إحدى ثوابت الطبيعة، لابد لها من أن تتغير مع الزمن.

رغم أن المشاهدات استبعدت فيما بعد فكرة ديراك، إلا أن التقدم الحاصل في العديد من المجالات في الفيزياء و الفلك، قد نتج عنه بالإجمال مجموعة من الفرص المتاحة لنا للبحث عن أي تلميح يشير إلى أن ثوابت الطبيعة قد تتغير. السؤال الذي أسعى للإجابة عنه بقوة، مع الزملاء في جامعة نيو ساوث ويلز وأماكن أخرى يمكن أن يُعبَّر عنه بما يلي: هل ثابت البنية الدقيقة هو حقاً ثابت، أم أن قيمته قد تغيرت خلال عمر الكون؟!.

★ نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, APRIL 2003 ، ترجمة احمد ميمون شاذلي ـ قسم الفيزياء ـ جامعة حلب.

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



الشكل 1 – طيف امتصاص كوازار مُحاكى

الكوازارات أجسام شديدة التألق تصدر ضوءاً في مجال واسع من الأطوال الموجية (الخط الأحمر) بقمم عند أطوال موجية عديدة نظراً للاصدار الذي تقوم به بعض العناصر كالهدروجين، والنتروجين، والسليكون، والكربون والحديد في الغاز المحيط بالكوازار. عندما يمر الضوء القادم من الكوازار بالقرب من مجرّة وهو في طريقه إلى الأرض، يُحدث الغاز المحيط بالمجرة نموذجا متميزاً من خطوط الامتصاص في طيف الكوازار (الخط الأخضر). وبقياس الأطوال الموجية لخطوط الامتصاص العائدة للعناصر الثقيلة (على يمين الشكل) نستطيع أن نعين كلاً من انزياح الأحمر للغاز وقيمة ثابت البنية الدقيقة α لحظة امتصاص الضوء القادم من الكوازار. تشير هذه المشاهدات إلى أن قيمة α كانت أصغر قليلاً قبل بلايين السنين. إن فرط معالم الامتصاص عند أطوال موجية أقصر يُعزى إلى الهدروجين عند انزياحات حمراء مختلفة.

يُعتبر ثابت البنية الدقيقة α مقياساً لشدة التأثر الكهرمغنطيسي، ويقيس الشدة التي ترتبط بها الإلكترونات داخل الذرة و الجزيئات، إنّه يُعرَّف بالعلاقة $\alpha \equiv e^2/\hbar c \approx 1/137$ حيث e شحنة الإلكترون، $\hbar$ ثابت بلانك مقسوماً على 2π، و c هي سرعة الضوء في الخلاء. لثابت البنية الدقيقة أهمية خاصة بسبب أنه عدد لا أبعاد له، وهذا ما يجعله أكثر أساسية من الثوابت الأخرى مثل شدة الثقالة أو سرعة الضوء أو حتى شحنة الإلكترون (انظر المؤطر1).

يوجد سبب نظري يدفعنا للاعتقاد بأن α والثوابت الأخرى عديمة الأبعاد، قد تتغير مع الزمن. المسعى النهائي للفيزياء النظرية هو إيجاد نظرية موحدة واحدة تصف القوى الأساسية الأربع: الثقالة، الكهرمغنطيسية، القوى النووية الشديدة والضعيفة. ورغم أن شدّات هذه القوى متباينة، كما تتباين المسافات التي تؤثر منها، فإن معظم الفيزيائيين يعتقدون أن النظرية الموحدة ستُكتشف. و إذا لم تُكتشف هذه النظرية فإن قدراً كبيراً من أناقة الفيزياء الأساسية وجمالها سيضيع.

إن نظرية أينشتاين في الثقالة، أي النسبية العامة، تستلزم ثلاثة أبعاد مكانية فقط، في حين أن النظريات الرئيسة المتنافسة فيما بينها لتكون النظرية الموحدة، تحتاج إلى أبعاد أكثر من الثلاثة المألوفة لنا. ولا نعلم فيما إذا كانت هذه النظريات الموحدة صحيحة أم لا، غير أن هذه الأبعاد الإضافية إن كانت موجودة حقاً، فلابد من أن تكون ضئيلة جداً إذا ما قورنت مع الأبعاد المكانية العادية.

إن فكرة وصف الأبعاد بصفة "الحجم" قد تبدو غريبة إلا أنها هامة. فالحجم الحالي للكون يتحدد بالمسافة التي قطعها الضوء منذ الانفجار العظيم (أي حوالي 13.5 بليون سنة ضوئية)، وبالمقدار الذي تمدد به الكون منذ ذلك الحين و حتى يومنا هذا. هذا يعني أن الحجم الفعلي للكون هو حوالي 40 بليون سنة ضوئية و يستمر في الزيادة.

هل تتوسع الأبعاد الإضافية التي تنبأت بها النظريات الموحدة بمعدل تمدد الكون نفسه؟ الجواب على هذا السؤال هو بالنفي. فلو أن الأبعاد الإضافية الضئيلة تتمدد بمثل هذا المعدل لتغيرت شدة الثقالة بسرعة كبيرة، و لا يوجد دليل يشير إلى هذا. على أية حال قد يكون من الممكن الاستدلال على وجود هذه الأبعاد الإضافية، فيما لو كانت موجودةً فعلاً، بالكشف عن التغيرات الصغيرة في شدة الثقالة أو القوى الثلاث الأخرى.

لقد تم التنبؤ، على سبيل المثال، بأن أبعاداً إضافية "كبيرة" قد تتسبب بانحراف صغير في قانون التربيع العكسي للثقالة عند المسافات الأصغر من 1 مم. والقياسات الأخيرة التي أجراها جون برايس John Price و زملاؤه في جامعة كولورادو في بولدر، فشلت في اكتشاف أي دليل لمثل هذا الانحراف وعلى مسافات تُقدَّر بحوالي 100 مكرومتر. ليست هذه سوى واحدة من التجارب العديدة التي أجريت في السنوات الأخيرة لإنجاز اختبارات عالية الدقة على الثوابت و القوى و التناظرات الأساسية.

هناك طرق عديدة لقياس التغير المحتمل لـα مع الزمن. فيمكن قياس طيف الامتصاص للكوازارات عند انزياحات مختلفة نحو الأحمر، كما فعلنا في UNSW. يمكننا أيضاً مقارنة "معدل الدقات" (التكات) للساعات الذرية المصنوعة من عناصر مختلفة (انظر المؤطر2). ويمكننا كذلك أن ندرس الخلفية المكروموجية الكونية أو تشكل العناصر في الكون المبكر. غير أن إحدى الطرق الأولى التي استخدمت لسبر الكيفية التي قد تكون تغيرت بها α عبر البليوني سنة الفائتين، تستند على ما يجب اعتبارها واحدةً من أكثر العمليات الاستثنائية التي درسها الفيزيائيون، ألا وهي "المفاعل النووي الطبيعي" في أوكلو Oklo في وسط أفريقيا.

المؤطر (1) الثوابت ذوات الأبعاد وعديمة الأبعاد

تتجلى لنا الطبيعة من خلال العديد من الثوابت. بعض هذه الثوابت، مثل ثابت البنية الدقيقة، عديمة الأبعاد ولا يُعبر عنها بدلالة الوحدات، في حين أن ثوابت أخرى من مثل سرعة الضوء وكتلة البروتون، هي ثوابت لها أبعاد وقيمها العددية تعتمد كلية على الوحدات المستخدمة في التعبير عنها. «قوانين الطبيعة» يجب ألا تعتمد بالطبع على جملة الوحدات التي هي من صنع البشر.

لنشرح ما سبق بطريقة أخرى، إذا ما أردنا قياس ثابت ذي أبعاد سنكون بحاجة لمقياس معياري لأحد القياسات، ولكن إذا حصلنا على قيمة ما عند قياسنا لسرعة الضوء يوم الاثنين مثلاً، وعلى قيمة مختلفة عنها عندما قسناها يوم الجمعة، فكيف يمكن لنا أن نعرف أن مقياسنا المعياري لم يتقلص أو يتمدد؟ لا يمكننا تحديد ذلك أبداً. وأكثر من هذا أنه إذا كان علينا تفسير أرصادنا كتغير في طول المقياس المعياري، فكيف لنا أن نتحقق من هذا دون الرجوع إلى مقياس معياري آخر؟ مرة أخرى لا يمكننا ذلك، وهلم جرا.

الثوابت عديمة الأبعاد هي أعداد أساسية مجردة ليست دون الاستناد إلى أي شيء، لهذا إذا أردنا أن نتحرى تغير قوانين الطبيعة من ثباتها علينا قياس كميات لا أبعاد لها، مثل ثابت البنية الدقيقة أو نسبة كتلة الإلكترون إلى كتلة البروتون.

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

القصة الغريبة لمفاعل أوكلو

يحتوي اليورانيوم الطبيعي على نظيرين: اليورانيوم 235 وهو النظير المستخدم لإنتاج الطاقة النووية، ويكون نادراً نسبياً إذ تبلغ نسبته 0.7 بالمئة فقط من مجمل اليورانيوم الطبيعي. و قرينه الأقل نشاطاً إشعاعياً، اليورانيوم 238 الذي يشكل 99.3 بالمئة المتبقية. في عام 1972 لاحظ علماء من هيئة الطاقة الذرية الفرنسية أمراً غريباً في عينات التربة المأخوذة من منجم لليورانيوم يقع في الغابون في وسط أفريقيا، فقد كانت الوفرة النسبية لليورانيوم 235 أقل بمقدار النصف عما هو متوقع لها.

أحد الاحتمالات لحدوث ذلك كان أن مجموعة من الإرهابيين، المزودين بتقانة عالية كانوا يسرقون ويخزنون اليورانيوم المفقود للقيام بأعمال أكثر شيطانية من نسف الجزر المرجانية البكر. على أية حال فقد كانت نظائر عناصر أخرى مختلفة تبدو أيضاً قد استُنفدت وفق نمط مشابه تماماً للنمط المُشاهَد في مخلّفات المفاعلات النووية المعاصرة. التفسير الأكثر قابلية للتصديق هو أن مفاعلاً نووياً "طبيعياً" لابد وأنه كان قائماً يوماً ما في أوكلو. رغم أن المفاعلات النووية الطبيعية قد تنبأ بوجودها باول كيورودا Paul Kuroda من جامعة أركَنساس، منذ عام 1956، إلا أن أوكلو هو المثال الوحيد المعروف (انظر الصورة).

يبدو أن ما حدث هو أن الماء المشبع بالأكسجين كان يذيب ببطء اليورانيوم 235 المخزون في الصخور السطحية منذ حوالي بليوني عام . في ذلك الحين كان التركيز الطبيعي لليورانيوم 235 حوالي 3 بالمئة، و هو اليوم أقل لأن اليورانيوم 235 يضمحل أسرع بست مرات من اليورانيوم 238. ومع مرور الزمن تركز اليورانيوم 235 في حصير الطحالب المجاور، التي قامت بدور المرشحات، وفي آخر الأمر تجمع قدر كاف منه ليصل إلى الحالة الحرجة مشكلاً تفاعلاً نووياً طبيعياً. قام هذا المفاعل بـ"حرق" اليورانيوم 235، و هذا ما يفسر النسب المنخفضة التي وجدت في أوكلو لهذا النظير.

و لكن ما علاقة كل هذا بـ α؟ في عام 1976، أي بعد أربع سنوات من اكتشاف مفاعل أوكلو، وضّح ألكسندر شلياختر Alexander Shlyakhter من معهد لينينغراد للفيزياء النووية، الرابط بين ما سبق و بين α. فالعينات المأخوذة من أوكلو تُظهر وفرة نسبية للسماريوم 149 أقل بخمس وأربعين مرة من تلك الموجودة في العينات الأرضية الأخرى، و أوضح شلياختر أن النترونات المحيطية يمكن لها أن تحول السماريوم 149 إلى سماريوم 150 إذا ما حصلت على الطاقة الكافية.

يحدث هذا التجاوب بسبب التوازن الدقيق، ما بين القوة النووية الشديدة والقوة الكهرمغنطيسية ذات الأثر التنافري، في السماريوم. والأهم من هذا أن طاقة التجاوب تتعلق بقيمة α، لهذا فإذا ما كانت قيمة α مختلفة منذ بليوني سنة مضت، فإن نضوب السماريوم 149 سيكون مختلفاً أيضاً. الحسابات التفصيلية معقدةٌ بعض الشيء، لكنها تُظهر أن أي تغير في قيمة α عن قيمتها وقت كان مفاعل أوكلو نشطاً، لا يمكن أن يكون أكبر من 10^{-7} [1].

تم مؤخراً تطوير تقنية جديدة للقياس الجيولوجي تعرف باسم "تحديد العمر بواسطة الرينيوم" منحتنا القدرة على الحصول على نتائج أكثر صرامة. إن أعمار الأحجار النيزكية الحديدية المحسوبة بطريقة التأريخ بالرينيوم تتفق والنتائج المحسوبة بالطرائق الأخرى. من ذلك يمكننا تبيان أن عمر اضمحلال بيتا للرينيوم لا يمكن له أن يتغير أكثر من 0.5% خلال عمر المنظومة الشمسية. يُترجم هذا إلى حدٍّ علوي لأي تغير جزئي في قيمة α من مرتبة 10^{-7} خلال 4.6 بليون سنة.

و رغم أن 4.6 بليون سنة هي فترة طويلة، إلا أن عمر الكون حوالي 13.5 بليون عام. فهل من الممكن اختبار تغيرات قيمة α عبر أزمنة أبكر في تاريخ الكون؟ الجواب هو بالإيجاب، إذا ما استعنّا بالكوازارات.

الاستعانة بالكوازارت لتفحص ثابت البنية الدقيقة

الكوازارات أجسام متراصة لكنها عالية التألق، و في الواقع هي متألقة لدرجة أنه يمكن دراستها و بتفصيل كبير باستخدام المقاريب (التلسكوبات) المنشأة على الأرض بالرغم من بعدها الشاسع عنا. يسود الاعتقاد بأن الكوازارات تحوي في مراكزها ثقوباً سوداء و بالتالي فإن قوة الثقالة الهائلة التي يمارسها الثقب الأسود تكفي بل و تزيد لتحويل المادة الموجودة في جوار الثقب الأسود إلى ضوء.

أعجوبة طبيعية. بإمكان القياسات التي تم الحصول عليها لدى المفاعل النووي الطبيعي هي أوكلو في أفريقيا الوسطى أن تضع قيوداً على أي تغيير محتمل في قيمة ثابت البنية الدقيقة على مدى البليوني سنة الماضية

تساعدنا الطبيعة بشكل ملائم ببعثرتها الكوازارات عبر أرجاء الكون، فبما أن الكوازارات تُشاهد في جميع اتجاهات السماء فإنها تزودنا بأداة قوية لرسم خريطة لجميع أرجاء الكون تقريباً. وكما هو الحال بالنسبة لجميع الأجسام الفلكية، متى ما نظرنا إلى الكوازار فإننا سنراه كما كان في الماضي. فنحن نرى الشمس تماماً كما كانت قبل ثماني دقائق، لأن هذا هو الزمن الذي يستغرقه الضوء الصادر من الشمس ليصل إلى الأرض. بشكل مشابه فإن بعض الكوازارات بعيدة جداً بحيث إننا نراها كما كانت قبل بلايين السنين. يمكننا حقيقة، عن طريق مراقبة (رصد) الكوازارات، أن نكتب "تاريخاً كونياً" متعاقباً يبدأ منذ الحين الذي كان فيه الكون بعمر يقارب البليون سنة و يستمر إلى يومنا هذا.

غير أننا لا نستطيع دراسة α بدقة معقولة إذا ما استعنا بالكوازارات نفسها، بل علينا تمحيص ما يحدث عندما يصدر إشعاع عن الكوازار و يعبر مجرةً قابعةً ما بين الكوازار و الأرض. يشع الكوازار الضوء بمجال واسع من الأطوال الموجية (الشكل1)، غير أن هذا الضوء سيتراكب مع نمط معين من خطوط الامتصاص عندما يجتاز الغاز المحيط بالمجرة.

إن وجود خط الامتصاص عند طول موجة معين يُظهر أن عنصراً معيناً موجود في السحابة الغازية، و عرض الخط يشير إلى كمية هذا العنصر. يُعلمنا هذا "التكويد الخطي bar code" أنه إضافةً إلى الهدروجين الموجود في كل أرجاء الكون، تحوي السحابة الغازية العديد من العناصر الأخرى من مثل: المغنيزيوم، الحديد، التوتياء، السليكون، الألومنيوم، الكروم.

كذلك يُظهر لنا التكويد الخطي ما كان يحدث حين عبَرَ الضوءُ الغيمةَ، الأمر الذي ربّما حدث منذ زمن يعود إلى بليون سنة بعد الانفجار العظيم. و رغم أن السحابة الغازية ربما تكون قد تطورت إلى حال مختلفة تماماً في يومنا هذا، إلا أن التكويد الخطي يزودنا بسمة دائمة لحالتها في الماضي السحيق بما في ذلك معلومات عن قيمة α في ذلك الحين.

لهذا فإذا ما قارنا التكويدات الخطية التي حصلنا عليها من أطياف الامتصاص للكوازار مع التكويدات الخطية التي نقيسها في المختبر للذرات والأيونات نفسها، أمكننا معرفة ما إذا كانت الفيزياء المسؤولة عن امتصاص الإشعاع من قِبَل الذرات قد تغيرت عبر تاريخ الكون أم لا، بكلمات أخرى يمكننا معرفة ما إذا كانت α قد تغيرت قيمتها.

العودة إلى المختبر

في عام 1998 بدأنا بحثاً مشتركاً مع كلٍّ من الزملاء: فيكتور فلامباوم Victor Flambaum وفلاديمير دزوبا Vladimir Dzuba من جامعة UNSW، وجون بارّو John Barrow الذي يعمل الآن في جامعة كامبردج في المملكة المتحدة. و رغم أننا كنا أنا و فيكتور نعمل في القسم نفسه، فإن أياً منا لم يكن يعلم بالاهتمام المُشتَرك بيننا إلى أن انتبه إلى أني أفتش عن طالب لمساعدتي في مسعاي لتسخير الكوازارات في معرفة ما إذا كان لـ α قيمة مختلفة في الماضي. وسرعان ما بات جلياً النفع الذي جنيناه من موالفة خبرته النظرية مع عملي التجريبي، عندما أدركنا أن بإمكاننا تحسين الدقة في قياس α بمرتبةٍ في القيمة إذا ما حللنا البيانات الفلكية الموجودة بطريقة جديدة.

سبق عملنا قياسٌ لـ α عن طريق النظر إلى خطوط "الثنائية القلوية" alkali doublet وهي الخطوط الطيفية المزدوجة في منظومات مثل المغنيزيوم أحادي التأين (Mg II). لهذا الأيون إلكترون وحيد في طبقته الخارجية، و تنشطر سوية طاقته المثارة الأولى إلى ثنائية نتيجةً للتأثر ما بين الاندفاع الزاوي المداري والاندفاع الزاوي السبيني للإلكترون. ويتناسب فرق الطاقة بين السويتين في الثنائية (الخط الطيفي المزدوج) doublet مع α^2. في الواقع تُعرَّف 'البنية الدقيقة' بأنها انشطار سويات الطاقة نتيجةً للتأثر بين كلٍّ من الاندفاع الزاوي المداري و الاندفاع الزاوي السبيني.

الانشطار العائد للبنية الدقيقة يعني أن Mg II يمتص الضوء عند تواترين مختلفين قليلاً فيما بينهما عندما يُثار من السوية الأساسية إلى الحالة المثارة الأولى. في المختبر كان الطولان الموجيان يوافقان: 2796Å و 2803Å. يعني تمدد الكون أن الأطوال الموجية المُشاهَدة في طيف الكوازار، λ_{obs} أطول بمقدار يتعلق بمقدار الانزياح نحو الأحمر للغاز أي: $\lambda_{obs} = (1+z)\lambda$، حيث z مقدار الانزياح نحو الأحمر، و λ الطول الموجي الأصلي.

يختلف التغير في طيف الامتصاص الناتج عن الانزياح نحو الأحمر، عن التغير الحاصل بسبب أي تغيُّر في α، بل إنه من الممكن فصلهما عن بعض. وفي حين يكون تأثير الانزياح نحو الأحمر هو ضرب الطول الموجي لكل خط في الطيف بالعدد الاسمي $z+1$، فإن أي تغير في α يغيّر فقط التباعد النسبي بين الخطوط في الثنائية (الخط الطيفي المزدوج).

على كل حال، فإن هذه المقاربة فشلت في الانتفاع من أحد الجوانب الفيزيائية الحاسمة، فعندما تكون الذرة أو الأيون في الحالة الأساسية، تقضي الإلكترونات وقتاً أطول قرب النواة من الوقت الذي تقضيه عندما تكون الذرة في الحالة المُثارة. بما أن α تُعرِّف بشكل أساسي شدة التأثر ما بين النواة و الإلكترونات، فإن أي تغير في α سيؤثر بشكل أكبر على الذرة أو الأيون عندما يكونان في الحالة الأساسية. غير أن طريقة الثنائية القلوية تستعين بنوع ذري واحد فقط، لهذا فإنها تقيس التغير بالنسبة إلى الحالة الأساسية نفسها، وبالتالي تُضيّع فرصة الاستفادة من هذا الجانب.

لهذا السبب طوَّرنا، أنا وفيكتور وفلاديمير دزوبا، طريقةً لاستخدام مجموعتين مختلفتين من خطوط الامتصاص الذرية، ومقارنة الأطوال الموجية بالنسبة إلى حالتين أساسيتين مختلفتين. وبعد أن تيقنّا أن مقارنة مُشاهدات المختبر مع أرصاد الكوازارات

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

المؤطر (2) دراسة تغير ثابت البنية الدقيقة باستعمال الساعات الذرية

لن يُصدق جون هاريسون John Harrison الدقة التي بلغتها الساعات الذرية الحديثة . فرغم عبقريته الميكانيكية، فإن الساعات المصنوعة من الذرات بدلاً من المسننات و النوابض لابد أن تفاجئه. فاز هاريسون مع ساعته H4 بمبلغ 20 ألف جنيه إسترليني كجائزة من هيئة خطوط الطول عام 1714 لتقديمه حلاً دقيقاً لمسألة تحديد خط الطول في البحر بلغت دقته 34 ثانية خلال 47 يوماً، أو جزءاً من 10^5 جزء.

على أية حال فإن الساعات الذرية الحديثة دقيقةٌ إلى حد ثانية واحدة كل 50 مليون سنة، أو جزء من 10^{15} جزء. هذا المستوى من الدقة يجعل من الممكن البحث عن أي تبدل في ثابت البنية الدقيقة وفق مقياس زمني يبلغ بضع سنوات.

أكثر الساعات الذرية دقةً تُصنع من "النوافير الذرية"، وهي عازلٌ من الذرات داخل حجرة مفرغة يؤسر بمجموعة من حزم الليزر المتقاطعة ويُبرَّد إلى درجة قريبة من الصفر المطلق. تطاير كرات الذرات شاقولياً نحو الأعلى في الهواء عن طريق تغيير تواتر الليزرات، وتمر خلال تجويف (تجاوبي) لموجة مكروية microwave cavity في أثناء صعودها، وفي أثناء هبوطها بسبب الثقالة، وتتكرر العملية بعدها.

يُستعان بحزمة ليزرية أخرى لجعل الذرات تتفلور، و يُقاس مقدار التفلور كتابع لتواتر الموجة المكروية لرسم "منحني التجاوب". ينم القياس الفائق الدقة للزمن عن طريق قياس تواتر القمة في منحني التجاوب هذا (انظر "Atomic clocks" by Pierre Lemonde in Physics World January 2001 pp39-44).

ينتج عن هذا أن عرض منحني التجاوب يتناسب عكساً مع الوقت اللازم للذرات حتى تجتاز التجويف التجاوبي للموجة المكروية، لهذا يصبح المنحني أضيق كلما أمضت الذرات وقتاً أطول في التجويف. ويسمح هذا بتحديد مكان الذروة بدقة أكبر، الأمر الذي يعني أن الساعة تُصبح أكثر دقة. وهذا يُغسر توق الفيزيائيين إلى وضع نافورة ذرية في الفضاء، فشروط الجاذبية الضعيفة جداً ستزيد الزمن (أي الذي تُمضيه الذرات في التجويف) بعشرة أضعاف، مما يعني زيادة مماثلة في دقة الساعة.

ولكن ما علاقة هذا بثابت البنية الدقيقة α؟ ليس من المُستغرب أن نجد أن تواتر التجاوب يتعلق بـ α، بل وأكثر من هذا، فإذا ما كانت α تتغير مع مرور الزمن فإن الساعات المصنوعة من عناصر مختلفة ستدق (تنك) بمعدلات متباينة قليلاً، لهذا وعن طريق مقارنة استقرار ساعتين مصنوعتين من عنصرين مختلفين سيكون من الممكن تعيين حد أعلى لأي تبدل لـ α مع الزمن. على النقيض من النتائج المستقاة من الكوازارات و مفاعل أوكلو، فإن التجارب المُجراة بالاستعانة بالساعات الذرية تمتحن استقرار α كما هي اليوم، عوضاً عن امتحانها قبل بلايين السنين.

أجرى مؤخراً هارولد ماريون Harold Marion والمشتغلون معه في مرصد باريس Observatoire de Paris و Ecole Normale Supèrieure (ENS) تجربةً تُقارن بين معدل ساعة ذات نافورة من السيزيوم وأخرى من الروبيديوم على مدى خمس سنوات. فإذا ما كانت α تتغير، فإن معدل التغير $\alpha/1(d\alpha/dt)$ يجب أن يكون أقل من $(-0.4\pm16)\times10^{-16}$ لكل سنة (انظر المراجع) و لا يُشكل هذا تعارضاً مع نتائج أوكلو أو نتائج الكوازار.

تُخطط الوكالة الأوربية للفضاء لإرسال تجربة ساعة ذرية تسمى "طاقم الساعة الذرية في الفضاء Atomic Clock Ensemble in Space (ACES) على المحطة الفضائية الدولية. وإضافةً إلى العديد من الاختبارات للنسبية العامة، ستكون ACES أكثر حساسية لتغيرات α بمئة مرة من التجارب الأرضية. ستحوي ACESساعتين ذريتين: ساعة من السيزيوم تُسمى فاراو PHARAO والتي بناها فريق يقوده كريستوف سالومون Christophe Salomon منENS وأندريه كلايرون Andre Clairon من مرصد باريس، وميزر maser* هدروجين بناه ألاين جورنود Alain Jornod من مرصد نيوشاتل Observatoire Cantonal de Neuchâtel في سويسرا.

تُشكل تجربة ACES محط اهتمام جزئي لي و لفريقي، ذلك أنها من الممكن أنْ تكون قادرة على كشف انحراف في قيمة α، الأمر الذي سيؤكد نتائج الكوازار. أما من جهة أخرى فقد لا تجد ACES أي تغير في قيمة α. غير أن هذا لا يعني أن نتائج الكوازار خاطئة، لأن التجربتين تغطيان زمنين الفرق بينهما شاسع، ويمكن لـ α أن تتغير بمعدلات مختلفة جداً خلال هذه الحقب المتباعدة. وقد يعتمد معدل التغير على عوامل أخرى، من مثل الكمون الثقالي المحلي.

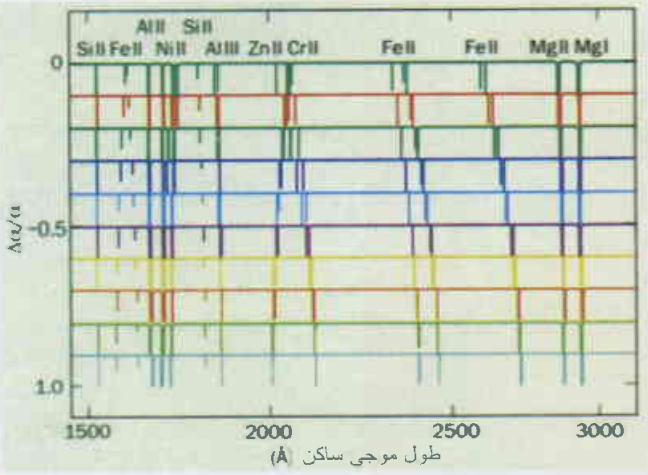
* الميزر maser اختصار للعبارة microwave amplification by stimulated emission of radiation، أداة تقوم بتضخيم أو توليد الأمواج المكروية او الراديوية، وهو مماثل لليزر غير أنه يعمل عند أطوال موجية مختلفة. (المترجم)

بهذه الطريقة، ستزيد الحساسية بمقدار هائل، كان التحدي هو تحديد الكيفيَّة التي تتغير بها طاقة الإلكترون و هو في الحالة الأساسية مع تغير α بدقة معقولة. فحالما حصلنا على هذه المعلومات صار بإمكاننا تأويل أي اختلاف بين قياسات المختبر و قياسات الكوازار كقيمة أو حدٍّ أعلى لأي تغيُّر محتمل في قيمة α.

هناك فائدة أخرى لمقاربة "الخطوط الطيفية المتعددة الأزواج" many-multiplet تتجلى في أن العناصر الخفيفة مثل المغنيزيوم لا تتأثر كثيراً لتغير α، على عكس العناصر الأثقل مثل الحديد. فقد استطاعت الصور عالية الميز لمسجلات الطيف في أكبر مقراب في العالم، أن تقيس الأطوال الموجية في أطياف الكوازار بدقة أكبر مما تم قياسه في المختبر على الإطلاق. بكلمات أخرى، إننا نعلم عن البنية الدقيقة للذرات التي كانت منذ 12 بليون سنة أكثر مما نعلم اليوم عنها، و سرعان ما أصبحت مساعينا، للبحث عن التغيرات في قيمة α، مقيدة بالمعطيات (البيانات) التجريبية القديمة.

لهذا كان لزاماً علينا أن نبدأ سلسلة من التجارب المختبرية الخاصة لإعادة قياس الأطوال الموجية لكل خطوط الامتصاص المُشاهَدة في طيف الكوازار. أجرت آن ثورن Anne Thorne معظم هذا العمل مع جوليت بيكرينغ Juliet Pickering في الكلية الإمبراطورية Imperial College في لندن، فصارت البيانات دقيقةً جداً بحيث أنه لم يعد هناك خطأٌ ناشئٌ عن قياسات المختبر، يحسب له حساب في نتائج دراسة الكوازار.

قام بإجراء الرصد العديد من الفلكيين، من بينهم كريس تشرشل Chris Churchill من جامعة ولاية بنسلفانيا، وجايسون بروتشاسكا Jason Prochaska ومايكل راوخ Michael Rauch من



الشكل 2- كيفية انزياح الخطوط الطيفية

للتحقق فيما إذا كانت قيمة ثابت البنية الدقيقة α قد تغيرت على مدى تاريخ الكون من الضروري أن نقارن الطول الموجي لخطوط الامتصاص المختلفة في أطياف الكوازار. بعد أن تكون قد أزيلت آثار الانزياح نحو الأحمر، مع الأطوال الموجية المقابلة كما قيست في المختبر. يُظهر الخط العلوي (الأخضر) في هذا الشكل موضع خطوط الامتصاص المتعددة في ذرات وأيونات السليكون (Si)، والحديد (Fe)، والألومنيوم (Al)، والزنك (Zn)، والكروم (Cr)، والمغنيزيوم (Mg) كما قيست في المختبر. المغنيزيوم MgI هو مغنيزيوم طبيعي، والمغنيزيوم MgII هو مغنيزيوم مؤين تأينا أحاديا (أي هو أيون Mg^+) وهكذا. تعتمد الأطوال الموجية لهذه الخطوط على α بطرق مختلفة، وتظهر الخطوط الملونة أين ستكون خطوط الامتصاص فيما لو كانت α في الماضي أصغر مما هي عليه اليوم. يوافق الخط الأحمر قيمة α التي هي 90% من القيمة الراهنة ($\Delta\alpha/\alpha = -0.1$)، والخط الأخضر يقابل 80% وهكذا. لاحظ كيف أن بعض الذرات تتغير بصعوبة مع تغير α (السليكون مثلا)، في حين تنزاح أخرى نحو أطوال موجية أطول (الحديد مثلا) أو أطوال موجية أقصر (الزنك). هذه الملاحظة مهمة لأنها تعني أنه يصعب على آثار غير التغير في قيمة α، أن تقلد هذا الطراز.

مرصد كارنيجي Carnegie Observatories في باسادينا، وآرت وولف Art Wolfe من جامعة كاليفورنيا في سان دييغو، وتوم بارلو Tom Barlow وروب سيمكو Rob Simcoe و وول سارجنت Wal Sargent من معهد كاليفورنيا للتقانة (كالتك). في حين كان جون بارّو من جامعة كامبردج فعّالاً جداً في التأويل النظري للنتائج.كذلك أنجز مايكل مورفي Michael Murphy، الذي أنهى مؤخراً دراسته للدكتوراه بإشرافي في جامعة UNSW و هو الآن في جامعة كامبردج، جزءاً كبيراً من العمل. كما انضم إلى المشروع ستيفن كيوران Stephen Curran، وانضم مؤخراً إلى المشروع أيضاً بانايوتيس تزانيفاريس Panayiotis Tzanivaris من جامعة UNSW.

أجرينا منذ عام 1998، تاريخ انطلاق المشروع، قياسات لـ 75 كوازاراً على مسافات تزيد على 13 بليون سنة ضوئية بواسطة مقراب Keck 1 في هاواي، والذي يبلغ قطر مرآته الأولية 10 أمتار*. كانت البيانات الواردة من Keck 1 مذهلةً، فقد وُجد دليل إحصائي هام يشير إلى أن α ربما كانت أصغر بقدر ضئيل في الماضي، مجرد جزءٍ من مئة ألف جزء (انظر الشكل3). تحققنا من العديد من مصادر الخطأ المحتملة، غير أن أياً منها لا يفسر النتائج التي حصلنا عليها (انظر المؤطر 3).

المؤطر (3): ما الذي يمكن أن يُعطي دلالة زائفة في البيانات ؟

لقد أنفقنا قدراً كبيراً من الوقت و الجهد في مُحاولة للإجابة عن هذا السؤال، و للتأكد من أن النتائج التي حصلنا عليها تدل على تغير في α و ليس أي شيء آخر. بل حتى أننا جمعنا في ورقة شاملة ملخصاً عن كل مصادر الخطأ المحتملة، مُحددين مقدار كلٍّ منها واحداً تلو الآخر [1]. وبعد الدراسة الشاملة خرجنا باحتمالين ممكنين للمؤثرات التجريبية التي من الممكن أن تؤثر بقدر ما على النتائج.

يُركز الأول على تبدد الضوء القادم من الكوازار في أثناء عبوره الغلاف الجوي الأرضي؛ إذ يتبدد الضوء عند كل طرف من طرفي الطيف المرئي بقدر مختلف عن الآخر، ذلك أن قرينة الانكسار لأي وسط تتعلق بالتواتر. ويسمح لنا تطبيق منظور معقد من فيزياء المدرسة العليا بحساب أهمية هذا الأثر مع استنتاج أنه غير قادر على تفسير النتائج التي حصلنا عليها.

السبب الثاني و الأكثر دقةً يتعلق بالكميات النسبية للنظائر المختلفة للعنصر الواحد في أطياف الكوازار وأطياف المختبر. فعينات المغنيزيوم مثلاً على الأرض تحوي 79 بالمئة من المغنيزيوم 24، و10 بالمئة من المغنيزيوم 25، و11 بالمئة من المغنيزيوم 26. ماذا لو أن السحابة الغازية لها وفرةٌ نسبيةٌ مختلفةٌ من هذه النظائر؟ مرة أخرى، بحثنا في هذا المؤثر بالتفصيل وأنه ليس بقادر على تفسير نتائج الكوازار. في الواقع إنه بحساب المعدل لمجمل عينة الكوازار، وجدنا أن أي محاولة لتضمين هذه المؤثرات في تأويلنا لبيانات الكوازار هي على الأرجح لجعل النتائج ذات معنى إحصائي أكبر.

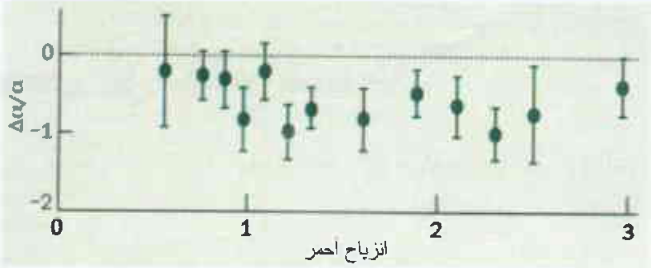
كنا مدركين لحقيقة أن جميع بياناتنا مجمّعة من الأداة نفسها: مسجل الطيف HIRES المركّب على المقراب Keck 1، و لهذا كنا في توق إلى تحليل بيانات من أدوات و مقاريب أخرى، من مثل المقراب الضخم Very Large Telescope (VLT) الموجود في المرصد الأوربي الجنوبي. بدأت البيانات الجديدة للكوازارات بالتدفق من VLT المكوَّن من مجموعة من أربعة مقاريب، ذات ثمانية أمتار قطراً و تقع في تشيلي، و سرعان ما سنصبح قادرين على تحديد ما إذا كانت نفس الإشارة السابقة تظهر في هذه البيانات.

مجموعاتٌ أخرى انضمّت إلى السبق أيضاً. فقد أنجز جون باكول John Bahcall وزملاؤه من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، على نحو ممتاز، تحليلاً شاملاً يعتمد على مقاربة جديدة درسوا فيها خطوط إصدار الأكسجين لمجرات بعيدة. و رغم أن باكول و المشتغلين معه بذلوا قُصارى جهدهم لاختيار البيانات ذات النوعية الأعلى من أجل تحليلها، فقد جاءت نتائجهم أقل دقةً بمقدار مرتبة في القيمة من نتائجنا التي حصلنا عليها من طرق "الخطوط الطيفية المتعددة الأزواج" على أطياف امتصاص الكوازارات. هذا يعني أنهم لم يكونوا قادرين بعد على تقديم اختبار لنتائجنا (انظر المراجع).

في الوقت الذي لم تؤكد فيه البيانات الجديدة النتائج التي حصلنا عليها حتى الآن، فإن البيانات المجمَّعة من Keck 1 و VLT ستفرض أكثر القيود صرامةً حتى الآن، على الشكل الذي يجب أن تأخذه النظريات التوحيدية الجديدة للقوى الأساسية، أما إذا أثبتت البيانات الجديدة تغيراً في α، فعلينا إذاً أن نعيد كتابة شطرٍ كبيرٍ من الفيزياء المعاصرة.

* مقراب Keck 1: أكبر مقراب بصري (ضوئي) في العالم، يقع على ارتفاع 4205m في مرصد ماونا كي في هاواي، يديره معهد كاليفورنيا للتقانة و الوكالة الوطنية للطيران و الفضاء الأمريكية. انظر موسوعة Encarta. (المترجم)

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



الشكل 3 –نتائج من أطياف كوازار

عند رسم التغير الكسري (النسبي) في ثابت البنية الدقيقة (Δα /α) كتابع لانزياح الأحمر نجد أن قيمة α تبدو وكأنها كانت في الماضي أصغر قليلا (بحوالي جزء في 10^5 جزء) مما هي عليه اليوم. إن كل نقطة من نقاط المعطيات الخضراء في الشكل تقابل قيمة وسطى تبلغ حوالي 10 قياسات كوازارية مستقلة . وتراوح انزياحات الأحمر بين z=0.55 (منذ حوالي 5.6 بليون سنة مضت) و z=3 (منذ حوالي 12.6 بليون سنة مضت) . لو لم تتغير α على مدى تاريخ الكون لتبعثرت نقاط المعطيات حول الخط الأفقي المنقط.

الكون الموغل في القِدم

يمكننا البحث عن تغيرات α حتى في الأزمنة الأبكر من تاريخ الكون، إذا ما غيرنا قيمة α نكون قد غيرنا درجة الحرارة التي جرى عندها اتحاد الإلكترونات والبروتونات في بدايات الكون لتشكل ذرات الهدروجين المعتدلة. هذه هي العملية التي تُحدد تَشكُّل خلفية الأمواج الكونية المكروية بعد حوالي 380 ألف سنة من الانفجار العظيم. فالتغير الحاصل في α سوف يغير الزمن الذي حدث فيه الاتحاد، و يمكن الكشف عن هذا عن طريق قياسات السواتل المخصصة للخلفية الكونية.

عملية تشكُّل العناصر الخفيفة، مثل الهليوم والدوتريوم والليثيوم، في الدقائق الثلاث الأولى بُعيد الانفجار العظيم، ستتأثر كذلك إذا ما كانت α تتغير مع مرور الزمن. فالمعادلات التي تعطي معدل تشكُّل العناصر الخفيفة، ستتعدل بطرق مختلفة إذا ما تغيرت α مع مرور الزمن. هذا يعني أن القياس الدقيق للوفرة النسبية لهذه العناصر يمكن أن يُستفاد منه في وضع حدود لأي تغيُّر لـ α و خلال مجمل تاريخ الكون تقريباً، بدءاً من الدقائق الأولى بُعيد الانفجار العظيم وانتهاءً بيومنا هذا [2].

كلتا هاتين الطريقتين لمّا تصبحان دقيقتين جداً حتى الآن، ومع ذلك فإنهما تقدمان قيداً متمماً هاماً لأي اختلاف في α، وتظهران أن ليس بمقدورها (أي α) أن تتغير بمقدار يزيد عن 10% بالمئة في كلا الحالتين.

ماذا يعني كل هذا ؟

لعل مما تجدر ملاحظته أن الحالة الراهنة لجميع التجارب على درجة واحدة من الاتساق. فلا تتعارض النتائج الجيولوجية مثلاً مع نتائج الكوازار أو مع تجارب الساعة الذرية، لأنها تغطي حقبا زمنية مختلفة جداً من تاريخ الكون. فمن المحتمل أن α كانت تتغير بسرعة كبيرة نسبياً (بمعدل جزء من 10^5 جزء) في بضعة البلايين الأولى من السنوات بعد الانفجار العظيم، وأن التغير الجزئي كان أصغر بمئة مرة منذ أيام مفاعل أوكلو أي منذ حوالي بليوني سنة. رغم أنه لا يمكننا تكرار "تجربة" أوكلو، إلا أن النتائج المستقاة من رصد الكوازارات و من تجارب الساعات الذرية ستصبح أكثر دقة خلال السنوات القادمة.

التثبت من تغير α ستكون له تضمينات عميقة في الفيزياء. على سبيل المثال لنأخذ مبدأ التكافؤ الذي يشكل أحد أركان النسبية. ينص هذا المبدأ على أنه في جمل الإسناد حرة السقوط تكون نتيجة أي تجربة لاتثاقلية مستقلة عن مكان وزمان إجراء هذه التجربة.

ستُشكل التغيرات في قيمة α انتهاكاً لمبدأ التكافؤ، و لكن قد لايكون هذا خبراً سيئاً بالضرورة، ذلك أن العديد من النظريات التي تسعى لتوحيد القوى الأساسية الأربع للطبيعة تنتهك مبدأ التكافؤ أيضاً. كذلك فإن نظريات سرعة الضوء المتغيرة varying speed of light (VSL)، التي كان أول من اقترحها جون موفات John Moffat من جامعة تورنتو، وطورها في السنوات الأخيرة João Magueijo من الكلية الإمبراطورية وجون بارّو وآخرون كبديل عن النماذج التوسعية* في علم الكون، من المحتمل أن ينتج عنها تغير في قيمة α في بدايات الكون. تسعى كلٌ من نظريات التوسع ونظريات سرعة الضوء المتغيرة، إلى تفسير العديد من معالم الكون مثل تسطحه الظاهري الذي لايمكن تفسيره وفق نظرية الانفجار العظيم لوحدها.

إذا تم في آخر الأمر تأكيد نتائج الكوازار فلا بد أن تخضع تصوراتنا للمكان و الزمان لتحولات جذرية، و من يعلم كم سيغير هذا من فهمنا للكون.

المراجع

REFERENCES

[1] K A Olive et al. 2002 Constraints on the variations of the fundamental couplings arXiv.org/abs/hep-ph/0205269.

[2] L Bergström, S Iguri and H Rubinstein 1999 Constraints on the variation of the fine-structure constant from big bang nucleosynthesis Phys. Rev. D 60 045005.

* * *

❖ الكون التوسعي : نموذج لنشوء الكون يفترض أن معدل تمدد الكون قد تسارع بشكل كبير بُعيد الانفجار العظيم. (المترجم)

ليزرات الإلكترونات الحرّة تعمل في نظام أشعة-X★

إ. بلونجيز - ج. فيلدهاوز - ت. موليز
مختبر السنكروترون - هامبورغ - ألمانية

ملخص

تشرع ليزرات الإلكترونات الحرّة بتزويد الباحثين بحزم فمتوثانية شديدة من الإشعاع المترابط عند أطوال أمواج أشعة-X وعند أطوال أمواج الأشعة فوق البنفسجية الخلائية.

الكلمات المفتاحية: عناقيد الذرّات، إشعاع مترابط، ليزرات الإلكترونات الحرّة، أشعة فوق بنفسجية - خلائية.

تَصوَّر تصنيع أشرطة سينمائية عن التفاعلات الكيميائية، وتصور أنك تشاهد السطوح، وهي تنصهر في الزمن الحقيقي أو أنك تأخذ صوراً ضوئية للجزيئات المفردة. ليست هذه إلاّ بعض الأهداف الطموحة التي وضعها الباحثون أمام أعينهم من أجل ليزرات الإلكترونات الحرّة الجديدة العالية الاستطاعة التي تعمل في نظام أشعة-X والتي يجري تطويرها في مختبر السنكروترون الإلكتروني الألماني (DESY) في هامبورغ وفي مركز ستانفورد للمسرّع الخطي (SLAC) Stanford Linear Accelerator Center في كاليفورنية. ستولّد هاتان المنشأتان إشعاع ليزر أشعة-X شديد عند أطوال موجية من 10 نانومتر وهبوطاً حتى 0.1 نانومتر، وبنبضات تدوم فقط من 50 حتى 500 فمتوثانية. وستمكّن هذه الليزرات الباحثين مباشرة من دراسة كيف تغير الذرات مواقعها وكيف تتشكل الروابط الكيميائية.

يقوم مختبر DESY في هامبورغ بالتخطيط لبناء ليزر إلكترونات حرّة في نظام أشعة-X، الذي سينتج في النهاية أشعة-X طول موجتها قصير لا يتجاوز 0.1 نانومتر. تُظهر هذه الصورة منشأة ليزر الإلكترونات الحرة الموجودة في المختبر، التي أنتجت خلال السنوات الثلاث الماضية الضوء فوق البنفسجي الخلائي عند الطول الموجي من 80 إلى 100 نانومتر. وهذه المنشأة الرائدة تُحدث حالياً لتنتج أشعة-X ذات أطوال موجية قصيرة حتى 6 نانومتر. يضم البناء الرمادي السطح (الجهة اليمينية من الأعلى) "النهاية الأمامية" المقدمة لليزر الإلكترونات الحرّة الذي طوله 300 متر، والذي يمتد تحت النفق المغطى بالعشب. وسيعمل على أن يضم البناء في مقدمته خمسة خطوط حُزمة من أجل تجارب المستخدمين. والمنشأة الحالية هي نموذج لليزر الإلكترونات الحرّة في نظام أشعة-X المستقبلي وكذلك لمشروع المصادم الخطي TESLA.

لقد حقّق العلماء والمهندسون في DESY حتى الآن تقدماً جديراً بالملاحظة. فقد أتمّوا في خريف عام 2000 بناء ليزر إلكترونات حرّة ينتج ضوءاً "فوق بنفسجي-خلائي "vacuum-ultraviolet ذا أطوال موجية قصيرة حتى 80 نانومتر. لقد أعطى هذا الليزر في ذلك الحين أول نتائجه العلمية في دراسة حول كيفية تأثر عناقيد ذرات الكزينون مع نبضات فمتوثانية شديدة من الضوء فوق البنفسجي. ويجري حالياً تطوير الليزر ليصبح منشأة ذات نفع ستفتح أبوابها في نهاية 2004 وستُصدر في النهاية ضوءاً طول موجته 6 نانومتر تماماً.

وببدء العقد التالي يأمل المختبر أن يكون قد أنجز ليزر الإلكترونات الحرّة في نظام أشعة-X يعمل بصورة كاملة ويستطيع إنتاج إشعاع طول موجته 0.1 نانومتر. وسيشكل الليزر جزءاً من منشأة المسرّع الخطي الفائق الناقلية ذي طاقة تيرا إلكترون فولط TeV الطموحة (TESLA) TeV Energy Superconducting Linear Accelerator والتي ستكلف 3.5 بليون يورو، والتي ستستخدم أيضاً كمصادم إلكترون-بوزترون. ورغم أن الخطة الأصلية كانت من أجل أن يقتسم الليزر والمصادم المسرّع نفسه، إلا أنهما الآن سيُداران كمشروعين منفصلين.

يتطلب تصميم ليزرات الإلكترونات الحرّة في نظام أشعة-X ثلاث مجموعات من العلماء لحشد الجهود والتركيز على الهدف المشترك. ستكون اختصاصات هذه المجموعات في المسرّعات وفي إشعاع السنكروترون وفي الليزرات، وستنظر كل من هذه المجموعات إلى هذه المنشآت الجديدة على أنها تطور طبيعي في الحقل الخاص بكلّ منها.

يرى علماء السنكروترون، مثلاً، ليزرات الإلكترونات الحرّة كطريقة لاستمرار النمو الأسّي تقريباً في شدّة الإشعاع الذي تمّ الحصول عليه من مصادر سنكروترونية على مرّ السنين الخمسين الماضية لحالشكل لذ. وستعطي الليزرات الجديدة " لمعان" ذروة مقدارها أكبر بثماني مرات ممّا في أحسن مختبرات أشعة-X، مثل منشأة إشعاع السنكروترون الأوربية في غرونوبل BESSY II أو في برلين.

★ نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, July 2003 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

وفي غضون ذلك، يبحث الفيزيائيون المختصون بالليزر منذ زمن طويل في توسيع تقانة الليزر الضوئية من منطقة الأشعة المرئية إلى منطقة أشعة-X. ورغم أن الإشعاع الصادر عن ليزر الإلكترونات الحرّة يشبه الإشعاع الصادر عن الليزرات الضوئية التقليدية – من حيث تميزه باستطاعة عالية وبعرض عصابة ضيق، وبنبضات فمتوثانية وبانتشار حزمة محددة بالانعراج – فهناك فرق كبير واحد وهو أن من الممكن لليزرات الإلكترونات الحرّة أن تُولّف باستمرار على مدى مجال واسع من الأطوال الموجية بدلاً من أن تعمل عند تواتر ثابت أو في مجال ضيق جداً.

وأخيراً فإن ليزرات الإلكترونات الحرّة تمثل تحدياً جديداً لعلماء المسرّعات الذين عليهم أن يولّدوا حزماً إلكترونية ذات جودة عالية بشكل استثنائي. وستكون المنظومات أيضاً أكثر صعوبة من حيث التصميم من ليزرات الإلكترونات الحرّة الموجودة العاملة في نظام الأشعة تحت الحمراء والمرئية وفوق البنفسجية، حيث إن هذه الأنظمة قائمة على مسرّعات خطية قصيرة أو على حلقات تخزين إشعاع سنكروتروني.

الشكل 1. لامع بشكل بسيط

ازداد "لمعان" الذروة لمصادر أشعة X بمقدار يبلغ نحو 11 مرتبة كبر منذ أن اكتشف ويليم رونتجن أشعة X في فورزبورغ عام 1895. كان ما يطلق عليه اسم الجيل الأول للمصادر السنكروترونية أكثر بقليل من مسرعات الجسيمات المصممة لتجارب فيزياء الطاقة العالية. في حين كانت مختبرات الجيل الثاني منشآت موسى عليها حسب الطلب. أما مصادر الجيل الثالث الحالية في المختبرات مثل منشأة الإشعاع السنكروتوني الأوربية European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) ففيها ثنايا حتى خاصة تعرف باسم مذبذبات wigglers تصدر ضوءا ضمن مخروط ضيق جدا. و ليزرات الإلكترونات الحرة هي الجيل الثالي الرابع لمصادر الإشعاع السنكروتروني. يبين اللمعان هنا في المخطط بدلالة عدد الفوتونات مستنظما في ما يتعلق بخواص الحزمة المختلفة.

كيف تعمل ليزرات الإلكترونات الحرّة

ليست ليزرات الإلكترونات الحرّة (FELs) فكرة جديدة. فقد اكتُشف مفهوم توليد إشعاع ليزر من الحزم الإلكترونية من قِبَل جون مادي J. Madey حينما كان طالب دكتوراة في جامعة ستانفورد في بداية السبعينيات من القرن الماضي. أنشأ مادي وزملاؤه أول ليزر إلكترونات حرّة عام 1977 كان يصدر في البدء ضوءاً تحت الأحمر ذا طول موجي يبلغ 3400 نانومتر. يوجد في العالم الآن نحو 30 مختبراً فيها ليزرات إلكترونات حرّة، عشرة منها منشآت مستخدمة بشكل كامل. تعمل معظم هذه الليزرات، على أية حال، في نظام الأشعة تحت الحمراء والأشعة تحت الحمراء البعيدة، في حين يولد ثلثها ضوءاً مرئياً وضوءاً فوق بنفسجي، ولا يولّد أي منها أشعة-X.

كان أول من تقدّم باقتراح من أجل ليزر إلكترونات حرّة يعمل في نظام أشعة-X اللينة ويُنتج إشعاعاً عند حوالي 0.1 ـ 20 نانومتر هو بريان نيونام B. Newnam من المختبر الوطني في لوس ألاموس القومي عام 1988. وبعد أربع سنوات اقترح الباحثون في SLAC لحمسرّع ستانفورد الخطي إضافة ليزر إلكترونات حرّة إلى المسرّع الخطي الموجود بهدف توليد ضوء ليزري في مجال الأشعة فوق البنفسجية الخلائية ذات الطول الموجي الأقصر وفي مجال أشعة-X. ولكن يعود الفضل في اتخاذ القرار الحاسم إلى مدير DESY السابق. الراحل بجورن ويك B. Wiik ـ الذي استطاع في مختبر هامبورغ بناء أول ليزر إلكترونات حرة في نظام الأشعة فوق البنفسجية الخلائية، الذي يعرف أيضاً بليزر الإلكترونات الحرة لمنشأة تسلا TESLA الاختبارية.

وبينما يوجد هنالك كثير من الأشياء المشتركة بين ليزرات الإلكترونات الحرّة والليزرات التقليدية، فإن الاختلاف الرئيس – الذي هو حقيقة إمكان توليف ليزرات الإلكترونات الحرّة إلى أي طول موجة – يعود إلى وسط كسبها الفريد. يتم الحصول على الضوء المضخّم في الليزرات التقليدية عادة بالإصدار المحرَّض للإشعاع الناتج من الإلكترونات المرتبطة بالذرات، وعادة في البلّورات وفي جزيئات الأصباغ السائلة أو الغازات. وبالعكس فإن وسط التضخيم في ليزر الإلكترونات الحرّة يتشكل من الإلكترونات غير المرتبطة (أو "الـ (ؤلخ التي تُجبَر على التحرك في حقل مغنطيسي قوي (الشكل لخ.

تتولد أولاً باقات من الإلكترونات الحرّة باستخلاص الإلكترونات من بلّورة في المدفع الإلكتروني. تُسَرَّع هذه الباقات بعد ذلك لتشكل حزمة عالية الطاقة ترحل عبر مسرع خطي بسرعة تساوي تقريباً سرعة الضوء. وبإجبار الإلكترونات على التحرك عبر مسار على شكل موجة جيبية عبر الحقل المغنطيسي الدوري لنبيطة تعرف باسم "المموّج" فإن الإلكترونات – لكونها جسيمات مشحونة – تصدر إشعاعاً سنكروترونياً أثناء تحركها لحالشكل لخ.

تكون الفوتونات في البدء غير مترابطة ومتمركزة في مجال ضيق من الأطوال الموجية بحيث يعتمد طول موجة الذروة على طاقة الإلكترونات وعلى خواص الحقل المغنطيسي. وبعد أن تترك حزمة الإلكترونات المموّج – الذي يمكن أن يبلغ طوله عشرات أو حتى مئات من الأمتار – تُفصل نهائياً عن حزمة الضوء بفعل مغنطيس حَنْي. يمكن استعمال الضوء بعد ذلك لإجراء التجارب.

ولكن كيف يمكن أن نجعل الضوء غير المترابط مترابطاً بحيث تتوحّد جميع تواترات الفوتونات وأطوارها؟ يتم تحقيق هذا الأمر في الليزرات التقليدية بتضخيم تواتر وطور معينين من الضوء مراراً

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

الشكل 2. كيف تصنع ليزر الالكترونات الحرة

في ليزر الالكترونات الحرة، تسرّع الالكترونات المنتجة بواسطة مدفع الكتروني أولاً الى ما يقارب سرعة الضوء في مسرع خطي. ثمر الحزمة الالكترونية بعد ذلك عبر ممر موجة جيبية في حقل مغنطيسي لنبيطة تعرف بالموجّ، مصدرة إشعاعاً سنكروترونياً خلال العملية يحول هذه الاشعاع إلى ضوء ليزري مترابط بواسطة الإصدار التلقائي المضخّم ذاتياً. وأخيراً، يتم فصل الحزمة الالكترونية والحزمة الليزرية في مغنطيس حني. تبين الصورة الموجّ المستخدم في ليزر الالكترونات الحرة في DESY.

وتكراراً في وسط خاص، ويتم هذا عادة بإعادة توجيه الضوء بشكل متكرر خلال الوسط الليزري بوضع مرآة عند كلتا نهايتيه للحصول على " ترتيب متعدد المسار" أو مجاوب ضوئي.

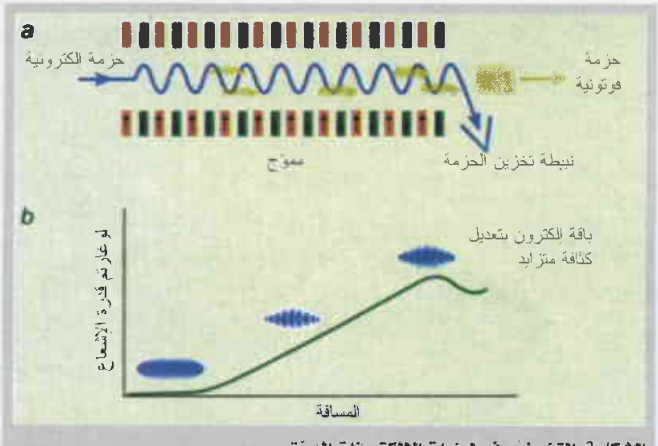
يمكن تطبيق هذا المبدأ أيضاً في ليزرات الإلكترونات الحرة العاملة في مجال الأشعة تحت الحمراء والمرئية وفوق البنفسجية باستخدام مجاوب ضوئي مزوّد بمرايا عند نهايتي الموجّ. عندئذ تمر النبضات الفوتونية بشكل متكرر عبر الموجّ وتلتقي في كل مرور مع باقة إلكترونية. المشكلة في ليزرات أشعة ـ X ـ من أي نوع ـ هي أن المرايا المناسبة لمثل هذه المجاوبات غير متوفرة في هذا المجال الطيفي. هنالك حاجة لإيجاد طريقة يمكن فيها تضخيم الضوء الصادر تلقائياً في مرور واحد. أحد الحلول هو الإصدار التلقائي المضخّم ذاتياً (SASE) self amplified spontaneous emission.

يقوم SASE على حقيقة أنه بينما يسير إشعاع السنكروترون الصادر عن الإلكترونات خلال الموجّ بسرعة الضوء فإن الإلكترونات نفسها تسير في الحقيقة بسرعة أقل بقليل. وبسبب ذلك تتأخر الإلكترونات قليلاً خلف الإشعاع الصادر الخاص بها، الذي يستطيع أن يلحق بالإلكترونات الصادرة قبل ذلك - ويتأثر معها - وإما أن يسرّع هذا التأثر الإلكترونات نفسها أو يبطئها حسب موقعها الدقيق وحسب طور موجة الضوء التي ستتأثر الإلكترونات معها.

تكون المحصلة هي أن موجة الضوء تدفع الإلكترونات إلى باقات أصغر يطلق عليها اسم باقات مكروية وتكون مفصولة بعضها عن بعض بمسافة توافق طول موجة الحقل المغنطيسي للموجّ. تبدأ الآن العديد من الإلكترونات بإصدار الضوء بترادفية منتجةً ضوءاً بشدة أعلى. يفرز هذا الضوء بعدئذ الإلكترونات إلى باقات متراصّة أكثر فأكثر، مسبّباً إيّاها إلى أن تشعَّ في الطور نفسه. ونتيجة لذلك ترتفع طاقة الإشعاع بشكل أسي مع المسافة على طول الموجّ حتى تشبع في النهاية لحالشكل لأخ.

وحتى تتحقق هذه العملية، على أية حال، يحتاج الفيزيائيون المختصون بالمسرّعات إلى إنتاج حُزَم عالية الجودة جداً. فسيحتاج ليزر الإلكترونات الحرّة بأشعة-X المقترَح في DESY مثلاً باقات من الإلكترونات تدوم 200 فمتوثانية فقط ولها تيار ذروة يساوي 5000 أمبير. والباقات مرتبة في قطارات في كل منها 4000 باقة بمعدل تكرار يبلغ 10 هرتز.

ولمّا كانت الإلكترونات في ليزر الإلكترونات الحرّة غير مرتبطة بالذرات، فإن طول موجة الليزر غير محدّد بانتقالات ذرّية معينة. ولهذا يمكن أن تُولَّف بتعديل طاقة المسرّع أو شدة الحقل المغنطيسي وتواتر تنميط الموجّ. وستكون شدة ليزر أشعة-X أيضاً أكبر بعدة مراتب كِبْر من أي منبع أشعة-X معروف. وعلاوة على ذلك، فإن النبضات ستكون قصيرة وتدوم نحو 100 فمتوثانية.



الشكل 3. التضخيم في ليزرات الإلكترونات الحرّة

a)، يحدث تضخيم الضوء في ليزر الإلكترونات الحرّة في نظام أشعة-X من خلال التضخيم الذاتي للإصدار التلقائي عن طريق تأثر الإلكترونات مع الإشعاع السنكروتروني الذي تصدره. تضغط الموجّات بشكل أساسي الباقات الإلكترونية التي كانت ملساء فتحولها إلى باقات صغيرة مضغوطة بحيث تصدر الإلكترونات إشعاعاً متوافقاً إلى حد ما في الطور.

b)، تؤدي هذه الباقات الصغيرة إلى نمو أسي في استطاعة الإشعاع كتابع للمسافة على طول الموجّ. وفي الواقع، يمكن لآلاف من الباقات الصغيرة أن توجد في كل نبضة من الحزمة.

التحديات العلمية المتعلقة بليزرات الإلكترونات الحرّة

اقتنع العديد من الفزيائيين بأن إشعاع ليزر الإلكترونات الحرة في مجال أشعة-X والأشعة فوق البنفسجية الخلائية سيساعدان على توفير نتائج علمية أساسية في العديد من الفروع العلمية. سيكون أحد الحقول المتوقع أن يكون ذا أهمية مبكرة هو دراسة كيف تتأثر أشعة-X مع الذرات أو الجزيئات أو مع عناقيد صغيرة من كل منها. وقد بينت التجارب الأولى لليزر الإلكترونات الحرّة المتوفر والذي يعمل في نظام الأشعة فوق البنفسجية الخلائية في DESY أن من الممكن توقع عمليات جديدة أساسية من استخدام ليزرات أشعة-X. ومن الممكن أن تتضمن مجالات البحث الواعدة بشكل خاص التحليل البنيوي للجزيئات والعناقيد الجزيئية باستخدام انعراج نبضات أشعة-X الفمتوثانية الشديدة ودراسة ديناميك الإلكترونات في الذرات أوالجزيئات أوالباقات المشعّة بأطوال موجية مختلفة من أشعة-X.

وخلال ذلك يخطط فيزيائيو البلازما تجارب لدراسة بلازمات "المادة الكثيفة الساخنة" التي لها تقريباً كثافة مثل كثافة الأجسام الصلبة. ولتوليد مثل هذه المادة، التي لا توجد إلا في الجزء المركزي من الكواكب الكبيرة، نحتاج إلى تبئير ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X العالية الشدة على أهداف معدنية، مثل وريقات الألومنيوم التي ثخانتها عشرات من النانومتر فقط. وعلى أية حال، وحتى الآن فإن التحريات المفصولة زمنياً لمثل هذه البلازمات استخدمت ضوء ليزر مرئي لا يخترق المادة إلى مسافة بعيدة. يملك إشعاع ليزر الإلكترونات الحرة أشعة-X طولاً موجياً قصيراً إلى حد كاف بحيث يسبر داخل البلازما، في حين يسمح طول النبضة القصير بمتابعة تطور البلازمات – ومطيافيتها – في الزمن الحقيقي. ستكون النتائج لا تقدر بثمن بالنسبة للباحثين في البلازما، الذين هم بحاجة إلى بيانات تجريبية من نوعية جيدة للتحقق من نماذجهم الحاسوبية.

ستكون أشعة-X المترابطة العالية الاستطاعة أيضاً مفيدة في فيزياء المادة الكثيفة وفي فيزياء السطوح وفي علم المواد. وبينما أدى إشعاع السنكروترون إلى بعض التقنيات المتقدمة جداً من أجل دراسة ظواهر المادة الكثيفة مثل المغنطيسية، فإن التحريات المتعلقة بالعمليات الدينامية لاتزال في مستهلها. سيكون لليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X نبضات قصيرة إلى حدٍّ كاف لمتابعة هذه العمليات التي غالباً ما تحصل على قياسات زمنية من مرتبة الفمتوثانية.

ستسمح ليزرات الإلكترونات الحرّة أيضاً للباحثين في تصوير البلورات النانوية وفي دراسة كيف تعرج ضوء أشعة-X المترابط. وفي غضون ذلك، سيستطيع الكيميائيون دراسة العمليات الفائقة السرعة مثل التفاعلات الكيميائية. ستكون نبضات الليزر أقصر من زمن حياة الحالات المتوسطة في تفاعل كيميائي والذي طوله مجرد مئات من الفمتوثانية.

وستستفيد البيولوجيا أيضاً من هذا. يستخدم علماء الحياة حالياً انعراج أشعة-X لتعيين بنية الجزيئات الضخمة الأكبر من أي وقت مضى مثل الفيروسات. على أية حال، يمكن أن تُستخدم أشعة-X السنكروترونية فقط إذا كان من الممكن تهيئة الجزيئات كبلّورات، الأمر الذي لايكون دوماً سهلاً أو ممكناً. من المحتمل أن تستطيع ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X أن تتجاوز هذا القيد، بحيث تُمكّن من تصوير الجزيئات الكبيرة والعناقيد الجزيئية وحتى ربما الخلية بأجمعها. سيكون تحدياً كبيراً اكتشاف ما إذا كان ممكناً الحصول على معلومات بنيوية حول عينة بيولوجية قبل أن تُتلف بفعل جرعة الإشعاع العالية من الحزمة.

التطورات الحالية في SLAC و DESY

حتى يمكن استثمار الإشعاع المقدم من منشآت ليزرات الإلكترونات الحرة القصيرة طول الموجة بشكل كامل سيحتاج الباحثون عدة تقنيات جديدة تتراوح من أنواع جديدة من مكونات ليزرية وبصرية إلى طرائق تجريبية جديدة. ففي SLAC مثلاً يقوم الباحثون حالياً ببناء مصدر أشعة-X فمتوثانية يستخدم كامل الطول 3 كم من المسرّع الخطي للمختبر. يستخدم مصدر الفوتونات تحت البيكوثانية Sub- Picosecond Photon Source (SPPS) حزمة إلكترونية نبضية عالية الطاقة لتوليد إشعاع سنكروتروني بنبضات تدوم تقريباً 80 فمتوثانية يحوي كل منها نحواً من 10^7 فوتونات.

ومنذ الآن وحتى نهاية عام 2005 ـ حيث من المقرر البدء ببناء مصدر الضوء المترابط من المسرّع الخطي الذي سيكلف 250 مليون دولار. سيستخدم تعاونُ دوليٌّ المصدر SPPS لاختبار تقنيات تجريبية جديدة يمكنها أن تكون وثيقة الصلة بليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X. وعلى الرغم من أن لدينا فوتونات قليلة نسبياً في كل نبضة ـ بمعامل 10^5 تقريباً أقل مما في ليزر الإلكترونات الحرّة لأشعة-X فإن المصدر SPPS سيبقى قادراً على الحصول على نتائج قيّمة بفضل الطول القصير للنبضات. بدأت تجارب الاختبارات الأولى للمنشأة في شهر أيار من هذا العام.

ومن ناحية ثانية، استُخدمت منشأة اختبار TESLA في DESY في ألمانية لإثبات أن ليزرات الإلكترونات الحرّة القائمة على مبدأ الإصدار التلقائي المضخَّم ذاتياً يمكنها أن تصدر ضوءاً عند أطوال موجية فوق بنفسجية خلائية. أنجزت أول لَيْزرة في المنشأة في شهر شباط من عام 2000 وجرى تحسين الليزر باستمرار منذ ذلك الحين. وأنتجت المنشأة ضوءاً بعد ذلك بطول موجي لا يتجاوز 80 نانومتر – وهي أقصر موجة أُنتجت بواسطة ليزر الإلكترونات الحرّة – في حين كانت دفقة الليزر الوحيدة نحو 50 فمتوثانية فقط. وتمّ الوصول إلى تضخيم الضوء حتى الإشباع عند الأطوال الموجية من 80 حتى 120 نانومتر، في حين كان لمعان الذروة ـ أي الشدة المستنظمة إلى حجم المصدر وزاوية الفتحة وطول النبضة وعرض العصابة الطيفية

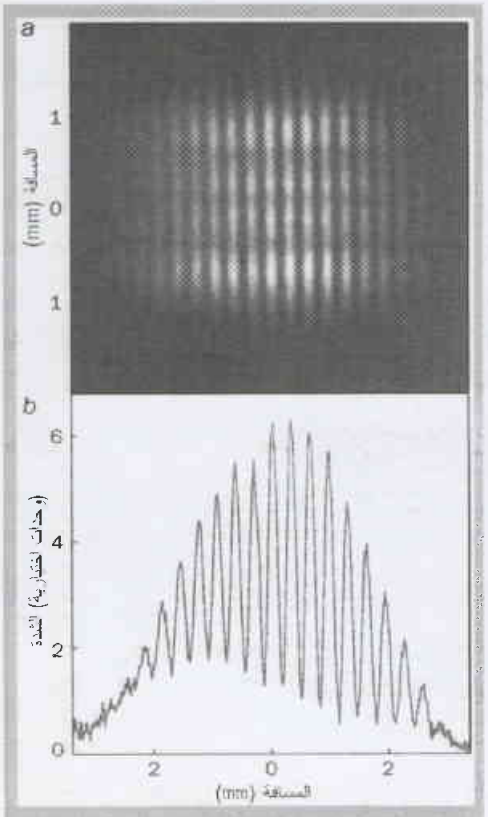
. لهذا الليزر أعلى بـ 1000 مرة من أفضل المصادر الضوئية الحالية ضمن هذا المجال. تم توصيف خواص حزمة الليزر بعمق في حين كانت تُنفذ تجارب أول إثبات للمبدأ بنجاح. عينت استطاعة الذروة فكانت 1 غيغا واط وهي تتوافق مع 2×10^{13} فوتوناً في كل نبضة.

ومثل جميع الليزرات، يجب أن يكون طور إشعاع الإصدار التلقائي المضخم ذاتياً SASE من ليزر الإلكترونات الحرّة متماثلاً تماماً عبر الحزمة عند الوصول إلى الإشباع. تمّ تعيين هذه الدرجة العالية من "الترابط العرضاني" حالياً من قبَل أعضاء من مجموعة تشخيص الفوتونات في DESY، الذين وضعوا مجموعة من الشقوق المزدوجة داخل حزمة ليزر الإلكترونات الحرة لإجراء تجربة تداخل الشق المزدوج التقليدية للعالم يونغ Young. سيُظهر الضوء المترابط تماماً على مجمل قطر الحزمة صورة انعراج خلف الشقوق المزدوجة بدون أي ضوء عند النهايات الصغرى، في حين سوف لا يُظهر الضوء اللامترابط صورة انعراج على الإطلاق. تثبت الرؤية الرائعة للأهداب مع تباين بين النهايات العظمى والدنيا يبلغ 70% الدرجة العالية للترابطالعرضاني لحالشكل 4). وعلى الرغم من أن الباحثين في منشأة TESLA الاختبارية لا يستطيعون حتى الآن قياس طول نبضة الليزر مباشرة، إلا أنهم يستطيعون تعيينها بشكل غير مباشر من قياس شدة النبضة كتابع لطول الموجة لحالشكل 5) .

وبما أن إشعاع الإصدار التلقائي المضخم ذاتياً SASE ينتج من تضخيم الإشعاع التلقائي للمموّج، فإن طاقة النبضة تكون دوماً خاضعة لتغيّرات إحصائية. ولهذا فإن الذروات الملاحظة تتغير من نبضة إلى أخرى رغم أنها ستبقى دائماً ضمن العرض الكلي لعصابة تضخيم الليزر. يمكن حساب الطول التقريبي للنبضة من عرض كل ذروة في طيف نبضة مفردة بدون إجراء عملية أخذ المتوسط. وهو ما يطلق عليه طيف اللقطة المفردة. وقد وُجد أن من الممكن تغيير طول النبضة حسب نمط متحكم به بين 30fs و100fs. هناك أيضاً تقلبات إحصائية في الشدة ككل من نبضة إلى النبضة التي تليها، وهذا ليس مثالياً للباحثين الذين يريدون أن يدرسوا العمليات التجريبية التي تعتمد على شدة الليزر. يحاول فريق دولي من الباحثين في DESY قياس هذه التغيرات وإيجاد الطرائق لتخفيضها.

أولى التجارب باستخدام ليزرات الإلكترونات الحرة فوق البنفسجية الخلائية

تمت إحدى أولى التجارب باستخدام إشعاع ليزر الإلكترونات الحرة فوق البنفسجي الخلائي في DESY في شهر أيلول من عام 2001. فحص الباحثون - بقيادة أحد المؤلفين وهو توماس مولير T.Möller - وباستخدام عناقيد صغيرة من ذرات الكزينون كيف يتأثر الضوء فوق البنفسجي الخلائي الشديد مع المادة في مقاييس زمنية قصيرة جداً. وحتى ذلك الحين كان معظم العمل في حقل تأثر الضوء اللاخطي مع المادة محصوراً بالضوء تحت الأحمر والمرئي وفوق البنفسجي القريب. اختار مؤلفو هذا المقال دراسة عناقيد من غاز نبيل لأنها منظومات نموذجية سهلة نسبياً توفر طريقة لفهم عمليات أساسية مثل التخريب الإشعاعي الذي سيكون مهمّاً من أجل الدراسات المستقبلية للمواد المهمّة تقانياً أو الجزيئات الحيوية المهمّة طبياً.



الشكل 4 - دقة ليزرية

a) يمكن للنوعية العالية للنموذج الأولي لحزمة ليزر الإلكترونات الحرة المنتجة في DESY أن تشاهد من صورة الانعراج هذه، المولدة من إدخال شقّ متباعد داخل الحزمة. فالأهداب مرئية بشكل ممتاز، مما يدل على أن الضوء على طول قطر الحزمة كان مترابطاً إلى حد كبير. وبالمقابل، لا يولد الضوء اللامترابط أي صورة انعراج على الإطلاق.
b) قيس وسطي كثافة النموذج من صورة كاميرا CCD.

أظهرت التجربة التأثيرات التي يمكن مقارنتها بعرض مجهري للألعاب النارية. وجد المؤلفون أن تشعيع عناقيد من ذرات الكزينون بواسطة ليزر الإلكترونات الحرة الشديد عند طول موجي يبلغ نحو 100 نانومتر يولّد أيونات كزينون عالية الشحنة؛ ومع أن فوتوناً له ذلك الطول الموجي لا يملك من الطاقة إلا ما يكفي لتأيين ذرة كزينون مفردة ولإزاحة إلكترون مفرد. وبصورة وسطية، امتصت كل ذرة من 2500 ذرة في العنقود حتى 30 فوتوناً منتجة شحنة وسطية لكل ذرة مقدارها +2.5. ما يحدث هو أن العناقيد تسخن وتصدر إلكترونات قبل أن يسبب تدافع الأيونات تفكيك العناقيد بفضل "انفجار كولون". تستطيع تفاصيل هذا الانفجار أن تكشف مبادىء أساسية في تأثر حزم أشعة-X الشديدة مع المادة.

ورغم صحة القول بأن الانفجار الكولوني للعناقيد قد تم تحريضه مسبقاً بالضوء تحت الأحمر، فما هو مهم من تجربة DESY هو أن انفجار كولون باستخدام أشعة-X يتطلب ضوءاً شدته أقل بكثير. وبينما يمكن تفسير انفجارات كولون تحت الحمراء باستخدام الفيزياء التقليدية، يبدو أن هنالك ضرورة للميكانيك الكمومي لتوضح السبب في أن امتصاص ضوء أشعة-X عند 100 نانومتر فعالٌ لهذه

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

الدرجة. من الواضح تماماً أن ليزر الإلكترونات الحرة فوق البنفسجي الخلائي قد فتح حقلاً جديداً ومثيراً من الفيزياء اللاخطية، وعبّد الطريق من أجل تجارب في نظام أشعة-X.

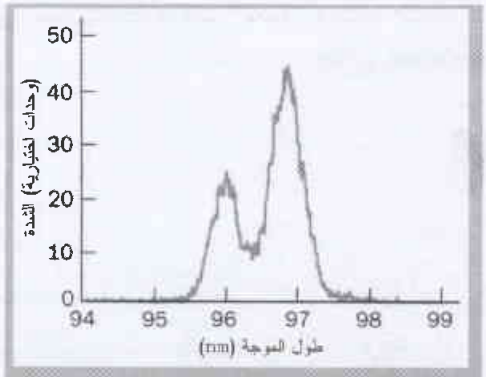
مستقبل ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة -X

يجري حالياً رفع كفاءة ليزر الأشعة فوق البنفسجية الخلائية في منشأة الاختبار TESLA التابعة لـDESY لغرضين، أولاً: يعتزم تعاون TESLA المؤلف من هيئة من 49 معهداً في 12 بلداً مختلفاً إجراء اختبار إضافي آخر لتقانة المسرّع الخطي الفائق الناقلية الذي يستخدمه. وثانياً: إنه يخطط لإطلاق ليزر إلكترونات حرّة أكبر استطاعة بحيث يصدر إشعاعاً ذا طول موجي أقصر بدءاً من حوالي 100 نانومتر هبوطاً إلى 6 نانومتر. يتضمن هذا العمل توسيع آلة ليزر الإلكترونات الحرة التي طولها 100 متر إلى الطول 260 متراً. سيكون العلماء من جميع أنحاء العالم قادرين على استخدام هذا المصدر المطوَّر بدءاً من نهاية عام 2004. ستخدم حزمة إلكترونية لها طاقة ذروة تبلغ 1 GeV مموّجَ SASE واحد، في حين سيوزع إشعاع ليزر الإلكترونات الحرة باستخدام المرايا إلى خمس محطات تجريبية.

لقد تمّ حالياً على الأقل تأمين نصف تكاليف البناء البالغة 673 مليون يورو لليزر الإلكتروني الحرّ لأشعة-X التابع لـTESLA، الذي سينتج أشعة-X ذات طول موجي أقصر من 0.1 نانومتر، من قِبَل الحكومة الفيدرالية الألمانية.

وبينما كانت الفكرة الأولى من أجل منشأة TESLA أن تتألف من مسرّع خطي طوله 33 كيلومتر ليُستخدم في كلٍّ من ليزر الإلكترونات الحرّة وكمُصادمٍ إلكترون‌تم بوزترون من أجل فيزياء الجسيمات، فإن الليزر حالياً سيبنى بشكل منفصل عن القسم المتعلق بفيزياء الجسيمات في مشروع TESLA. لقد جرى تصميم المسرّع بحيث يتيح تصادم الجسيمات بطاقة تصل حتى 500 غيغا فولط.

سيملك ليزر الإلكترونات الحرّة في الوقت الحاضر مسرّع الناقلية الفائقة الخاص به الذي تبلغ طاقته 20 غيغا إلكترون فولط والمبني في نفق طوله 2 كيلومتر. وسيكون لهذا الليزر، الذي سيُشغّل كمركز بحث دولي، بصورة بدئية خمسة خطوط حزمة بأطوال موجية يمكن توليفها بين 6 نانومتر و 0.1 نانومتر. سوف يستغرق البناء ثماني سنوات وستنهض المنشأة وتُشغّل في بداية العقد القادم. أما الآن فلن يتخذ القرار بشأن المصادم الخطي إلا في وقت لاحق.



الشكل 5 - أضواء ساطعة

يبين الشكل شدة نبضة ليزر الإلكترونات الحرة كتابع لطول الموجة من أجل نبضة قصيرة مدتها 80 فمتوثانية. المخطط هو لنبضة مفردة بدون إجراء عملية توسيط. وهذا ما يسمى طيفاً وحيد اللقطة. أجريت القياسات باستخدام منشأة اختبار TESLA في DESY. يظهر في كل نبضة إشعاع مجال من الذروات عند أطوال موجية مختلفة. والتي يمكن أن تختلف شدتها كثيراً بين النبضات. يمكن حساب طول النبضة التقريبي من عرض كل ذروة في طيف نبضة مفردة لليزر الإلكترونات الحرة. ويمكن لطول النبضة أن يتغير ما بين 30 فمتوثانية و 1100 فمتوثانية بطريقة متحكم بها.

هناك مختبرات أخرى أيضاً ستظهر على المسرح. سيدخل على الخط مثلاً مصدر الضوء المترابط من المسرع الخطي Linac Coherent Light Source (LCLS) في SLAC عام 2008 كأول ليزر إلكترونات حرّة لأشعة-X "القاسية" ليعطي إشعاعاً طول موجته يتراوح من 0.15 حتى 1.5 نانومتر. تقوم عدة مختبرات سنكروترون أخرى في ألمانية وإيطالية واليابان والسويد والمملكة المتحدة حالياً بتطوير مقترحات من أجل منشآت ليزر الإلكترونات الحرة في المجال فوق البنفسجي الخلائي وأشعة-X اللينة. فقد تمّ مثلاً تصميم مصدر 4GLS في مختبر دارسبيري في المملكة المتحدة لإنتاج فوتونات في المجال تحت الأحمر وفوق البنفسجي الخلائي وفوق البنفسجي البعيد باستخدام ليزرات إلكترونات حرّة، وكذلك نبيطة تعرف باسم المسرع الخطي المسترد للطاقة.

وحالما تصبح منشآت ليزر الإلكترونات الحرة لأشعة-X متاحة للمجتمع العلمي الواسع، فإن مجالاً علمياً جديداً سينكشف مفسحاً المجال أمام إجراء تجارب ما كان لها أن تجرى من قبل. لقد أدت المصادر الضوئية الجديدة في الماضي إلى اكتشافات لم يكن الباحثون أنفسهم يتصورونها. ومن المؤكد أن الشيء نفسه سيكون صحيحاً من أجل ليزرات الإلكترونات الحرّة لأشعة-X.

* * *

من سيلتقط بوزون هِغْز؟★

بول كولاس ، وبوريس توشمينغ
مفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية ـ سكله
CEA - Saclay

ملخص

لم ير أحد بوزون هِغْز حتى الآن غير أنّ الفيزيائيين لا يشكّكون أبداً بوجوده. إنّ اكتشاف "بوزون هغز" الذي يعطي كتلته إلى جسيمات أولية أخرى هو موضوع تنافس شديد بمساعدة مسرّعات ضخمة.

الكلمات المفتاحية: فيزياء الجسيمات، مصادم الهدرونات الكبير، بوزون هغز، سيرن (المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات)، النموذج المعياري، بوزون، غرافيتون، كوارك، التفاترون.

الإطار: إنّ التنافس الذي سيطر، من الخمسينيات حتى الثمانينيات، على فيزياء الجسيمات بين أوربة والولايات المتحدة الأمريكية لم يعد موضع رهان بصورة رسمية. أصبحت المسرّعات الكبيرة من الآن فصاعداً مُكْلفة جداً وميزانيات البحث متقلصة ولذلك تُبنى في الوقت الحاضر عن طريق التعاون الدولي. وهذه هي حالة مصادم الهدرونات الكبير (LHC) الذي سيدخل في الخدمة بعد بضع سنوات بالقرب من جنيف. ومع ذلك فإنّ اكتشاف جسيم جديد "بوزون هغز" وهو أحد أهداف هذا المصادم، يمكن أن يحدث على الجانب الآخر من الأطلنطي. فالولايات المتحدة الأمريكية تلعب في الواقع على مسرحين؛ ففي الوقت الذي تموّل فيه مصادم الهدرونات الكبير حدّثت وأطلقت مسرّعاً آخر أقيم بالقرب من شيكاغو وهو الذي سيكون له الحظ الكبير في أن يكون أول من يكتشف بوزون هغز.

يعلم الفيزيائيون منذ الآن ما هو الاكتشاف الكبير المقبل الذي سيحصل في مجالهم؛ إنهم سيراقبون جسيماً يدعى "بوزون هِغْز". وعلى الرغم من أنّ كل الأبحاث قد فشلت حتى الآن في إظهاره، فوجوده لا يشكّك به أحد. هناك فقط سؤالان: من الذي سيجده؟ ومتى؟

جرى "اختلاق" بوزون هغز منذ نحو أربعين سنة من قبل الإسكوتلندي بيتر هغز P.Higgs الذي أراد أن يفسّر لماذا تتمتع بعض الجسيمات بكتلة. وبعد ذلك اكتسب الجسيم أهمية أكثر فأكثر لدرجة أنّنا أصبحنا نعرف بدقة في الوقت الحاضر خواصه وقيمة كتلته، حتى أنّه أصبح أحد مرتكزات النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات، وهي النظرية التي تجمع، في وصف متماسك، معظم المعارف التي بحوزتنا في الوقت الحاضر حول تنظيم المادة في هذا السلّم.

ومن جهة أخرى كاد لغز هغز أن لا يتجاوز مطلع الألفية الثالثة. فالفيزيائيون والمهندسون، الذين كانوا يجرون التجارب على مصادم الجسيمات LEP (Large Electron Positront) في المختبرالأوربي لفيزياء الجسيمات (سيرن)، جمعوا في الواقع في أيلول (سبتمبر) 2000 دلائل على اكتشافه. كان مصادم LEP عبارة عن أنبوب بشكل حلقة يبلغ محيطها 27 كم حيث كانت تدور فيه حزم من الجسيمات، الإلكترونات والبوزترونات*، في اتجاهين متعاكسين في الخلاء. تتصادم في أربع نقاط من محيط الحلقة المادة والمادة المضادة بقوة شديدة كافية لخلق جسيمات جديدة مستفيدة من التكافؤ بين الكتلة والطاقة** الذي أعلنه أينشتاين بالمعادلة $E= mc^2$. ومن بين مئات الألوف من التصادمات المدروسة بضعة تصادمات أنتجت على ما يبدو بوزون هغز واحد.

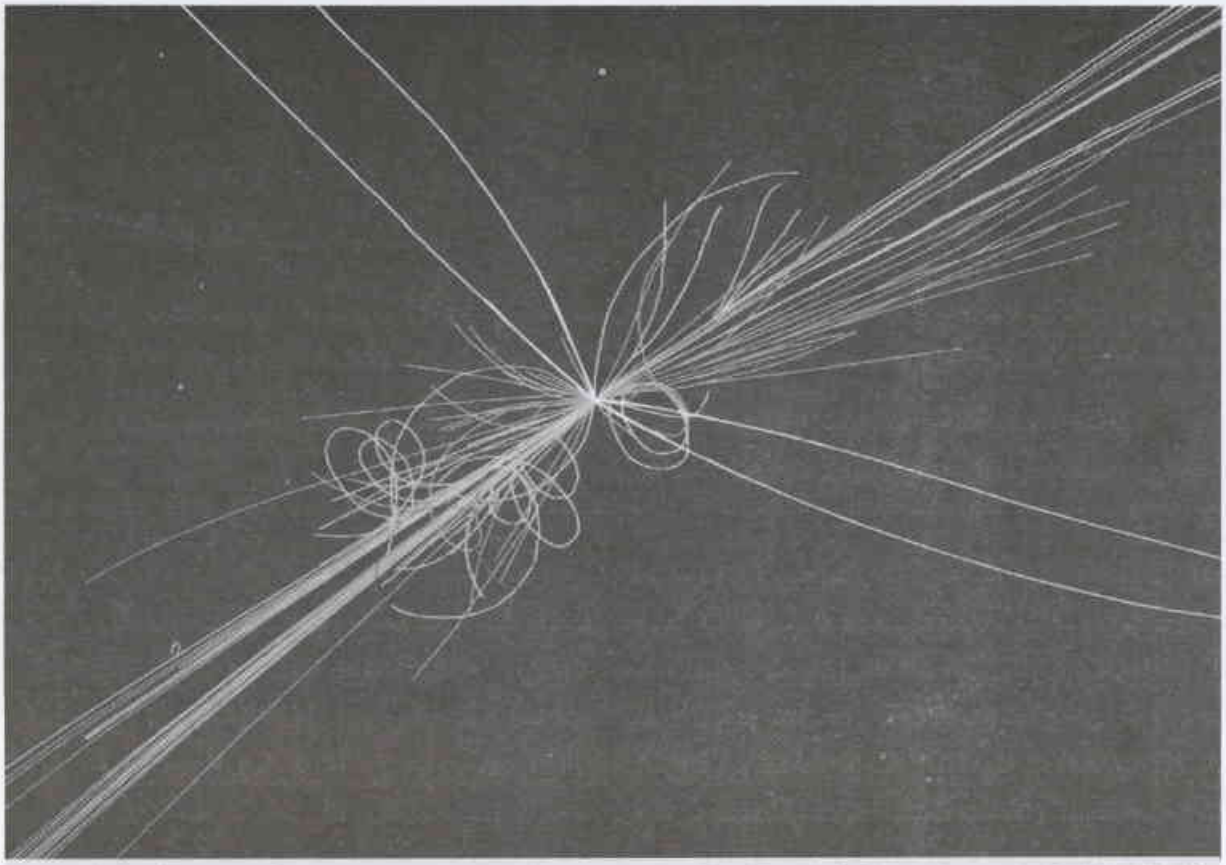
ومع ذلك تراجع بسرعة الحماس الذي أحدثته هذه النتائج الأولى؛ إذ قررت إدارة سيرن في نهاية عام 2000 تفكيك المصادم LEP. وهذا لم يكن مدهشاً لأنّه تمّ تنفيذ كل البرنامج المخطّط له منذ تصميم هذا المصادم في أوائل الثمانينيات من القرن الماضي. فقد جرى التوصّل إلى الطاقة القصوى المتوقّعة لعمليات التصادم وحتى جرى تجاوزها. لقد حان الزمن لإخلاء المكان، في النفق نفسه، لبناء مسرع جديد أكثر قدرة وهو مصادم الهدرونات الكبير LHC [1].

* البوزترون: جسيم مادة مضادة يماثل من كل النواحي الالكترون عدا أنه يحمل شحنة كهربائية معاكسة تماما.

** التكافؤ بين الكتلة والطاقة كان قد أعلن عنه في إطار النظرية النسبية الخاصة: يمتلك الجسيم في حالة السكون طاقة متناسبة مع كتلته. وهكذا يمكننا خلق جسيمات في الخلاء إذا تهيأت لنا الطاقة الكافية.

★ نُشر هذا المقال في مجلة *La Recherche*, May 2003, No 364 . ترجمة هيئة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرية السورية.

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



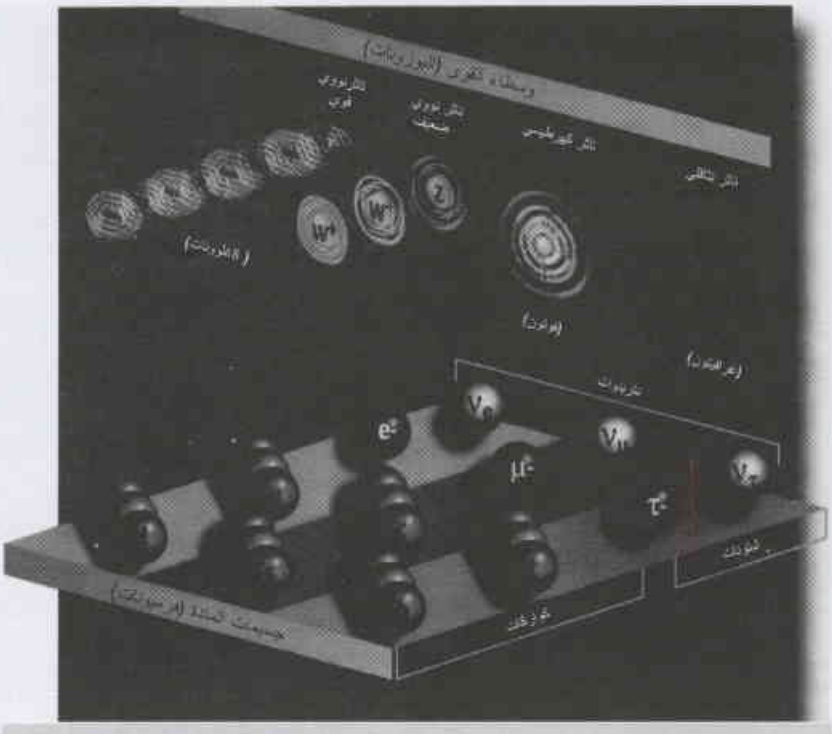
تمثل الخطوط الأربعة البيضاء مسارات الجسيمات الأربعة الناجمة عن تفكك بوزون هغز الذي نتج بدوره من تصادم بروتونين، في وسط مؤلف من جسيمات أخرى متعددة (باللونين الأصفر والأحمر)، ولا توجد حالياً إلا بالمحاكاة الرقمية، الموجهة لتحضير تجارب المصادم المستقبلي المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات الذي سيشغل في عام 2007. سيسمح هذا النمط من المحاكاة بانتخاب الأحداث المهمة من بين مئات آلاف التصادمات التي ستجري في المصادم.

ولكن مع ذلك كان وقع هذا التوقّف قاسياً على الجزء الكبير من مجتمع المستخدمين. وكيف لا يخيب الأمل من توقّف البحث عندما يبدو أن هناك اكتشافاً مهماً في متناول اليد؟ بالتأكيد لن يفلت الهغز من مكاشيف مصادم الهدرونات الكبير؛ فعنف التصادمات التي ستحدث فيه قد جرى أخذه بالحسبان بصورة خاصة من أجل هذا الغرض. ولكنّ الانتظار سيكون طويلاً، فمصادم الهدرونات الكبير لن يوضع قيد التشغيل قبل عام 2007 ولن يصل حالاً إلى قدرته الكاملة. وبالإضافة إلى ذلك وضع مختبر فرمي Fermi بالقرب من شيكاغو في الولايات المتحدة في عام 2001 مصادماً آخر هو التفاترون Tevatron، قيد التشغيل والذي ربّما يكون الأول في الاكتشاف. وعلى الرغم من أنّ الطاقة المتاحة لخلق جسيمات أعلى قليلاً من طاقة مصادم الإلكترون البوزترون LEP فإنّ الصفات الخاصة التي يتمتّع بها هذا المصادم ربّما ستتيح له اكتشاف الهغز وربّما قبل الانتهاء من بناء مصادم الهدرونات الكبير LHC. وخاصة إذا كانت الحقيقة الفيزيائية، كما يعتقد الكثير من الفيزيائيين، مختلفة قليلاً عن الحقيقة التي يصفها النموذج المعياري.

يضع هذا النموذج جدولاً بسيطاً تقريباً للمادة وتأثراتها. فمنذ ثلاثين عاماً أدرك الفيزيائيون بالتدريج أنّ النترونات والبروتونات التي توجد في قلب النواة الذرية، وكذلك معظم مئات الجسيمات المكتشفة في الأشعة الكونية أو المنتجة في المسرّعات، هي في الواقع تجمّعات من جسيمات أكثر أولية (عنصرية) متجمّعة في ثلاث فصائل. وكل فصيلة تحتوي على أربعة جسيمات (الشكل1) هي: اللبتون lepton حيث يشكّل الإلكترون المثال الأكثر معرفة والأكثر خفة؛ والنترينو neutrino جسيم متعادل لا يتفاعل مع المادة إلاّ بضعف شديد [2]؛ وكواركان quarks [3].

جسيمات القوى

يبلغ عدد القوى الأساسية التي تؤثّر بين جسيمات المادة أربع قوى. ونحن نعاني مباشرة يومياً من قوتين: القوة الكهرطيسية وقوة التثاقل. أمّا القوتان الأخريان، التآثر النووي القوي والتآثر النووي الضعيف فتطبّقان بالأحرى على مستوى نوى الذرات. ويتضح أنّه يمكن تفسير كل هذه القوى الأربع بآلية متشابهة، إصدار أو استقبال جسيمات قوى تدعى بوزونات: الفوتون للتآثر الكهرطيسي؛ وبوزونات Z وW^+ وW^- للتآثر الضعيف؛ والغلوونات للتآثر القوي. أمّا بالنسبة إلى القوة التثاقلية، الضعيفة جداً لكي يكون لها مفعول قابل للقياس على الجسيمات الأولية، فالنظرية تتنبأ لها أيضاً ببوزون مرافق هو الغرافيتون الذي لم يلاحظ بعد



الشكل 1: حديقة الجسيمات

تتجمع الجسيمات الأولية للمادة في ثلاث عائلات. وكل عائلة تحتوي على لبتونين (الكترون، ميون أو تاو والنترينو المرافق) وعلى كواركين. ويوجد الكوارك بثلاثة "ألوان" مختلفة. تتوافق مع ثلاث قيم ممكنة من الشحنة المرتبطة بالتأثر النووي القوي. والتأثرات الأساسية الأربعة تنقلها البوزونات وهي: الفراغيتون للتأثر الثقالي، والفوتون للتأثر الكهرطيسي، والبوزونات Z و "W و "W للتأثر النووي الضعيف، والغلوونات وعددها 8 للتأثر النووي القوي.

حتى الآن. وخلال عقود من الزمن حيث جرى هذا التوصيف سمحت دلائل الترابط والبساطة، وحتى الجمالية منها المصاغة رياضياً في الغالب بالحصول على شبه تأكيد بوجود جسيم قبل إنتاجه وملاحظته. والمثال الأكثر إثارة، بدون أدنى شك هو ما تمّ اكتشافه في سيرن عام 1982 وعام 1983 من بوزونات Z وW التي تنقل التأثر الضعيف؛ فالكتل المقيسة وأعداد الأحداث الملاحظة كانت مطابقة للتوقعات [4]. وعلى النحو ذاته جرى توقّع وجود كوارك سادس هو الكوارك ذروة top، قبل اكتشافه بمدة طويلة عام 1995؛ فقد كان كوارك واحد ينقص لاستكمال الفصيلة الثالثة من الجسيمات الأولية، الأثقل [5].

حلّ التناقض

تفسّر مثل هذه التأكيدات الناجمة عن النظرية أيضاً جسيماً لم يُلحظ في هذا الجدول المشهور ولكن له مع ذلك أهمية كبيرة: وهو بوزون هغز. وهذا الأخير كان أولاً ابتكاراً مناسباً للفيزيائي الإسكوتلندي بيتر هغز عام 1963 وفي الوقت نفسه للفريق الأمريكي – البلجيكي روبرت بروت R.Brout وفرنسوا إنغلرت F.Englert [6]. فقد كان من الضروري حل التناقض المثار من كتل البوزونات Z وWحتى قبل أن يبرهن على وجودها بصورة تجريبية. فمن جهة يتطلّب الضعف الذي جرت ملاحظته من أجل التأثرات الضعيفة أن يكون لكل من Z و W كتلة مرتفعة بصورة كافية (مئة مرة من كتلة البروتون). ومن جهة أخرى، يقتضي تناظر النظرية الذي يأخذ بالحسبان هذه التأثرات ويتيح افتراض التوقّعات، التي يمكن أن تجابه التجربة أن تكون لها جميعها كتلة معدومة.

والتناقض يختفي إذا لم تكن كتلة Z وW إلاّ مظهراً. وبطريقة تصوّرية، تتصادم الجسيمات في آلية هغز، بدون توقّف مع الجسيمات الموجودة في كل الحيّز، أي مع بوزونات هغز، وهذا ما يبطّئ حركتها على النحو ذاته فيما لو كانت لها كتلة. والقول أن جسيماً ما هو ثقيل جداً يجعلنا نقول أنّه يتفاعل بشدة مع بوزون هغز. تعدّ هذه الآلية في الوقت الحاضر كأصل الكتلة لكل الجسيمات الأولية.

بدأ الفيزيائيون بعد أن اكتشفوا بوزونات Z وW أن يطرحوا بصورة واقعية مسألة ملاحظة هغز. "كيف" نصنّعه في مسرّع الجسيمات مثل المصادم "LEP"؟ تتوقّع النظرية أنّه، نظراً لأنّ Z يتفاعل مع الهغز (له كتلة!)، يمكن لـ Z، الذي ننقل إليه طاقة كافية مع الاحتفاظ به ساكناً (وهذا ممكن أثناء فترة قصيرة جداً بحسب الميكانيك الكمومي)، أن يتفكّك إلى Z عادي وإلى هغز (الشكل 2). ففي مرحلته ذات الطاقة العالية، أنتج المصادم LEP بوزونات Z "منتفخة gonflés"، كانت تصل طاقتها في حالة السكون إلى 210 جيغاإلكترون فولط*، بينما تتمتّع بوزونات Z العادية المنتجة في السنوات الأولى للمصادم LEP، بطاقة منخفضة، بكتلة** 91.2 جيغاإلكترون فولط فقط. وهذا ما يترك نحو 120 جيغاإلكترون فولط لإنتاج هغز واحد. وكما علمنا، من القياسات الدقيقة لخواص بوزونات Z وW، أنّ التوافق بين التوقّعات والقياسات لم يكن مقبولاً إلاّ إذا كانت كتلة الهغز لا تتجاوز 200 جيغاإلكترون فولط، وكان لدينا أمل ضعيف لملاحظة هذا الأخير.

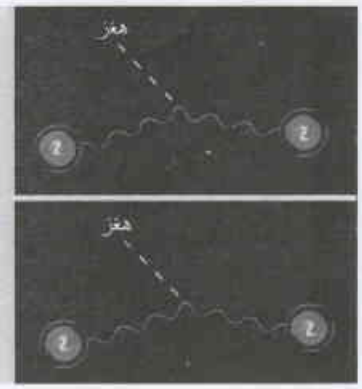
المؤطّر 1 :

الكتلة والثقالة

من المحتمل أن يكون بوزون هغز مسؤولاً عن كتلة المركبات النهائية للمادة، لكن الجزء الأكبر من الكتلة الثقيلة التي نعرفها، ككتلة النجوم والكواكب وكتلة الأشياء التي تحيط بنا، مكوّن من طبيعة أخرى: وهي كتلة – طاقة énergie – masse. وفي الواقع فإن الشيء الأساسي في هذه الكتلة تحملها البروتونات والنترونات، المكوّنة من كواركات وهي جسيمات لا تكاد كتلتها الخاصة بها تمثّل أكثر من 1% من الكتلة الكلية، والباقي من الكتلة يعود إلى الطاقة الشديدة لارتباط الكواركات.

* جيغاإلكترون فولط يساوي مليار إلكترون فولط أي مليار مرة الطاقة المكتسبة في فرق كمون قدره 1 فولط.

** وفقاً للتكافؤ بين الكتلة والطاقة يفضّل فيزيائيو الجسيمات أن يعبّروا عن هذين المقدارين بالواحدة نفسها.



الشكل2: بوزون Z وبوزون هغز
يتفاعل بوزون Z، حامل التأثر النووي الضعيف، مع بوزون هغز (في الأعلى)، وهذا يرادف في الواقع أنه يتمتّع بكتلة. يسمح الميكانيك الكمومي بالاستنتاج أنه يمكن لبوزون Z، إذا كان "منتفخاً" لمدة قصيرة بزيادة كبيرة في طاقته في حالة السكون، أن يصدر بوزون هغز وبوزون Z عادي (في الأسفل). حاول فيزيائيو المصادم LEP استثمار هذه الآلية من إنتاج الهغز في عام 2000.

ولكن كيف نتعرّف، من بين مئات الآلاف من عمليات التصادم والتفكّك المسجّلة بمكاشيف المصادم LEP، إلى بضعة التصادمات النادرة التي قد تحتوي على هغز واحد؟ وهذا يتمتّع بوجود قصير جداً لاكتشافه مباشرة؛ إذ لا يمكن أن نأمل إلاّ ملاحظة منتوجات تفكّكه؛ إذ يجب أن يتفكّك الهغز بصورة تفضيلية إلى زوج من الكواركات أو اللبتونات الأكثر وزناً (إن حقيقة كونها ثقيلة تقابل تأثراً قوياً مع بوزون هغز) التي لا تعبر هي نفسها إلاّ بضعة مليمترات قبل أن تتفكّك بدورها. وهكذا يمكن أن نتوقّع لأول وهلة تجميعات من الجسيمات حيث نلاحظ آثارها التي ستكون مميزات إنتاج هغز بدءاً من بوزون Z "المنتفخ".

ومع الأسف هنالك طرائق أخرى لا تستعمل إلاّ جسيمات معروفة تماماً يمكنها أحياناً إنتاج المميزات نفسها. فمثلاً يمكن أن يتفكّك بوزون Z "المنتفخ" إلى زوج من Z حيث يحتمل أن يكون واحد منهما هغزاً. وبالمثل يمكن أن يعاد أحياناً تشكيل زوج كوارك وكوارك مضاد كحدث إنتاج هغز.

ملاحقة الأخطاء

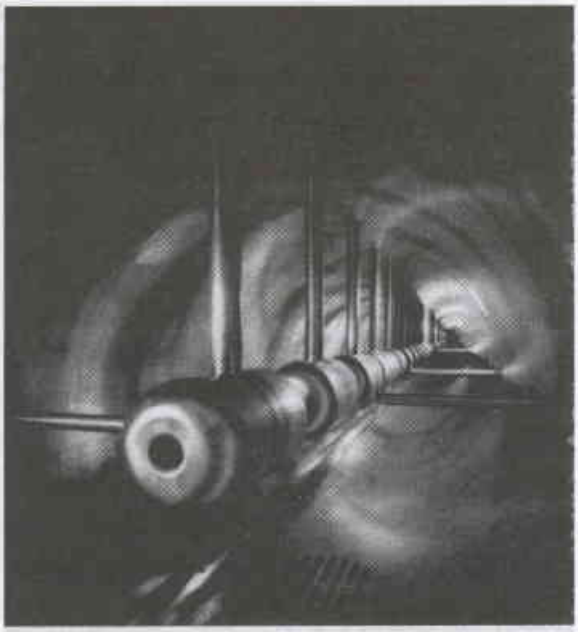
إضافة إلى ذلك فإنّ أقل خطأ في التراصف للوحة صغيرة من السليسيوم في كاشف يمكن أن يجعلنا نعتقد أن كل الجسيمات المكتشفة بهذه اللوحة تعود إلى بضع عشرات من المكرومترات من نقطة التصادم. وهذا الحيْد الظاهر لأصل الجسيمات المكتشفة يمكن أن يجعلنا نعتقد عندئذ أنّها كانت تصدر من تفكّك جسيم يأتي بذاته من تفكّك بوزون هغز.

كم من الأحداث لا يدخل فيها إلاّ جسيمات "عادية" يمكنها هكذا تقليد الإشارة التي ينتجها بوزون هغز؟ كان من الضروري انقضاء سنوات متعدّدة من الدراسات التفصيلية قبل أن نسيطر على هذه الظواهر في المصادم LEP، بحساب احتمالات حدوث هذه الطرائق المختلفة وبنمذجة كل عيوب التجهيزات. وعليه فإنّ لكل حدث مختار "كمرشّح هغز" يمكن، بمساعدة برمجيات معلوماتية لتحليل المعطيات، حساب الاحتمال النسبي كي يكون ناتجاً بالفعل من تفكّك بوزون هغز أو من مجموع الطرائق المحدّدة من قبل.

في الوقت الحاضر وعند كتابة هذه الأسطر بعد سنتين ونصف من توقّف المصادم LEP انتهت هذه الدراسات. فهي تستنتج وجود احتمال 8 % لتفسير الأحداث الملاحظة بدون تدخل بوزونات هغز (اقرأ "النهاية المضطربة للمصادم LEP") [7]. وهذا ليس كافياً ومن بعيد، لتفسير المشاهدات كبرهان على وجود بوزون هغز: للتأكيد على اكتشاف في فيزياء الجسيمات، يجب أن يكون احتمال الخطأ أقل من 0.00003% . ولكن هذا ربّما يبرِّر متابعة البحث.

والآن وبعد أن جرى تفكيك المصادم LEP بكامله فلن يُعطى الجواب عن لغز الهغز. وعلى مصادم الهدرونات الكبير LHC، حيث ستجري تصادمات بين البروتونات، أن يجد بوزونَ هغز مهما كانت كتلته. فقد جرى، في الواقع، اختيار الطاقة المنتَجة بالتصادمات، وبالتالي اختيار الكتلة المتاحة لإنتاج الجسيمات، لتغطية كل المجال الممكن للهغز.

ومع ذلك هناك مصادم آخر بطاقة عالية، هو التفاترون Tevatron، قيد التشغيل حالياً. تدخل البروتونات في هذا المصادم في تصادم مع البروتونات المضادة، بخلاف مع ما يجري في مصادم الهدرونات الكبير LHC حيث تكون البروتونات هي الجسيمات الوحيدة التي تتصادم فيما بينها، وبطاقة قصوى أقل بسبع مرات من الطاقة في مصادم الهدرونات الكبير. فالتفاترون يستثمر إذاً مجالاً من الكتل للهغز أضعف من مصادم الهدرونات ولكن بفرصة أقل إذ يمكن أن "يسرق" منه الاكتشاف. وفي الواقع تُعوَّض طاقة التفاترون الأضعف جزئياً بضجيج أقل للخلفية. سيسمح وجود الكواركات المضادة للبروتون المضاد إنتاج بوزون هغز في شروط أكثر نوعية وأكثر سهولة في تمييزها عن كل ما يحصل من تصادمات.



في التفاترون، وهو مصادم البروتونات والبروتونات المضادة، المقام بالقرب من شيكاغو بتسابق الفيزيائيون لاكتشاف بوزون هغز. سيمكنهم أن يستفيدوا من بضع السنين الضرورية لبناء مصادم الهدرونات الكبير لتجاوز الاحترام لزملائهم في الجانب الآخر من المحيط الأطلنطي (الجانب الأوربي).

المؤطر 2 :

وجهة نظر: النهاية المضطربة للمصادم LEP

في المؤتمر الدولي لفيزياء الطاقات العالية المنعقد في أوراكة في تموز (يوليو) 2000 لم يتخلف إلا بوزون هغز عن استكمال جدول الجسيمات الأساسية . لقد جمعت تجارب المصادم LEP الأربع نتائجها ولم تحصل، وهذا سيصبح متعباً تقريباً، إلا على وفاق كامل واحد مع التنبؤات، بدون ظهور الجسيم هغز. ومنذ تشغيل المصادم LEP حتى الوقت الحاضر، تم بصورة تدريجية استكشاف كل محال الكتلة الممكن الوصول إليه.

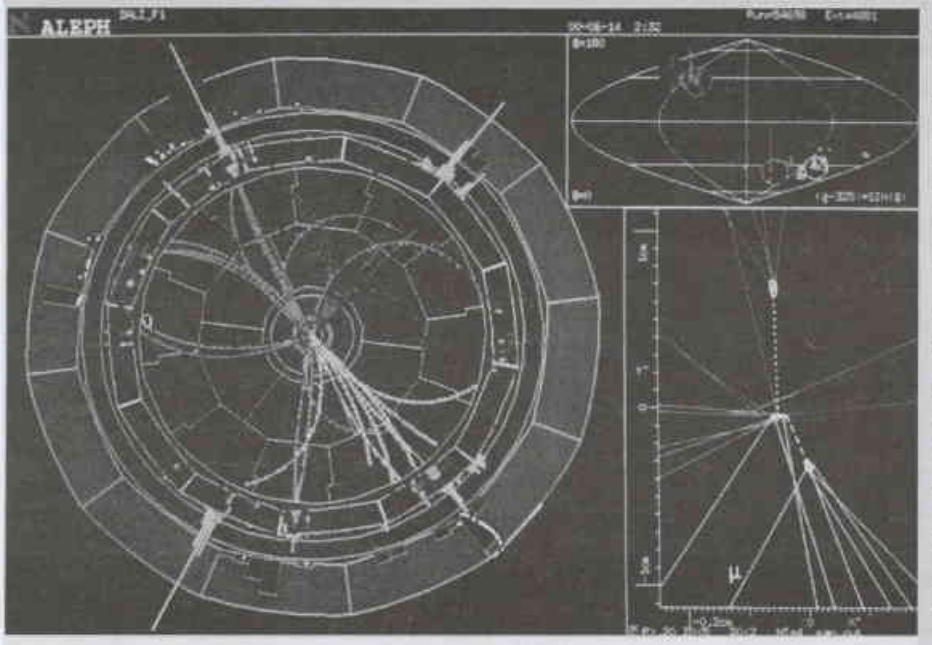
ومع ذلك هناك ، في إحدى التجارب المسماة آلف ALEPH، حدثٌ ينسجم مع إنتاج هغز بكتلة 114 جيغاإلكترون فولط (الشكل المقابل). ولكن المحاكيات التفصيلية لكل العمليات المعروفة تُبيّن أنّ الأمر يمكن أن يعني أيضا تشكيلة خاصة لعملية أكثر شيوعا.

وهكذا ترك الفيزيائيون أوزاكة وهم مقتنعون أنهم لن يجدوا الهغز بالمصادم LEP. وفيما بعد، وفي بداية آب (أغسطس) أضيف حدثٌ للحدث الأول ثم حدث آخر في نهاية آب وكلاهما أيضاً في ALEPH. وبينما كان متوقعاً أن يتوقف المصادم LEP لإخفاقه في 11 أيلول(سبتمبر)، تقرّر إدارة "سيرن" بمتابعة العمل لمدة الأسبوعين الإضافيين المقررين "في حالة ما إذا".

في 5 أيلول أعلنت على الملأ النتائج المجمّعة من التجارب الأربع للمصادم LEP. وقررت إدارة سيرن تمديد العمل حتى 2 تشرين الثاني (نوفمبر) على أمل أن يؤكد مرشحون جدد الإشارة. وقبل دق الناقوس النهائي بعدة أيام سجلت تجربة أخرى L3 حدثا مشابها لهغز يرافق بوزون Z الذي يتفكك إلى نترينوين اثنين. إنّه حدث إضافي، وهو قليل، لكن هذا كل ما أمكن توقعه في هذا الوقت القصير. ويبقى أنه عند بداية تشرين الثاني، قدّر احتمال أن يكون مجموع مرشحي هغز، هو في الواقع عمليات كلاسيكية، بأقل من 4 بالألف. وهذا الأمر لا يمثل برهانا وإنما دلالة قوية تماما. لقد قام فيزياتيو المسرّع بأعمال باهرة وذلك بمضاعفة المهارات وإكمال عمليات الضبط بحيث تُزيد القدرة المسرّعة بنحو 50%. وحتى أنهم كانوا جاهزين لاستعادة وحدة المسرّع التي كانت معروضة في قاعة مدخل مقر المصنع. وقد بلغ حافز كل جماعة الفيزيائيين حده الأقصى.

هل كانت لجنة المصادم LEP التي يرأسها ميشيل سبيرو M.Spiro من هيئة الطاقة الذرية الفرنسية ستقترح توقيفاً نهائياً للتجارب أو متابعتها لمدة سنة إضافية؟ كان الاقتراح الثاني يكلف نحو 140 مليون فرنك سويسري (100 مليون يورو)، ونصف هذا المبلغ سيكون لتسوية عقوبات التأخير لمؤسسات الهندسة المدنية التي جرى معها توقيع العقود لبناء مصادم الهدرونات الكبير LHC. وبالإضافة إلى ذلك فإن الحدث L3 كان منسجماً مع إنتاج بوزون الهغز ، ولكن مع ذلك كان مشكوكاً فيه. وخلال كانون الأول (ديسمبر) صدر القرار بوقف كل شيء. وهذا ما أثار رد فعل قوي بين فيزيائيي المصادم LEP. فقد أطلق التماس عبر الأنترنت وجرى تلقّي نحو 1500 توقيع في بضعة أيام . وقد عبّر بصورة أكثر صراحة الناطقون الأربعة بلسان حال تجارب المصادم LEP للصحافة عن معارضتهم لقرار اللجنة. وكانت الجماعة على حافة الانقسام. ولم يكن لدى منسّق المصادم LEP ، باتريك جانو P.Janot، الذي أعطى الكثير من أجل البحث عن الهغز ومن أجل نجاحات حملة الحصول على المعطيات ، كلمات قاسية جدا ليوجهها لإدارة سيرن التي لم ترغب بالتراجع عن القرار المتخذ.

لا شك أنه، بعد إعادة تحليل تفصيلي وحذر للمعطيات ، ارتفع احتمال فرضية الترجّح الإحصائي البسيط لضجيج الخلفية إلى 3% أو 4% [12]. وعندما استطاعت التجربة L3 بصورة كافية تنفيذ محاكيات في شروط دقيقة للحصول على المعطيات، وهذا يأخذ أسابيع حساب بأقل تقدير، فإن مرشحها الممتاز قد أنزل إلى مرتبة المرشح الجيد. وأخيراً بعد نحو سنتين قدّرت النشرة النهائية للنتائج هذا الاحتمال بنحو 8%. وهذا ليس كافياً لاستنتاج الاكتشاف. هناك حافز واحد فقط يحملنا على التفكير بأننا رأينا الإشارات الأولى لإنتاج الهغز.



مسارات الجسيمات المنتجة في 14 حزيران(يونيو) 2000 عند تصادم الكترون وبوزترون في المكشاف آلف ALEPH لمصادم LEP. تجعلنا نظنّ أن بوزون هغز يتشكل لوقت قصير. أعيد بناء هذه المسارات بدءاً من الطاقة المقدمة من الجسيمات في المناطق المختلفة من المكشاف (في مقطع على اليسار وفي الإحداثيات القطبية على اليمين في الأعلى). يكشف تقريب على منطقة التأثر (على اليمين في الأسفل) عن أن بعض الجسيمات تتمتع بمنشأ متزاح بالنسبة إلى نقطة التصادم في الوسط. وهذا يكون بوجود واحدة من البصمات الممكنة لبوزون هغز. للتأكد من أن هذا ما قد تم إنتاجه، من الضروري ملاحظة الكثير من الأحداث الأخرى المشابهة، ولكن هذا مع الأسف لم يحدث.

عائلة الهغز

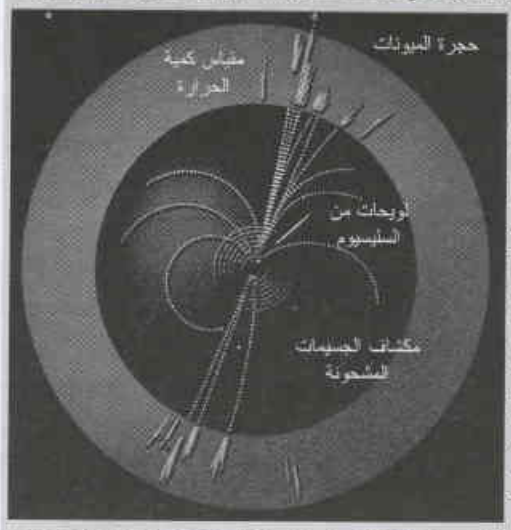
بالإضافة إلى ذلك فإنّ تلاؤم التفاترون لاكتشاف بوزون هغز سيكون أيضاً أفضل فيما إذا كان هذا الأخير مختلفاً قليلاً عن الوصف الذي يُعطيه النموذج المعياري. وفي الواقع بينما يكتفي هذا النموذج ببوزون هغز واحد فإنّ توسعه الأبسط، وهو نموذج التناظر الفائق* [8]، يتوقّع خمسة بوزونات وليس أقل من ذلك: ثلاثة بوزونات معتدلة واثنين يحملان شحنات كهربائية.

إنّ مثل هذا التوسّع، الذي يمكن أن يأخذ أشكالاً محدّدة مختلفة تقريباً يكون مفضلاً لدى أغلب النظريين، لأنّ النموذج المعياري "غير ناضج تماماً" ويفسّر كتلة هغز تفسيراً سيئاً بأنّها

* نموذج التناظر الفائق يربط مع كل جسيم معروف جسيماً "مرآتياً" بحسب تناظر محدّد في معادلات الميكانيك الكمومي التي تصف سلوكياتها.

الشكل 3 ، مكاشيف الجسيمات

يتكون مكشاف الجسيمات من طبقات متمركزة متعددة. ففي الوسط (باللون الأزرق) نسعى لقياس بتقريب المكرومتر، مرور جسيمات مشحونة. لاعادة بناء ، بتقريب جزء من المليمتر، نقطة منشأ مجموعات الجسيمات الواردة من التفكك أو التأثر نفسه . وبعد ذلك نقيس ، في منطقة حيث يهيمن حقل مغنطيسي شديد (باللون الأخضر)، نقاطاً مختلفة تمر فيها جسيمات مشحونة بغية اعادة بناء مساراتها . حيث يعلمنا الانحناء مباشرة عن دفع الجسيم. وفيما بعد تأتي مقاييس كمية الحرارة (باللون الأحمر). وهي مكاشيف تتضمن مادة تكفي لأن تجبر فيها معظم الجسيمات للتفاعل وذلك بإحداث نوع من الحزمة (باللون الأزرق). تشكل الالكترونات والفوتونات حزماً قصيرة وضيقة، وتشكل الجسيمات المتفاعلة بقوة نووية قوية حزماً أطول وأعرض. وتكون الميونات التي تتفاعل بشكل كهرطيسي مثل الالكترونات، ولكن مع كتلة أكبر، أكثر اختراقاً وتصل إلى المكاشيف الأكثر بعداً نحو الخارج.



حجرات الميونات. وعند جمع كل المعلومات من مختلف المكاشيف يمكن إعادة بناء كل منتوجات التصادم وقياس طاقتها وإيجاد النقطة المضبوطة التي كان قد جرى إنتاجها وتحديد طبيعتها. وتظهر النترينوات فقط التي لم يعد بنازها من جديد عجزاً في موازنة الطاقة.

لا يُنتج منه إلاّ القليل القليل. في الواقع في نموذج ذي بوزونات هغز متعدّدة، مثل نموذج التناظر الفائق، تتلقى كتلتا Z وW إسهامات من بوزونات هغز مختلفة وإذا شكلنا بسهولة تقريباً بوزونات هغز الأثقل بدءاً من Z منتفخ فلن تكون الحالة نفسها من أجل البوزون الأخف. ففي المصادم LHC يمكن أن تكون رؤية هذا الهغز الخفيف صعبة للغاية، إنه ضائع في وسط ملايين التصادمات المماثلة. وسيكون على العكس مرئياً بوضوح في مصادم التفاترون، لأنّ احتمال إنتاجه في تصادمات البروتونات والبروتونات المضادة الغنية بالغلوونات المهيأة لأن تنشطر إلى كواركات ثقيلة تتفاعل بقوة مع بوزون هغز، سيكون أعلى بمئات المرات من احتمال بوزون هغز المعياري [9].

نظريات بوفرة

بالإضافة إلى ذلك قد يقتضي بوزون هغز الخفيف بمقدار 115 جيغاإلكترون فولط، حسبما تميل مشاهدات المصادم LEP إلى الإشارة إليه، أن تكون الجسيمات الجديدة المتوقّعة بنموذج التناظر الفائق خفيفة بدرجة كافية ويسهل رؤيتها بمصادم الهدرونات الكبير LHC وعلى الأرجح أيضاً بمصادم التفاترون. من المأمول أن يُنفّذ هذا السيناريو وأن نلتحق بفريق أحد مكشافي هذا المصادم.

يشابه البحث عن الهغز في كثير من النقاط البحث عن طرق جديدة للهند الذي جرى في النصف الثاني من القرن الخامس عشر. إنّ فكرة أنّ الكرة الأرضية كروية بالإضافة إلى تقدير طول قطرها من قبل المراقبين أوحت حينئذ أنّه يمكننا الوصول إلى آسية من الغرب بدون المرور بالقسطنطينية التي وقعت بيد العثمانيين. اكتشف كريستوف كولومبس القارة الجديدة بالتفتيش عن هذا

تجاويف فوق ناقلة مثل التي سيجهز بها المصادم الخطي المستقبلي الكترون - بوزترون تسلا TESLA. إنّ مثل هذه الآلة ستسمح، مثلاً، بدراسة تأثرات بوزون هغز مع نفسه. وإذا تمّ بناء هذه الآلة، ستمتد في نفق خطي مسافة ثلاثين كيلومتراً.

قريبة من كتلة W و كتلة Z، بينما الحقيقة البسيطة أن بوزون هغز يمكن أن ينشطر إلى زوج من أية جسيمات تفرض إعطاءه كتلة كبيرة جداً. يحل نموذج التناظر الفائق هذا التناقض بمضاعفة عدد الجسيمات فهو يُدخل لكل جسيم "شريكاً مرآتياً". ولا يدخل من أجل ذلك عدداً أكبر من الوسطاء؛ إذ يُكتفى بوسيطين فقط لوصف كتل كل بوزونات هغز وتأثراتها مع البوزونات، الكواركات واللبتونات. ففي إطار التناظر الفائق، إذا كانت كتلة أحد بوزونات هغز كبيرة جداً، فإنّ الأخف تكون كتلته نحو 130 أو 140 جيغاإلكترون فولط. وفي الطاقات الضعيفة جداً لإنتاج بوزونات هغز أثقل فإنّ هذا الهغز الخفيف سيبدو وحيداً، مع كل خواص هغز النموذج المعياري. في هذه الحالة يبقى التناظر الفائق غير مرئي ويجري كل شيء كما هو متوقّع في النموذج المعياري.

ولكن يوجد احتمال آخر: إنّ بوزون هغز الملاحظ بطاقة 115 جيغا إلكترون فولط في مصادم LEP يمكن أن يكون بوزون هغز المعتدل الأثقل. بينما سيكون لبوزون هغز المعتدل الأخف الآخر كتلة نحو 100 جيغاإلكترون فولط. ولن نراه لأنّه

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

الطريق. والشيء نفسه، أوحت دراسة عمليات التآثر النووي بوجود جسيم جديد، هو الهغز، والانسجام بين القياسات الدقيقة يسمح بالتكهّن بخواصه. فالمسرّعات قيد التشغيل ومشاريع بنائها هي كلها وسائل اكتشاف في عصرنا، مثل سفن الكرافل caravelles التي بها جرى اكتشاف أمريكة. فعلى طريق البحث بهذا الأسلوب غير المشكّك به حتى ذلك الحين، يمكن أن تدهشنا مكتشفات أخرى: كالتناظر الفائق ووجود أبعاد فضائية إضافية [10]، أو أشياء أخرى غير متوقّعة تماماً والتي ستغيّر نظرتنا إلى العالم؟

إنّ اكتشاف بوزون هغز وقياس كتلته بمصادم التفاترون أو بمصادم الهدرونات الكبير ستسمح بتقليص عدد النظريات ولكنهما لا يحدّدان النقطة النهائية من التاريخ. فهما سيدلاّن مثلاً على ما إذا كانت النظرية المجرّدة جداً، التي أطلقها الرياضياتي الفرنسي آلان كون A.Connes والتي تتنبأ بوجود بوزون هغز واحد ذي كتلة 180 جيغاإلكترون فولط، لها فرصة في القبول. ولكنّهما لن يسمحا بانتخاب من بين نظريات التناظر الفائق المختلفة، النظرية التي تتنبأ كلها بوجود بوزونات هغز متعدّدة، حيث سيكون واحد منها على الأقل أخف من 140 جيغا إلكترون فولط.

والوسيلة المثلى لإجراء الفرز في هذه الوفرة، ولاستكشاف خواص هذا النمط الجديد من المادة الذي هو الهغز سيكون مصادم الإلكترون ـ البوزترون المكوّن من مسرّعين خطيين وجهاً لوجه وقادراً على الوصول إلى طاقة 500 إلى 1000 جيغا إلكترون فولط. هناك مشاريع متعدّدة قيد التطوير حتى عام 2013 في أوربة واليابان والولايات المتحدة. وبدون أدنى شك سيتحدون في مشروع واحد لتخفيف التكاليف. إنّ مثل هذا المصادم سيسمح بصورة خاصة بفهم كيف تكون في الأصل لبوزون الهغز كتلته الخاصة به، عبر دراسة تآثر بوزون هغز مع بوزونات هغز أخرى.

وأكثر من ذلك من المحتمل أن يتطلّب توحيد القوى النووية الضعيفة والقوية وجود بوزونات أخرى ثقيلة جداً مشابهة إلى بوزونات W و Z .... إذاً بوزونات هغز ثقيلة جداً. ولكن يحتمل أن ننتظر مدة طويلة قبل إنتاج هذه الأخيرة؛ إذ يلزم لذلك طاقة أكبر بنحو عشرة آلاف مليار مرة من الطاقات المستعملة في المسرّعات الحالية.

المراجع REFERENCES

[1] Jacques –Olivier Baruch, La Recherche , november 2002 p.68.

[2] Daniel Husson , La Recherche , mars 2001 p.62.

[3] François Vanucci , La Recherche , septembre 1998 p.42 Jaques-Olivier Baruch, La Recherche , septembre 2001, p.18 .

[4] www.nobel.se/physics/laureates/1984/rubbia-lecture.html

[5] Maurice Mashaal , La Recherche , septembre 1994, p.945.

[6] Peter W. Higgs , phys. Lett., 12, 132, 1964 ; phys. Rev. Lett. 13, 508, 1964 ; phys. Rev. 145,1156,1966;Francois Englert et Robert Brout, phys. Rev.Lett.,13 ,321,1964.

[7] "The LEP Working Group for Higgs Boson Searches", LHWG Note /2002-01 ,Conférence ICHEP' 02, Amsterdam , juillet 2002.

[8] Pierre Fayet , La Recherche , janvier 2001 , p.29.

[9] P.Colas et B. Tuchming, groupe de recherche Supersymétrie, Annecy, octobre 2000 ; A.Sopczak , hep-ph/0011285; E.Boos et al.,hep-p/0205160v2.

[10] I.Antoniadis ,La Recherche . juin 2001. p. 25.

[11] http://hepwww.ph.qmw.ac.uk/epp/higgs.htm.

[12] "The LEP Working Group for Higgs Boson Searches", CERN-EP/2001-055.

* * *

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

تطبيقات لظواهر نووية تولّدها ليزرات بالغة الشدة★

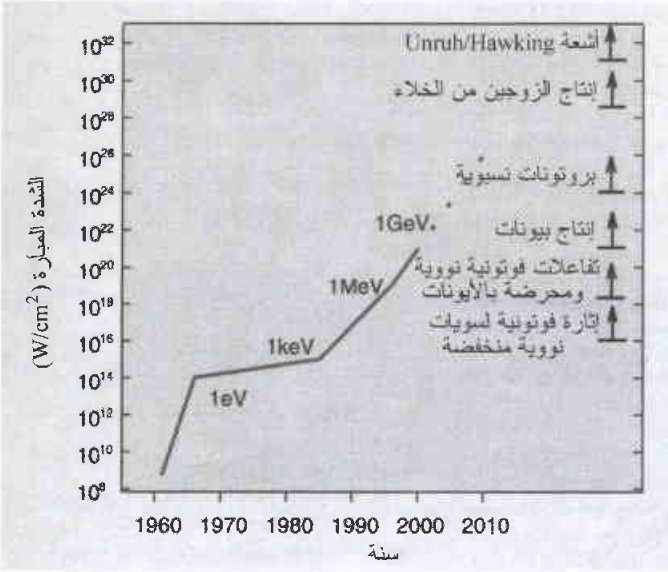
ك. و. د. لدينغهام
قسم الفيزياء، جامعة ستراثكلايد، غلاسغو، المملكة المتحدة
منشأة الأسلحة الذرّية، ألدرماستون، ريدنغ، المملكة المتحدة
ب. ماك كينا
قسم الفيزياء، جامعة ستراثكلايد، غلاسغو، المملكة المتحدة
ر. ب. سينغال
قسم الفيزياء و الفلك، جامعة غلاسغو، المملكة المتحدة

ملخص

منذ أن اخترع الليزر قبل 40 سنة، كانت هنالك رغبة في تضخيم الضوء الليزري لتوليد طاقات بقدر من الضخامة كاف ليؤثر في النواة. وفي الوقت الراهن، يتمتع الكثير من الليزرات، بما في ذلك أصنافها صغيرة الحجم (tabletop)، بطاقات نبضية أعظم من مجموع الطاقات الكهربائية التي يجري توليدها في محطات الطاقة المنتشرة في أنحاء العالم كافة. وفي هذا المقال نراجع التطورات الحاصلة في هذا المجال من البحوث، كما نعمد إلى توصيف الامكانات لكل من حزم البروتونات و النترونات والأيونات الثقيلة التي تم إنتاجها بالليزر، إضافة إلى إنتاج النظائر والإيزوميرات (المصاوغات).

الكلمات المفتاحية: نبضة عالية الشدة، ليزرات شديدة، تفاعلات نووية، إشعاع الكبح، بروتونات، نترونات، أيونات ثقيلة، تأثر ليزري بلازمي، انشطار محرض بالليزر، انتقال تصاوغي (إيزوميري)، تنشيط نووي فوتوني، مصاوغات (إيزوميرات) نووية.

قادت إنجازات أخيرة في تقانة الليزر إلى تطوير منظومات ليزرية نبضية مدمجة، في العديد من المخابر في العالم، تبلغ استطاعتها عدة وحدات من التيرا واط (10^{12} واط) والبيتا واط (10^{15} واط). ويستطيع هذا الإشعاع الليزري عند تبئيره إلى مساحة بضع عشرات من المكرونات المربعة، أن يصل إلى شدات تزيد على 10^{20} واط/سم^2. ويوضح الشكل 1 الزيادة في شدة الليزر التي أمكن بلوغها منذ عام 1960. وبدءاً من منتصف الثمانينيات، ومع إدخال تقنية تضخيم النبضة المزقزقة chirped pulse amplification (CPA)، أمكن تحقيق إنجازات ضخمة. ففي هذه التقنية CPA، وبواسطة شبيكات التبعثر dispersive gratings، يمكن بشكل مؤقت توسيع نبضة ليزرية من رتبة الفمتوثانية أو البيكوثانية بمقدار ثلاث أو أربع رتب أعظم مما كانت عليه، وبذلك يمنع التخرب الحاصل لوسط التضخيم الليزري الناجم عن عمليات لا خطية عند شدات عالية. وبعد التضخيم يُعاد ضغط هذه النبضات الليزرية كي تسدد إلى الهدف ما بين 10^3 إلى 10^5 بيتا واط/سم^2. هذا وتتعهد تقنيات مقترحة، بما في ذلك التقنية الضوئية الوسيطية لتضخيم النبضة



الشكل 1- شدة الليزر الممكن احرازها كتابع للزمن. يشار في الشكل إلى الطاقات التقريبية لاهتزاز الالكترونات داخل حقل الليزر.

★ نُشر هذا المقال في مجلة *Science*, Vol 300, 16 May, 2003. ترجمة هيئة التحرير- هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

المزقزقة (OPCPA) [3,2]، بمواصلة توسيع حدود علم الليزر في المستقبل المنظور.

ويمكن، في الوقت الحالي، تطبيق الإشعاع الليزري العالي الشدة في كثير من المجالات التقليدية للعلوم. ومع زيادة شدة الليزر و الحقل الكهربائي المرتبط بها تزداد بالتالي الطاقة الاهتزازية للإلكترون electron quiver energy (طاقة الإلكترون الحر داخل حقل الليزر) (الشكل 1). وعندما يجري تبئير إشعاع ليزري نحو أهداف صلبة أو غازية بشدات أكبر من 10^{18} واط/سم^2، تهتز الإلكترونات بطاقات أعظم من كتلتها السكونية (0.511 MeV)، مسببة بذلك نشوء بلازما نسبوية [4].

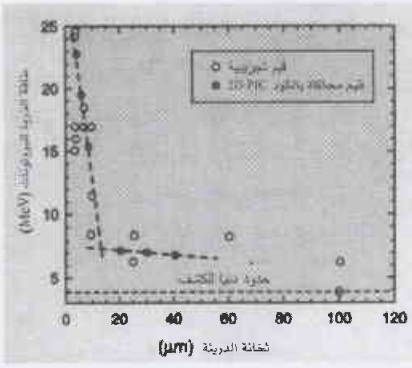
وفي السبعينيات من القرن الماضي، اقتُرح [5] أن بالإمكان تسريع الإلكترونات بواسطة الليزر باستخدام ضوء ليزري شديد يُحدث في أعقابه اهتزازات ضمن البلازما. وفي الآونة الأخيرة، أمكن، باستخدام ليزر مدمج ذي معدل تكرار عال، قياس إلكترونات طاقتها 200-MeV [6]. وللمسرعات ذات الأساس الليزري–البلازمي إمكانية إنتاج تدرجات للتسريع أعظم 1000 مرة من تلك المنتجة عبر التقانة التقليدية للمسرعات، وكل ذلك بمقياس لا يتجاوز طاولة المكتب.

إضافة لما سبق ذكره، أمكن، في تجارب على التأثر الليزري-البلازمي وحيد النبضة وعالي الشدة، قياس إلكترونات ذات طاقات من رتبة 100 MeV أو الاستدلال عليها من ملاحظات على إشعاع الكبح bremsstrahlung radiation [7-10].

ومن خلال تسريع أصناف من الجسيمات السريعة والفوتونات، يمكن أن تُحرِّض تأثرات قوية بين الليزر والمادة على نشوء عمليات نووية. ولا بد من التأكيد على أن عدداً من التطبيقات قد تم إثباته باستخدام ليزرات ضخمة جداً وذلك من باب "إثبات المبدأ"؛ لكنه سيجري قريباً تنفيذ هذه التطبيقات باستخدام ليزرات مدمجة عالية الشدة يجري تطويرها حالياً. وفي الحقيقة، نحتاج إلى نوعي الليزرات كليهما من أجل إحراز تقدم في هذا الحقل من البحوث. وسيقدم هذا المقال مراجعة عامة للنتائج المثيرة التي تم الحصول عليها من مجال هذه الأبحاث الحديثة الظهور.

إنتاج الليزر لبروتونات سريعة

لقد أمكن إنتاج حزم بروتونية تصل طاقتها إلى عدة وحدات من الميغا إلكترون فولط وذلك عندما تتأثر نبضة ليزرية قوية (أكبر من 10^{19} واط/سم^2) مع سطح هدف صلب [11]. وقد تم رصد طاقات بروتونية ذات توزع أسّي تصل لغاية 58MeV عند استخدام نبضة ليزرية شدتها 3×10^{20} واط/سم^2 [12]؛ كما ذكر أنه تم إنتاج ما يزيد على 10^{13} بروتون من النبضة الواحدة [13]. وهنالك اهتمام متزايد في دراسة تسريع البروتونات باستخدام الليزرات بسبب التطبيقات الممكنة في مجال الطب النووي، كإنتاج المصادر المشعة التي تستخدم في التصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني (PET) positron emission tomography وتلك التي تستخدم في العلاج البروتوني للسرطان.



الشكل 2- طاقة الذروة للبروتونات كتابع لخانة الدرينة مقيسة تجريبياً وباستخدام محاكاة بالكود PIC. (الشكل معدل ومأخوذ عن ماكينون ورفاقه [15]).

أجريت التجارب النووية الأولية باستخدام منشأتين ليزريتين كبيرتي الحجم لكل منهما نبض بأمد 1-ps، وهما: منشأة VULCAN التابعة لمختبر رذرفورد أبليتون في أكسفوردشاير بالمملكة المتحدة، ومنشأة NOVA التابعة لمختبرات لورنس ليفرمور الوطنية في كاليفورنية. وبعد ذلك، استخدمت على نطاق واسع ليزرات ذات معدل تكرار (تواتر) أعلى تعتمد في أساسها على تقانة التيتانيوم – سفير Ti-sapphire. وتعمل مثل هذه الليزرات عند طول موجي قدره 800 nm، وتعطي نبضات ذات أمد أدنى يصل إلى 30 fs، وتولد شدات تزيد على 10^{20} واط/سم^2. والليزرات الأخيرة مدمجة صغيرة الحجم كما يعتقد بأنها ستكون الوسيلة لإنتاج حزم بروتونية قابلة للتطبيق تجارياً.

وتعد العمليات التي تساهم في تسريع البروتونات بواسطة نبضة ليزرية معقدة جداً، ولهذا تمّ توجيه كثير من الأبحاث نحو تطوير فهم الآليات الكامنة وراءها. والصورة التي بدأت بالظهور هي أن تأثر النبضة الليزرية العالية الشدة والقصيرة الأمد (≤1 ps) مع السطح الأمامي للدريئة ينتج دفقة من الإلكترونات والأيونات السريعة الحارة؛ وتمر الإلكترونات عبر الدريئة الرقيقة لتؤين الهدروجين وذرات أخرى عند السطح الخلفي للدريئة أيضاً. وتسبب صفيحتا الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة حقولاً كهربائية تصل قيمتها إلى 1 MeV/μm عبر مسافة عدة مكرومترات مما يؤدي إلى تسريع البروتونات إلى عدة وحدات من الميغا إلكترون فولط. وهنالك صورة بديلة للآلية المذكورة آنفاً تمّ اقتراحها من قبل الباحث أمستادتر Umstadter وزملائه [4] تتضمن بروتونات جرى تسريعها من السطح الأمامي للدريئة.

وتَبَيَّن وجود ترابط جيد بين كلٍ من أعداد وطاقات البروتونات وإنتاج أشعة–X القاسية التي تولدها الإلكترونات الحارة [14]. وتُعدُّ سماكة الدريئة أمراً هاماً من أجل أمثلة تسريع البروتون. وعند استخدام ليزرات من نوع 100-fs تيتانيوم–سفير ذي شدة قدرها 10^{20} واط/سم^2 ودريئة من الألمنيوم سماكتها 3-μm أمكن إنتاج بروتونات طاقتها 24 MeV. ولم تتجاوز طاقة البروتونات 6.5 MeV عندما زيدت سماكة الدريئة إلى 100 μm [15]. وقام الباحث ماكينون ورفاقه بإجراء العديد من بحوث المحاكاة من نوع "جسيم–في–خلية particle-in-cell (PIC)"، ووجدوا انسجاماً مرضياً مع قياساتهم

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

(الشكل 2). ومن الممكن الحصول على زيادات مرموقة في طاقة البروتونات والتيار لدى استخدام وريقة لدرينة مزدوجة الطبقة تحوي طبقة عالية العدد الذري (Z) وأخرى منخفضة العدد الذري غنية بالهدروجين بدلاً من استخدام درينة مفردة الطبقة [14].

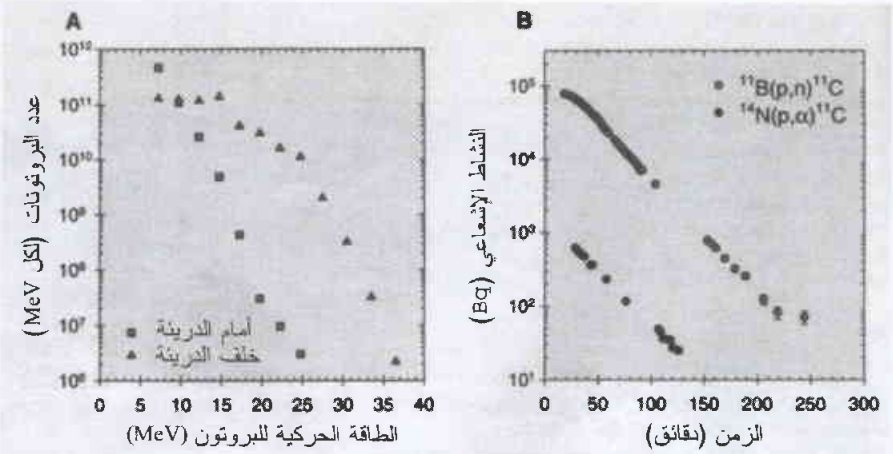
وهنالك حاجة لمزيد من الأبحاث كي نفهم ما هي الوسطاء المثلى لتسريع البروتونات بواسطة ليزرات قصيرة النبضة. وفي الوقت الراهن، قُدِّرت كفاءة تحويل طاقة الليزر إلى بروتونات بحوالي 1% لنبضات ليزر ذات fs-100 و J-10، كما قدرت هذه الكفاءة بحوالي 10% لنبضات ذات: ps-0.5 و J-500 [16].

وتم إثبات الجدوى الاقتصادية لاستخدام بروتونات منتجة بالليزر من أجل تطبيقات طبية [17]. ففي التصوير المقطعي الطبقي بإصدار البوزترونات PET؛ يحقن المريض بمستحضر صيدلاني موسوم بنظير قصير العمر مُصدِر للبوزترونات؛ ويجري استقلاب هذا المستحضر المشع في موقع محدد داخل الجسم. هذا، وتفنى البوزترونات مع الإلكترونات لينتج شعاعا غاما في اتجاهين متعاكسين؛ وبعد كشف هذه الأشعة يغدو ممكناً تصوير المواقع ذات الامتصاص العالي للمستحضر الصيدلاني المذكور آنفاً. وقد برهنت تقنية PET على أنها ذات فائدة عظيمة جداً في التصوير الطبي لجريان الدم ولنقل الأحماض الأمينية وللكشف عن الأورام. ويجري حالياً إنتاج مصدرات البوزترونات عبر تفاعلات محرضة بالبروتونات، كتفاعل (p,n) أو تفاعل (p,α)، باستخدام المسرعات التقليدية وهي عادة آلات ضخمة الحجم باهظة الثمن. وهنالك أمل في أن تصبح الليزرات ذات معدل التكرار العالي المعتمدة على التيتانيوم-سفير أصغر حجماً وأقل تكلفة وأن تتطلب قدراً أقل من التدريع و الصيانة.

في التجارب الأولى المبكرة [17]، دُرس إنتاج البروتونات ونظائر PET باستخدام نبضات الليزر VULCAN التي جرى تبئيرها إلى 10^{20} واط/سم^2. وقد قيست أعداد وطاقات البروتونات المنتجة في الجهتين الأمامية والخلفية للدرينة (الشكل 3A). وبينما تم الحصول خلف الدرينة على بروتونات ذات طاقة أعظمية قدرها 37 MeV، تم الحصول أمام الدرينة على بروتونات ذات طاقة أعظمية قدرها 25 MeV. وقد وضعت عينة بورون أمام درينة الألمنيوم، وقيس تنشيط البورون عبر التفاعلات (p,n) لإنتاج عينة من النظير ^{11}C داخل منظومة تطابق تعدُّ النشاط الإشعاعي للنظير الأخير المصدر للبروتونات؛ وقد اتفق جيداً عمر النصف المقيس، وقدره 0.4 ± 20.3 دقيقة، مع القيمة المقبولة وقدرها 20.34 دقيقة (الشكل 3B). وفي الوقت الراهن يُعدُّ ^{18}F النظير المفضل لتقنية PET، كما تُستخدم نموذجياً شدات للمصدر قدرها 8×10^8 Bq. لقد أمكن من خلال استخدام ليزر VULCAN إنتاج نشاط قدره 10^5 Bq للنبضة الواحدة. على أية حال، بإمكان ليزر Hz-10 الذي ينتج نبضات شدتها 10^{20} واط/سم^2 تحريض نشاط إشعاعي قدره 10^9 Bq خلال 20 دقيقة. وفي الآونة الأخيرة أعلن فريق يعمل لدى مختبر التطبيقات الضوئية في باريس ويستخدم ليزراً صغير الحجم نتائج تمنح سبباً للتفاؤل مفاده أن النظائر المستخدمة في تقنية PET سيجري في القريب العاجل إنتاجها بواسطة ليزرات مدمجة [18].

ويكمن أحد التطبيقات المحتملة الهامة للبروتونات عالية الطاقة المنتجة بالليزر في المعالجة البروتونية للسرطان [19]. فالطاقة التي تحملها البروتونات يمكن إيداعها في النسيج عند العمق المرغوب فيه من السطح. وهي طاقة فعالة جداً في معالجة الأورام؛ ويُعزى هذا إلى أن البروتونات ذات الطاقة 200-MeV تتمتع بفقد صغير للطاقة إلى أن تتناقص طاقتها إلى قدر كاف. بعد ذلك، تُبدي سرعة فقْد الطاقة تزايداً حاداً، يطلق عليه قمة براغ Bragg peak، ثم تتوقف البروتونات بشكل مفاجيء. ويكون المدى داخل الماء لبروتونات طاقتها 200MeV مساوياً لـ: 240 mm، علماً أن إيداع معظم الطاقة يحصل في الـ: 20 mm النهائية. هذا، وتبشر تقنية الإنتاج المحرض للبروتونات بالليزر بنجاح عظيم لأن الحزمة البروتونية تصبح ذات منحى محدد أكثر كلما ازدادت شدة الليزر.

وبيَّنت بحوث محاكاة حديثة من نوع PIC احتمالات مثيرة لتوليد بروتونات وحيدة الطاقة مع استخدام درينات متعددة الطبقة [20]. ومع التنبؤ بانتشار للطاقة قدره 5%، يتوقع أن تكون الحزمة البروتونية قادرة على تسديد الطاقة إلى حيز متمركز وقتل النسيج السرطاني مع إحداث قليل من الضرر المصاحب.



الشكل 3- (A) توزعات طاقة البروتونات كما هي مقيسة أمام وخلف درينة Ta، و (B) نشاط إشعاعي محرض للنظير ^{11}C المنتج بالتفاعلين: (p,n) و (p,α).

تفاعلات نووية من أيونات ثقيلة مسرعة ببلازما الليزر

تسرَّع البروتونات بسبب أن نسبة الشحنة إلى الكتلة العائدة لها عالية، أكثر مما تسرَّع الأيونات الأثقل، فتحمل الكثير من طاقة الليزر التي تحول إلى الأيونات

المسرّعة. من جهة ثانية، يجري أيضاً إنتاج أيونات سريعة ثقيلة. وقد رصدت حزم أيونات عناصر الـ: C، و Al، و Pb طاقتها تبلغ: 80، و 150، و 430 ميغا إلكترون فولط، على الترتيب [22,21]؛ كما جرى قياس نفثات مسددة collimated jets لأيونات كل من: C و F تصل طاقتها لغاية 5 MeV لكل نكلون [23]. إضافة لما سبق، تمّ في هذه التجارب إنتاج أيونات الكربون و الألمنيوم معراة من إلكتروناتها بشكل كامل، كما تمّ إنتاج حالات شحنة أيونية حتى Pb^{46+} و F^{7+}، ويعتقد أن تأيين الحقل هو الآلية السائدة [23].

والإزالة، أو الإزالة الجزيئية، لطبقات تلوث بالهدروكربونيات والماء من سطوح الدريئة ستقلل من تدفق البروتونات المسرّعة وستوفر مزيداً من الطاقة كي تسرّع بفعالية أنواعاً أثقل من الأيونات. و بالإمكان إزالة الملوثات إما عن طريق التذرية ablation أو بتسخين الدريئة. وقد تبين أن التقنية الأخيرة أكثر فعالية واستخدمت بنجاح في تجارب تسريع الأيونات [23-25]. وفي هذه التجارب، تعززت بشكل كبير طاقة وتدفق أيونات الكربون التي جرى تحليلها بالمطيافات الأيونية، عن طريق تسخين الدريئة إلى درجات حرارة تفوق 900 °C [23,25].

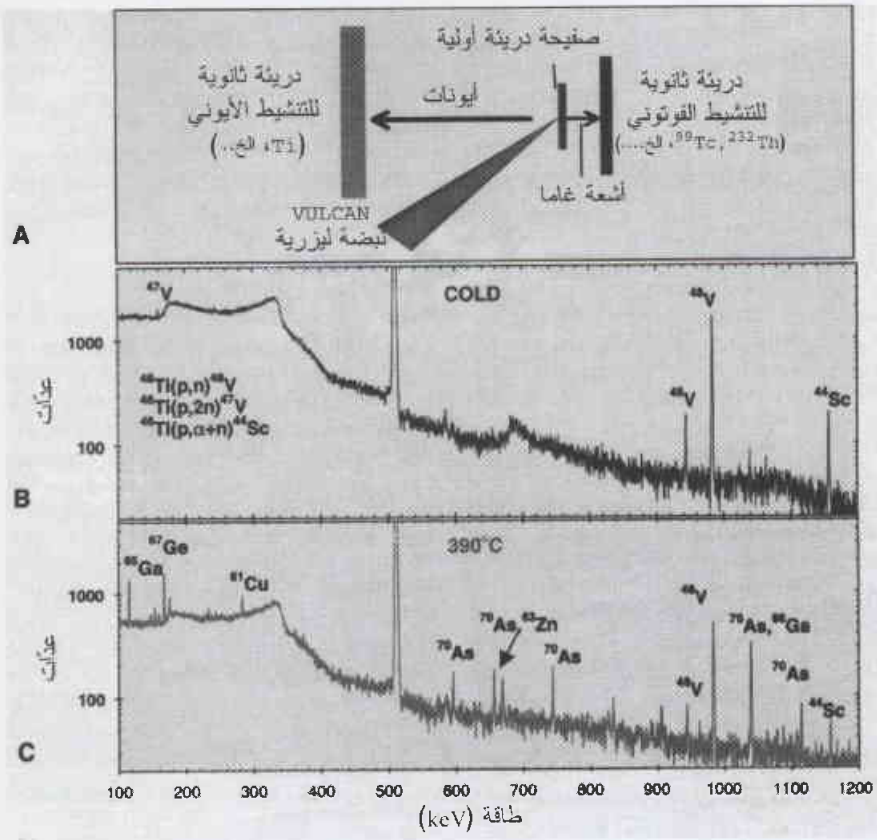
وفي تجربة أجريت مؤخراً عند شدات أكبر من 10^{19} واط/سم^2، تم استخدام الأيونات السريعة الثقيلة لتحريض تفاعلات نووية داخل دريئة ثانوية [26]؛ وتم أيضاً تبيان أنه بالإمكان استخدام هذه التفاعلات المحرضة أيونياً لتشخيص تسريع الأيونات في تآثرات ليزرية-بلازمية. وتتصادم الأيونات الثقيلة المسرّعة مع الذرات الساكنة في الدريئة الثانوية (الشكل 4A) لإحداث نوى مركبة في حالات مثارة يمكن أن تتخامد متحولة إلى نوى مشعة عبر تبخير البروتونات و النترونات وجسيمات ألفا. وتعدُّ إصدارات أشعة γ من النوى المذكورة آنفاً بصمات للعمليات التي هي قيد الحدوث. و يشتمل طيف نموذجي لأشعة γ على إصدارات من نوى نشأت ليس فقط من التفاعلات المحرضة بواسطة الأيونات الثقيلة بل أيضاً من تفاعلات محرضة بواسطة البروتونات والنترونات وأشعة غاما، الأمر الذي يعكس مدى الجسيمات العالية الطاقة والإشعاع المنتج في تآثرات ليزرية-بلازمية عالية الشدة.

يقارن الشكل 4 أطيافاً مقيسة من نوى تم إنتاجها بواسطة تفاعلات محرضة بالأيونات على دريئة ثانوية من Ti موضوعة قرب دريئة من صفيحة Al مشعة بليزر استطاعته (5×10^{19} واط/سم^2)، والتي كانت إما عند درجة حرارة الغرفة (الشكل 4B) أو جرى تسخينها إلى الدرجة 390 °C (الشكل 4C). وفي حال الدريئة غير المسخنة، تم تحديد هوية النوى: ^{48}V، و ^{47}V، و ^{44}Sc المنتجة على ^{48}Ti عبر التفاعلات: (p,n)، و (p,2n)، و (p,α + n) على الترتيب بواسطة إصدار γ المميز وعمر النصف الخاص بكل منها. وعندما سُخّنت الدريئة، تناقصت إلى حدٍّ كبير هذه التفاعلات المحرّضة بالبروتونات (بمعامل يراوح بين 3 إلى 4)، كما لوحظت ذروات إضافية ناتجة من إنتاج النظائر: ^{70}As، و ^{69}As، و ^{67}Ge، و ^{66}Ga، و ^{65}Ga، و ^{63}Zn، و ^{61}Cu، و ^{60}Cu. وقد تمّ التعرف على هوية النوى ذوات الكتلة العالية [24,27] كناتج عن تفاعلات ^{27}Al المحرّضة أيونياً على ^{48}Ti، ووجود هذه التفاعلات يبين أيضاً أن تسخين الدريئة يعمل على زيادة الطاقة و/أو تدفق الأيونات الثقيلة في تآثر الليزر مع الجسم الصلب.

وهنالك العديد من التطبيقات الواعدة لهذه الطريقة لإنتاج الأيونات الثقيلة السريعة، بما في ذلك مسرعات مستقبلية مدمجة صغيرة الحجم وحاقنات للجيل القادم من مسرعات الأيونات الثقيلة.

التنشيط النووي الفوتوني

يمكن لإشعاع الكبح العالي الطاقة، في تآثرات ليزر-بلازما، أن



الشكل 4- (A) ترتيب نموذجي لتجارب على تفاعلات محرضة بالأيونات وبالتنشيط الفوتوني النووي. تلاحظ في الشكل ذروات مميزة لأشعة γ صادرة عن دريئة ثانوية من ^{48}Ti عند تعريضها لأيونات صادرة عن دريئة أولية من ^{27}Al والتي كانت إما (B) غير مسخنة، أو (C) مسخنة إلى درجة حرارة قدرها 390°C

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

يُحرِّض تفاعلات نووية فوتونية، مثل الانشطار Fission (γ,f) والتحويل transmutation، عبر إصدار نتروني (γ,n). وقد استخدم التنشيط النووي الفوتوني بنجاح من أجل تشخيص أطياف γ والتوزعات الزاويّة في تجارب تآثر ليزري عالي الشدة [29.28.10.7].

ظهر أول اقتراح للانشطار المحرض بالليزر في عام 1988 [30]، وأثبت تجريبياً لليورانيوم-238 في عام 2000 [31.10]. كذلك، تم مؤخراً، إثبات حدوث انشطار محرض للثوريوم-232 ذي المقطع العرضي الأصغر كثيراً للتفاعل (γ,f) [32]. وقد حرّضت إشعاعات γ الكبحية bremsstrahlung γ rays، من نبضة ليزر طاقتها 70-J جرى تبئيرها نحو دريئة Ta سماكتها 2-mm، تفاعلات انشطار في دريئة ثانوية من الثوريوم Th (الشكل 4A). وقد كُشفت بصمات نواتج الانشطار قصيرة العمر بواسطة كاشف Ge عالي الكفاءة. كما أجريت تجارب مماثلة باستخدام ليزر صغير الحجم ذي معدل تكراري أعلى وطاقة أخفض (0.5 J) [33]. وأشارت المقارنة لمجموعتي النتائج إلى عدد متماثل من أحداث الانشطار المحرضة (2×10^4 إلى 6×10^4) لكل جول من طاقة الليزر، وذلك رغم الوسطاء المختلفة جداً لنبضة الليزر [32].

كذلك، استخدمت فوتونات الكبح عالية الطاقة لتحريض تفاعلات فوتونية نووية (γ,xn) (x=1,2,3....) [34]. ويؤدي امتصاص فوتون ما إلى إثارة النواة، ويحدث تخامد للإثارة بإصدار واحد أو أكثر من النترونات (γ,xn)، وذلك تبعاً لطاقة الإثارة المستخدمة. وقد قيست إشعاعات γ الصادرة عن نواتج التفاعل وتمّت معرفة اثنين من التفاعلات في دريئة Ta، هما: $^{181}Ta(\gamma,n)^{180}Ta$، و $^{181}Ta(\gamma,3n)^{178m}Ta$، وقاد هذا العمل إلى إيجاد طريقة لتشخيص درجة حرارة الإلكترونات السريعة المنتجة في تآثرات ليزرية–بلازمية بالغة الشدة وذلك عن طريق مقارنة نسبتي التنشيط للتفاعلين المحرضين [34].

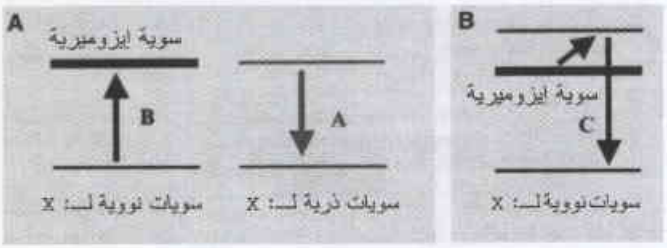
وسعت جهود حديثة إلى استخدام أشعة الكبح المنتجة بالليزر لإثبات تحويل النفايات النووية طويلة العمر إلى نظائر مستقرة أو أقصر عمراً. وعلى نحو محدد، فقد تمّ فصل عينة من النظير ^{99}Tc خارج نفاية نووية ثم جرى تصنيعها للاستخدام في التجربة. وللنظير ^{99}Tc عمر نصف قدره 2.11×10^5 سنة، وهو عبارة عن شدفة انشطارية لليورانيوم داخل المفاعلات. ويسبب التفاعلان $^{99}Tc(\gamma,n)$ و $^{99}Tc(\gamma,2n)$ نشوء النظيرين ^{98}Tc و ^{97}Tc، على التتالي، ولكل منهما عمر نصف أطول حتى من عمر النصف الخاص بالنظير ^{99}Tc. لكن تفاعلاً نووياً من النوع (γ,3n) سينتج النظير ^{96}Tc الذي يتمتع بعمر نصف قصير قدره 4.28 يوم. ورغم أنه أمكن بوضوح رصد حدوث تفاعل من النوع (γ,3n) على النظير ^{181}Ta، له عتبة γ قدرها 22MeV وذروة مقطع عرضي قدرها 40 مليبارن (mb)، إلا أنه لم يكن ممكناً الحصول على دليل يثبت حدوث تفاعل (γ,3n) على النظير ^{99}Tc [27]؛ وقد يعزى هذا الأمر إلى صغر ذروة المقطع العرضي المقدرة بـ: 6mb عند 30MeV لهذا التفاعل.

إثارة إيزوميرات نووية بواسطة بلازمات محرضة بليزر قوي

لقد سبق تبيان أن تآثراً مباشراً لشدات ليزرية أكبر من 10^{18} واط/سم^2 مع دريئات مادة صلبة يولّد إلكترونات وفوتونات وبروتونات وأيونات عالية الطاقة. كذلك، تستطيع حزم ليزرية ذات طاقة أخفض واقعة ضمن مدى الشدة 10^{16} إلى 10^{18} واط/سم^2 أن تؤثر في النواة بتوليد إلكترونات وأشعة سينية في مجال طاقة الكيلو إلكترون فولط مسببة إثارة إيزوميرات نووية منخفضة الطاقة [36.35]. تأمَّل، على سبيل المثال، في الشكل 5A السويات الإلكترونية النووية والذريّة لعنصر ما (X). يجري إنتاج ثقب إلكتروني ضمن سوية ذريّة بواسطة حزمة من الإلكترونات أو الفوتونات، ثم يُملأ بواسطة الانتقال A المصدر للفوتون. إذا قابلت التعددية القطبية والطاقة لـ: A انتقالاً بامتصاص نووي B إلى حالة إيزوميرية، فيمكن، عندئذ، أن يجري هذا بفعالية ويطلق عليه اسم NEET (أو إثارة نووية بانتقال الإلكترونات nuclear excitation by electron transition). بعد ذلك، تتخامد إثارة الحالة الإيزوميرية بإصدار إشعاعات γ أو إلكترونات محوّلة داخلياً. وقد تمّ تجريبياً تبيان ما سبق ذكره في السبعينيات من القرن الماضي عن طريق استخدام حزم إلكترونية وحزم ليزر CO_2 شديدة [38.37] لإثارة انتقالات NEET إيزوميرية في ^{189}Os و ^{235}U ومن ثم قياس أشعة γ من الإثارة المتخامدة المحولة داخلياً.

لقد بينت بحوث نظرية وتجريبية واسعة النطاق على إثارة الليزر لحالات نووية إيزوميرية [39] أنه من الممكن، عند شدات ليزرية ما بين 10^{16} إلى 10^{17} واط/سم^2، إهمال عمليات NEET لصالح عمليات أخرى أقوى إلى حدٍّ كبير، ألا وهي تأثير الإلكترون المنتج بالبلازما وعمليات الإثارة الفوتونية. وبيّنت دراسات تجريبية حول الإثارة الخاصة بالانتقال 6.2-keV في النظير ^{181}Ta، استخدمت فيها ليزرات صباغية وليزرات زجاج Nd ذات نبضات دون البيكوثانية، أنه من الممكن الحصول على مردود إثارة قدره حوالي 10^{-7} [39]. وكانت إحدى القوى الدافعة وراء هذه البحوث تحديد هوية سويات إيزوميرية مناسبة يمكن ضخها بالليزر لتوفر انقلاباً إسكانياً في ليزرات أشعة غاما من ثلاث وأربع سويات [40].

ويمكن للبلازما المحرضة بالليزر أن تسبب تعرية الذرّات للعديد



الشكل 5- (A) إثارة NEET (إثارة نووية بانتقال الكترونات) إلى حالة إيزوميرية، و (B) إثارة بالليزر من حالة إيزوميرية يمكن أن تحرر كميات ضخمة من الطاقة.

من إلكتروناتها، مقلِّلة بذلك سرعة التحول الداخلي الإجمالي للانتقالات والتي يمكن لاحقاً أن تؤدي إلى زيادة الأعمار من مرتبة النانوثانية إلى مرتبة المكروثانية؛ وهذا يكافىء تضيقاً لعرض خط الانتقال. إضافة لما سبق، قد تقود دراسة عمليات التحول الداخلي في الذرّات المؤينة بشدة إلى فيزياء نووية جديدة مثيرة، كما هو الحال في دراسة عمليات الرتبة العالية التي تقرن الإلكترونات الذرّية بسويات نووية عبر ما يُسمى بآليات الجسر الإلكتروني [41].

في الشكل 5B، إذا تم إشغال حالة إيزوميرية طويلة العمر، عندئذ، يمكن لانتقالات حُرِّضت بالليزر إلى حالة أعلى مثارة ذات قيمة للسبين تقع بين الحالتين الإيزوميرية والأرضية أن تحرر كميات كبيرة من الطاقة عبر الانتقال (C). ويمكن لبعض الحالات النووية الطويلة العمر أن يختزن الغرام الواحد منها طاقة أعظم بمقدار يزيد عن 10^4 أضعاف عن تلك التي يمكن الحصول عليها من مركبات كيميائية، كما يمكنها، إذا كانت الحالة الأرضية مستقرة، أن تحرر الطاقة على نحو نظيف دون إنتاج نواتج ثانوية نشطة إشعاعياً [42].

إنتاج النترونات بواسطة الليزر

أمكن، منذ الرصد الأول لنترونات نتجت باندماج أيونات الدوتريوم السريعة في بلازمات منتجة بالليزر، تحقيق كثير من التقدم في فهمنا لكل من آلية إنتاج النترونات وخصائص النترونات المصدرة. والتفاعلات (γ,n)، و (γ,f)، و (p,n)، و $d(d,n)^3He$، و $d(t,n)^4He$ هي الأكثر وعيداً بين التفاعلات النووية لتوليد النترونات عن طريق استخدام ليزرات قوية.

إن الإنجازات التي تحققت في تقانة "ليزر التيتانيوم-سفير Ti-sapphire laser" جعلت من التطبيقات العملية للنترونات المولدة بالليزر أمراً ممكناً؛ وعند استخدام هذه التقانة يجري إصدار نبضات نترونية من منطقة صغيرة وبعرض زمني يقع ضمن مجال البيكوثانية. ففي جملة مركز الكتلة center-of-mass system، على سبيل المثال، يجري إنتاج النترونات بطاقتين أحاديتي اللون، واحدة منها بقدر 2.45MeV في تفاعلات دوتريوم-دوتريوم (d-d) انشطارية والأخرى بقدر 14.1MeV في تفاعلات دوتريوم-تريتيوم (d-t) انشطارية. ويبلغ الانتشار الطاقي المقيس والمقدر أصلاً بواسطة السرعة الحرارية للأيونات المتصادمة نحو 10% أو أقل.

ويمكن استخدام نترونات الاندماج d-d التي طاقتها 2.45MeV، إضافة إلى النبضة الليزرية أو مع نبضة أشعة X البالغة القصر المرافقة، كمضخة أو مسبار في دراسات الفصل الزمني وتتفوق هذه المقدرة إلى حدٍّ بعيد على أي شيء متوفر حالياً، كما أنها تبشر بكشف حقل جديد لمطيافية النترونات البالغة السرعة من أجل دراسات البنية في علوم المادة والبيولوجيا.

إن الطيف الطاقي لنترونات الاندماج d-t ذات 14.1MeV يشبه ذلك الذي ينتج في مفاعلات الاندماج. لذلك، فإن التخريب الذي تسببه هذه النترونات لجدران المفاعل يمكن أن يُدرس باستخدام نترونات الاندماج d-t تحت ظروف واقعية وسوف تقود مثل هذه الدراسات إلى فهم أفضل لعملية التخريب كما ستؤدي إلى تطوير واختبار مواد أشد قوة لأوعية المفاعل وللحاويات المستخدمة في تخزين النفايات النووية. وقد تمَّ تصميم دريئة لتفاعل اندماج d-t، حيث يمكن، تحت ظروف مثلى، لتدفق نتروني في المدى من 10^{14} إلى 10^{15} نترون/سم^2 ثا، أن يتحقق باستخدام نبضات ليزر طاقتها 100-J تعمل بتواتر 100Hz [44].

وقد تبين أنه يمكن لليزرات التيتانيوم-سفير Ti-sapphire lasers المدمجة صغيرة الحجم، والتي تعمل بتواتر 10Hz ونبضات طولها 35 فمتوثانية وتعطي شدات قدرها 10^{17} واط/سم^2، أن توفِّر تدفقاً نترونياً قدره 3×10^6 نترون/سم^2 ثا، مع أبعاد مكانية وزمنية صغيرة. وتمَّ إنتاج أيونات دوتريوم سريعة بواسطة انفجارات كولونية Coulomb explosions داخل بلازما تجمع الدوتريوم [45] والتي تنتج نترونات عبر تفاعل الاندماج d-d.

ويمكن استخدام نترونات أحادية الطاقة في دراسات المواد ذات الفصل الزمني. فعلى سبيل المثال، يُتوقع أن يؤدي مرور نترون ما عبر مادة صلبة إلى إحداث آلاف الانخلاعات التي تندمل خلال فترة زمنية من رتبة النانوثانية أو أقل. ويمكن أن تشمل دراسات مثل هذا التخريب في المواد قياس أنماط الانعراج للعينة المشعة بالنترونات باستخدام نبضة أشعة سينية فائقة القصر تمَّ إحداثها بالنبضة الليزرية ذاتها التي استخدمت لإنتاج النترونات. وسيُظهر، عندئذ، التأخير المتغير ما بين النترون ونبضة الأشعة السينية التطور الزمني لعملية الاندمال كما سيقود إلى فهم أفضل للآليات الكامنة وراءها. وقد تكون هناك استخدامات أخرى للنبضات النترونية في دراسة المواد البيولوجية وظواهر أخرى تقع عند سلالم زمنية دون النانوثانية.

توقعات مستقبلية لاستخدام الليزرات الشديدة في الفيزياء النووية

كان هنالك توجه هام في تطوير علم الليزر يتمثل في زيادة الشدات الممكن إحرازها والتي يمكن بلوغها بتبئير أشعة الليزر (الشكل 1). ومع مواصلة التوجه المذكور آنفاً لبلوغ شدات تتعدى 10^{21} واط/سم^2، أشارت الأدبيات العلمية إلى أن درجة حرارة الإلكترون الحار ومن ثم الطيف الطاقي لإشعاع الكبح سيزداد حتى يصل إلى قيم مكافئة لطاقة الذروة (10 إلى 30MeV) الخاصة بالتجاوب العملاق لنواة ما [46]. وهذا السلوك الجماعي لنواة ما هو المسؤول عن تفاعلات (γ,n). وعند شدات تقدر بحوالي 10^{22} إلى 10^{23} واط/سم^2 يمكن للإلكترونات أن تبلغ طاقات تصل لغاية 100 GeV. وتشير أبحاث المحاكاة إلى أنه يمكن التوصل إلى بروتونات ذات طاقة تبلغ 1GeV عند استخدام الشدات المذكورة آنفاً [47]. وتشمل تطبيقات محتملة في هذا المجال خططاً لقادحات سريعة من أجل

الحصر العطالي، وتطبيقات طبية كعلم الأورام البروتوني proton oncology. إضافة لما سبق، من الممكن تحريض الاندماج بتسريع ليزري مباشر لأيونات ثقيلة. وعند شدة قدرها 10^{22} واط/سم^2، تتصادم أيونات الدوتريوم والتريتيوم بطاقة تقدر بحوالي 80keV. ويبلغ المقطع العرضي لتفاعل اندماج d-t ذروته 5 بارن عند حوالي 100keV.

وعند شدات أعلى كثيراً من رتبة 10^{28} واط/سم^2. يمكن لأشعة الليزر أن تثير النواة مباشرة. كما يمكن في حالة كهذه أن تتبدل سويات الطاقة النووية ومن ثم أعمار الاضمحلال والتي يمكن أن تقود بدورها إلى تطبيقات هامة في مجال مواجهة مشكلة النفايات النووية. وعند هذه الشدات، يغدو خلق الزوج إلكترون- بوزترون مباشرة من الخلاء أمراً ممكناً. ومن المرجح أن تجد الليزرات العالية الشدة استخدامات لها في حقول الأبحاث التقليدية الخاصة بفيزياء الجسيمات والفيزياء الفلكية [48]، بما في ذلك اختبارات في علم الإلكترودينامیك الكمومي، وتوليد حقول مغنطيسية ضخمة، وإنتاج أشعة Hawking/Unruh.

ومع استمرار ارتفاع ذروة شدات الليزرات، سوف تستمر تجارب إثبات المبدأ في إلقاء الضوء على استخدامات كامنة جديدة لهذه الليزرات. من جهة ثانية، من المحتمل ألا يتم إدراك القيمة الحقيقية لأشعة الليزر الشديدة كمولدة لظواهر نووية إلا عند ظهور موجة جديدة من التجارب المجراة تحت ظروف مسيطر عليها بإحكام. وكما هو الحال في تجارب الفيزياء النووية التقليدية، لا بدَّ أن تحدد بعناية خصائص وسطاء النبضة الليزرية، التي تشمل ظروف التباين الزمانية والمكانية إضافة إلى تلك الخاصة بالشدة وكذلك نقاوة وسماكة الدريئة. وفي كثير من النواحي، يمكن القول بأن هذا المجال الجديد من البحوث لا يزال في طور البداية فقط.

REFERENCES المراجع

[1] D. Strickland, G. Mourou, Opt. Commun. 56, 219 (1985).

[2] I. N. Ross et al., Laser Part. Beams 17, 331 (1999).

[3] A. Dubietis, G. Jonusauskas, A. Piskarskas, Opt. Commun. 88, 437 (1992).

[4] D. Umstadter, Phys. Plasmas 8, 1774 (2001).

[5] T. Taijma, J. m. Dawson, Phys. Rev. Lett. 43, 267 (1979).

[6] V. Malka et al., science 298, 1596 (2002).

[7] M. I. K. Santala et al., Phys. Rev. Lett. 84, 1459 (2000).

[8] T. Cowan et al., Laser Parts. Beams 17, 773 (1999).

[9] P. A. Norreys et al., Phys. Plasmas 6, 2150 (1999).

[10] K. W. D. Ledingham et al., Phys. Rev. Lett. 84, 899 (2000).

[11] E. L. Clark et al., Phys. Rev. Lett. 84, 670 (2000).

[12] R. A. Snavely et al., Phys. Rev. Lett. 85, 2945 (2000).

[13] S. P. Hatchett et al., Phys. Plasmas 7, 2076 (2000).

[14] J. Badziak et al., Phys. Rev. Lett. 87, 215001 (2001).

[15] A. J. Mackinnon et al., Phys. Rev. Lett. 88, 215006 (2002).

[16] P. Mckenna et al., Rev. Sci. Instrum. 73, 4176 (2002).

[17] I. Spencer et al., Nuclear Instrum. Methods Phys. Res. B 183, 449 (2001).

[18] S. Fritzler et al., in press.

[19] S. V. Bulanov, T. Z. Esirkepov, V. S. Khoroshkov A. V. Kunetsov, F. Pegoraro, Phys. Lett. A 299, 240 (2002).

[20] T. Z. Esirkepov et al., Phys. Rev. Lett. 89, 175003 (2002).

[21] E. L. Clark et al., Phys. Rev. 85,1654 (2000).

[22] K. Krushelnick et al., IEEE Trans. Plasma Sci. 28, 1184 (2000).

[23] M. Hegelich et al., Phys. Rev. 89, 085002 (2002).

[24] P. Mckenna et al., in press.

[25] M. Zepf et al., Phys. Rev. Lett. 90, 06480 (2003).

[26] P. Mckenna et al., in press.

[27] J. Galy et al., in Central Laser Facility, Rutherford Appleton Laboratory Annual Report 2001-02 (Rutherford Appleton Laboratory, Oxfordshire, UK, 2002), pp. 29-31.

[28] M. A. Stoyer et al., Phys. Rev. Sci. Instrum. 72, 767 (2001).

[29] T. W. Phillips et al., Phys. Rev. Sci. Instrum. 70, 1213 (1999).

[30] K. Boyer, T. S. Luk, C. K. Rhodes, Phy. Rev. Lett. 60, 557 (1988).

[31] T. E. Cowan et al., Phys. Rev. Lett. 84, 903 (2000).

[32] J. Galy et al., in Proceedings of the 11th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems, Albuquerque, NM, 29 September to 4 October 2002, pp. 347-353.

[33] H. Schwoerer et al., Europhys. Lett. 61, 47 (2002).

[34] I. Spencer et al., Rev. Sci. Instrum. 73, 3801 (2002).

[35] M. Morita, Prog. Theor. Phys. 49, 1574 (1973).

[36] V. S. Letokhov, Sov. J. Quantum Electron. 3, 360 (1974).

[37] K. Otozai, R. Arakawa, M. Morita, Prog. Theor. Phys. 50, 1771 (1973).

[38] Y. Izawa, C. Yamanaka, Phys. Lett. 888, 59 (1979).

[39] A. V. Andreev et al., J. Exp. Theor. Phys. 91, 1163 (2000).

[40] A. V. Andreev, V. M. Gordienko, A. B. Savel'ev, Quantum Electron. 31, 941 (2001).

[41] D. Kekez, A. Ljubicic, K. Pisk, B. A. Logan, Phys. Rev. Lett. 55, 1366 (1985).

[42] J. J. Carroll, S. A. Karamian, L. A. Rivlin, A.A. Zadernovsky, Hyperfine Interaction 135, 3 (2001).

[43] F. Floux et al., Phys. Rev. A 1, 821 (1970).

[44] L. J. Perkins et al., Nucl. Fusion 40, 1 (2000).

[45] J. Zweiback et al., Phys. Rev. Lett. 85, 3640 (2000).

[46] H. Takabe, J. Plasma Fusion Res. 77, 1097 (2001).

[47] T. Z. Esirkepov et al., J. Exp. Theor. Phys. Lett. 70, 82 (1999).

[48] T. Tajima, G. Mourou, Phys. Rev. Spec. Topics Accelerators Beams 5, 031301 (2002).

إشعاعات X تُعيِّن بدقة أهدافاً ورمية★

ملخص

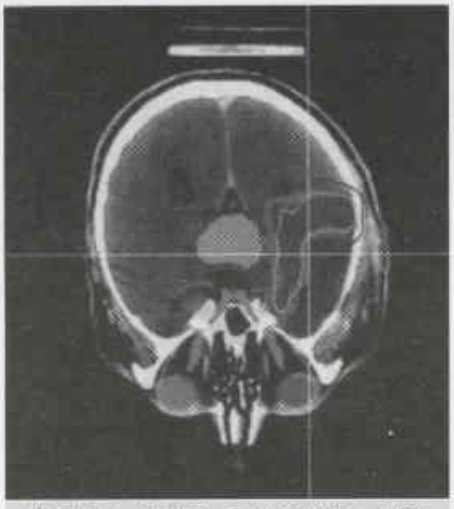
يمكن للمداواة بأشعة معدَّلة الشدة أن تُسدِّد للأورام جرعات دقيقة من إشعاعات X، في حين يترك النسيج السليم المحيط بها غير متضرر نسبياً. ويفحص متين دُرّاني M. Durrani بعناية إنجازات حديثة طرأت على تقنية المعالجة الإشعاعية هذه.

الكلمات المفتاحية: مداواة إشعاعية، ورم، التصوير المقطعي الطبقي المحوسب، سرطان البروستات، ورم الثدي.

في كانون الثاني (يناير) من عام 1896، عندما قام جرّاح في مدينة برمنجهام باستخدام صورة أشعة X لمساعدته على إزالة إبرة مطمورة داخل يد امرأة.. أضحت هذه الحادثة تمثل أول عملية في التاريخ الطبي يجري توجيهها بأشعة X. ومنذ ذلك الحين، أصبحت إشعاعات X تستخدم على نطاق واسع في التصوير الطبي؛ وفي الوقت الراهن، يزوّدنا "التصوير المقطعي الطبقي المحوسب computed tomography" بصور شديدة الدقة لمقاطع عرضية ثنائية البعد للجسم البشري. وتُحدث التقنية المذكورة صوراً من خلال تمرير إشعاعات X بمحاذاة مستوى محدد عبر الجسم كما تقوم بتسجيل الإشارات المرسلة من زوايا مختلفة. ويتيح لنا المسح بالتصوير المقطعي الطبقي المحوسب (CT scan) تحديد موقع الأورام ورؤيتها بميز قدره 1mm.

لكنه، إضافة إلى التصوير، هنالك مزيد من الاستخدامات لأشعة X، إذ يمكنها أيضاً أن تعالج المرضى من خلال قتلها للأورام السرطانية. فعندما تتأثر إشعاعات X مع النسيج فإنها تُحرِّر جذوراً شديدة التفاعلية تعمل على تحطيم الخطوط المضاعفة في جزيئات الدنا (DNA)، كما تُسبِّب موت الخلايا السرطانية ذات الانقسام السريع. ونظراً لأن إشعاعات X تقتل النسيجين السليم والمعتلّ كليهما بدرجة متساوية، لذلك يغدو أمراً جوهرياً الإقلال ما أمكن من الأشعة التي تتلقاها الأعضاء والأنسجة السليمة المحيطة بالورم. وعليه فإن الهدف من المداواة الإشعاعية إيجاد الموقع الدقيق لورم ما عن طريق إجراء مسح CT أو أي تقنية أخرى للتصوير، من ثم العمل على تركيز إشعاعات X فوق هذا الورم لتخريب النسيج المعتل.

وتكمن إحدى الصعوبات التي نواجهها عند استخدام إشعاعات X في أنه لا يمكن تبئيرها بواسطة العدسات التقليدية. لذلك، كان إجراءً قياسياً أن يجري تكييف حزمة أشعة X إلى أن يتلاءم المقطع العرضي للحزمة مع الخط المحيطي المسقط للورم. وبالطبع، سيؤدي إطلاق حزمة كهذه باتجاه واحد فقط إلى إيداع جرعة عالية جداً في النسيج السليم المتوضع بين سطح الجسم والورم ذاته. لذلك يجري وضع المرضى على طاولة عند مركز الحامل المغلف لمنبع أشعة X. ويجري تدوير الحامل الأخير في قوس دائرية حول المريض، كما يجري توجيه إشعاعات X إلى الورم من عدة زوايا مختلفة في الأبعاد الثلاثة. وتكون الجرعة أعظمية في مكان تراكب الأشعة تاركةً النسيج المحيط بالورم غير متضرر نسبياً.



الشكل 1. يمكن لمداواة إشعاعية معدلة الشدة، محددة الرقعة أن تستهدف الأورام الدماغية بالجرعة الإشعاعية الموسى بها.

وبدلاً من أن يتم ببساطة تسديد الحزم المنوّه بها آنفاً باتجاهات اختيارية، يحاول الفيزيائيون الطبيون الذين يعملون مع الأطباء والمختصين بعلم الإشعاع أمثلة كل من شدة الإشعاع وعدد التوجيهات المختلفة للحزم، ويجري تحقيق هذه الأمثلة من خلال تقنية تعرف باسم "التخطيط العكسي inverse planning" ففي البداية، يعين الفيزيائي الطبي التوزع المرغوب للجرعة الثلاثية البعد، ثم يضع على المشكلة تقييدات مختلفة، كأن يحدد الجرعة العليا التي يمكن لنسيج طبيعي أن يخضع لها. بعد ذلك يجري استخدام خوارزمية حاسوب لحساب الكيفية اللازمة لتسديد إشعاعات X.

اختلاف في أشعة X

حتى عهد قريب، لم يكن ممكناً إلا استخدام حزم أشعة X ذات الشدات المتجانسة. لكن الفيزيائيين الطبيين تمكنوا حالياً من تطوير طرق لتعديل أو تكييف شدة إشعاعات X عبر كل حزمة. هذه المرونة الإضافية تُمكن الجرعة الإشعاعية لتصبح إلى حد بعيد مصممة بدقة كي تلائم الورم، كما تُشكل الأساس للمداواة بالإشعاع المعدل الشدة intensity-modulated radiation therapy، أو ما يطلق عليه اختصاراً IMRT. والتقنية الأخيرة ملائمة بشكل جيد لعلاج ما يقدر بحوالي 30% من الأورام التي تتمتع بخفضات أوتقعرات على سطوحها، كما أثبتت نجاحها بشكل خاص في علاج سرطان الموثة (البروستات) وأورام الثدي.

وإحدى طرائق تعديل الشدة كتابع للموضع عبر حزمة أشعة

★ نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, AUGUST 2003 . ترجمة هيئة التحرير . هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

X هي تحريك قطع من التنغستين ذات تصميم خاص داخل وخارج الحزمة لفترات زمنية مضبوطة بدقة؛ حيث يمتص التنغستين أشعة X ويسمح للشدة عبر كل حزمة منفصلة أن تتغير حسب الطلب. وقد قامت شركة NOMOS الأمريكية، في أوائل التسعينيات، بتطوير أول نبيطة عملية من هذا القبيل عرفت باسم "مُجمِّع تعديل الشدة متعدد الريشات multivane intensity modulating collimator" أو ما يعرف اختصاراً باسم MIMiC أو حيث إن النبيطة المذكورة قد أصبحت متوفرة وسهلة المنال منذ ما يقارب العشر سنوات، لذلك يمكن أن تُجهَّز بها جميع المسرعات الخطية المولدة لأشعة X المتوفرة حالياً.

وطريقة أخرى لتغيير شدة الحزمة تكمن في إمكانية إجراء تكييف سريع للمُجمِّعات المشكلة للحزمة. فباستخدام إلكترونات ذكية وضبط بالحاسوب يمكن بدقة تغيير السرعة التي تسمح بها المجمِّعات عبر الحزمة. ويمكن إلى حد بعيد التحكم بالجرعة عند أي نقطة محددة داخل الورم بواسطة الزمن الذي تبقى خلاله هذه النقطة على مسار رؤية واضحة للمنبع. والتقنية المذكورة آنفاً والمعروفة باسم "التجميع الديناميّ ذي الأوراق المتعددة dynamic multi-leaf collimation" متوفرة على نطاق تجاري من شركة فاريان للأنظمة الطبية Varian Medical Systems في مدينة بالو آلتو بولاية كاليفورنية.

وخيار ثالث يكون بتشكيل الحزمة باستخدام المجمّعات على أن يتم تحريكها فقط عندما لا تكون الحزمة في وضع الإيقاد؛ ويطلق على هذا الأسلوب اسم "الخطوة ثم الرمي step-and-shoot" أو ما يعرف "بالمجمّع الساكن ذي الأوراق المتعددة static multi-leaf collimator" والذي قامت بتسويقه تجارياً شركتا إلكتا لأنظمة علم الأورام Electa Oncology Systems في ستوكهولم بالسويد، وسيمنس للأنظمة الطبية. كما أن إحدى هذه الأنظمة تتوفر لدى مشفى كريستي Christie في مدينة مانشستير بالمملكة المتحدة حيث استخدم في معالجة مرضى مصابين بسرطان المثانة.

"تعدُّ المداواة بالإشعاع المعدل الشدة (IMRT) تقنية ناجحة فعلاً في تجنب النسيج السليم."

ممارسة سريرية

يبدو أن المداواة بالإشعاع المعدل الشدة، أو ما يطلق عليه IMRT، تمثل قطعة رائعة من الفيزياء، لكنها هل ستكون مفيدة على صعيد العيادة أو المستوصف؟ لقد تحقق معظم النجاح حتى تاريخه باستخدام نبيطة ميمك MIMiC والتي- حسب رأي شركة NOMOS - تم استخدامها في معالجة ما يزيد عن 20000 مريض يتوزعون على أكثر من 350 منشأة معظمها في الولايات المتحدة. وفي هذا السياق، تفيد شركة NOMOS أنه سيكون لطريقة IMRT أعظم الفائدة بالنسبة للأفراد المصابين بسرطان الموثة، والأورام الدماغية، أو سرطانات الرأس والرقبة؛ كما أنها بشكل خاص ستكون قادرة على معالجة أورام غريبة أو شاذة لم يكن ممكناً في السابق معالجتها بالمداخلة الجراحية، أو أورام تغلف أو تقع بالقرب من أعضاء حرجة.

يجري في البداية فحص المرضى إما بتقنية CT أو بأي تقنية أخرى للتصوير، كالتصوير بالتجاوب المغنطيسي أو التصوير المقطعي الطبقي بالإصدار البوزتروني. وبعد أن يتم تحديد حجم وموضع الورم، يقوم فريق طبي بإقرار برنامج للمعالجة يتضمن حساباً لما يلزم من العدد الأمثل والاتجاه والشدة لحزم أشعة X. وتستغرق المعالجة الإفرادية النموذجية بطريقة IMRT فترة زمنية تراوح بين 15-30 دقيقة، هذا مع العلم أن كامل سلسلة المعالجات يمكن أن تستمر لفترة تصل إلى 40 يوماً وذلك تبعاً لحجم وموضع الورم.

ويُعدُّ حساب مجموعة الشدات الإشعاعية التي ستحدث توزع الجرعة المرغوب فيه إجراءً فيه شيء من التحدي ويتطلب الكثير من الخبرة الحاسوبية؛ كما سيتضمن عموماً الإقلال ما أمكن للفرق بين كل من الجرعة المحسوبة والموصوفة المسددة إلى حجم الهدف. وقد يغدو الحساب عملية على درجة عالية من اللاطواعية بحيث يصبح عملياً كل من عدد واتجاه الحزم ثابتاً إلى حد ما بينما تترك الشدة فقط كعامل متغير.

وأحد البدائل لما سبق هو نهج مونت كارلو الذي يستخدم على نطاق واسع في كثير من القطاعات الأخرى للفيزياء. والفكرة هنا هي التنبؤ بالجرعة من خلال حساب كيفية مرور الفوتونات عبر "شبح phantom" ثلاثي البعد لمريض تم إنتاجه من بيانات CT (التصوير المقطعي الطبقي المحوسب). وفي عملية المحاكاة، يختار فوتون ما عشوائياً ثم يجري التنبؤ بمساره عبر الجسم اعتماداً على احتمال تأثره مع النسيج. وبأداء عديد من المحاولات العشوائية المذكورة آنفاً يمكن بدقة تحديد الدقة الإشعاعية.

ويقول فرانك فيرهاغن F.Verhaegen المتخصص في الفيزياء الطبية لدى جامعة ماكغيل McGill في مونتريال والذي ساعد على تطوير التقنية: "تعد محاكاة مونت كارلو أعظم كثيراً في دقتها من أي تقنية تقليدية لحساب الجرعة الخاصة بنسيج سليم محيط بعضو هدف. فكثير من الحسابات التقليدية تفترض أن المريض يتألف من ماء فقط، آخذة بعين الاعتبار تأثير العظام والهواء والأعضاء بشكل تقريبي فقط. ورغم أن مثل هذه الحسابات تتنبأ بالجرعات المسددة للأعضاء الهدف بدقة معقولة أو (معتدلة) إلا أنها غالباً ما توصل الجرعة إلى النسيج السليم بخطأ قد يصل إلى 50%. وبمقارنة نهج مونت كارلو مع تقنيات أخرى، تبين أيضاً وجود فروق صغيرة في الجرعة المحسوبة المسددة لأعضاء هدف لكنها تظل فروقاً معنوية بقدر قد يصل إلى 10%".

الشكل 2: تعمد المجمعات المتعددة الأوراق والموثقة بدقة إلى استخدام سلسلة من أوراق التنغستين كي تشكل وتوجه حزمة الأشعة نحو الورم.

ورغم أنه لم تُجر حتى تاريخه تجارب سريرية تستخدم نهج مونت كارلو، إلا أن الباحث فيرهاغن واثق من أن نتائج البحث ستقود في نهاية المطاف إلى استخدام النهج المذكور داخل المستوصفات؛ وفي هذا السياق، يقول الباحث فيرهاغن: "معظم

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

الناس متفقون على أن مونت كارلو هي الطريقة الواجب اتباعها مستقبلاً، ولو أن بعض الزيادة في القدرة الحاسوبية لا يزال أمراً ضرورياً قبل التمكن من استخدام هذه الطريقة داخل المستوصف بالسرعة المطلوبة".

تجارب وبلايا

يعود الفضل في أن تصبح تقنية IMRT سهلة المنال في أمريكا الشمالية إلى مراكز المشافي الجامعية الرائدة، كمؤسسة ميموريال سلون كيترنغ للسرطان Memorial Sloan Kettering Cancer institute في مدينة نيويورك. من جهة أخرى، نجد أن الكثير من مواقع استخدام التقنية في الولايات المتحدة – وبخاصة في المراكز الصغيرة – مُسيَّر بحقيقة أنه بإمكان المشافي أن تسترد جميع النفقات المترتبة (أو ما يزيد عليها أحياناً) من شركات التأمين للمرضى. ويخشى بعض الأطباء أن يكون التعويض الذي تدفعه شركات التأمين مشجعاً للمستوصفات على استخدام التقنية رغم عدم وجود دليل سريري قاطع يؤكد فعاليتها في العلاج.

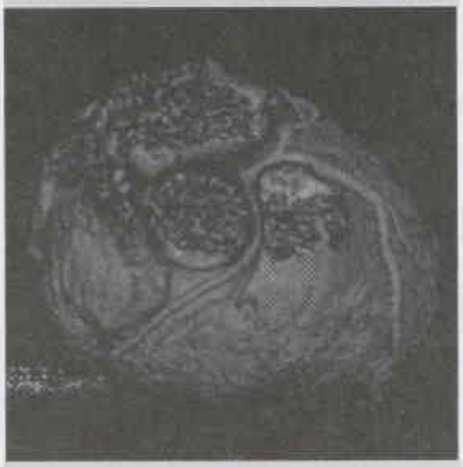
وفي أوربا، تعني التنظيمات الأشد قساوة أن تقنية IMRT – مثل جميع التقنيات الطبية الأخرى الجديدة – لا يمكن استخدامها روتينياً إلا بعد أن يثبت نجاحها في تجارب سريرية صارمة. ولهذه التجارب التي قد تستغرق عديداً من السنوات ثلاثة أطوار مميزة. أولاً، لابد من تبيان أن تقنية IMRT، لا يمكنها إحداث أذية للجسم. وثانياً، هنالك حاجة لإثبات أن تقنية IMRT، باستخدامها جرعات إشعاعية عالية، يمكنها بالفعل أن تفيد المريض. أما الطور الثالث – وهو الاختبار الحرج المعوَّل عليه – فيتضمن تنفيذ تجربة "ثنائية التعمية* double-blind" تجري فيها معالجة نصف عدد المرضى باستخدام مداواة إشعاعية تقليدية في حين يعالج النصف الآخر باستخدام تقنية IMRT.

في أيلول (سبتمبر) من عام 2000، بدأ الباحث ديفد ديرنالي D. Dearnaley ورفاقه العاملون في المملكة المتحدة لدى كل من مؤسسة أبحاث السرطان ومشفى اتحاد مارسدن NHS الملكي بتجارب الطور الأول ليتبينوا فيما إذا كانت تقنية IMRT قادرة على علاج سرطان الموثة وقادرة في الوقت ذاته على علاج العقد اللمفاوية الحوضية حيث يوجد احتمال عال لانتشار المرض. كذلك بدأت للتوّ تجربة أخرى في مشفى مارسدن الملكي بقيادة كريس نيتنغ C. Nutting وذلك من أجل اختبار تقنية IMRT في معالجة أورام الرأس والرقبة. وفي الوقت ذاته، يقوم الباحث بيتر ولیامس P. Williams ورفاقه العاملون لدى مشفى كريستي Christie Hospital باستخدام تقنية IMRT لمعالجة مرضى يعانون من سرطان المثانة.

وفي المملكة المتحدة، تقوم حالياً مجموعة بقيادة الباحثين جون يارنولد J. Yarnold وفيل إيفانس P. Evans العاملين لدى مشفى مارسدن الملكي، بتنفيذ التجربة الوحيدة للطور 3 الخاص باختبار تقنية IMRT، وترغب هذه المجموعة أن ترى فيما إذا كان من الممكن للتقنية المذكورة أن تعالج الأذى التجميلي للثدي من خلال توزيع الجرعة الإشعاعية بشكل أكثر انتظاماً مما هو عليه في تقنيات أشعة X السائدة حالياً. هذا، مع العلم أن تقنيات أشعة X الأخيرة تعتمد على إيداع جرعات إشعاعية عالية نسبياً لدى مواقع معينة داخل الثدي الأمر الذي يسبب أذىً يُسيء إلى النسيج الطبيعي.

ورغم أن آخر المرضى في التجربة، وعددهم 302، قد عولجوا عام 2000 إلا أن التجربة ستتطلب سنتين إضافيتين من أجل إقرار النتائج النهائية. وفي هذا السياق، يقول إيفانس: "من الممكن أن يستغرق أذى الإشعاع، كتورم النسيج عدة سنوات حتى يظهر للعيان؛ ونحن بحاجة لأن تستمر مشاهداتنا ستة وسنتين وخمس سنوات بعد انتهاء المعالجة كي نتأكد من نجاعة العلاج". وفي الوقت الراهن، هنالك خطط لتنفيذ تجربة على الصعيد الوطني بهدف تبيان فيما إذا كان الثدي بكامله يتطلب التشعيع عند معالجة الورم أو أن الأجدى يكون باستهداف موقع منه فقط، وقد أبدى ما يزيد عن 30 من المشافي في المملكة المتحدة اهتماماً بالمشاركة في هذه الدراسة.

تاريخ موجز لتقنية التصوير المقطعي الطبقي المحوسب (CT)



من الممكن إرجاع أصول جميع التقنيات الطبية المعتمدة على إشعاعات X، والمستخدمة في الوقت الحالي، إلى العمل الذي نال بموجبه الباحث ولهلم كونراد رونتجن الجائزة الأولى لنوبل في الفيزياء عام 1901. أما العمل الذي قاد إلى إدخال تقنية التصوير المقطعي الطبقي المحوسب (CT) فهو أقل شهرة من حيث تتبع أصوله. وبأسلوب بسيط، يمكن القول بأن تقنية CT تتيح الحصول على معلومات ثلاثية البعد من صور لأشعة X ثنائية البعد. قام بتطوير تقنية CT كل من الطبيب الآن كورماك A.Cormack من جنوب إفريقية، وغودفري هاونسفيلد G.Hounsfield الذي كان يعمل على الرادار لدى القوات الجوية الملكية قبل التحاقه بـ EMI في عام 1951. أنجز كورماك العمل النظري عندما كان يعمل لدى جامعة تفتس Tufts في أوائل الستينيات، في حين قام هاونسفيلد بتصميم وبناء الماسحات الأولى؛ وقد تقاسم الباحثان المذكوران جائزة نوبل في الفيزياء أو الطب لعام 1979.

السبيل إلى النجاح

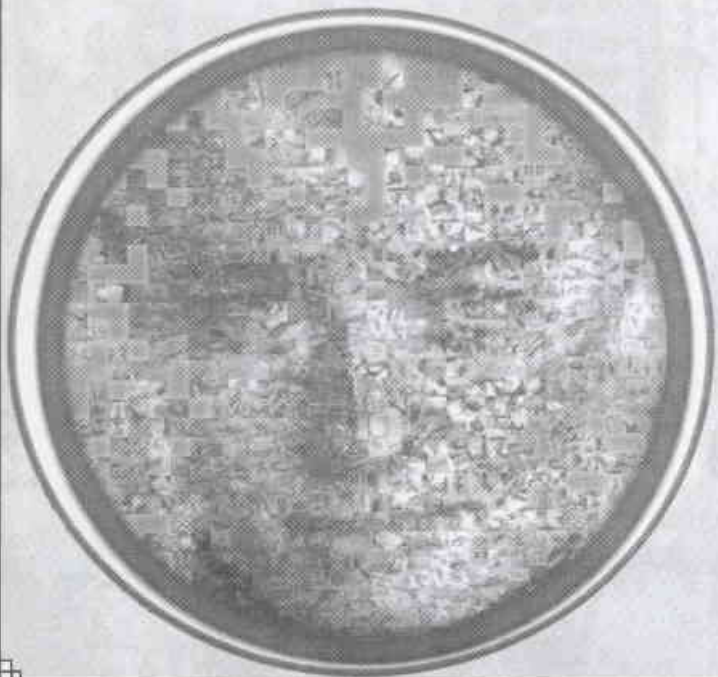
يقول الباحث آرت بوير A.Boyr من جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة: "تُعدّ IMRT من التقنيات الناجحة حقاً، وبخاصة من خلال مساعدتها على تجنب النسيج الطبيعي في مرضى السرطان؛ فالمرضى المصابون بسرطان الموثة –على سبيل المثال– لن يعانوا في نهاية المطاف الدرجة نفسها من الاضطرابات المعدية – المعوية التي يمكن أن تنشأ أثناء المداواة الإشعاعية التقليدية؛ كذلك كانت تقنية IMRT مفيدة لأولئك المصابين بسرطان الرأس والرقبة من خلال تجنب تشعيع الغدد المنتجة للعاب داخل الفم".

وكما هو الحال في جميع التقنيات المتقدمة في مجال علم الأورام الإشعاعي، يعدُّ تأمين التمويل والكادر المؤهل أمرين جوهريين إذا أردنا لتقنية IMRT أن تصبح شيئاً مألوفاً وعادياً. وفي هذا السياق يعود الباحث بوير ثانية ليقول: "توجد لدى أقسام علم الأورام الإشعاعي التابعة للمشافي زيادة عامة في الطلب على كادر مؤهل لا بد له أن يحل محل أولئك الذين أصبحوا متقدمين في العمر من جيل ما بعد الحرب العالمية الثانية. إن المصنعين ببنائهم للتجهيزات الملائمة قد أنجزوا عملاً جيداً، لكن التحدي يظل في إيجاد عدد كاف من الأفراد ذوي التدريب الجيد والمؤهلين القادرين على دعم التقنية في وسط معقد للمشافي".

* تجربة مصممة بشكل موضوعي بحيث يجهل الباحث أولئك الذين تلقوا معالجة ما، كما يجهل المريض نوع المعالجة التي تلقاها.

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

أخبار علميّة



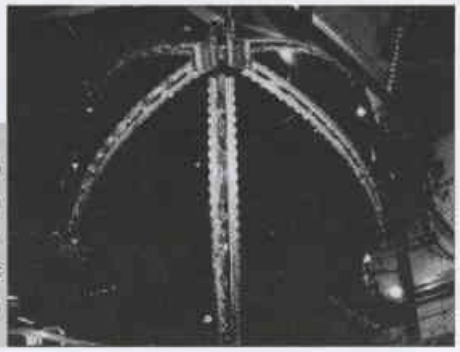
1- خماسيات الكواركات تتوارد بكثرة*

بعد ثلاثين سنة من البحث، وجد الفيزيائيون أخيراً دليلاً على ذوات الكواركات الخمسة - وهي جسيمات تحتوي على خمسة كواركات. إن معظم الجسيمات هي إما ميزونات، تحتوي على كوارك وكوارك مضاد، أو باريونات، تحتوي على ثلاثة كواركات أو ثلاثة كواركات مضادة. ولقد اكتشف الفيزيائيون النوويون الآن في كل من اليابان وروسيا والولايات المتحدة وألمانيا جسيماً يحتوي على كواركين فوق up quarks، وكواركين تحت down quarks وكوارك مضاد غريب واحد strange antiquark. الاسم الرسمي للجسيم الجديد، والذي تماثل شحنته شحنة البروتون، هو ثيتا زائد (Θ⁺) theta plus.

لقد كان أول ظهور لخماسي الكواركات في تشرين الأول/ أكتوبر من عام 2002 عندما أعلن تاكاشي ناكانو T. Nakano من جامعة أوساكا وزملاء في المجموعة المتعاونة العاملة في LEPS (مفاعل تابع لـCERN) عن دليل على وجود جسيم كتلته 1.54GeV وذلك في مؤتمر في اليابان. لقد كانت كل من كتلة الجسيم وعرض قمته - الأقل من 25MeV - على اتفاق مع التنبؤات النظرية التي وضعها دميتري دياكونوف D. Diakonov وفيكتور بيتروف V. Petrov ومكسيم بولياكوف M. Polyakov من معهد الفيزياء النووية في بطرسبورغ في عام 1997 (Z. Phys. A 359 305).

كان دياكونوف قد قابل ناكانو في مؤتمر في Adelaide في أستراليا عام 2000 وشجعه على البحث عن خماسيات الكواركات مع تجربة LEPS، المقامة في منشأة الإشعاع السنكروتروني SPring-8 synchrotron-radiation facility في اليابان. تساءل فيزيائيون عديدون عما إذا كان فريق LEPS قد كشف بالفعل عن خماسيات الكواركات، لكن هذه الشكوك تلاشت عندما أعلنت أربع تجارب أخرى - واحدة في كل من الولايات المتحدة وروسيا، واثنتان في ألمانيا - نتائج مماثلة واحدة تلو الأخرى وبصورة متسارعة.

إن قمم الجسيم التي شوهدت في ثلاث تجارب كانت قد نشرت أوراقاً علمية من قَبْل - وهي LEPS، و تجربة CLAS التي أجريت في مختبر جِفرْسون بفرجينيا، وتعاون DIANA في مختبر ITER في موسكو - ذات أهمية بالنسبة للانحرافات العيارية 4.6 و5.3 و4.4 على الترتيب، والتي تعني أنه ليس هناك سوى فرصة ضئيلة جداً أن يعزى أي من هذه القيم إلى الحظ الإحصائي. كما أظهرت تجربة HERMES التي أجريت في مختبر DESY في ألمانيا ورأت مجموعة أخرى تعمل لدى مسرّع ELSA في بون دليلاً أيضاً على جسيم ذي خمسة كواركات.



نجمة خماسية - تعد التجربة CLAS في الولايات المتحدة واحدة من خمس تجارب للكشف عن ذوات الكواركات الخمس

وعليه ما الذي يعنيه الاكتشاف الجديد بالنسبة للديناميك اللوني الكمومي (الكروموديناميك) (QCD)، وهو النظرية التي تصف القوة الشديدة في النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات؟ إن الديناميك اللوني الكمومي نظرية صعبة كما هو معلوم، والحسابات الدقيقة ليست ممكنة في الوقت الحاضر عند الطاقات المنخفضة العائدة لذوات الكواركات الخمسة والباريونات الدخيلة كالبروتونات والنترونات. "إن 99% من كتلة المادة المرئية من حولنا مكونة من النكلونات - أي بروتونات ونترونات - ولكننا مازلنا لا نفهمها تماماً، " كما يقول دياكونوف الذي يستقر الآن في نوردیتا NORDITA في مدينة كوبنهاغن. " وبالنسبة لي، فإن Θ هو في الدرجة الأولى من الأهمية لأنه يلقي ضوءاً جديداً على النكلونات القديمة. "

وفي الحقيقة تنبأ دياكونوف وزملاؤه بعشرة جسيمات جديدة - an antidecuplet - في ورقتهم العلمية عام 1997. وهو يعتقد بأن اثنين آخرين من هذه الجسيمات قد تمَّ الكشف عنهما مسبقاً، لكن كان يوجد اشتباه فقط مع تجاوبات جسيم آخر. ويقول دياكونوف: إن الخطوة التجريبية التالية ستكون قياس الأعداد الكمومية لـ Θ مثل السبين spin، والسبين النظيري isospin والنديّة parity. ويضيف قائلاً إنه سيكون من المهم أيضاً أن نقيس حجم الجسيم الجديد لنعرف ما إذا كان عبارة عن حالة مقيدة لخمسة كواركات أو "جسيم" مكوّن من حالة ذات كواركين مربوطة بحالة ذات ثلاثة كواركات.

في التجربة اليابانية تمَّ بعثرة فوتونات بطاقة منخفضة مأخوذة من ليزر على إلكترونات في حلقة التخزين Spring-8 storage ring لإنتاج أشعة غاما العالية الطاقة التي وجهت فيما بعد نحو هدف بلاستيكي. لقد فتش الفريق LEPS عن دليل لتصادمات تفاعلت فيها فوتونات أشعة غاما مع نترونات في الهدف لتولد كاؤون kaon سالب (وهو ميزون يحتوي على كوارك غريب) وخماسي الكواركات، الذي تفكك بعد ذلك إلى كاؤون موجب ونترون.

"المرحلة التالية هي الحصول على معطيات أكثر، " كما يقول كِن هيكْس K. Hicks من جامعة أوهايو في الولايات المتحدة، والعضو في كل من LEPS و CLAS. صُمِّمت نسخة معدلة من CLAS لتدرس بالتحديد خماسيات كواركات بعيد قبولها من لدن مختبر جِفرْسون.

* نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World, AUGUST 2003 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

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

ستنتج هذه التجربة عشرين ضعفاً من نوات الكواركات الخمسة التي تنتجها التجربة الأولى وستمكن هيكس والعاملين معه من قياس زمن حياة خماسي الكواركات وأعداده الكمومية، بالإضافة إلى البحث عن الجسيمات ذات العلاقة أمثال "شريك partner" بدون شحنة. ويضيف هيكس قائلاً "توجد تنبؤات نظرية لخماسيات كواركات أخرى، ذات كتلة أعلى، بل حتى جسيمات سباعية الكواركات، ولكننا لن نعلم ما إذا كانت موجودة ما لم نفتش عنها تجريبياً".

2- أشعة غاما لها زاوية مغنطيسية*

يشير اكتشاف إشعاع مستقطب من دُفقات أشعة غاما – وهي أكثر الأحداث الكونية نشاطاً من حيث الطاقة – إلى أنها تستمد قدرتها من حقول مغنطيسية قوية ناتجة عن المستعرات الفائقة.

في شهر كانون الأول/ديسمبر من عام 2002 وفي جامعة كاليفورنيا في بِرْكلي كان الفلكيون محظوظين. فقد ظهرت في السماء دُفقة (دفعة) ساطعة من أشعة غاما bright gamma-ray burst في حدود 18° من الشمس، وكانت قريبة بما يكفي كي يلتقطها الساتل الشمسي RHESSI solar satellite. وبعد أن حلّل واين كوبورن W. Coburn وستيفن بوغز S. Boggs المعطيات من الساتل تبين لهما أنهما قاما باكتشاف عظيم وهو أن أشعة غاما من الانفجار – والمسماة GRB021206 – كانت مستقطبة استقطاباً خطياً، وأن النسبة التي يبلغها ذلك الاستقطاب لم تكن صغيرة، فقد وصلت إلى 80% وتلك أعلى نسبة استقطاب يمكن بلوغها نظرياً. يمثل الاكتشاف فتحاً عظيماً وتقدماً في علم فلك أشعة غاما.

تعد دُفقات أشعة غاما من أكثر الحوادث نشاطاً في الكون، إذ يتحول فيها تقريباً 1% من كتلة الشمس إلى طاقة. وفي كل يوم يتم الكشف وسطياً عن حوالي واحدة من الومضات القصيرة من أشعة غاما هذه، والتي تأتي من أي جهة في السماء. يُبيّن التوهج الضوئي اللاحق للدُّفقات بأنها تنشأ من مجرات تبعد بلايين عديدة من السنين الضوئية. لكن ما يسبب الدُّفقات، وكيف يتم بالفعل تشكل أشعة غاما، ظل حتى وقت قريب سراً غامضاً.

ظل الدليل يتعاظم لسنوات عدة بما يشير إلى أن دُفقات أشعة غاما تنتج عن مستعرات فائقة supernovae - وهي انفجارات النجوم الضخمة التي استهلكت كل ما لديها من وقود – وبأن الدُّفقات ربما تكون "صيحاتَ (صرخات) ولادة birth cries" ثقوب سوداء. بعض هذه الدلائل عرَضي أو ثانوي circumstantial. فمنَ المعلوم، على سبيل المثال، أن المجرات المضيفة للدُّفقات هي مناطق تتشكل فيها النجوم الضخمة بكثرة. وعلى كل حال، اكتشف الفلكيون في عام 1998 مستعراً فائقاً كان قد ظهر في الاتجاه ذاته الذي تظهر فيه دُفقة أشعة غاما GRB980425 وفي الوقت نفسه تقريباً. لقد قدم هذا دليلاً مباشراً مهماً، ولكنه ليس حاسماً، للربط بين دُفقات أشعة غاما والمستعر الفائق.

في آذار/ مارس من هذا العام، تمَّ التثبت من هذه الصلة بصورة مثيرة؛ فقد كشف الساتل HETE-2 عن دُفقة من أشعة غاما تثير الدهشة والعجب وكانت من بين أشد الدُّفقات المشاهدة حتى الآن تراصّاً وسطوعاً. تبعد الدُّفقة GRB030329 بليوني سنة ضوئية، وهذا يعني، بدلالة دُفقات أشعة غاما، أنها في الجوار القريب. أوحت المشاهدات الضوئية للتوهج اللاحق للدُّفقة بأن لها الطيف المميز لانفجار مستعر فائق؛ وهو طيف مماثل بشكل واضح لطيف المستعر الفائق المصاحب لـ GRB984025.

نفاثات فائقة

هناك دلائل عديدة اقترحت أن انفجاراً مستعراً فائقاً يستطيع أن يخلق نَفْثاً jet لجسيمات تتحرك بسرعات نسبوية. يُعتقد أن زاوية فتحة النفث بضع درجات، وعندما تصل النفثة إلى مسافة معينة من النجم المنفجر تتحول طاقتها إلى إشعاعات غاما. وعندما تصبح المسافة أكبر، تصدر النفثة إشعاعاً بأطوال موجية أطول، وهو مصدر التوهج الضوئي اللاحق optical afterglow.

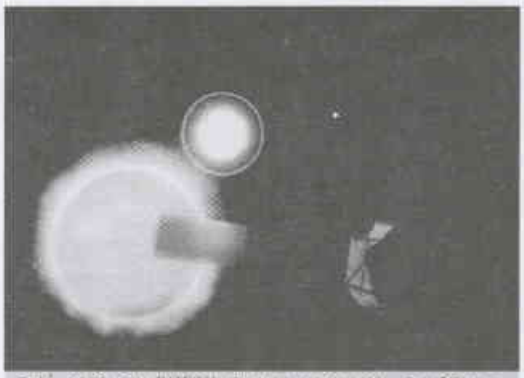
إن الاكتشاف المتميز الذي حققه فلكيو بِرْكلي والذي مفاده أن دُفقات إشعاع غاما ذاتها يُمكن أن تكون مستقطبة استقطاباً شديداً – وهذا يعني أن الأمواج الكهرمغنطيسية تتمتع بتوجه خاص بالنسبة لجهة حركتها – يقترح الآن أن النفثة تدفعها (تغذيها) طاقة مغنطيسية. وهذه الطاقة ربما تأتي من الطاقة الثقالية المتحررة من المادة التي تسقط في ثقب أسود حديث الولادة، أو من طاقة السبين الخاصة بالثقب الأسود ذاته.

والسبب بسيط، فدُفقات إشعاع غاما تظهر على هيئة نقطة لأنها بعيدة جداً بالنسبة للأجهزة فلا تستطيع فصل نفثات المستعر الفائق. ونظراً للأثر الذي يدعى توجيه الحزمة النسبوي relativistic beaming فإن أشعة غاما التي نكشفها تأتي من منطقة صغيرة على رأس النفثة. إذا كان الحقل المغنطيسي داخل النفثة يتولد من تآثر الجسيمات بالمادة المحيطة بالمستعر الفائق، فإنه سيكون شديد التعقيد نظراً لوجود اضطراب. وعليه فأشعة غاما التي نراها من أجزاء مختلفة من هذه المنطقة الصغيرة ستكون مستقطبة في اتجاهات مختلفة، وسيكون الاستقطاب الصافي لدُفقة أشعة غاما المرصودة مساوياً الصفر تقريباً (انظر الشكل).

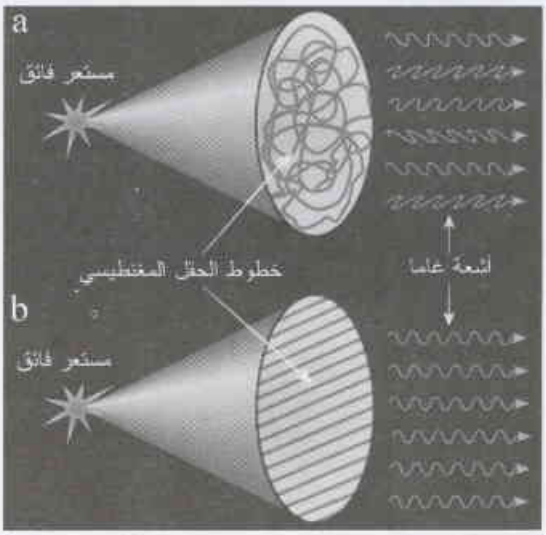
وعلى كل حال، فإن إبطال الاستقطاب هذا يمكن تجنبه إذا كان الحقل المغنطيسي قوياً بما يكفي للتحكم بالمادة في النفثة، وليس العكس. في هذا السيناريو يمكن لحقل مغنطيسي عالي الترتيب -

* نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World, AUGUST 2003 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

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



مواجهة قريبة – الضياع الفضائي عن السائل RHESSI، الذي اكتشف دفقة مستقطبة من أشعة غاما وهو يراقب الشمس في كانون الأول/ ديسمبر من العام الماضي.



بعض النجوم الضخمة تنهي حياتها في انفجارات كان يظن انها تُنتج نفثات تحتوي على حقل مغنطيسي قوي (a) لو كان الحقل المغنطيسي شديد التعقيد. لأصدرت الالكترونات أشعة غاما المستقطبة وفق اتجاهات مختلفة وسيكون الاستقطاب الملاحظ معدوماً تقريباً (b) في حقل مغنطيسي منتظم، سيكون لأشعة غاما جهة الاستقطاب نفسها وسيكون الاستقطاب المرصود عالياً.

يُفترض أن يكون ناشئاً من جوار ثقب أسود ـ أن يوجد في النفثة. إن كل أشعة غاما التي تولدت سيكون لها عندئذٍ نفس الجهة في الاستقطاب، وسيكون الاستقطاب المشاهد عالياً.

وهذا أيضاً يدعم الاستنتاجات التي توصل إليها بينغ زانغ B. Zhang والعاملون معه في جامعة بِنْسِلفانيا الحكومية، وباوان كومار P. Kumar وألين بَنيتسكو A. Panaitescu من جامعة تكساس في أوستين، الذين كانوا يدرسون دُفقتين اثنتين من دفقات أشعة غاما التي حدثت في كانون الثاني/ يناير من عام 1999 وكانون الأول / ديسمبر من عام 2002. لقد اقترحت هذه المجموعات أنه لايمكن فهم التوهج الضوئي اللاحق الساطع لهذه الدُّفقات في أوقات مبكرة جداً – أقل من 10 دقائق بعد الدُّفقة – إلا إذا طغت على الطاقة في الدُّفقات حقول مغنطيسية. لكن الدليل كان معتمداً على الظروف. والآن يبدو أنه يوجد دليل مباشر مفروض بأن الحالة هي هذه بالفعل.

إن المشاهدات التي تمت باستخدام مرصد كومبتون لأشعة غاما في التسعينيات من القرن العشرين قادت الفلكيين للاعتقاد بأن الإصدار السنكروتروني كان مسؤولاً عن إنتاج أشعة غاما. وفي هذه الآلية تُصدر الإلكتروناتُ العاليةُ النشاط (المُنشَّطة بقوة) فوتونات وهي تلتف لولبياً حول خطوط القوة لحقل مغنطيسي شديد. ولكن تبقى هناك تفسيرات أخرى ممكنة، مثل الإصدار الحراري. إن الإشعاع الذي ينتجه الإصدار السنكروتروني مستقطب استقطاباً شديداً، بينما الإشعاع الناتج عن آليات إصدار أخرى ليس كذلك. إن الاكتشاف الذي أفاد بأن GRB021206 كان مستقطباً استقطاباً قوياً يعطي دليلاً مباشراً مقنعاً بأن الإصدار السنكروتروني هو الآلية التي تُنتج أشعة غاما.

نتائج استقطابية

يعد قياس كوبورن وبوغز لأشعة غاما المستقطبة من مصادر فلكية من الأعمال الألمعية. فقياسات الاستقطاب مشهورة بصعوبتها في حالة الضوء المرئي، وهي أشد صعوبة في حالة أشعة غاما. معظمنا على دراية بالنظارات الشمسية الاستقطابية، التي تمتص الضوء المرئي الذي له أحد اتجاهات الحقل الكهربائي في حين تدع الضوء ذا الاتجاهات الأخرى يمرّ من خلالها. النظارات مفيدة للسائقين لأنها تمنع التوهج الناتج عن الضوء المتبعثر من على الغطاء الأمامي لمحرك السيارة، ومن على الطريق الأمامية، والتي أضحت مستقطبة في العملية.

إن قياس استقطاب أشعة غاما مَهَمَّة أشد صعوبة بكثير من قياس استقطاب الضوء المرئي لأن أشعة غاما تحمل طاقة أعلى بكثير من ضوء الشمس ولذا فلها أطوال موجية أقصر. وينتج عن هذا أن أشعة غاما يكون تبعثرها الكومبتوني على الإلكترونات في مركز الجسم بدلاً من التبعثر بصورة مترابطة على الإلكترونات التي تقع عند سطح الجسم.

يحتوي الجهاز RHESSI الذي استخدمته مجموعة بِرْكلي على صفيفين ثنائيي الأبعاد 2D array من تسعة كواشف من الجرمانيوم، لكل منها شكل يشبه علبة الصفيح. يتبعثر جزء صغير من فوتونات أشعة غاما من على الإلكترونات في أحد كواشف الجرمانيوم وبعد ذلك إما أن تبعثرها أو تمتصها الإلكترونات في كاشف آخر. إن أشعة غاما المستقطبة استقطاباً خطياً تفضل أن تتبعثر في الاتجاه العمودي على شعاع استقطابها، وتلك هي الخاصية التي استخدمتها مجموعة بِرْكلي لتبين أن أشعة غاما من الدُّفقة كانت مستقطبة خطياً بشكل كبير.

إن مجموعة بركلي، مع الفلكيين العاملين على التآلف الأوربي لإصدار أشعة غاما، يترقبون بشوق وحماس اندفاع الدُّفقة التالية من أشعة غاما الساطعة في مجال (ساحة) رؤية أجهزتهم. إذا قدمت هذه الدفقة، كما هو متوقع، تأكيداً لاكتشاف فريق بركلي، فمستقبل قياسات استقطاب أشعة غاما سيكون مشرقاً أيضاً.

3-حساب مالا يُحسب*

يمكن بعد عقود من الكفاح أن يتمكن الفيزيائيون قريباً من التنبؤ بخواص مادة مصنوعة من الكواركات. ويمكن لهذا التقدم أن يغيّر وجه فيزياء الجسيمات.

يعاني فيزيائيو الجسيمات الكثير من خيبة الأمل. فعلى مدى ثلاثين عاماً عرفوا الشكل الصحيح للقوة، وأصل هذه القوة، التي تربط الجسيمات الأساسية المسماة كواركات إلى البروتونات والنترونات والعدد الضخم من الجسيمات الأخرى. ومع ذلك فإن نظرية "القوة القوية" تلك معقدة بشكل كبير حيث إن الباحثين كافحوا لإجراء العديد من الحسابات الأساسية مثل حساب كتلة البروتون بشكل دقيق. فكأن لدى الفيزيائيين النظريين نظرية تُثبت أن 5 زائد 5 تعطي عدداً زوجياً ولكن ليس في مقدورهم قطعاً حساب فيما إذا كان ذلك العدد 10 أو 12.

بيد أن هذا ربما يكون يتغير. فبفضل الأفكار المهمة العديدة وبمساعدة الحواسيب القوية يقول الفيزيائيون أنهم على تخوم حل لغز نظرية القوة القوية والمعروفة باسم نظرية التحريك اللوني الكمومي (الكروموديناميك) (QCD). لقد أنجزوا حتى الآن مجموعة أولى من الحسابات العالية الدقة، ويأملون خلال سنوات قليلة بالقيام بعمل وافر من التنبؤات المفصّلة التي ستفتح سُبلاً جديدة من الأبحاث، كما يقول بيتر ليباج p. Lepage من جامعة كورنيل في إثاكا، نيويورك: ويتابع قائلا ً "إن أي إنسان يستطيع أن يأخذ أخطاء النظرية التي تبلغ نموذجياً 20% ويقلّصها إلى 2% سيكون بذلك قد أحدث تأثيراً ضخماً".

ستساعد مثل هذه الحسابات فيزيائيي الجسيمات في التصدي حتى إلى أكبر مصدر من خيبة الأمل: النظرية الشاملة للجسيمات الأساسية. يجمع ما يطلق عليه النموذج المعياري نظريةَ القوة القوية التي تربط الكواركات مع نظريات القوة الكهرطيسية التي تربط الإلكترونات بالنوى في الذرّات والقوة الضعيفة التي تسبب نوعاً من الاضمحلال الإشعاعي. يفسر النموذج بشكل متقن تأثر كل جسيم درس حتى الآن بواسطة المسرّعات الضخمة التي تحطم الجسيمات الضخمة. ومع ذلك فإنه يترك أيضاً أسئلة أساسية دون جواب مثل لماذا تملك الجسيمات الأساسية الكتل التي لها.

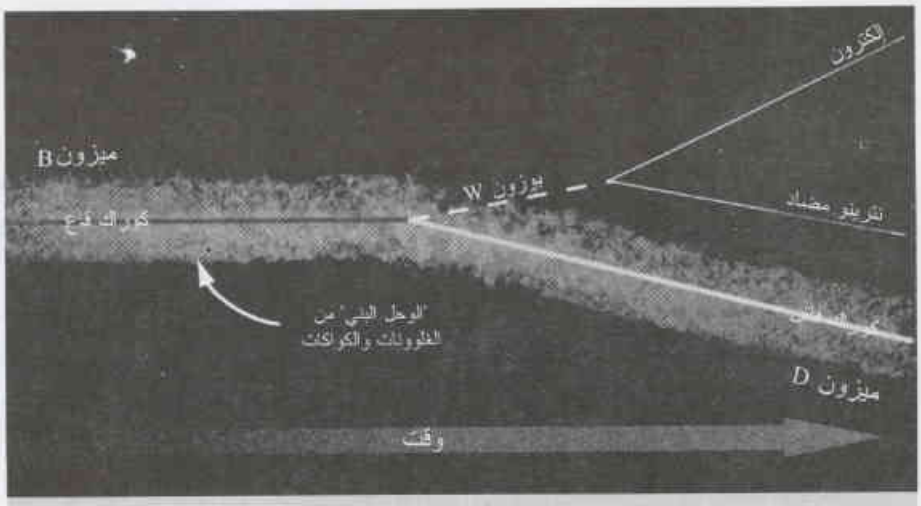
إن القدرة على تحقيق حسابات القوة القوية بدقة عالية يمكن أن تساعد الفيزيائيين التجريبيين على إيجاد ما يقع وراء النموذج المعياري، كما يقول بيرسيس دريل P. Drell. العالم التجريبي في مركز المسرّع الخطي في ستانفورد (SLAC) في مينلو بارك في كاليفورنية. ويتابع قائلاً "إن ذلك يمكن أن يغيّر في كيفية توجيه قياساتنا، وسيكون ذلك رائعاً".

قوى قوية وضعيفة

تتألف المادة العادية، وفق النموذج المعياري، من الإلكترونات ومن نوعين من الكواركات هما، كوارك فوق وكوارك تحت، تتّحدهذه الكواركات لتشكل البروتونات والنترونات في نوى الذرّات. ينبثق جسيم صغير يسمى النترينو من النواة أثناء اضمحلال إشعاعي ذي نوعية خاصة. وتنسخ الطبيعة هذه المجموعة من الجسيمات الأربعة – الكوارك فوق والكوارك تحت والإلكترون والنترينو – مرتين فأكثر إلى الجسيمات الأثقل التي تظهر بسرعة في الوجود أثناء التصادمات العالية الطاقة فقط في مختبرات المسرّعات. يطلق على الكواركات الأثقل الكوارك غريب والكوارك فاتن والكوارك ذروة والكوارك قاع.

تتأثر هذه الجسيمات عن طريق تبادل الجسيمات الأخرى التي تنقل القوى المختلفة. فمثلاً يتحد اثنان من الكوارك فوق والكوارك تحت لتشكيل بروتون وذلك بتبادل جسيمات تسمى غلوونات. تنقل الجسيمات الثقيلة المسماة بوزونات W وZ القوةَ الضعيفة التي تقع في صلب النموذج المعياري، لأنها تحدد كيف يضمحل الكوارك الأثقل إلى الكوارك الأخف. فالكوارك قاع مثلاً يتحول بشكل غريب إلى كوارك فاتن بإصداره بوزون W الذي يمكن أن يتحول بعد ذلك إلى إلكترون ونترينو.

ولسبر حدود النموذج المعياري يجَدْوِلّ الفيزيائيون السرعات التي تضمحل فيها الكواركات الثقيلة إلى الكواركات الخفيفة في صفيفة أعداد تعرف باسم مصفوفة



الشكل 1 - التوحل: تقوم الكواركات الخفيفة والغلوونات بالتعتيم على اضمحلال الكوارك قاع الثقيل.

* نُشر هذا الخبر في مجلة SCIENCE-VOL300, 16MAY 2003 ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

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

CKM. فإذا كان النموذج المعياري يصف جميع الجسيمات، فهنالك توليفات معينة من هذه السرعات يجب أن يكون مجموعها 100%. ولهذا فإن الباحثين يسعون جاهدين لقياس هذه الأعداد بعناية في تجاربهم في SLAC وفي جامعة كورنيل وفي هيئة بحوث المسرع العالي الطاقة (KEK) في تسوكوبا في اليابان وفي مختبر مسرع فرمي الوطني في باتافيا في إلينوي. وإذا لم تكن الأعداد كما هو متنبأ به، فعندئذ من الممكن أن تلوح جسيمات جديدة فوق الطاقة العالية مباشرة.

وفي جميع الأحوال يستطيع الفيزيائيون أن يقيسوا أعداد الـ CKM بمراقبة اضمحلال كواركات مفردة إلى كواركات أخف. ولسوء الحظ، فإن القوة القوية قوية إلى حد أنه من المستحيل عزل كوارك مفرد. إذ يجب على كل كوارك أن يكون مرتبطاً بكتلة متشابكة من الغلوونات إلى الكواركات الأخرى أو إلى كوارك مضاد من المادة المضادة. يمكن للتجارب أن تقيس فقط اضمحلالات جسيمات التوليفة الناتجة ومن ثم تجريب استخلاص أعداد CKM باستخدام حسابات نظرية للتخلص من تأثيرات الكواركات والغلوونات الإضافية. ونظراً لطبيعتها الخاصة فإن القوة القوية تجعل مثل هذه الحسابات صعبة إلى أبعد حد.

الوحل البني

تأمل جسيماً يطلق عليه اسم ميزون B، يتألف من كوارك قاع ثقيل وكوارك مضاد خفيف فوق أو تحت. وإذا تحدثنا بشكل غير دقيق، فإن الكوارك والكوارك المضاد يكونان مرتبطين بالغلوونات مثل ارتباط آجرتين معاً بقليل من الملاط. وفي الواقع الميزون، أعقد من ذلك بكثير. إن الغلوونات نفسها تتبادل الغلوونات لتشكل تشابكاً عكراً. ونتيجة لمبدأ الارتياب لهايزنبرغ فإن أزواج الكواركات والكواركات المضادة تظهر إلى الوجود وتختفي فجأة باستمرار مما يزيد من تعقيد الخبيصة المحيطة بالكواراك قاع ، وهذا ينسجم مع المصطلح التقني "الوحل البني".

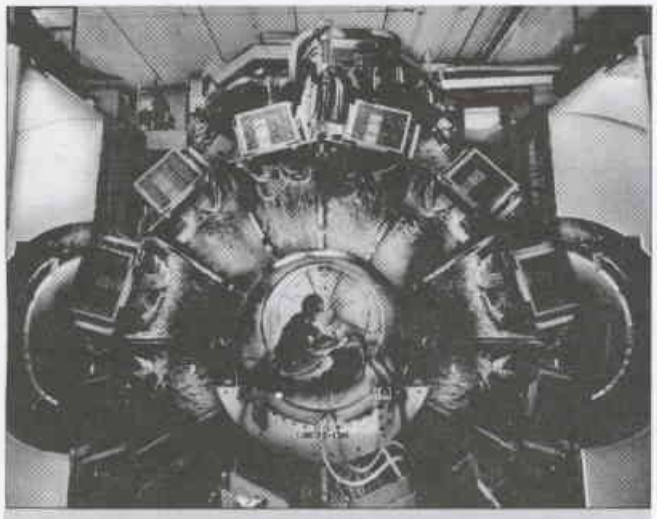
يحتاج الفيزيائيون لقياس السرعة التي تضمحل بها كواركات قاع إلى كواركات فتنة إلى فهم الوحل البني. يجب عليهم للقيام بذلك عادة حساب خواص ترتيبات أكثر فأكثر تعقيداً من الكواركات والغلوونات، مستخدمين بذلك عملية تعرف باسم نظرية الاضطراب. بيد أن تلك المقاربة لا تصحّ من أجل QCD كما يقول مايك كرويتس M. Creutz من مختبر بروكهافن في أبتون في نيويورك. يقول كرويتس "في كل وقت تضيف فيه حداً فإنه يأخذ في التضخّم أكثر فأكثر، ولهذا فإن التقريبات لا تستقر على حَلّ".

ولتجنب هذه المشكلة، يستخدم الفيزيائيون النظريون حواسيب قوية لمحاكاة أكثر التراتيب من الغلوونات والكواركات احتمالاً في داخل الجسيم، ومن ثم استعمال هذه التشكيلات لتعيين خواص الجسيم. ولكن حتى أكثر الحواسيب قدرة تعجز عن التقدم إذا جربت متابعة الكواركات والغلوونات في كل مكان داخل الجسيم. ولهذا يسهّل الفيزيائيون الأمور بتقطيع المكان والزمان المستمرين اللذين يوجد فيهما الجسيم إلى شبكة بأبعاد أربعة من النقاط المتقطعة تدعى شبيكة . ويمكن للكواركات والغلوونات في النموذج الحاسوبي أن تستقر فقط في نقاط الشبيكة، تماماً كما يجب وضع قطع الشطرنج في مربعات محددة وليس في أي مكان على رقعة الشطرنج. يخفض هذا التقييد من الفوضى العسيرة للعدد غير المحدود من المتغيرات إلى مشكلة صعبة جداً تحتوي فقط على عشرات الملايين من المتغيرات. يطلق على هذا الأسلوب شبيكة QCD، وهي تقريباً قديمة قِدَم QCD نفسها.

قدمت شبيكة QCD العديد من الأفكار فيما يخص طبيعة القوة القوية (انظر المؤطر). ومع أن حوسبة الشبيكة بقيت إلى حد ما صعبة جداً لدرجة أن النظريين جاهدوا لعقود من الزمن في إنجاز حسابات واقعية لخواص الجسيمات. وهم في الوقت الحاضر، على أية حال، حققوا ذلك الهدف المراوغ، أو هكذا يقول بعض الفيزيائيين.

كواركات أكثر ذكاءً

بفضل التقدم المفاهيمي الذي تم في العقد الأخير من القرن الماضي، أصبح من الممكن في الوقت الحاضر إنجاز حسابات شبيكة QCD صحيحة ودقيقة في حدود نسبة مئوية قليلة، وذلك نتيجة نقاش تم بين أكثر من عشرين من النظريين من أربع فرق متعاونة مختلفة. ولإثبات ذلك، شكلوا فريقاً لحساب تسع خواص معروفة جيداً من خواص الجسيمات وبيّنوا أن نتائجهم تتفق مع القيم المقيسة بشكل أفضل بكثير من الحسابات التي تمت سابقاً. أعلن الباحثون نتائجهم على الشبكة (Web) الشهر الماضي في ورقة قدمت إلى مجلة Physical Review Letters.



الشكل 1- كسرات متخولة، يأمل الفيزيائيون بأن يجدوا مؤشرات على جسيمات جديدة وذلك بمراقبة اضمحلال الكواركات بمكاشيف هائلة مثل SLAC بأبعاد

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

وللتوصل إلى مثل هذه الدقة، كان على الباحثين أن يتغلبوا على عدة مشاكل عويصة. والأكثر أهمية، أن الباحثين ضمّنوا مجمل الظهور الفجائي إلى الوجود والاختفاء للأزواج كوارك - كوارك مضاد في الوحل البني، وهو الشيء الذي كان النظريون لعدة عقود يهملونه من حساباتهم ببساطة، كما يقول دوغ توسانت D. Toussaint من جامعة أريزونا في توسان. إن تضمين مثل هذه الكواركات لشيء عسير لأسباب رياضياتية، لأن انتقال الكواركات من الحيز الحقيقي إلى داخل حيز الشبيكة المقطعة يجعل عدد الكواركات مضاعفاً من أجل كل بعد من الشبيكة. وهذا يعني أن نظرية الشبيكة QCD الأبسط تحتوي على كواركات أكثر بـ16 مرة مما يريده الباحثون. أعدَّ النظريون عدة طرائق للتخلص من الكواركات الزائدة ولكن ذلك كان يتطلب منهم وضع كتل الكواركات الأخف أعلى بعدة مرات من الواقع، وإلا فلابد من استهلاك قدرة حوسبة كبيرة جداً فلا يعود الأمر عملياً.

ولتجاوز هذه المشاكل، طوّر الباحثون المشاركون في التعاون طريقة قديمة لتخفيف زحمة الكواركات. فقاموا أولاً بنشر كل كوارك على أربعة مواقع شبيكة متجاورة - وهي حيلة قديمة تخفض من عدد الكواركات بعامل يساوي أربعة. وعوضوا من أجل الزحمة الباقية من الكواركات عن طريق تفحّص واضح لحساباتهم واستبدال كميات رياضياتية أساسية غير قليلة بجذورها الرابعة كما تقول كريستين دافيز C. Davies من جامعة غلاسكو في المملكة المتحدة. وتتابع قائلة: "إن الأشخاص الذين بذلوا كثيراً من الجهد لحلّ هذه الشكليات الأخرى سيصابون بنوع من الاشمئزاز عندما يكتشفون أن المسألة يمكن أن تكون بهذه السهولة".

لكن هل هذا صحيح؟

يجادل بعض النظريين، على أية حال، بأن التعديلات المختلفة أفضل من أن تكون صحيحة. يقول مارتن لوشر M. Lüscher من سيرن، المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات قرب جنيف "يوجد، عند المستوى الأساسي، بعض الشك فيما إذا كانت هذه الصياغة صالحة البتة".

ويتابع قائلاً، إن إدخال الجذور الرابعة، على الخصوص، يلعب دوراً مخرّباً مع الكواركات لأن ذلك يسمح للكوراكات المتباعدة بشكل واسع أن تؤثر بعضها على بعض بشكل فوري. وهذا سوف ينتهك المبدأ القائل أنه لا يمكن لتأثير فيزيائي أن يسير بسرعة تزيد عن سرعة الضوء. ويلمّح كرويتس من مخبر بروكهافن بأنه حتى يمكن لمحاكاتهم أن تكون صالحة فعلى الباحثين أن يفترضوا أن كتلة الكواركات فوق والكواركات تحت أكبر بعدد قليل من المرات مما عليه في الواقع وبعدئذ أن يستكملوا بالاستقراء إلى الكتل الصحيحة بعد أن يقوم الحاسوب بدوره. ويقول كرويتس إن ذلك الاستكمال يمكن أن يكون مخادعاً جداً.

تبنى آخرون الموقف انتظر وراقب. يقول ستيف شارب S. Sharpe من جامعة واشنطن في سياتل انه بالرغم من المشاكل غير المحلولة للطريقة الجديدة وللارتيابات التي تسببها، فإنه من الجدير السير قدماً في الحسابات، ويتابع قائلاً "ستحقق الحسابات تقدماً بالسير بالعمل حتى ولو لم يكن كل شيء تحت السيطرة تماماً".

ومن ناحيتهم، فإن الباحثين الذين قاموا بإجراء الحسابات يرون أن عملهم هو خطوة أولى، ويخططون بعد ذلك إلى حساب خواص الميزونات D التي تحتوي على كوارك فاتن ثقيل والذي سيدرسه بالتفصيل في جامعة كورنيل في السنوات القليلة القادمة. ويأملون بأن يعالجوا ميزونات B التي تُدرس في SLAC وKEK والتي يمكن أن تقدم الفرصة المثلى لأحداث ثغرة في النموذج المعياري. وإذا ما سارت جميع الأمور بشكل جيد، فيمكن لحساباتهم أن تحدّد الطريق إلى جسيمات جديدة وإلى نظرية للمادة أكثر تكاملاً. وأما بالنسبة للنظريين فسيكون ارتياحهم غير قابل للحساب.

المؤطر

الآلات العملاقة

نشرت شبكة التحريك اللوني الكمومي (الكروموديناميك) (QCD) لماذا من المستحيل عزل الكوارك، وكشفت التناظرات الخفية والغامضة للقوة القوية، وتنبأت بدرجة الحرارة التي تنصهر فيها البروتونات والنترونات. وقد تطلّب مثل هذا التقدم كلاً من الأفكار الفيزيائية الحاذقة والحواسيب الأفضل دائماً، كما يقول نورمان كريست N. Christ من جامعة كولومبيا في مدينة نيويورك.

يطوّر الباحثون من جامعة كولومبيا، ومختبر بروكهافن الوطني في أوبتون في نيويورك، والمعهد الياباني للبحوث الفيزيائية والكيميائية (RIKEN)، والمملكة المتحدة جذاذات حاسوبية، مفصلة لشبيكة QCD. ويخططون خلال عام لبناء آلة في جامعة كولومبيا يمكنها إنجاز 1.5 ترليون عملية حسابية في الثانية. وهذا أسرع بـ1000 مرة من الحاسوب الشخصي الأكثر حداثة. وهنالك لا تزال آلات أسرع ستأتي لاحقاً في بروكهافن وفي جامعة أدنبرة في المملكة المتحدة. ويمكن أن تقدم مجموعات ضخمة من الحواسيب الصغيرة قدرة كهذه في مختبر فرمي للمسرع الوطني في باتافيا في إلينوي، وفي منشأة توماس جيفرسون للمسرع الخطي في نيوبورت نيوز في فرجينيا. وفي غضون ذلك يقوم الباحثون في جامعة روما وفي السنكروترون الإلكتروني الألماني (DESY) في زيوثن في تطوير آلات حاسوبية. ويملك الباحثون اليابانيون في جامعة تسوكوبا وهيئة بحوث المسرعات عالية الطاقة المجاورة (KEK) حواسيب فائقة مخصصة للشبيكة QCD.

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

4-أسلات لتحريك جزيئات وحيدة*

تُهيِّيء "المجاهر النَفقيَّة الماسحة Scanning tunnelling microscopes منظوراً فريداً في الكيمياء على مستوى الجزيئات الوحيدة. وتوجد الآن طريقة جديدة لاستخدام ميّزة مثل هذا المجهر في مداولة جزيئة وحيدة.

يمكن في الطبيعة تحويل المواد المتفاعلة إلى نواتج وذلك عبر تشكيلة واسعة من الآليات. وفي الكيمياء التركيبية يتوقّف التقدّم في هذا المجال على إيجاد طريقة لتحقيق زيادة أعظمية في نتاج الجزيئة المستهدفة المرغوب بها وتقليل توليد النواتج الجانبية غير المرغوب بها إلى أدنى حد. وبالطريقة نفسها التي يرقب بها لاعب الغولف "أرضَ مُخضَّرة اللعب"، يطمح الكيميائيون إلى التحكّم في الديناميّات الكيميائية للتفاعل بحيث يوجهون الجزيئات المشاركة في التفاعل إلى إتّباع مسار نوعي بعينه. وفي أحد صفحات من هذا العدد من مجلة Nature يُبيّن باسكوال وزملاؤه كيفية استعمال مجهر نفقي ماسح في التحكّم بتهيُّجات جزئيةٍ ما وحيدة، وتحقيق مسارٍ تفاعليٍّ مرغوب به.

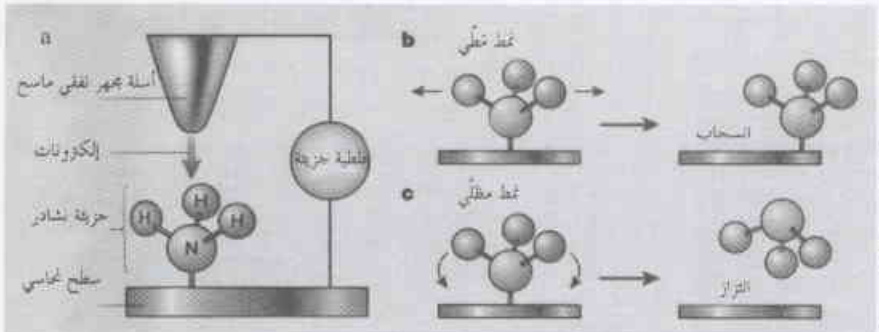
يتّطلب معظم التفاعلات الكيميائية توهين بعض الروابط القائمة داخل المواد المتفاعلة (أو تقطيعها) قبل أن يستطاع تشكيل روابط جديدة. وهذا يعني أن المواد المتفاعلة يجب أن تتلقّى كمية حدِّية من الطاقة تأخذها من محيطها لتبدأ تحوُّلها البنيوي. ويُعدُّ رفع درجة حرارة العيّنة طريقة غير كافية نسبياً لفعل ذلك، لأن التأرجحات الناجمة عن الطاقة الحرارية تقلُّ نموذجياً عن عشرة أضعاف إلى مئة ضعف طاقة تنشيط تفاعلٍ ما. زد على ذلك أن الطاقة تحت شروط حرارية تتوزع على عدّة أنماط من الحركة الجزيئية (انسحابية ودوارنية واهتزازية على سبيل المثال) بينما لا يرافق "عبور" crossing over الحاجز التفاعلي إلاّ نمطٌ نوعيٌّ واحد من الحركة (مثل النمط الاهتزازي).

ولذلك فإننا بحاجة إلى مقاربة أكثر تحكّماً. ففي عام 1991 أظهر برونيكوفسكي وآخرون معه أنه يمكن إثارة اهتزازات مطيَّة بين الذرّات في جزيئات بخار الماء ذات الدوتيريوم (أي HOD بدلاً من H_2O) بواسطة الإشعاع الليزري. فإذا أُثير النمط المطي للرابطة (O-D)، لاحظ هذا الفريق ذرّة هدروجين مقتربة تنفصل ذرّة الدوتيريوم من HOD تفضيلياً لتعطي HD، إما إذا أُثيرت بدلاً من ذلك الرابطة O-H فإنه يتكوّن H_2.

ولكن نادراً ما تنجح تجارب مشابهة للتحكّم في التفاعل لدى الأطوار الكثيفة (سوائل وزجاجيات وأجسام صلبة) لأن الإثارة الاهتزازية النوعية يُعاد توزيعها بسرعة فوق أنماط أخرى داخل الجزيئة أو بين جاراتها. ومن أجل فهم التأثير الذي يمارسه الوسط الموضعي على جزيئةٍ فرديةٍ، حوّل الباحثون انتباههم نحو تجارب على جزيئات مفردة. فعلى سبيل المثال سجّل "زي ودون" Xie and Dunn طيف فلْوَرة جزيئة مفردة على سطح زجاجي واستطاعا إدراك تأرجحات في الوسط الموضعي للجزيئة لا يستطاع رؤيتها في البيانات المُسجّلة لعيِّنةٍ ذات جُرْم مماثل.

وهناك خطُّ مقاربةٍ آخر في مطيافية الجزيئة المفردة يتضمن المجهر النفقي الماسح (STM)، اكتشف في الثمانينيات من القرن المنصرم على يد بيننيغ وروهر Bennig and Rohrer. وقد تمَّ منذ ذلك الوقت إنتاج مجموعة ضخمة من صور السطح الصلب باستخدام المجاهر النفقية الماسحة وتتمتّع بمَيْزٍ كافٍ لكشف المميّزات adsorbates الذرّية الجزيئية التي يمكن أن تزيِّن سطحاً ما. وبعدئذ حقق ستيب Stipe وزملاؤه في عام 1998 الاكتشاف المتميّز بأن التيار المتدفق في أسلة مجهر نفقي ماسح يستطيع أن يثير بشكل انتقائي أنماطاً مختلفة من الاهتزاز في جزيئة وحيدة ملتصقة على سطح ما.

لقد أظهرت تجربات أخرى أنه يمكن تداول أسلة مجهر نفقي ماسح لنَقْل أو تدوير أو تشديف ذرّة ما أو جزيئة ما ملتصقة بالسطح، أو حتى إخراجها من السطح (انتزاز). ويمكن استخدام أسلة مجهر نفقي ماسح لإجبار جزيئتين على الانفكاك، ويمكن إعادة ترتيب الشذفتين الحاصلتين ودمجهما معاً لتشكّلا جزيئة مُنتج جديد. ولكن في كل من هذه الحالات لعبت أسلة المجهر النفقي الماسح إما دور بوكر poker ذرّي المقياس لدفع جزيئة ما فيزيائياً عبر السطح، أو دور مُسَخِّن متوضع (من خلال القصف الإلكتروني) لتحريض إثاراتٍ حرارية غير انتقائية.



الشكل 1- تحريك الجزيئات

تستطيع إلكترونات طاقوية (a) منبثقة من أسلة مجهر نفقي ماسح أن تثير بشكل انتقائي نمطاً اهتزازياً نوعياً داخل جزيئة ما. فبالنسبة لجزيئة بشادر (NH_3) ممتزّة على سطح نحاسي تثير الإلكترونات ذات طاقة (420 ملي إلكترون فولت) نمطاً مطيّاً (b) يجعل الجزيئة تنسحب على طول السطح. أما إذا كانت الطاقة الإلكترونية 320 ملي إلكترون فولت فإن النمط المظلي (c) umbrella mode هو الذي يستثار عوضاً عن ذلك. ويتسبب التواء الروابط الهدروجينية النتروجينية هذه (على نحو يشبه انقلاب مظلة ما من الداخل إلى الخارج) في انتزاز desorption الجزيئة من السطح النحاسي.

* نُشر هذا الخبر في مجلة Nature, 29 MAY 2003 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

والآن، يعرض باسكوال وزملاؤه طريقة أخرى يمكن فيها للمجهر النفقي الماسح أن يتحكم في سلوك جزيئة ما على سطح ما. فهم يستخدمون أسلة مجهر نفقي ماسح لإثارة أنماط اهتزازيّة بشكل انتقائي في جزيئة نشادر (أمونيا) NH_3 كطريقة لقطع الرابطة الكيميائية بين NH_3 وسطح نحاسيٍّ، أو بدلاً من ذلك لتحريض جزيئة للتحرك جانبياً عبر السطح (الشكل 1). ويجري التحكّم في ناتج التفاعل ببساطة من خلال انتقاء فولطية الأسلة وبوضع طاقة الإلكترونات النفقية بالتالي عند قيمة تثير النمط الاهتزازي المفضَّل بشكلٍ تجاوبي. ومن بين النمطين المدروسين يُعدُّ الأول نمطاً مَطِّيًّا أو تنفُّسيًّا breathing تتمطّط فيه جميع روابط N-H الثلاثة بشكل تناظري وتنضغط. أما الثاني فهو نمط انحنائي يشبه مظلة تنقلب في يوم عاصف بالريح. وسرعان ما تسترخي معظم الجزيئات المثارة عن طريق نقل طاقتها إلى الشبيكة النحاسية ولكن بعضها يقلب حركتها الاهتزازية إلى حركة انسحابية. وعلى وجه التخصيص، فإن الإثارة ذات النمط المظلي umbrella mode تميل إلى انتزاز الجزيئة سليمةً من السطح، أما النمط التنفسي المتناظر فإنه يُحرِّض تفضيلياً انسحاباً جانبياً للجزيئة عبر السطح.

لا تكشف هذه التجربة الرائدة كيف تتنشّط آليات التفاعل المتنافسة انتقائياً داخل جزيئة مفردة فحسب، بل وتُبيِّن كذلك مُقاربة جديدة لتحديد مسارات تفاعلية في أوساط مُعقّدة. ومثل هذه الدراسات توسّع مجال الأدوات التركيبية المتاحة لتصنيع الجيل التالي من البُنى النانوية ذات المقياس الجزيئي.

5-السيمياء النووية*

يُجري الفيزيائيون حول العالم بحوثاً عن (تحوُّل العناصر) Transmutation وهو تقانة يعتقدون أنها يمكن أن تستخدم لإتلاف كميات كبيرة من النفايات الإشعاعية المعمّرة.

تكاد أن تكون فكرة تغيير عنصر ما إلى عنصر آخر قديمة قدم الزمان نفسه. ففي القرون الوسطى، على سبيل المثال، حاول السيميائيون alchemists تحويل معادن خسيسة إلى ذهب. لقد أخفقوا في ذلك بوضوح، ولكن التحوُّل، وهو الاسم الذي أعطي لهذه الفكرة، أصبح حقيقة في القرن المنصرم باكتشاف الأسلحة النووية والطاقة النووية كلتيهما. ويريد الفيزيائيون الآن استخدام التحوُّل في التصدي لمشكلة الطاقة النووية المستديمة التي تتمثَّل في نفاياتها.

يأتي معظم النفايات النووية بشكل وقود مستهلك من محطات الطاقة، وتتضمّن هذه النفايات البلوتونيوم والأكتينيدات الصغرى ومنتجات على جانب شديد من الخطورة. أما الأكتينيدات المعروفة بالنبتونيوم neptunium والامريسيوم americium والكوريوم curium فإنها ذات إشكالية خاصة لكونها تبقى شديدة الفعالية الإشعاعية طيلة عشرات آلاف السنين.

يَقْبَلُ العلماء والمهندسون النوويون على نطاق واسع أن الوقود المستهلك يجب يُخْتزن في مخازن جيولوجية عميقة. بيد أن الشكوك حول جيولوجية المواضع المحتملة لهذه المخازن، وكذلك المعارضة التي يبديها السكان المحليون، تجعل بناء هذه المخازن أمراً معقداً غير يسير. فعلى سبيل المثال، أَخَّرت المشاحنات السياسية والقانونية افتتاح مخزن جبل يوكا في نيفادا بالولايات المتحدة لمدة تفوق العقد من السنين، كما حالت احتجاجات محليّة في عام 1997 دون قيام الصناعة النووية البريطانية ببناء منشأة التوصيف الصخري rock chacterization في شيلافيلد بكومبريا.

وفي محاولة للتغلُّب على هذه المشاكل يبحث الفيزيائيون الآن جدوى إتلاف النكليدات المشعة المعمِّرة والموجودة في النفايات باستخدام نترونات من مَصْدرٍ مُعْتمِدٍ على مسرِّع. فهذه النترونات ستجعل بعض النوى تنشطر والبعض الآخر يمتص نترونات؛ وبذلك تحوِّل النكليدات المعمِّرة إلى أنواع ثابتة مستقرة أو ذات أعمار نصف أقصر بكثير.

يقول أنصار هذه التقانة أنها تقصِّر إلى حد كبير الفترة التي تكون خلالها هذه النفايات خطرة (إلى بضع مئات من السنين فحسب)، وأنها ستقلِّل سمّية النفايات وكمياتها، وكذلك سوف تُنْقص أخطار انتشار الأسلحة النووية. يضاف إلى ذلك أنها سوف تنتج من الطاقة ما يفوق استهلاكها منها، الأمر الذي سوف يعني إمكانية استعمال هذه التقانة لتوليد الطاقة أيضاً.

تجري حالياً دراسة التحوُّل من قبل فِرَق للبحوث حول العالم. ويمكن أن يُعْمَل شكل مبسَّط لهذه التقانة على نطاق تجاري في غضون خمس عشرة سنة تقريباً. ولكن تطوير التحوُّل إلى سيرورة ذات مقياس صناعي ستكون باهظة الثمن جداً، وستتطلّب مستوى تقانياً رفيعاً. ويحاجُّ المنتقدون بأنها ستصاب بهزيمة ذاتية بسبب ما ستولده من نفايات ثانوية.

مقرح النشايات ـ يمكن لعملية التحويل أن تقلل بصورة جذرية الدور الذي تكون فيه النفايات خطرة

* نُشر هذا الخبر في مجلة PHYSICS WORLD June 2003 . ترجمة هيئة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرية.

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

النزول دون الكتلة الحرجة

يتم في التحوّل بادئ ذي بدء تجريد الوقود المستهلك مما يحتويه من اليورانيوم والبلوتونيوم، مع الافتراض بأن البلوتونيوم لا يعتبر أحد النفايات. (ونشير هنا إلى أن ذلك يعتمد على سياسة البلد المعنيّ. فعلى سبيل المثال تَعْتَبِرُ فرنسا واليابان البلوتونيوم مصدراً قيّماً لإنتاج الطاقة، في حين تعتبره الولايات المتحدة والسويد واحداً من النفايات). أما النكليدات المشعّة المعمرّة الباقية (الأكتينيدات الصغرى ومنتجات الانشطار المعمرّة) فيجري بعد ذلك فصلها أو تفريقها من منتجات الانشطار المعمرّة. وفي مرحلة لاحقة يجري تحويل المواد ويتم تكرار عملية تصنيع الوقود وتحويله بضع مرّات إلى أن تتخرب بالكامل تقريباً جميع النكليدات المشعّة المعمرّة القابلة للتحوّل.

تتمثل أنجع طريقة لتنفيذ التحوّل في حرق كتلة دون حرجة sub - critical من النفايات واستهلال التفاعلات النووية باستخدام مصدر خارجي للنترونات. ويتم توليد هذه النترونات بعملية تعرف باسم "التَّشظية"، يجري خلالها تسريع بروتونات وإطلاقها على هدف. وهذه الطريقة أفضل من استعمال المفاعلات الحرجة التقليدية التي تقلّل فيها قضايا السلامة كمية الأكتينيدات الصغرى التي يمكن تحوُّلها.

وطبقاً لأنصار هذه التقانة فإن نبيطة التحوُّل يمكن أن تخفِّض حجم النفايات النووية بمقدار يصل إلى مئة مرة (الأمر الذي يعود إلى حد كبير إلى إزالة اليورانيوم الذي يؤلِّف ما قد يبلغ 96% من كتلة الوقود المستهلك). ويقولون بأن السميّة الإشعاعية لكل وحدة من الطاقة الكهربائية المُنْتَجَة من الوقود الأصلي يمكن كذلك إنقاصها بمقدار 100 مرة.

يضاف إلى ذلك، وببالغ الأهمية، أن طول الزمن الذي تفوق فيه السمّية الإشعاعية للنفايات سمّية خامة اليورانيوم المستخدمة في إنتاج الوقود الأوّلي سيقلّ بمقدار هائل. وقد توصل جوزيف ماجيل J. Magill وزملاؤه في معهد عناصر ما بعد اليورانيوم في كارلسروه بألمانيا، وكذلك باحثون آخرون في مختبر (FZK) في كارلسروه ومفوضية الطاقة الذرّية الفرنسية (CEA)، وبشكل حسابيٍّ، إلى أن التحوُّل يقلّل الزمن الذي ينبغي أثناءه عزل النفايات من الغلاف الحيوي للأرض من 130 ألف سنة إلى ما بين خمسمائة وألف سنة. ويُتَوَقَّع نشر بحثهم هذا في عدد شهر اغسطس/آب من مجلة الطاقة النووية التي تصدرها الجمعية البريطانية للطاقة النووية.

يقول هوبرت فلوكارد M. Flocard، مدير مختبر الفيزياء النووية التابع لـ (CSNSM) في أورسي بالقرب من باريس: "إن فترة بضع مئات من السنين تتوافق مع الثقة التي نعتقد أننا نستطيع أن نضعها في وثوقية الهندسة المدنية المستخدمة باحتواء النفايات في الموضع الاختزاني من جهة وفي فهمنا للحاجز الجيولوجي من جهة أخرى".

الطموح

لقد كان شارلز بومان Ch. Bawman وزملاؤه في مختبر لوس ألاموس الوطني بالولايات المتحدة قد ابتدعوا فكرة استعمال المسرِّعات في تنفيذ تحوُّل الطاقة النووية في بواكير التسعينيات من القرن المنصرم، ومن ثم دافع عنها كارلو روبيا C. Rubbia (في CERN) الحائز على جائزة نوبل والذي سمّى هذه النبيطات باسم "مضخمات طاقة" energy amplifiers. ومنذ عامين نشرت مجموعة من الخبراء النوويين بقيادة روبيا خارطة طريق roadmap تعرض سلّماً زمنياً لقيام أوروبا بإنشاء نبيطة تَحَوُّل تجريبية بالاعتماد على مسرِّع. وتصور خارطة الطريق هذه أن تلك النبيطة (ذات كلفة التسعمائة وثمانين مليون يورو) سيبدأ تشغيلها بوقود مزيج الأكاسيد التقليدي في عام 2013 قبل أن تتحوّل إلى استخدام وقود أكتينيدات صغرى مصنَّع خصيصاً لذلك في حوالي 2025. أما إنشاء نبيطة أولية الطراز بكامل التوصيف فسيبدأ حوالي عام 2030 كيما يجري استثمارها على نطاق صناعي بعد حوالي عشر سنين من ذلك التاريخ.

لا حاجة بنا إلى القول بأن هذه التواريخ طموحة أكثر منها واقعية. فطبقاً لخارطة الطريق هذه سيكون مطلوباً من الاتحاد الأوربي، وبلدانه فرادى، دفع 255 مليون يورو خلال فترة البرنامج الإطاري السادس (2006 –2003)، ولكن المبلغ الذي يُحْتَمَل أن يكون متاحاً سيكون بحدود 60 – 70 مليون يورو حسب اعتقاد فاسلاف جودوفسكي W. Gudowski من المعهد الملكي للتقانة في السويد. بيد أن جودوفسكي يقول بأن هذه الرقم، بالرغم من كونه متواضعاً نسبياً، فإنه يمثل زيادة ضخمة في المال الذي أنفق في البرامج الأطارية السابقة، وأنه لابد من أن تكون هناك زيادة هامة في البرنامج الأطاري السابع. ويقول نصّاً: "إنّ ديناميات التمويل جيدة".

يوافق روبيا ويشير إلى أن عملية تمهيدية للبحث والتطوير تتم الآن من خلال عدد من الإسهامات البحثية على امتداد أوروبا. ويشغل روبيا الآن وظيفة رئيس منظمة بحوث ENEA للطاقة (في إيطاليا) التي تباشر مشروع TRADE لدراسة جدوى "التحوُّل دون الحرج". ويتضمن هذا إطلاق حزمة من البروتونات على دريئة في مفاعل محوَّل. وهو يقول ما نصّه: "إننا ينبغي أن نكون قادرين، بواسطة مشاريع من هذا القبيل، على أن نخطو خطوة كبيرة إلى الأمام".

وكذلك يقوم الفيزيائيون في اليابان الآن بوضع مخطط لمحوِّل تجريبيٍّ معتمد على المسرِّع accelerator – based يماثل في حجمه النبيطة الأوربية المقترحة. وسيجتذب هذا الأمر البحث والتطوير باتجاه إنجازه في منبع J-PARC العالي الشدة للبروتونات في توكاي إلى الشمال الشرقي من طوكيو. وطبقاً لـ هيروويوكي اويغاوا H. Oigawa مدير مجموعة التحوُّل النووي في معهد بحوث الطاقة

الذرّية الياباني، فإن هذه النبيطة ستتحقق في أواخر السنوات العشر الأولى من القرن الحالي وستفضي إلى استثمارها صناعياً في حوالي عام 2035.

وكذلك يعكف الفيزيائيون في الهند والصين وكوريا الجنوبية على دراسة نبائط للتحوُّل. ففي السنة المنصرمة صادقت الهند على مبلغ مقداره خمسون مليون دولار يُصرف في السنوات الخمس التالية على تطوير مسرِّع ومنبع للنوترونات. ولكن الهند، كما الصين وكوريا الجنوبية، تهتم بالتقانة قبل كل شيء لقدرتها على توليد الكهرباء وليس لمقدرتها على إتلاف النفايات.

تحديات منتظرة

إن أحد أكبر التحديات التي تواجه الفيزيائيين المشتغلين بالتحوُّل المعتمد على مسرِّع يتمثل في إنشاء منابع بروتونية عالية الطاقة. وتتطلب هذه المنابع تيارات تبلغ شداتها عشرات أو مئات الملّي أمبير بدلاً من الملّي أمبيرات القليلة التي تميِّز المنشآت الراهنة والتي يُرجّح أن تبنى من مسرِّعات خطيَّة فائقة الناقلية. وعلى وجه الخصوص، يجب أن يستنبط الباحثون طريقة لتقليل فقْد الحزمة إلى مستويات مقبولة.

في غضون ذلك، يُحتمل أن يستغرق تطوير أنماط الوقود حوالي 20 سنة. وهذا سوف يتضمن الزمن المطلوب لتركيب منشآت رائدة لتصنيع وإعادة معالجة الوقود. وكذلك ستكون هناك حاجة لبحث وتطوير مهمَّين حول الفصل أو التجزئة، فبعض النكليدات المشعَّة يمكن تفريقها أو فصلها بتوسعات تقانة إعادة المعالجة الحالية، بينما تحتاج نكليدات إشعاعية أخرى إلى مزيد من البحوث.

ولكن حتى إنْ تغلَّب الفيزيائيون على هذه الصعوبات، فإنهم سيبقون يواجهون عدداً من المشكلات أكثر تعقيداً. فوفقاً لـ سامانتا كينغ S. King من نيركس التي هي هيئة الصناعة البريطانية المسؤولة عن التدبير الطويل الأمد للنفايات المشعَّة فقد لا يتمُّ تحويل بعض النكليدات المشعّة المعمرِّة في مدى سلّم زمني واقعي. ونراها تقول على سبيل المثال بأن الأمر سيستغرق 100 عام لإتلاف نصف السلينوم79 – الموجود في الوقود المستنفذ لأنه يمتلك مقطعاً عرضياً صغيراً جداً (إزاء الأسْر النتروني) neutron capture. وأكثر من ذلك تضيف سامانتا بأن التحوُّل قد لا يمكن تطبيقه حقيقة إلاّ على النفايات التي تتولّد مستقبلاً وليس على النفايات الراهنة التي خُتم بعضها داخل الزجاج ويصعب استخلاصه.

يعتقد ارجون ماخيجاني A. Makhijani، وهو فيزيائي يرأس معهد واشنطن لبحوث الطاقة والبيئة، أن التحوُّل لن يحل مشكلة النفايات النووية. ويجادل بأن اليورانيوم سيكون أكثر خطورة إذا ما أعيدت معالجته بدلاً من وضعه في مخازن عميقة. ويدّعي ماخيجاني بأنه توجد كذلك مشكلات مع ما سيتكون من نفايات جديدة، وهناك مخاطر الانتشار المصاحبة للبلوتونيوم المعاد

الأفضلية العالية - يقوم الباحثون لدى المفاعل فارويكا في فرنسا بدراسة القلوب تحت الحرجة.

معالجته، وهناك التكاليف العالية وحقيقة الاضطرار لبناء المخازن العميقة كيفما اتفق.

ويقول ماخيجاني: "إن التقييمات التي دعّمت اعتبار التحوُّل بمثابة تقانة لتدبير النفايات ضعيفة على نحو فادح، وقد صاغها أولئك الذين يرغبون في رؤية استمرارية القدرة النووية".

الحَرْق العميق

لا حاجة للقول بأن روبيا لا يتفق مع هذه الآراء. فهو يقول ما نصّه:"إن مشكلة ما يجب عمله بالنفايات هي مشكلة معنا لا علاقة لها باستمرارية القوة النووية أو عدمها". ويتابع قائلاً: " وإنني أعارض الفصل بين النفايات الحالية والنفايات المستقبلية، ويمكن تطبيق التحوّل على النفايات الراهنة ما دام معظمها ما يزال ينتظر التزجيج.

يعترف فرنسيسكو فينيري F. Venneri، الذي كان عضواً في مجموعة بومان في لوس ألاموس، بأن التحوُّل لن يلغي الحاجة إلى مخزن على صفحة جبل يوكا بل ويعتقد بأن ذلك سيكون ذا فوائد حقيقية. ويقول ما نصّه: "سيقلِّل التحوّل إلى حد مثير عدد المخازن المطلوبة والأخطار التي تطرحها على المجتمع في المستقبل المتوسط وحتى البعيد". ويتابع قائلاً: "ولكنه يتطلّب أن يجري التحوّل بطريقة لا تخلق متاعب أسوأ حالاً في الوقت الحاضر وأن يتم بتكاليف معقولة".

تابع فينبري قيادة برنامج التحوّل في لوس ألاموس، ولكن ذلك البحث توقّف الآن، إذ قررّت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة حجب التمويل عن البحوث النوعية على إتلاف النفايات النووية والاستعاضة عن ذلك بدعم البحوث على "دورات الوقود المتطورة". ولقد أتمّ فينيري للتوّ إجازة بحث علمي لمدّة سنتين في جنرال

أتومكس General Atomics بسانديبغو حيث قاد فريقاً يطوّر فكرة التحوّل "بالحرق العميق" deep burn في المفاعلات الحرجة. ويتضمن ذلك ترميد كرات صغيرة من الوقود المستهلك مغلّفة بالخزف فيما يدعى مفاعل الهليوم التعديلي الذي يعدُّ نبيطة تجارية إلى حدٍّ ما.

ووفقاً لفينيري فإن هذه العملية سوف تتلف أكثر من 95% من البلوتونيوم الذي يحمل مرتبة السلاح والموجود داخل النفايات، وتتلف كذلك حوالي 80% من الأكتينيدات الصُغرى مع العلم بأنها، خلافاً لمخططات التحول الأخرى، لن تتضمّن خطوات إعادة معالجة متعددة. وعلى غرار جميع تقانات التحوّل الأخرى فإن النشاط الإشعاعي للمادة سيكون في الواقع أعلى طيلة ما يقارب 50–100 سنة بعد التحوّل لأن النكليدات المشعّة المعمِّرة ستحل محلها أصناف أقصر عمراً وذات نشاط أعلى. ويقول فينيري أن هذه المواد سيتم احتواؤها بشكل مأمون داخل الأغلفة الخزفية لمدد تبلغ عدة عشرات من آلف السنين ولا يجوز أن تطرح أي تهديد بيئي لدى وضعها في المخازن.

يقول فينيري بأنه لا توجد أي عقبات رئيسة أمام تطوير مفاعلات الحرق العميق ويقدِّر بأن أول نبيطة من هذا القبيل يمكن أن تبنى في غضون حوالي عشر سنوات ثم تبدأ التشغيل على نطاقٍ تجاري بعد ذلك بخمس سنوات. وهناك تصور بأن مفاعلاً واحداً للحرق العميق بقوة 600 MW سوف يعالج الوقود المستهلك الناجم عن مفاعل للماء الخفيف بقوة 3000 MW على أساس أن الأول يتلف البلوتونيوم والأكتينيدات الصغرى بنفس معدل انتاجها في الثاني.

بيد أن جودوفسكي يعتقد بأنه بينما تفيد مفاعلات الحرق العميق كمولدات فعالة للطاقة فإن استعمالها في أتلاف النفايات سيكون محدوداً. فهو يقول "أظن أن مفاعل الحرق العميق بديل جيد في التخلص من البلوتونيوم بسرعة على أساس استخدام التقانة القائمة حالياً. ولكنك إذا أردت أن تحوِّل الأمريسيوم والكوريوم أيضاً فإن هذا المفاعل لن يكون بمقدوره أن يفعل لك ذلك".

إن المنظومات المبنية على مسرعات تتمتع بلا شك بالاحتمال الأقوى كمحوِّلات: ولكنها ما تزال في مرحلة مبكرّة ويبقى علينا الانتظار لرؤية ما إذا كان يمكن التغلب على صعوباتها الفنية وما إذا كانت ستحظى بالتمويل حقّاً. وعلى كل حال، فإن السير إريك آش Sir Eric Ash من الجمعية الملكية، والذي يعمل خبيراً بالتغير المناخي وبتوليد الطاقة، لا يشك البتة في مزايا التحوّل. فهو يقول: "إذا كان بالإمكان تحقيق تحوّل النفايات النووية بحق فسيكون ذلك أمراً بالغ الأهمية". ويتابع قائلاً: "إنه سيمكّن العالم من التفاهم مع الطاقة النووية، أكثر من أي شيء آخر، وحتى في تلك الأقطار التي تهلع منها بشكل خاص في الوقت الحاضر".

6-السّر القاتل للإشعاع*

هنالك شيءٌ ما مُحيِّر حول الكيفية التي يقتل من خلالها الإشعاع الخلايا. فالإلكترونات المنخفضة الطاقة تسبب للدنا (DNA) كثيراً من الضرر؛ لكن أحداً لا يستطيع أن يُبيّن بالضبط كيف يحدث ذلك، حيث إنها إلكترونات على درجة شديدة من الوهن لا يمكّنها انتزاع ذرّة ما أو حتى إخراج إلكترون آخر من موضعه. وقد تمَّ، في الوقت الحاضر، حلّ هذا اللغز المُحيّر، وسوف تساعد النتيجة على تصميم أو إيجاد معالجة إشعاعية أكثر فعالية.

والإشعاع الكهرطيسي، أو الجسيمات العالية الطاقة تُحدث ضررها عن طريق تحطيم الأساس الداعم اللولبي لدنا الخلية مُخرجةً من خلال هذه العملية الإلكترونات من مواضعها. أما الإلكترونات ذات الطاقة الأقل، وبخاصة تلك التي لها طاقة دون 20 إلكترون فولط، فكان يعتقد سابقاً أنها عديمة الضرر. لكنه، وقبل حوالي سنتين، تسبّب الباحث ليون سانش L. Sanche، مع فريقه العامل لدى جامعة شيربروك في مقاطعة كيوبك بكندا، في إحداث عاصفة عندما أعلن فريقه بأن الجسيمات المذكورة تسبب عدداً كبيراً من الكسور في جديلة الدنا الواحدة أو الجديلتين كليهما.

ولمزيد من البحث في هذا المجال، قام الباحث تلمان مارك T. Mark ورفاقه، من جامعتي انسبروك في النمسا وكلود برنارد في ليون بفرنسا، بصنع غاز من جزيئات اليوراسيل uracil – وهو أحد القواعد التي ترتبط بالأساس الداعم لجزيء الرنا (RNA) – ثم قام بضخ إلكترونات منخفضة الطاقة عبر هذا الغاز؛ وتمكّن حالياً هؤلاء الباحثون من الإعلان بأن أيونات اليوراسيل سالبة الشحنة قد ظهرت من السحابة.

وكان ذلك المفتاح الأساسي لحل اللغز؛ حيث استنتج الباحثون أنه من الممكن حتى للإلكترونات التي لا تمتلك قدراً من الطاقة كافياً لإلحاق الأذى مباشرة بجزيء اليوراسيل أن تمزق هذا الجزيء عندما تمتص إلى داخل بنيته شبيهة الحلقة. فالشحنة الإضافية السالبة تتوزع حول الحلقة طاردةً ذرّة هدروجين (انظر الشكل المرافق) ومخلفةً وراءها جزيء يوراسيل سالب الشحنة، أو ما يسمى بالأيون الجذري radical ion.

وإذا حصل أن ارتبط اليوراسيل بسلسلة للرنا (RNA)، فإن ذلك –حسب اعتقاد الباحث مارك– سيكون كافياً لكسر الجديلة؛ كما يمكن حتى للإلكترونات التي لها طاقة أقل من 3 إلكترون فولط، أي دون الحد الذي اختبره فريق سانش، أن تفعل الشيء ذاته. ويضيف

* نُشر هذا الخبر في مجلة New Scientist, 17 MAY 2003 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

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

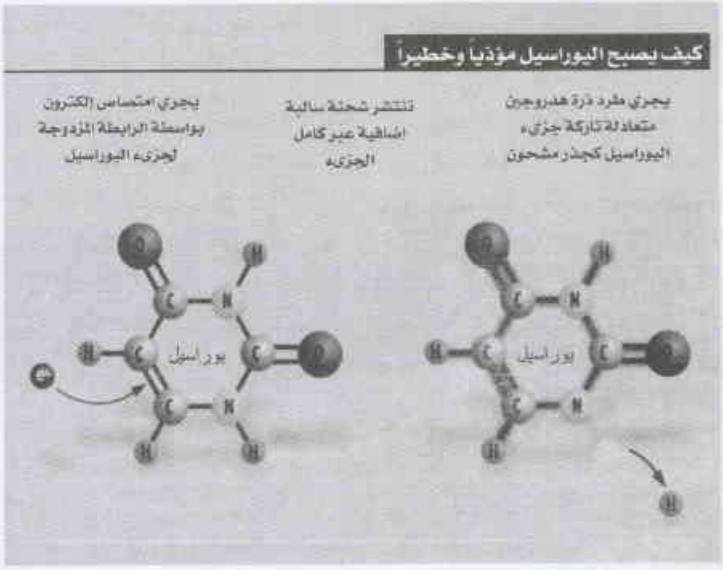
الباحث مارك إلى ما سبق فيقول أنه من المحتمل حدوث التأثير ذاته (أي كسر الجديلة) للقواعد المرتبطة بالدنا أيضاً؛ وهو يخطط حالياً لمزيد من التجارب لاختبار الفكرة السابقة.

ويوافق الباحث سانش على احتمال حدوث الآلية ذاتها داخل الخلايا، ويضيف إلى ذلك قوله بأنه يمتلك في الوقت الحالي بيانات أولية تقترح إمكانية تضرر الدنا أيضاً بفعل إلكترونات عند طاقات فائقة الانخفاض. ويردف سانش قائلاً: "هذا يعني أن للإلكترونات المنخفضة الطاقة قدراً من الضرر أعظم كثيراً مما كان متوقعاً".

ولابد للجهود المنوّه بها آنفاً أن تساعد الباحثين على إيجاد عقاقير تجعل الأورام أشد طواعية للمعالجة الإشعاعية. فالخلايا السرطانية تمتلك أصلاً قدرة مضعفة على ترميم أذية الدنا، وهي لهذا السبب تموت بسرعة أكبر من سرعة موت الخلايا السليمة عند تعرضها للإشعاع.

وقد وجد الباحثون أن حقن الأورام بالمركّب ذي الصلة، برومو- يوراسيل bromo-uracil، يجعل الخلايا أكثر تحسساً وطواعية للإشعاع؛ وهم في هذا الصدد يعلمون أن البرومو - يوراسيل يندمج داخل الدنا الخاص بخلايا الورم بإحلاله محل قاعدة الثيمين thymine، لكنهم لم يتمكنوا حتى الآن من معرفة لماذا يؤدي مثل هذا الفعل (الإحلال) إلى جعل الدنا أكثر قابلية لأن يتأذى.

في الوقت الراهن، بيّن مارك ورفاقه أن الإلكترونات ذات الطاقة الفائقة الانخفاض تهاجم مركب البرومو - يوراسيل على نحو أسهل من مهاجمتها لمركب اليوراسيل ذاته؛ وهم يأملون بأن هذا الاكتشاف سيتيح لهم مستقبلاً اكتشاف جزيئات قادرة على إضعاف الدنا بقدر أكثر فعالية مما سبق.



7-التنقيب عن النفط "بأنف بصري"*

قد يكون المحسّ الذي يمكنه أن يكتشف غاز الإيتان بكميات نزرة نافعاً لتشخيص مرض السرطان

يجعل الغبار والعواصف الرملية وتغيرات الحرارة القصوى الصحراء أحد أسوأ الأماكن على الكرة الأرضية لإجراء تجربة بصرية دقيقة. ومع ذلك إذا كان بإمكان هذه التجربة أن تساعد في توقّع احتياطات نفطية فإنّ ذلك يستحق المحاولة. فقد عاد حديثاً فيزيائيون في جامعتي شل وغلاسغو في المملكة المتحدة من عُمان حيث اختبروا "أنفاً بصرياً optical nose" فائق الحساسية يمكنه أن يكتشف تراكيز نزرة من غاز الإيتان. وإضافة إلى الطريقة الواعدة الأكثر فعالية للبحث عن احتياط نفط الكرة الأرضية المتناقص باستمرار يمكن أن يثبت الجهاز الجديد أيضاً فعاليته في تشخيص سرطان الرئة.

تؤدي احتياطات الغاز والنفط الجوفية إلى نزّ كميات ضئيلة جداً من الغازات، وبصورة خاصة من غازي الميتان والإيتان. ومع الأسف فإنّ غاز الميتان يوجد في كل الغلاف الجوي للكرة الأرضية، نتيجة العمليات العضوية المختلفة، بتركيز يراوح بين جزء أو جزأين من مليون جزء، وهذا ما يجعل تمييز ميتان النزّ عن ميتان الخلفية مستحيلاً. أمّا غاز الإيتان فلا ينتج بالمقابل من العمليات العضوية ويكون تركيز خلفيته أقل من جزء من البليون جزء طالما لا توجد مدن كبيرة ومخزونات بترو كيميائية قريبة. إذن فالزيادة في هذا التركيز تكشف عن خزّان نفطي جوفي.

من الناحية التاريخية، كان يتم تعرّف مكامن النفط والغاز من نزّ النفط المرئي على سطح الأرض. ولكن عندما استنفدت هذه المكامن جرى تطوير تقنيات متنوعة لتعرّف مواقع حفر جديدة. يعتمد معظم الباحثين في الوقت الحاضر على المتفجرات أو على دقاقات آلية للأرض تؤدّي إلى إرسال موجات صوتية في الأرض. ومع ذلك فإن تفسير موجات الصوت المنعكسة في هذه المسوحات الزلزالية تأخذ أشهراً متعدّدة، وتبيّن فيما بعد أنّ معظم الآبار الاستكشافية انتهت إلى الفشل. ونظراً لأنّ حفر بئر استكشافية يمكن أن يكلّف عدة ملايين من الجنيهات فإنّ أية تقنية يمكن أن تحسّن "معدّل الاكتشاف strike rate" تكون قيّمة إلى أبعد الحدود.

استشمام النجاح

بدأ مشروع "أنف الإيتان" الذي كان معروضاً حديثاً في معرض الجمعية الملكية الصيفي للعلوم في لندن في أواخر

* نُشر هذا الخبر في مجلة PHYSICS WORLD, SEPTEMBER 2003، ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

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

التسعينيات. اتصل بيل هيرست B. Hirst من شركة شل غلوبال صوليوشن مع غراهام جيبسون G.Gibson ومؤلف هذا الخبر للمساعدة في تطوير مكشاف غاز فائق الحساسية يمكن استخدامه للبحث عن النفط في الزمن الحقيقي.

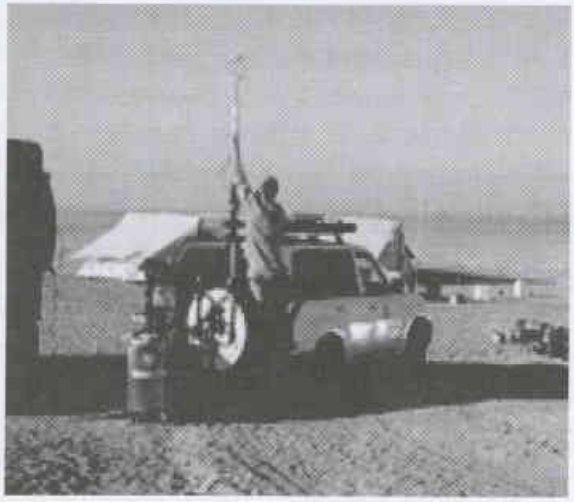
في قلب المحسّ يوجد ديود ليزري مبرّد بالنتروجين السائل يولّد ضوءاً تحت أحمر ذا طول موجي يماثل الانتقال الجزيئي لغاز الإيتان. فكل جزيء من جزيئات الإيتان التي تكون موجودة في المحسّ سوف تمتص هذا الضوء وبالتالي تكون قابلة للكشف. يسحب الهواء إلى أنبوب عينات طوله متر واحد وتمرَّر مرايا عند كل نهاية من الأنبوب، الضوء الليزري ذهاباً وإياباً أكثر من 100 مرة. وهذا يؤدي إلى امتصاص طولي لأكثر من 200 متر وهذا يعني أنّ تراكيز الإيتان المنخفضة إلى درجة 100 جزء من تريليون جزء ستنتج امتصاصاً قابلاً للقياس.

إنّ مثل هذا الجهاز يمكن أن يضبط بدقة وبصورة منتظمة في المختبر لإعطاء أداء أمثل ولكن هذا عمل مستحيل في وسط الصحراء. وعوضاً عن ذلك يحافظ تحكّم حاسوبي معقّد على تراصف المرايا ويضبط أيضاً مرور الضوء عبر خلية مرجعية مملوءة بالإيتان. يتمتع الجهاز الكامل بزمن استجابة قدره ثانية واحدة وهو محمول على مركبة بأربع عجلات مع مولّد محمول.

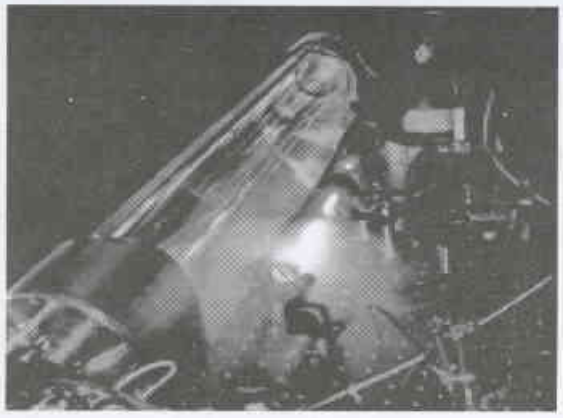
إنّ قياس تركيز الغاز هو شيء وتتبع المنشأ الذي أتى منه هو شيء آخر. ولحل هذه المشكلة قسنا أيضاً سرعة واتجاه الريح ومنهما يمكن أن نتوقّع أي موقع مفترض في اتجاه الريح لتركيز الإيتان. ومع ذلك فإنّ "عكس" هذه المشكلة لإيجاد الموقع الذي يهب منه الريح، والذي يمكن أن يكون منبعاً صغيراً قريباً أو منبعاً كبيراً بعيداً، هو أمر مستحيل. وعوضاً عن ذلك أجريت قياسات متعدّدة في مواقع مختلفة وباتجاهات ريح متنوعة؛ وهذا ما يتيح حلاً تكرارياً لأفضل تخمين لحساب توزيع إصدارات الغاز.

كانت محاولتنا الحديثة رحلتنا الثانية إلى الشرق الأوسط وهذه كانت المرة الأولى التي يتمّ فيها اختبار كامل النظام في الحقل. وبوضع أسطوانة إيتان في مخبأ ضمن منطقة التفتيش كنّا قادرين على التحقّق أن التقنية كانت ناجحة.

إنّ الصحراء مكان ممتع للترحال فيه ومع ذلك فإنّ قيادة مركبة الدعم تبدو وكأنها رحلة مسلية أكثر منها تجربة علمية. وحتى نتغلّب على عقبة الكثبان الرملية كان لا بد من تخفيض ضغط الهواء في العجلات إلى نحو 15 رطلاً في البوصة المربعة. يكون العمل أثناء فصل الصيف في مثل هذه الظروف مستحيلاً تقريباً غير أنّ خططاً توضع الآن لإجراء مسوحات لاحقة في طقس أبرد وعندها ستقارن مع تقنيات التحرّي عن النفط المختلفة. ومن الطبيعي أن الاختبار الحقيقي للجهاز سيجري عندما تبدأ عملية الحفر.



الشكل 1- الفيزياء في الصحراء - سيارة لاندروفر تنقل محسّ الإيتان خفيف الوزن (200كغ)، غير أنها لا تمثل مختبراً بصرياً نموذجياً.



الشكل 2- آلة للكشف عن الإيتان - يمكن أن يستخدم شعاع ليزري ذو طول موجة يتوافق مع انتقال جزيئي للإيتان للكشف عن تراكيز نزرة من هذا الغاز.

استخدام آخر

يمكن أن تكون أيضاً للجهاز تطبيقات في بيئة مختلفة تماماً وأكثر راحة. بينما كان كريس لونغبوطوم C.Longbottom من جامعة دندي يزور مختبر غلاسغو أدهشنا عندما أشار إلى أنّ الإيتان لا يهمُّ فقط المنقّبين عن النفط وإنّما هو أيضاً مُعْلِم بيولوجي bio-marker مهمٌّ للكرب التأكسدي oxidative stress. إذ يزداد مستوى الكرب التأكسدي في الجسم بأمراض متنوعة بما فيها السرطان. واستجابة للسرطان تخرّب الجذور الحرة في الجسم أغشية الخلايا إلى هدروكربونيات تتضمّن الإيتان، الذي يمكن كشفه في النفَس الزفيري.

يعمل حالياً كين سكلدن K. Skeldon من غلاسغو مع لونغبوطوم وزملائه في جامعة دندي لتطوير جهاز لتحليل النفَس وإمكانية

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

الكشف عن سرطان الرئة. استخدم المحسّ في محاولات أولية في مستشفى ناينويلز حيث يقدّم مرضى متطوعون عينات زفيرية للتحليل اللاحق. وعلى المدى الطويل يمكن أن يكون تحليل الزفير مفيداً في كشف ومراقبة مجال من الشروط تتضمّن أمراضاً قلبية وعائية ومرض ألزهايمر واضطراب فرط نشاط عجز الانتباه.

8-جسيمات نانويّة مغنطيسية تحدّد الفيروسات بدقة في مسوح الجسم*

يمكن لحُقَنَة من جسيمات نانوية مغنطيسية داخل مجرى دمك أن تكشف بدقة اختباء الفيروسات المؤذية. إذ يجري تلبيس هذه الجسيمات بأضداد antibodies لفيروس معيّن بحيث تشكل تلك الجسيمات تكتلات يمكن رؤيتها في المسوح scans التقليدية لجسم الإنسان إذا وجد فيه ذلك الفيروس.

لقد سبق للفريق العامل في التقانة بمركز بحوث التصوير الجزيئي (التابع لكلية طب جامعة هارفرد) في شارلستاون /ماسشوستس/ أن نجح في استكشاف الفيروسات في عينات الأنسجة والسوائل الجسمية. ويأمل هذا الفريق في أن يستطيع استكشاف الفيروسات داخل أجسام المرضى في غضون عامين. وقد تمّ اختبار الكثير من هذه التقانة في البشر حتى غدا العلماء على ثقة بأنها ستكون مأمونة.

إنّ المسوح المستكشفة لأمكنة تجمّعات فيروس ما (مثل HIV الذي يميل لأن يتركّز في العقد اللمفية) يمكن أن تفيد الأطباء في تحسين معالجاتهم. ويمكن لمسحة ما أن تستكشف ما إذا كانت الفيروسات المستخدمة في معالجة جينية لنقل "دنا" DNA جديد إلى مرضى معيّنين قد وصلت بالفعل إلى أجزاء الجسم المقصودة، وبأعداد تكفي لأن تكون ناجعة (مجلة الجمعية الكيميائية الأمريكية American Chemical Society, DOI: 10. 1021/ja O36409g).

لايستطاع في العادة اكتشاف الفيروسات إلاّ بشكل غير مباشر عن طريق أسْر وتضخيم الدنا الفيروسي عبر تقنية الـ PCR التي تستغرق حوالي ساعتين. ويقول مانويل بيريز M. Perez الذي يرأس فريق تطوير هذه التقنية الجديدة التي تعطي جواباً في نصف الوقت: "إنه لأمر مزعج أن تستغرق التقانة وقتاً، وتعطيك إيجابيات وسلبيات كاذبة، ولا تستكشف إلاّ شدوفاً من الفيروس".

تستند التقنية الجديدة إلى جسيمات قطرها 50 نانومتراً. وتمتلك هذه الجسيمات لبّاً من أكسيد الحديد ولبوساً coating من الدكستران الذي هو سكّر تعلق به الأضداد بسهولة. ويُضاف لبوس علوي من أضداد الفيروس المراد دراسته، فتصبح الجسيمات جاهزة للاستخدام.

في الاختبارات المخبريّة جرت إضافة الجسيمات النانوية إلى عينات من سوائل الجسم، مما يسهّل حقنها داخل المرضى.

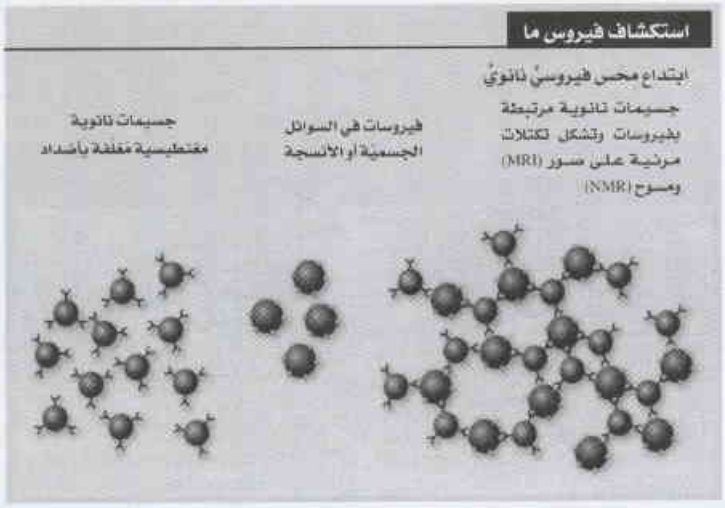
والآن إذا ما وُجِدَت في العينة فيروسات حية، فإنها تلتصق بالأضداد الكائنة على الجسيمات النانوية وتشكّل معها تجمُّع جسيمات كبير يمكن استكشافه بعدئذ من خلال التصوير التجاوبي المغنطيسي (MRI) أو المسوحات التجاوبية المغنطيسية النووية (NMR). ويشرح بيريز ذلك قائلاً: "تتعرف الأضداد بأنها بروتينات نوعيَّةً موجودةً على سطح الفيروس وتجعل الجسيمات النانوية تتكتلّ مع الفيروس".

بيد أن الماسحات لاتكتشف الجسيمات النانوية بشكل مباشر، إذ تتحول أولاً لبوب أكسيد الحديد التابعة لهذه الجسيمات إلى مغانط بفضل حقل مغنطيسي ماسح قوي يدفع أيضاً بنوى جزيئات الماء المحيطة إلى حالات طاقوية مختلفة.

وعندئذ يمكن استخدام إشارة تواتر راديوي لجعل نوى الماء تعود إلى حالتها الأصلية. أما الزمن الذي تستغرقه للعودة إلى تلك الحالة (وهو ما يسمى "زمن الاسترخاء") فإنه يُعدُّ مقياساً لكثافة الجزيئات في تلك النقطة. ونشير هنا إلى أن الجسيمات المُمَغنطة تطيل زمن استرخاء جزيئات الماء القريبة منها، الأمر الذي يجعل التكتلات الفيروسية مرئية بالتصوير التجاوبي المغنطيسي (MRI) أو بالمسوح التجاوبيه المغنطيسية النووية (NMR).

يقول فريق هارفرد أن جهازه قد نجح باكتشاف فيروس الحلأ البسيط herpes simplex الذي يسبّب قرحات البرد cold sores كما نجح باكتشاف فيروس غُدّيٍّ يُسبّب الزكام في العينات الدموية.

ويقول بيريز بأن تقانة الجسيمات النانوية المغنطيسية سرعان ما يمكن أن تصبح حقيقة واقعة طالما أن جميع المكوِّنات التي تستخدمها غدت متاحة على نطاق تجاري. كما سبق وتبيَّنت سلامة استخدام جسيمات مماثلة في جسم الإنسان، وذلك في تجارب أجريت لاستكشاف أورام سرطانية بروستاتية ثانوية في العقد اللمفية.



* نُشر هذا الخبر في مجلة NEWSCIENTIST, 23 AUGUST 2003 ، ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

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

9-اليـــود*

ماهو اليود؟

الرمز	I
العدد الذري (عدد البروتونات في النواة)	53
الوزن الذري (الموجود بالطبيعة)	127

اليود جسم صلب أسود مزرق اللون لمّاع. يوجد في الطبيعية بصورة رئيسة على شكل اليود – 127 المستقر. تنتج كمية صغيرة من اليود – 129 المشعّ بصورة طبيعية في الطبقات العليا من الجو نتيجة تأثر الجسيمات العالية الطاقة مع الكزينون. يتطاير اليود في درجات حرارة المحيط على شكل غاز بنفسجي – أزرق جميل له رائحة مهيجة. يُبدي اليود بعض الخواص الشبيهة بالمعدن وهو قليل الذوبان في الماء. يوجد في الطبيعة على شكل أيونات اليوديد، ويَدخل إلى أجسامنا على هذا الشكل.

يوجد من بين النظائر الأربعة عشر المشعّة الرئيسة لليود، اليود – 129 فقط الذي له عمر نصف طويل بصورة كافية يسوّغ اهتمام مواقع إدارة البيئة مثل هانفورد التابعة لوزارة الطاقة (النظائر عبارة عن أشكال مختلفة من العنصر تحوي العدد نفسه من البروتونات في النواة وعدداً مختلفاً من النترونات). يضمحل اليود –129 بإصداره جسيم بيتا بعمر نصف يبلغ حوالي 16 مليون سنة. تبلغ أعمار النصف لجميع النكليدات المشعّة الأخرى لليود أقل من 60 يوماً. إن عمر النصف الطويل جداً لليود – 129 (مع ما يتبع ذلك من نشاط نوعي منخفض) إضافة إلى انخفاض طاقة جسيم بيتا التابع له وإلى إشعاع غاما القليل جداً يحدّ من مخاطر هذا النكليد المشع. إن عمر النصف لليود –131 قصير (8 أيام) وهو بشكل عام ليس نظيراً مهمّاً لمواقع الإدارة البيئية التابعة لوزارة الطاقة. على أية حال، توجد هنا معلومات عن هذا النكليد المشع لأنه جرى انطلاقه أثناء التشغيل السابق للمفاعلات النووية في هانفورد.

خواص النشاط الإشعاعي لنظائر اليود الأساسية

النظير	عمر النصف	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الاشعاع MeV		
				ألفا (α)	بيتا (β)	غاما (γ)
I-129	16 مليون سنة	0.00018	β	-	0.064	0.25
I-131	8.0 أيام	130,000	β	-	0.19	0.38

EC= أسر الالكترون، Ci= كوري، g= غرام، MeV= مليون إلكترون فولط. القيم معطاة لرقمين معنويين.

من أين يأتي اليود؟

يوجد اليود المستقر (اليود–127) في الطبيعة في الطحلب البحري والإسفنجيات ومواد أخرى. تُنتج النظائر المشعة لليود بفعل الانشطار النووي. وعندما تنشطر ذرّة من اليورانيوم – 235 (أو أي نكليد شَطور) فإنها بصورة عامة تنقسم بشكل لاتناظري إلى شظيتين كبيرتين – نواتج انشطار تتراوح أعداها الكتلية بين 90 و 140 – ونترونين أو ثلاثة. (العدد الكتلي هو مجموع عدد البروتونات والنترونات في نواة الذرّة). اليود 129– واليود–131 هما مثالان على هذين الناتجين. يبلغ مردود الانشطار لليود–129 حوالي 1%، ويبلغ مردود الانشطار لليود–131 قريباً من 3%. ويعني هذا، أن 100 انشطار تنتج حوالي ذرّة واحدة من اليود–129 وثلاث ذرّات من اليود–131. يوجد اليود–129 في الوقود النووي المستهلك، وفي النفايات المشعّة العالية السوية الناتجة من معالجة الوقود النووي المستهلك، وفي النفايات المشعّة المترافقة مع تشغيل المفاعلات النووية ومنشآت إعادة معالجة الوقود.

كيف يستعمل اليود؟

يستعمل اليود في معالجة الجروح والخدوش في الجلد على شكل صبغة اليود التي هي عبارة عن مزيج مُمدّد من الكحول واليود. ويستعمل أيضاً في التصوير الضوئي وفي الليزرات (يوديد فضة) وفي الأصباغ، وكمغذٍ يُضاف إلى ملح الطعام. يستعمل اليود– 131 في عدد من المعالجات الطبية بما فيها مراقبة ومتابعة تدفق التيروكسين من الدرق. ويستنفذ هذا النظير، نظراً لقصر عمر النصف له البالغ ثمانية أيام، في أقل من ثلاثة أشهر. ليس لليود–129 أي استخدامات تجارية مهمّة.

ما دور اليود في البيئة؟

يوجد اليود في الطبيعة في مواد متنوعة، في التربة والصخور، وتحوي جميع الكائنات الحية تراكيز متدنية منه. يُتمثّل اليود بالطحالب البحرية والإسفنجيات (التي يُستخرج منها) ويوجد في ملح البارود التشيلي والكاليشه (نترات الصوديوم) والمياه الشديدة الملوحة مترافقاً مع التوضعات الملحية. تبلغ نسبة اليود–127 المستقر إلى اليود– 129 المشع في المحيط أكثر من 10 مليون إلى واحد. يحتوي الجسم البشري على 10 إلى 20 مليغرام من اليود حيث يوجد أكثر من 90% من هذه الكمية في الغدة الدرقية.

* نُشر هذا الخبر في مجلة ANL, OCTOBER 2001 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية.

يوجد اليود- 129 في العالم في التربة نتيجة السقط الحاصل من اختبارات السلاح النووي الجوية، وإن أي كمية من اليود- 131 قد وجدت نتيجة للسقط الجوي يمكن أن يكون قد أصابها الاضمحلال منذ زمن طويل. ويمكن أن يوجد اليود أيضاً كملوّث في المنشآت التي يعالج فيها الوقود النووي المستهلك.

اليود- 129 هو أحد النكليدات المشعة الأكثر تحركاً في التربة، ويمكن أن يتحرك إلى الأسفل مع الماء المترشح إلى المياه الجوفية. تبلغ تراكيز اليود في التربة الرملية تقريباً نفس تراكيزها في المياه البينية (في فراغات المسّام بين جسيمات التربة). يرتبط اليود بشكل مفضل أكثر مع الطفال الرملي حيث يُقدّر تركيزه في التربة بخمس مرات أعلى منه في المياه البينية. يُمثّل اليود- 129 أحد أكبر سحابات المياه الجوفية في موقع هانفورد الممتد من المنطقة 200 حتى نهر كولومبيا. اكتشفت تدرّجات منخفضة التركيز من اليود- 129، أقل من 100 آتوكوري في اللتر، في النهر (الأتوكوري هو جزء من المليون من البيكوكوري [pCi]، أو جزء من بليون جزء من البليون جزء من الكوري).

ماذا يحصل لليود في الجسم؟

يمكن أن يدخل اليود إلى الجسم لدى أكل الطعام أو شرب الماء أو تنفس الهواء. إنه مُكوِّن لهرمون الدرق وهو بذلك عنصر ضروري للبشر. يدخل اليود بسهولة في الدورة الدموية من خلال كل من الرئتين ومن السبيل المعدي المعوي (وبشكل أساسي 100%) بعد الاستنشاق وبعد تناول الطعام. وبعد دخوله الدورة الدموية يتوضع 30% منه في الدرق ويطرح 20% منه بسرعة مع البراز، ويزول الباقي من الجسم خلال وقت قصير (وفق أنماط مبسطة لا تعكس إعادة التوزيع المتوسطة). يعتمد تخلّص الدرق من اليود على العمر، بعمر نصف حيوي يتراوح بين 11 يوماً بالنسبة إلى الأطفال في مراحل نموهم الأولى و23 يوماً بالنسبة لطفل عمره خمس سنوات و 80 يوماً بالنسبة للبالغين.

ما هي التأثيرات الصحية الرئيسة لليود؟

اليود مكوّن أساسي للغذاء البشري، ونقص اليود الغذائي يسبب تضخم الغدة الدرقية. يمكن أن يكون اليود العنصري (I_2) ساماً، وبخاره يُخرّش العيون والرئتين. وبينما يكون اليود بشكل عام خطراً صحياً عندما يدخل الجسم في جرعات كبيرة فقط، فإن اليود- 131 يصدر جسيمات بيتا العالية الطاقة إلى حدٍّ ما وعدداً من أشعة غاما. تكون طاقة أشعة غاما كافية لقياسها خارج الجسم إذا كانت متوضعة في نسيج مثل الدرق. وباعتبار أن اليود يتوضع بشكل اختياري في الدرق فإن الخطر الصحي الرئيس لليود هو الأورام الدرقية الناتجة من الإشعاع المؤين الصادر عن اليود-129، واليود-131. وتاريخياً، فإن السبيل الأساسي للتعرض هو تناول الحليب من الأبقار التي ترعى على محاصيل ملوّثة باليود. تتضمن السبل الأخرى تناول الفاكهة والخضراوات والاستنشاق.

ما هي المخاطرة؟

حسبت معاملات مخاطر الوفيات بالسرطان مدى الحياة من أجل جميع النكليدات المشعّة تقريباً بما فيها اليود (انظر المؤطر). هنالك قيم إضافية متاحة أيضاً بما فيها ما يتعلق باستنشاق بخار اليود ويود الميتيل. وبالمشابهة مع النكليدات المشعّة الأخرى، فإن معاملات المخاطرة من أجل مياه الشرب تبلغ حوالي 75% ممّا هو مبيّن من أجل الطعام.

إن سرطان الدرق هو المخاطرة الرئيسة المرافقة لليود المشع. وبناءً على دراسات علم الأوبئة من أجل الإشعاع الخارجي، فإن الأطفال أكثر تحسّساً من الكبار للتشعيع الدرقي. لم تُبيّن المعطيات المتاحة لليود-131 أنه مسرطن في الدرق البشري. بينما أشارت دراسات معنية إلى تأثير فعال عند التعرض لليود-131 (مثل ما حدث في تشرنوبل حيث الإشعاع الخارجي كان عالياً جداً)، في حين لم تُشر دراسات أخرى إلى ذلك.

معاملات المخاطر الإشعاعية

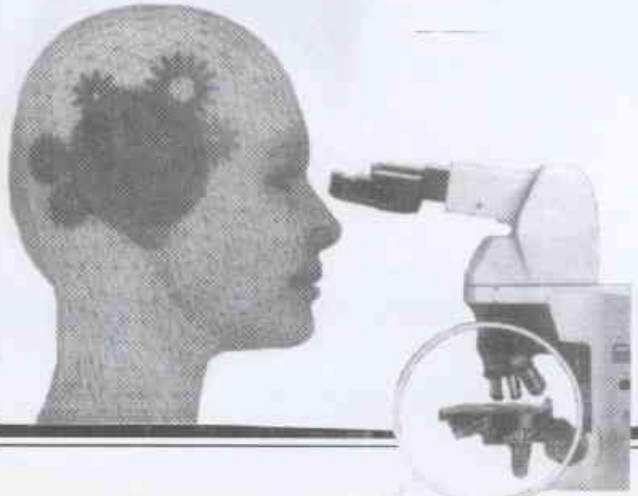
يُعطينا الجدول معاملات مخاطر مختارة من أجل الاستنشاق وتناول الطعام. استخدمت أنواع الامتصاص المتداولة الموصى بها من أجل استنشاق الحبيبات، واستخدمت قيم استهلاك الحليب من أجل تناول الطعام. المخاطر هي من أجل الوفيات بالسرطان مدى الحياة بالنسبة لامتصاص وحدة (pCi) وهي محسوبة على وسطي الأعمار وكلا الجنسين. القيم الأخرى المتضمنة انتشار الأمراض للوفيات متاحة أيضاً.

النظير	مخاطر الوفيات بالسرطان على مدى الحياة	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	تناول الطعام (pCi^{-1})
I-129	6.2×10^{-12}	3.3×10^{-11}
I-131	2.1×10^{-12}	1.4×10^{-11}

* * *

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

ورقات البحوث



كشف العيوب المرتبطة بالأكسجين في GaAs باستخدام مطيافية إصدار الإلكترون السطحي★

د. منذر ندّاف
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية- ص.ب 6091 – دمشق – سورية.
شيفا هولافاراد
قسم الفيزياء- جامعة بريتوريا- بريتوريا- 0002- جنوب أفريقيا.
س. ف. بوراسكر
قسم الفيزياء- مركز الدراسات المتقدمة في علم المواد و فيزياء الجسم الصلب- جامعة بونا- بونا- 411007 – الهند.

ملخص

دُرس تأثير إدخال الأُكسجين بشكل متعمد في سطح GaAs على حالات سطحه الطبيعية. ولقد عولج سطح GaAs بالأُكسجين بثلاث وسائل مختلفة: (1) بإنماء أكاسيد طبيعية، (2) بالتعريض إلى الأُكسجين في بلازما التجاوب السكلوتروني- الإلكتروني (ECR). (3) بالتشعيع بأيونات الأُكسجين عالية الطاقة. وتمّ تقدير الطاقات والكثافات النسبية لحالات السطح المحرّضة نتيجة لإدخال الأُكسجين بالطرق الثلاث السابقة، باستخدام مطيافية الإصدار الإلكتروني السطحي بالتحفيز الحراري (TSEE). أظهر طيف TSEE لعيّنة GaAs الشاهد وجود قمتين مطابقتين لسويتين من العيوب الطبيعية: القمة الأولى عند درجة حرارة 325 K (0.7 eV تحت عُصابة الناقلية E_c)، والثانية عند الدرجة 415 K (0.9 eV تحت السوية E_c)، و وجد بعد معالجة سطح GaAs بالأُكسجين وبالطرق الثلاث أن القمة الأولى انفصلت إلى قمم متعددة أو ازداد عرضها. تدل القمم المتعددة في طيف TSEE على وجود عُصابة من سويات العيوب المتجاورة. تشير النتائج وبشكل حصري إلى مساهمة المعقدات المرتبطة بالأُكسجين في تشكيل عُصابة من العيوب متمركزة عند درجة حرارة 325 K في طيف TSEE والتي تتوافق مع سوية طاقة 0.7 eV تحت السوية E_c، والتي تُعرف بسوية العيب ELO. تؤكد نتائج هذه الورقة أن قمة طيف TSEE عند 0.7 eV تحت E_c متعلقة بالعيوب المحرّضة بالأُكسجين، في حين لم تتأثر القمة عند 0.9 eV بوجود الجسيمات المرتبطة بالأُكسجين.

الكلمات المفتاحية: سوية العيب المرتبط بالأكسجين، GaAs، إصدار الإلكترون السطحي بالتحفيز الحراري.

مدخل

تشكل دراسة العيوب المتأصلة في GaAs واحدة من مجالات البحث الهامة في فيزياء السطوح والسطوح البينية. ويعتبر الأكسجين هو المادة الملوّثة لسطح GaAs الأكثر دراسة [1. 2]، والذي ينمو على سطحه بشكل Ga_2O_3 وبدوره يحرّض حالات منتصف الفجوة، مما يؤدي في النهاية إلى تثبيت pinning سوية فيرمي. وقد بيّنت الحسابات النظرية [3. 4] أن سوية منتصف الفجوة يمكن أن تتشكل في GaAs بتوضيع ذرّة أكسجين شائبة في موقع الزرنيخ (O_{As}).

وقام Logowski et al. [5] بدراسة تفصيلية حول تحديد سويات نصف الفجوة المرتبطة بالأُكسجين باستخدام الطريقة الطيفية لانتقالية السوية العميقة القياسية. كما توجد تقارير عن الحالات العميقة القريبة من منتصف الفجوة والمحرّضة بالأكسجين في GaAs [6. 7] ولقد بيّن Skowronski et al. [8] من خلال طريقتي التهييج الفوتوني وإزالة التنشيط الحراري لامتصاص نمط اهتزازي موضعي أن السوية عند 0.75 eV توافق المعقد فجوة- أكسجين في GaAs. ودرس أيضاً تأثير التلدين الحراري على المراكز المرتبطة

★ نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 183 (2001) 432-438.

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

بالأكسجين في GaAs باستخدام قياسات امتصاص الأشعة تحت الحمراء [9]. مؤخراً، استخدمت مطيافية التيار المحفّز حرارياً لتحديد السويات المرتبطة بالأكسجين في GaAs [10]. وأما الطبيعة الدقيقة لسويات العيب في سطوح GaAs والألفة بين مكوناته، نتيجة للمعالجة بالأكسجين، فقد دُرست بالتفصيل من قبل Mikhailov et al. [11]. لقد استخدموا بلازما الأكسجين لإقحام أيونات الأكسجين في GaAs واستعانوا بمطيافية إلكترون فوتوني للأشعة السينية في تحديد شظايا الأكسيد المختلفة على السطح. ومع ذلك، لا توجد محاولات لتحديد حالات السطح الناشئة من الأكسجين.

الورقة الحالية تسلط الضوء على المقدرة لإصدار إلكترون بارد باستخدام مطيافية إصدار الإلكترون السطحي بالتحفيز الحراري (TSEE)، من أجل فهم وتحديد حالات السطح المحرّضة بالأكسجين في GaAs. ولهذا فقد أُجريت تجارب لإدخال الأكسجين عمداً إلى السطح عن طريق: (1) تلدين العيّنة في جو من الأكسجين لفترات مختلفة، (2) تعريض السطح لبلازما الأكسجين في بلازما تجاوب سكلوتروني- إلكتروني (ECR)،(3)التشعيع بأيون الأكسجين باستخدام أيونات أكسجين بطاقة 4 MeV.

بعد ذلك، وصفت العيوب الناتجة باستخدام مطيافية TSEE. ولقد استخدمت هذه التقنية في أبحاثنا السابقة بشكل مكثف كأداة طيفية حسّاسة للسطح والتي تضمنت تعديل سطح GaAs بأيونات Si [12]، ودراسات حالة السطح في GaAs وInP [13]، وتحديد السويات العميقة في GaN [14]، وتأثيرات التهميد بالبوليميرات [15] ودراسات الإصدار للإلكترون السطحي من أكاسيد السليكون الغنية بالسليكون [16]. وبالمقارنة مع التقنيات الأخرى المستخدمة في تحليل حالة الفجوة مثل مطيافية انتقالية السوية العميقة (DLTS)، فإن مطيافية TSEE تتفوق بكون القياسات بها لا تتطلب تشكيل وصلة بالعيّنة تحت الدراسة وكذلك قدرتها بشكل حصري على كشف حالات السطح. في التقرير الحالي استُخدمت مطيافية TSEE ضمن الخلاء لدراسة حالات الفجوة المحرّضة بالأكسجين على سطح GaAs بعد أن عولج في الأجواء الثلاثة المختلفة. وتبيّن بشكل قاطع أن TSEE توفر قدرة فصل عالية من أجل تحليل حالة الفجوة.

التفاصيل التجريبية

عولج سطح (110) لعيّنات GaAs بالأكسجين في ثلاثة شروط مختلفة. ففي النوع الأول من المعالجة، سُخّنت العيّنة في وسط من الأكسجين عند درجة حرارة قدرها 900 K لفترات مختلفة تمتد من 5 إلى 20 دقيقة. وتمّت المعالجات ببلازما الأكسجين (النوع الثاني) باستخدام بلازما ECR للأكسجين المولّدة باستخدام مايكروويف بتردّد 2.45 GHz. فُرِّغت حجرة بلازما ECR قبل المعالجة إلى ضغط أساسي 1×10^{-6} Torr باستخدام مضخة انتثارية. نُمِّشت عيّنات GaAs (110) بشكل لطيف في محلول $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O = 4:1:1$ لمدة دقيقة ثم غُسلت بالماء المهدرج وجفّفت قبل استخدامها في المعالجة. حُمّلت العينات بعد ذلك في جهاز ECR. وكان الضغط خلال المعالجة بالبلازما من رتبة 10^{-4} Torr ومعدل انسياب غاز الأكسجين 2 sccm ودرجة حرارة العيّنة 800 K.

من أجل التشعيع بأيونات الأكسجين (النوع الثالث)، حُمّلت العيّنات على حامل عيّنة مربع في حجرة تفريغ عند ضغط 1×10^{-7} Torr. وربطت حجرة التفريغ إلى أحد خطوط الإشعاع لبلترون في مركز العلوم النووية، نيودلهي، الهند. شُعِّعت العيّنات بأيونات أكسجين طاقتها 40 MeV، والتي خمدت إلى 4 MeV باستخدام رقائق ألمنيوم مناسبة (سماكة 21μm)، بدفق تراوح بين 1×10^{12}-1×10^{14} ions cm^{-2}.

تملك أيونات الأوكسجين (4 MeV) مجالاً للتغلغل في GaAs من رتبة 2.8 mμm مع انتشار عشوائي طولي مقداره 3011Å . لذلك فإن الطبقة المطمورة من أيونات الأكسجين ستوجد عند هذا العمق.

وكانت عيّنات GaAs قد شطفت بالكحول الحار ومن ثم تحت تيار من الماء، وجُفِّفت بعد ذلك بوجود تيار من النتروجين، ثم حُمِّلت العيّنات في جهاز قياس TSEE لإجراء القياسات الطيفية. يتألف مطياف TSEE من حجرة من الفولاذ، تخلى باستخدام جهاز خلاء مكون من مضخة انتثارية مدعمة بمضخة ميكانيكية. واحتوى الجهاز على حامل عيّنة يسخن بشكل مقاومي، وموضع على إصبع بارد. بُرِّدت العيّنة أولاً بالنتروجين السائل إلى درجة حرارة قدرها 200 K ثم سُخِّنت بمعدل 9 K min^{-1} إلى الدرجة 550 K. كُشفت الإلكترونات الصادرة من السطح بوساطة مضاعف إلكتروني قنوي (GALILEO, CEM 4700)، (الذي استُخدم بالنمط النبضي للتشغيل)، موصول مع مقياس سرعة. غُذّي خرج مقياس السرعة إلى الطور "Y" لجهاز رسم بياني X-Y (PHILIPS, PM8132). تمّت مراقبة درجة حرارة العيّنة، بوضع مزدوجة حرارية مصنوعة من الوميل-كروميل في الجوار القريب للعيّنة. وشكّل خرج المزدوجة الحرارية الدخل "X" لجهاز الرسم البياني X-Y. و لم يتم في تجارب TSEE الحالية تطبيق أية معالجة خاصة بقصد إملاء المصائد، فيما عدا التبريد الطبيعي للعيّنات في المصفّحة وفي الضوء المرئي.

النتائج والمناقشة

من الأهمية بمكان قبل إجراء أية معالجة، تحديد العيوب في عيّنة GaAs الشاهد باستخدام مطيافية TSEE. يبيّن الشكل 1 طيف TSEE للعيّنة الشاهد n-GaAs (110)، بعد عملية التنظيف مباشرةً. تُعيَّن مراكز الأسر النشطة إلكترونياً بشكل قمم في طيف TSEE، والذي يستخدم موضعه على محور درجة الحرارة لتقدير طاقة العيب بوساطة العلاقة:

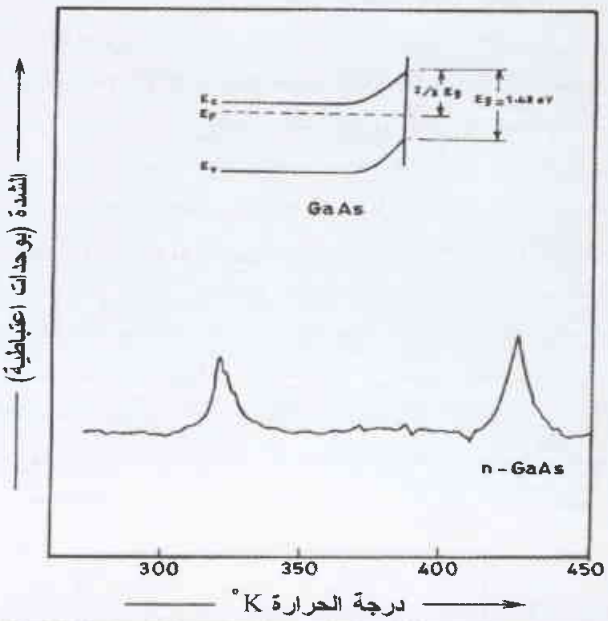
$$E_c - E_T = 25\ k_B\ T_m$$

حيث E_c حافة عُصابة الناقلية، E_T طاقة التنشيط لسوية العيب، k_B ثابت بولتزمان و T_m درجة حرارة القمة في طيف TSEE. يظهر

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

في الطيف قمتان عند درجتي حرارة قدرهما حوالي الدرجتين 321 K و431 K. ولوحظ وجود طاقتين بارزتين عند السويتين E_c - 0.69 eV وE_c - 0.92 eV مطابقتين لدرجتي الحرارة 321 K و431 K، على التوالي.

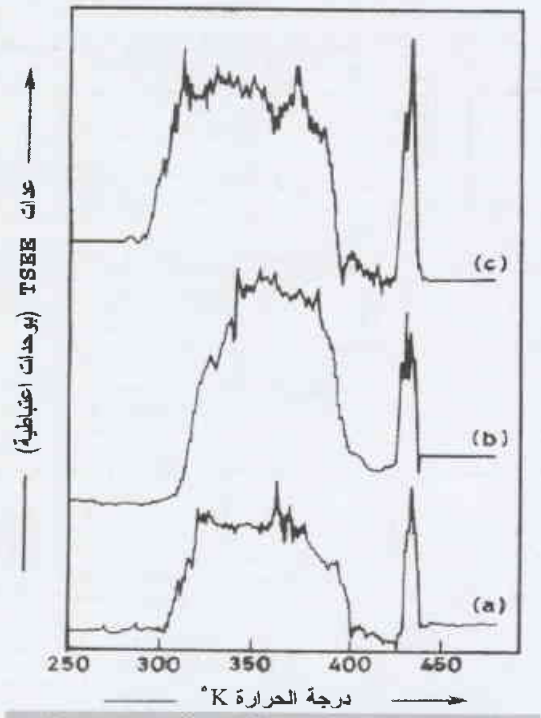
القمة الأولى عند 321 K، متطابقة مع السوية عند 0.69 eV تحت عُصابة الناقلية، وتتشابه بشكل كبير مع السوية الناشئة من فجوات الزرنيخ (V_{As}) وتفاعله مع ذرّات الأكسجين الممتزة [18]. حُدِّدت هذه السوية أيضاً عن طريق الحسابات النظرية باستخدام طاقة ارتباط هوبّارد Hubbard وتنسب إلى المعقد $O\text{-}V_{As}$ [19] الذي يُعرف عادةً بالعيب ELO.



الشكل 1- طيف TSEE لعيّنة GaAs الشاهد مبيّنا موضعي القمتين عند 321 K و 431 K المطابقتين لطاقتي تنشيط 0.68 eV و 0.92 eV، على التوالي. تبيّن المضمّنة محتملة عُصابة لموضع سوية فيرمي المثبتة في سطح GaAs.

السمة البارزة والجديرة بالملاحظة هنا هي أن السوية عند 0.92 eV تحت السوية E_c في n-GaAs تتطابق مع 2Eg/3 (2Eg/3=0.91 eV, Eg =1.42 eV) والتي تكوّن سوية فيرمي المثبتة في GaAs الناتجة عن العيوب الموجودة في الموضع المعاكس للزرنيخ (As_{Ga})، صُنِّف هذا العيب ضمن الفصيلة EL2 من سويات العيوب. تبيّن المضمّنة في الشكل 1 موضع سوية فيرمي المثبّتة و انحناء العُصابة عند سطح GaAs.

في الطريقة الأولى، ولإدخال عيوب سطحية محرَّضة بالأكسجين إلى العيّنة، تمّ إنماء طبقة أكسيد رقيقة وذلك بتلدين رقاقة GaAs في جو من الأكسجين. يُظهر الشكل 2 طيف TSEE لعيّنات GaAs الملدنة في جو من الأكسجين عند 900 K لمدة 5، 10 و20 دقيقة. ويُلاحَظ من الشكل حدوث تعريض ملفت للنظر في جميع أطياف TSEE الموافقة للقمة منخفضة الحرارة عند درجة حرارة قدرها 321 K، و يُعتقد أن ذلك ناشئ من التراكب بين قمم متوضعة بشكل متلاصق بعضها بجوار بعض. ولم تتأثر القمة الثانية عند درجة الحرارة 431K كثيراً، باستثناء نشوء بنية دقيقة فيها.

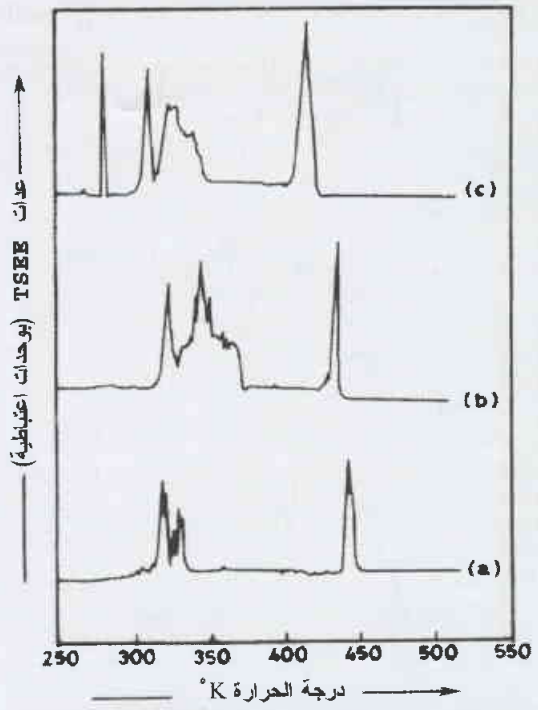


الشكل 2- أطياف TSEE لعيّنة GaAs سُخّنت إلى درجة حرارة 900 K تحت جريان الأكسجين لمدة: (a) 5 دقائق، (b) 10 دقائق، (c) 15 دقيقة

يُظهر الشكل 3 أطياف TSEE لسطح GaAs المعالج ببلازما الأكسجين، (الطريقة الثانية) لفترات زمنية 10,5 و 20 دقيقة. كما هو واضح من الشكل، فإن القمة الأولى عند حوالي 321K قد انفصلت إلى قمتين. ووجد حسابياً أن طاقتي التنشيط، لهاتين القمتين، هما حوالي 0.68 eV و 0.7 eV تحت حافة العُصابة. وبازدياد زمن المعالجة بالبلازما ازدادت درجة الانفصال في القمة مع تغيّر بسيط في درجة حرارتها. والجدير بالملاحظة أيضاً أن القمة عند 431K لم يطرأ عليها تقريباً أية تغيّرات معتبرة، باستثناء حدوث انخفاض بسيط في درجة حرارتها.

يظهر الشكل 4 أطياف TSEE لعيّنات GaAs المشعّعة بأيون أكسجين بطاقة 4 MeV. (الطريقة الثالثة) من أجل تدفقات مختلفة تتراوح بين 1×10^{12} إلى 1×10^{14} ions cm^{-2}. ويُشاهد مرة أخرى أن القمة عند حوالي 321K قد انفصلت إلى قمتين، في حين انزاحت القمة عند 421K نحو درجات حرارة أعلى من أجل التدفقات الأعلى.

يظهر من مقارنة سريعة لمنحنيات TSEE التي تمّ الحصول عليها من أجل الأنواع الثلاثة من التجارب المذكورة أنفاً، أن القمة الأولى منخفضة درجة الحرارة عند حوالي 321K قد عُدِّلت وبشكل ثابت في كل الحالات. وبما أن حالات السطح في كل من الطرق الثلاث قد عُدِّلت بوجود الأكسجين، فإن ذلك يدل ضمنياً على أن قمة درجة الحرارة المنخفضة عند 321K يجب أن تكون مرتبطة مع العيوب المرتبطة بالأكسجين في GaAs. فهذه القمة تبدي تعريضاً في العيّنات التي نمّي أكسيد على سطوحها حرارياً. ويرجع هذا التعريض في قمة TSEE إلى سويات من العيوب المتعددة والتي



الشكل 3- أطياف TSEE لعينة GaAs المعالجة ببلازما الأكسجين لمدة: (a) 5 دقائق، (b) 10 دقائق، (c) 15 دقيقة.

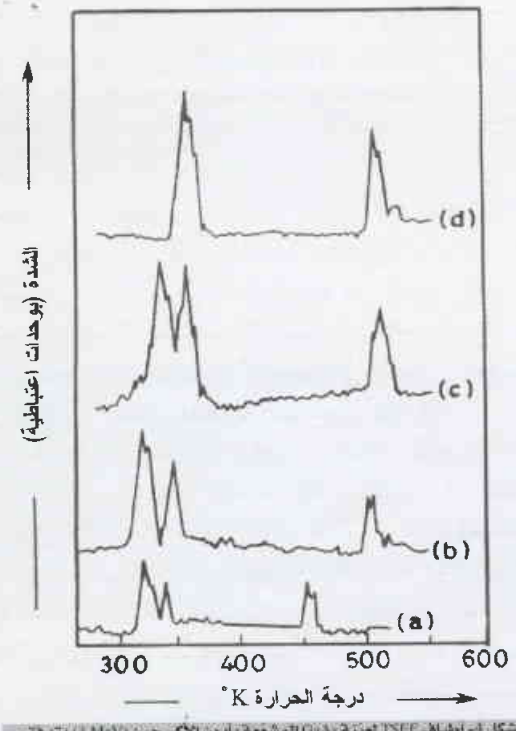
تكون متوضعة بشكل متجاور في داخل فجوة العُصابة. وهذا يمكن أن ينشأ من غياب الاستكيومترية في الأكسيد والتي تسبب إجهادات في السطح. ويتوقع خلال عملية التسخين أن يحدث انتشار خارجي للزرنيخ، الأمر الذي يمكن أن يسبب إجهادات إضافية بالقرب من السطح. وعندما تكوّن العيوب المتعددة سويات منفصلة في فجوة العُصابة فإن قمة TSEE ستظهر منفصلة إلى قمتين أو ثلاث كما هو الحال في الشكل 3 و 4.

لدى معالجة سطح GaAs ببلازما الأوكسجين تبيّن أن هنالك ثلاث عمليات ممكنة: (1) التفاعل بين بلازما الأكسجين وسطح GaAs النظيف والذي ينشأ عنه تشكيل معقدات للأكسجين مع شواغر الزرنيخ الموجودة أصلاً، (2) تشكيل فِلم أكسيدي رقيق مثل Ga_2O_3، (3) التفاعل بين بلازما الأكسجين وأكسيد الغاليوم وGaAs مؤدياً إلى عيوب سطحية.

ويمكن أن يُفهم تشكيل شظايا من النوع Ga-O في GaAs نظراً للتماثل بين حجم ذرّة As وحجم ذرة Ga من ناحية، والاختلاف في الطاقة السطحية للزرنيخ ($\sim 0.2\ Jm^{-2}$) والتي هي أصغر بكثير من الطاقة السطحية للغاليوم ($\sim 0.784\ Jm^{-2}$)، من ناحية أخرى[20]. وبالتالي يمكن التوقع بأنه تحت تأثير المعالجة ببلازما الأكسجين فإن الزرنيخ سيتحرك إلى سطح GaAs بشكل أكبر من الغاليوم نتيجة للفصل المحفّز بالطاقة السطحية. ومن المعروف أن رجم GaAs الخالي من الأكسيد يقود إلى إنتاج طبقة تحت سطحية غنية بالغاليوم وبعمق مساوٍ لتغلغل الشظايا الراجمة [21, 22].

وعند حدوث ذلك الأكسجين العالي التدفق فإنه يتفاعل مع سطح GaAs، وكما نوقش أعلاه، فإن ذلك يؤدي إلى نقص في الزرنيخ، ومن ثم شواغر الزرنيخ هذه تشكّل معقدات مع الغاليوم. وبما أن درجة حرارة السطوح المنمشة منخفضة، فلا يمكن اعتبار الانتشار الحراري المسبب لأي من التغيّرات الملاحظة، ولذلك فإن هذه المعالجة ستقود إلى تشكّل معقدات Ga-O مؤدية إلى انشطار القمة عند 321K.

في عيّنات GaAs المشعّعة بالأكسجين، فإن الأيونات بطاقة 4MeV ستشكّل طبقة مطمورة عند حوالي 2.79μm، (بتبعثر طولي من مرتبة 0.3μm ±)، تحت السطح. وأما الفقْد في الطاقة الإلكترونية $(dE/dX)_{electronic}$ لأيونات الأكسجين (4MeV) في GaAs فيساوي 1.9MeV/μm وهي قيمة كافية لإحداث قدر صغير من التخريب قرب السطح فقط، الأمر الذي يمكن أن يسبب انتشاراً خارجياً للأكسجين المطمور نحو السطح عن طريق ظاهرة الانتشار المعزز بالإشعاع عند درجة حرارة الغرفة. ولقد بيّنا في تقرير سابق [12] حدوث ازدياد بمقدار عدة مراتب لثابت انتشار أيونات السليكون في GaAs المشعّع أيونياً. وعلاوة على ذلك، فقد لاحظنا في دراساتنا السابقة [23] أن إعادة هيكلة السطح تشكل ظاهرة في أنصاف النواقل المشعّعة أيونياً. وبما أن عمق الإفلات لإلكترونات TSEE هو حوالي 500 Å فلذلك من الممكن أن لا ترى الطبقة المطمورة بشكل مباشر، ولكنها ستتأثر بتشكّل الشظايا الأكسيدية في السطح. ومن المحتمل أن وجود هذه الشظايا الأكسيدية هو



الشكل 4- أطياف TSEE لعينة GaAs المشعّعة بأيون الأكسجين (4 MeV) بتدفق:
(b) 1×10^{15} ions cm^{-2} (a) 1×10^{14} ions cm^{-2}
(d) 1×10^{16} ions cm^{-2} (c) 5×10^{15} ions cm^{-2}

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

المسؤول عن القمم المتعددة الملاحظة قرب 325 K في كل من العيّنات المشعّعة أيونياً. ولدى زيادة الدفق من $1x10^{12}$ ions cm^{-2} إلى $1x10^{14}$ ions cm^{-2} (الأشكال: (d)–(4(b)) فإن الثنائية الظاهرة عند حوالي 325 K تبقى (ضمن الدقة التجريبية) عند نفس الموقع، ومع ذلك يُشاهد أن شدة القمم تزداد بازدياد الدفق، مما يدل على أن سوية العيب هذه متعلقة بالأكسجين. وبحسب Logowski et al. [5] و Skowronsk & Kremer [9] فإن هذا العيب ينسب إلى المعقد $O-V_{As}$. ولقد تبيّن أن هذه السوية تكوّن بشكل ثابت ثنائية ($\Delta E=0.06$ eV). وأما الانفصال في سوية الطاقة فيمكن أن يكون نتيجة لمراكز من النوع $O-V_{As}$ ومشحونة ثنائياً. ومن الجدير بالذكر أن هذه الميزة في كشف الثنائيات تبرهن على قدرة الفصل العالية لمطيافية TSEE. ومن الممكن (وبشكل متساوٍ) وجود سويتي إعادة اتحاد مختلفتين ومتلاصقتين معاً، الأمر الذي ستنشأ عنه قمتا إصدار إذا ما افترض بأن الإلكترونات السطحية exo-electrons تصدر بعملية مشابهة لنوع أوجيه في إعادة الاتحاد.

وكما رأينا (وضمن الدقة التجريبية)، فقد أدت المعالجة بالأكسجين وبالطرق الثلاث إلى حدوث تغيّرات متطابقة تقريباً في طيوف TSEE تمثلت في حدوث تعريض في القمة الأولى عند حوالي 321K بعد كل معالجة.

وإنه لمن المهم ملاحظة أن كلاً من التشعيع بالأيونات الثقيلة وبالبلازما لم ينتجا عيوباً جديدةً فيما عدا التسبب في إعادة هيكلة بسيطة قرب السطح. ويمكن أن يفسر التركيز المنخفض للعيب في حالة التشعيع الأيوني عند درجة حرارة الغرفة على أساس حدوث تلدين مكاني لعيوب نقطية متحركة بشكل مماثل لما وجد في التقرير المنشور من قبل Wesch et al.[26] و Herre et al. [25] و Wendler et al. [24]. على أية حال، إن إدخال الأكسجين حتى بالأكسدة الفيزيائية قد أنتج تأثيرات على حالات السطح مشابهة لتلك المسجلة [5] لأجل GaAs حيث تمّ دمج الأكسجين خلال النمو.

الاستنتاج

بيّنت نتائج التجارب أن القمم الظاهرة في طيف TSEE عند حوالي 0.7 eV تحت السوية E_c (حوالي 325 K)، بعد معالجة سطوح من GaAs بالأكسجين وبثلاث طرق مختلفة تتعلق بشكل أكيد بمعقدات الأكسجين في شوائب الزرنيخ. وعلى الرغم من الاختلاف في الطريقة التي أدخل فيها الأكسجين إلى السطح في الطرق الثلاث للمعالجة، إلا أنه من الجدير بالملاحظة أنه تمّ الحصول على نتائج متطابقة تقريباً نتيجة لتأثير المعقدات المرتبطة بالأكسجين. وتُظهر النتائج الكفاءة التامة لمطيافية TSEE في كشف حالات السطح في أنصاف النواقل. ومن الجدير بالملاحظة أن هذه التقنية تتفوق على التقانات الأخرى المستخدمة لقياس العيوب مثل DLTS، من حيث إنها حساسة بشكل كبير جداً للسطح، كما أنها لا تتطلب تشكيل أية وصلة مع السطح المدروس مما يجعلها سهلة التحليل.

المراجع

REFERENCES

[1] International Symposium on GaAs and Related Compounds, Biarritz, Inst. Phys. Conf. Ser. 74, (1984) 41.

[2] P. Mooney, N.S. Cawell, and L. Wright, J. Appl. Phys. 62 (1987) 4786.

[3] M. Jaros, Adv. Phys. 29 (1980)409.

[4] D.J. Wolford, S. Modesti, B.G. Streetman, Inst. Phy. Conf. Ser. 65 (1983) 501.

[5] J. Logowski, D.G. Lin, T. Ayoma, H.C. Gatos, J. Appl. Phys. 59, 2451 (1986).

[6] J. Blanc, L.R. Weisberg, J. Phy. Chem. Solids. 25, 225 (1964).

[7] P.J. Hjalmarson, P. Vogl, D.J. Wolford, J.D. Dow, Phys. Rev. Lett. 44, 810 (1980).

[8] M. Skowronski, S.T. Neild, R.E. Kremer, Appl. Phys. Lett. 57, 902 (1990).

[9] M. Skowronski, R.E. Kremer, Appl. Phys. Lett. 69, 934 (1991).

[10] M. Pavlovic, B. Santic, U.V. Desnica, J. Phys. D: Appl. Phys. 28 (1995) 934.

[11] G.M. Milhailov, S.A. Khudobin, I.V. Malikov, Vacuum 46 (1995) 65.

[12] S.S. Hullavarad, T.A. Railkar, S.V. Bhoraskar, P.Madhukumar, V.N.Bhoraskar, S. Badrinarayana, N.R. Pawaskar, J. Appl. Phys. 82, 1962 (1998).

[13] S. S. Hullavarad, S.V. Bhoraskar and D.N. Bose, J. Appl. Phys. 83, 5597 (1997).

[14] S.S. Hullavarad, S.V. Bhoraskar, S.R. Sainkar, S. Badrinarayana, A.B.Mandale, V. Ganesan,Vacuum, 55, 121 (1999).

[15] T.A. Railkar, R.S. Bhide, S.V. Bhoraskar, V. Manorama, V.J. Rao, J. Appl. Phys. 72, 155 (1992).

[16] S. Dusane, T.M. Bhave, S.S. Hullavarad, S.V. Bhoraskar, S. Lokhare, Solid State Comm. 111, 431 (1999).

[17] J.T. Randall and M.H.F. Wilkins, Proc. R. Soc. London. Ser. A 184, 366 (1945).

[18] S.S. Hullavarad, S.V. Bhoraskar, D. Kanjilal, Nucl. Instr. and Meth. B, 156, 95 (1999).

[19] P.M. Mooney, J. Appl. Phys. 67, R1 (1990).

[20] R.C. West and D.R. Lide, "Handbook of Physics and Chemistry", 70th ed. (CRC, Boca Raton, 1989).

[21] J.L. Sullivan, W. Yu, and S.O. Saied, Appl. Surf. Sci. 90, 309 (1995).

[22] J.L. Sullivan, W. Yu, and S.O. Saied, Surf. Interface Anal. 22, 515 (1994).

[23] T.M. Bhave, S.V. Bhoraskar, P. Singh and V.N. Bhoraskar, Nucl. Instr. Meth. B123, 409 (1997).

[24] W. Wesch, E. Wendler, T. Bachmann, O. Herre, Nucl. Instr. And Meth. B 96 (1995) 290.

[25] O. Herre, E. Wendler, N. Achtziger, T. Licht, U. Reislöhner, W. Wesch, T. Bachmann, M. Rüb, F.F. Komarov, P.I. Gaiduk, Nucl. Instr. And Meth. B 120 (1996) 230.

[26] E. Wendler, B. Breeger, C. Schubert, W. Wesch, Nucl. Instr. And Meth. B 147 (1999) 155.

* * *

فصل الرصاص عن السترونسيوم من عيّنات مرجعية بالتبادل الأيوني وقياس الرصاص على شكل معقد إيوسين$^{-2}$ و رصاص-كربتاند (2.2.2)$^{+2}$ بالمطيافية الضوئية★

د. رفعت المرعي - عمر الشياح
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 دمشق - سوريا

ملخص

تتضمن طريقة تعيين تركيز الرصاص خطوتين: الأولى فصل الرصاص عن السترونسيوم من عينات جيولوجية مرجعية والثانية قياس الرصاص على شكل معقد [رصاص- كربتاند (2.2.2) Cryptate - إيوسين] بالمطيافية الضوئية. استخدم المبادل الأيوني Cl^- (Dowex 1x4) ضمن عمود فصل ولكن بعد تغيير أيون Cl^- إلى Br^- باستخدام وسط من HBr 6M، يحتجز في الوسط HBr 0.5M ضمن العمود أيون الرصاص وتعبر الأيونات Cr^{3+}، Fe^{3+}، K^+، Na^+، Mg^{2+}، Sa^{2+}، Ba^{2+}، Sr^{2+} و Al^{3+} عبر العمود مع هذا المحلول ثم ينزع الرصاص بغسل المبادل بمحلول HBr 6M اختبرت فعالية الفصل للمبادل بتحضير محاليل معيارية للأيونات التالية: Cr، Fe، K، Na، Ba، Mg، Ca، Sr، Pb و Al ووجد أن معامل الانتقائية لعملية فصل الرصاص عن السترونسيوم هو $K_{Sr}^{Pb} \approx 10^9$. ولقياس الرصاص بطريقة المطيافية الضوئية تمَّ الاعتماد على تشكيل الرصاص معقداً مع الكربتات عند pH 8.3 وباستخدام محلول موقي من بورات الصوديوم/حمض كلور الماء. وبعد ذلك يستخلص المعقد [إيوسين -2.2.2 كربتاند -Pb] بالكلوروفورم وتُقاس عند طول موجة 550 nm. جرى حساب معاملات الطريقة وهي: الاسترداد، الدقة، الضبط، خطية الطريقة، وحدّ الكشف لطريقة المطيافية الضوئية فكانت على الترتيب 99.58 %، 1.7%، 0.080 $\mu g.mL^{-1}$، 0.9 $\mu g.mL^{-1}$ و 0.060 $\mu g\ mL^{-1}$

الكلمات المفتاحية: رصاص، راتنج مبادل أيوني، كربتاند (2.2.2)، مطيافية ضوئية، كمونية التعرية المصعدية (البولاروغراف)، مطيافية الامتصاص الذري، مطيافية أشعة غاما.

مقدمة

يعتبر الرصاص من العناصر المهمّة في كيمياء البيئة لكونه عنصراً ساماً ولو بتراكيز ضئيلة جداً، لذا كان من الضروري الاهتمام به وتحديد تركيزه في العينات البيولوجية والجيولوجية والمشكلة الأساسية هي وجوده بتراكيز ضئيلة جداً في الطبيعة ($\sim 15\ \mu g\ g^{-1}$) مما يُعقّد أو حتى يمنع التطبيقات المباشرة لطرائق تحليله نظراً لتداخل المادة الحاملة، لذلك كان من الضروري إجراء عملية فصل وتركيز للرصاص قبل قياسه، ويعتبر التبادل الأيوني والاستخلاص بالمحلات الأوسع استخداماً في عملية الفصل والتركيز [1-6]، كما تعتبر مركبات الكربتاند (2.2.1 و 2.2.2) من المركبات المهمّة بتشكيل معقدات ثابتة نسبياً وانتقائية لعدد من الأيونات (القلوية الترابية، الكادميوم، الرصاص) [7-11]، وقد استخدمت مركبات الكربتاند بتعيين تركيز الرصاص في المشروبات الغازية [12-14]، باستخدام تقنية الفلورومتري وذلك بتشكيل معقد (رصاص-كربتاند)، ولكن المشكلة الأساسية هي تداخل السترونسيوم بشكل كبير حتى عند وجوده بتراكيز منخفضة وكذلك تداخل بعض الأيونات Ag، Ca، Sr، Cr، Fe، Al، Cd. وقد عزي تداخل الحديد والكروم وسط العمل العالي القلوية مما يؤدي إلى ترسيب الهدروكسيد، والذي يمنع تشكيل واستخلاص المعقد [15]، كما تم استخدام النظير المشع (^{85}Sr) في الدراسات البيئية [16] واستخدم جهاز المطيافية الضوئية

★ نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة JOURNAL OF TRACE AND MICROPROBE TECHNIQUES Vol. 21,No. 1,pp. 13-24, 2003

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

لقياس الرصاص على شكل معقد رصاص ـ كربتاند (2.2.2) [17].
ولكن هناك عدة نقاط ضعف في هذه الطريقة:

1- امتصاصية عالية لمحلول الشاهد.
2- درجة pH 11 العالية تسبب بعض الترسبات.
3- فصل الأطوار يأخذ وقتاً طويلاً.
4- ازدياد مقاومة الأيونات.

ومعظم الطرق المنوَّه بها أعلاه قد تم التخلُّص من التداخلات إما بزيادة القوة الأيونية أو بالفصل الكيميائي، ولكن أياً من الطرائق لم تنجح بالتخلص من تداخل Sr مع Pb على شكل معقد الكربتات.

من الملاحظ أيضاً أن ثوابت الاستقرار لمعقدات الكربتات مع السترونسيوم والرصاص متطابقة K_S (Pb) =12.0, K_S (Sr)=11.5

وانتقائية الكربتاند (2.2.2) لكلٍّ من الرصاص والسترونسيوم عالية، لذلك دائماً السترونسيوم يتداخل عند قياس الرصاص على شكل معقد الكربتاند (2.2.2) بطريقة الفلورومتري والمطيافية الضوئية.

بعض الأبحاث السابقة [4,5] حاولت فصل الرصاص عن السترونسيوم باستخدام المبادلات الأيونية في وسطين مختلفين من HCl ومحلول قلوي (1:1 NH_4OH+ NaOH 2M) ولكن بدون نجاح.

ركّز هذا العمل على الفصل الانتقائي للرصاص عن السترونسيوم والأيونات الأخرى الموجودة في عينات مرجعية جيولوجية، وباستخدام راتنج المبادل الأيوني. واستخدم قفاءان من النظيرين المشعين ^{85}Sr و ^{131}Ba في دراسة الفصل بالمبادل الأيوني، ومن ثم قياس الرصاص على شكل معقد رصاص ـ كربتاند $(2.2.2)^{2+}$ – إيوسين -2 بطريقة المطيافية الضوئية.

العمل التجريبي

المحاليل والأجهزة

- تم تحضير محلول الكربتاند(2.2.2)
كربتاند (2,2,2):
{4,7,13,16,21,24-Hexaoxa-1,10-diazabicyclo- (8.8.8) hexacosane, Merch} ($2x10^{-3}$M)

- تم تحضير محلول الإيوسين بشكل يومي (Merck).
Eosin (tetrabromofluorescein) solution $3.4x10^{-4}$ M

- محلول موقي (pH=8.3) تم تحضيره بمزج 59.4mL من محلول البوركس 0.05 M مع 40.6mL من HCl 0.1 M من (G.R. Merck).

- كلوروفورم (G.R Merck).

- حمض الآزوت وحمض كلور الماء (G.R Merck).

- محاليل معيارية من الأيونات Pb, Sr, Na, K, Mg, Ca, Ba, Al, Fe و Cr حضرت من محاليل معيارية خاصة بجهاز الامتصاص الذري (Merck).

- راتنج مبادل أيوني Dowex 1x4 (Cl- form, 100-200 mesh, Fluka).

-الأجهزة المستخدمة:

UV-VIS-NIR 3101 PC(Shimadzu, Japan).

Atomic Absorption Spectrometry (AAS, Perkin Elmer, 2380).

Anodic stripping voltametry, V. A. Stand 694, (Metrohm).

γ- spectrometer. HPGe 12.5% efficiency with MCA-Canberra 5-100.

طريقة الفصل بالمبادل الأيوني:

تم تغيير الزمرة الأيونية في المبادل من Cl^- إلى Br^- بوضع الراتنج ليلة كاملة على هزازة كهربائية بسرعة 250 دورة/دقيقة مع محلول HBr 6M (G.R. Merck)، ثم أخذت خمسة غرامات من الراتنج (Br^-) ووضعت في عمود زجاجي (قطره 0.8cm وطوله 15cm) وملئ بماء ثنائي التقطير وترك حتى يهدأ ثم وضعت طبقة من الصوف الزجاجي على سطح المبادل وغسل بالماء الثنائي التقطير عدة مرات وأخيراً غسل بـ 50 mL من محلول HBr 0.5M.

تم تحضير محلول معياري يحتوي على الأيونات

100 $\mu g\ mL^{-1}$Pb, 100$\mu g\ mL^{-1}$ Sr, 3 $mg\ mL^{-1}$ Na, 12 $mg\ mL^{-1}$ K, 11 $mg\ mL^{-1}$ Mg, 500 $\mu g\ mL^{-1}$ Ba, 163$mg\ mL^{-1}$ Ca, 47 $mg\ mL^{-1}$ Al, and 26 $mg\ mL^{-1}$ Fe, and 500 $\mu g\ mL^{-1}$ Cr.

بوسط HBr 0.5M ومرِّر من خلال العمود بسرعة 0.8mL/min ثم غسل العمود بـ 50mL من محلول HBr 0.5M، جمع هذا المحلول من أجل التحليل، وبعد ذلك غسل الراتنج بـ 50mL من محلول HBr 6M وبنفس السرعة السابقة، وأيضاً جمع المحلول لوحده من أجل التحليل، وبُخِّر كلا المحلولين بشكل منفصل لقرب الجفاف عند درجة حرارة 85°C على سخانة كهربائية مع إضافة 2mL من HNO_3، مُدد المحلولان في النهاية إلى 25mL بماء ثلاثي التقطير. جرى قياس الرصاص في المحلولين بالمطيافية الضوئية وجهاز البولاروغراف [18] في حين جرى قياس الأيونات Ba.Sr.Ca.Mg.Na.K.Fe.Cr.Al بجهاز الامتصاص الذرّي [19,20] والجدول (1) يوضح النتائج. جرت إعادة تنشيط العمود بغسله بـ 50mL من محلول HBr 6M و 50mL ماء ثلاثي التقطير وأخيراً بـ 50mL HBr 0.5M ليكون جاهزاً للعمل القادم.

كما استخدم النظيران المشعان ^{85}Sr (نصف عمره 65 يوماً) و^{131}Ba (نصف عمره 11.5 يوم) المحضرَّان في المفاعل (MNSR) في هيئة الطاقة الذرية السورية، من أجل التأكد من إنجاز عملية الفصل بالمبادل الأيوني، أخذت حجوم متطابقة لكل من ^{85}Sr و ^{131}Ba في وسط HBr 0.5M وقد تم تعدادها باستخدام مطيافية غاما لمدة 1000 ثانية عند الطاقات 514 keV و124 keV على الترتيب، ومررت في عمود المبادل الأيوني وبنفس الطريقة السابقة، والنتائج موضحة بالجدول (1)، وهي تبين أن ^{85}Sr و ^{131}Ba قد تم فصلهما عن الرصاص بشكل كمي.

الجدول 1- فصل الرصاص بالتبادل الايوني عن الايونات المتداخلة من المحلول المعياري.

العناصر	المأخوذة ($\mu g.mL^{-1}$)	عدات النشاط المأخوذة بـ 1000 ثانية	المتبقي في الراتنج* ($\mu g.mL^{-1}$)	عدات النشاط المتبقية# بـ 1000 ثانية
pb	100		[a]98.0±2.00 [b]98.3±0.42 [c]98.5±0.00	
Na	3000		< 0.02	
K	12000		< 0.05	
Ca	163000		< 0.10	
Ba	500	4076(^{131}Ba)	< 0.5	20
Sr	100	125070(^{85}Sr)	< 0.11	100
Mg	11500		< 0.01	
Fe	26000		< 0.20	
Al	47000		< 1.30	
Cr	500		< 0.1	

* النتائج هي متوسط عشر إعادات.
# النتائج هي متوسط خمس إعادات (مطيافية أشعة غاما).
a نتائج مطيافية الامتصاص الذرّي.
b نتائج قياس كمون التعرية المصعدية.
c نتائج المطيافية الضوئية المعدلة.

تحضير العينات الجيولوجية المرجعية

تم إجراء هذه الدراسة على العينات المرجعية التالية:
BCR 144 (sewage sludge), SL-1 (lake sediment), SD-M2/TM (marine sediment), Soil-7.

وتمَّ أخذ مكررين من كل عينة مرجعية وضعا في بيشر من التفلون PTFE وحضرا بالطريقة التالية: أضيف 5mL من HNO3 وHF لعينة وزنها (0.6 g) وبخرت لقرب الجفاف على سخانة كهربائية درجة حرارتها 85°C، أعيدت هذه المرحلة مرة أخرى ثم أضيف 5mL من HNO_3 و 5mL من $HClO_4$ وبخرت لقرب الجفاف وفي النهاية أضيف 5mL من HNO_3 وبخر تماماً وبدرجة حرارة أقل من السابق، الراسب المتبقي حُلَّ في 5mL من HBr 0.5M ونقل إلى عمود المبادل الأيوني وأجريت طريقة الفصل كما أجريت للمحاليل المعيارية، جرى تحديد الرصاص بالمطيافية الضوئية على شكل معقد رصاص - كربتاند (2,2,2) إيوسين، في حين حدد السترونسيوم بجهاز الامتصاص الذرّي والنتائج موضحة بالجدول (2).

الجدول 2- فصل الرصاص عن السترونسيوم بالمبادل الأيوني في المواد الجيولوجية المرجعية

العينات	العناصر*	الحاضرة	المارة مع 0.5M HBr	المحدّدة بـ 6M HBr
BCR 144	[a]Pb	495±19		483±10
	[b]Pb		<0.01	485±11
	Sr	N.C	—	—
SL-1	[a]Pb	37.7±7.4		36.9±0.8
	[b]Pb		<0.01	36.8±0.6
	Sr	3.20	3.14±0.11	
SD-M-2/TM	[a]Pb	22.8		22.2±0.4
	[b]Pb		<0.01	21.9±0.3
	Sr	540	537.5±11.2	
SOIL-7	[a]Pb	60.0		58.64±1.10
	[b]Pb		<0.01	58.83±0.91
	Sr	108.0	107.5±4.1	

* النتائج هي متوسط عشر إعادات.
a قياس بالمطيافية الضوئية.
b قياس كمون تعرية مصعدية.
N.c غير موثق.

طريقة تحديد الرصاص

حدد تركيز الرصاص الناتج من غسل المبادل الأيوني بوسط HBr 6M بالطريقة التالية:

أخذ 2mL من المحلول الحاوي أقل من 9ppm ووضعنا في قمع زجاجي 50mL، أضيف 0.5mL من محلول موقي اللاعضوي لضبط pH عند 8.3، وأضيف 0.3mL من محلول الكربتاند (2,2,2) و0.2mL من محلول الإيوسين، وخض القمع بقوة لمدة خمس دقائق على خضاضة كهربائية 300 دورة/دقيقة، ثم أضيف 3mL من المذيب الكلوروفورم، وخضَّ المزيج لمدة عشر دقائق، جرى قياس امتصاصية المعقد المتشكل رصاص - كربتاند (2,2,2) إيوسين بجهاز المطيافية الضوئية UV-VIS-NIR spectrophotometer عند طول موجة 550nm وباستخدام خلية من الكوارتز (100QS).

مناقشة النتائج

طريقة الفصل

جرى التأكد من مقدرة الفصل للمبادل الأيوني في الوسطين HBr 0.5M و HBr 6M باستخدام النظرين المشعين (^{85}Sr و ^{131}Ba)، ووجد أن عامل الفصل عالياً ويساوي $K_{Sr}^{Pb} \approx 10^9$ وهذا يعني أن فعالية الراتنج لعملية فصل الرصاص عن السترونسيوم جيدة. وبعد إجراء عملية الفصل استخدم جهاز البولاروغراف [18] وجهاز الامتصاص الذرّي [19، 20] ومطيافية غاما [21] والمطيافية الضوئية لقياس الأيونات المفصولة، والنتائج موضحة بالجدول (1). حيث يوجد الرصاص بوسط HBr 0.5M يتواجد على شكل الأيون $PbBr_3^-$ في حين يبقى السترونسوم على شكل Sr^{2+}، لذلك نلاحظ مرور السترونسيوم بهذا الوسط من خلال الراتنج وبقاء الرصاص، الذي يمكن نزعه على شكل $PbBr4^{2-}$ بغسل المبادل بوسط HBr 6M، حسب الآلية المقترحة التالية للتفاعل :

$$Pb^{2+} + Sr^{2+} + 3Br^- \xrightarrow{0.5M\ HBr} PbBr_3^- + Sr^{2+}$$ (في محلول التغذية)

$$RBr + PbBr_3^- + Sr^{2+} \xrightarrow{\text{محلول التغذية}} R\,PbBr_3 + Sr^{2+} + Br^-$$ (طبقة راتنج)

$$R\,PbBr_3 + 2Br \xrightarrow{6M\ HBr} RBr + PbBr_4^{2-}$$ (محلول ممدِّد)

تم حساب معامل الانتقائية للراتنج من أجل Pb و Sr على عينة مرجعية (soil 7):

$$K_{Sr}^{Pb} = \frac{(C_{Pb})_r^{Zsr} \cdot (C_{Sr})_s^{Zpb}}{(C_{Pb})_s^{Zsr} \cdot (C_{Sr})_r^{Zpb}} = \frac{(59.97)^2 \cdot (107.5)}{(0.03)^2 \cdot (0.5)} = \frac{386613}{0.00045} = 859140215 \approx 10^9$$

حيث إن r،s، و Z هي المبادل، المحلول، والقيمة المطلقة لشحنة الأيون على التوالي [3.2].

ونتائج المحاليل المعيارية الموضحة بالجدول (1) تظهر أن الرصاص يبقى ويحتجز بشكل كمي في عمود المبادل الأيوني بوسط (HBr 0.5M) ويغسل بوسط (HBr 6M)، في حين السترونسيوم والأيونات الموجبة الأخرى تمر وبشكل كمي في الوسط (HBr 0.5M).

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

طريقة القياس

تمَّت دراسة طريقة المطيافية الضوئية لتشكيل معقد الرصاص-كربتاند(2,2,2) إيوسين حيث جربت عدة محاليل موقية باستخدام محاليل من Li(OH) و $Mg(OH)_2$ ولكن لم نحصل على نتائج جيدة، في حين أعطى محلول البوركس امتصاصية ثابتة وعالية، لذلك استخدم البوركس في هذه الدراسة، ووجد أن الكلوروفورم هو أفضل المذيبات المستخدمة في استخلاص معقد رصاص كربتاند(2,2,2) – إيوسين، حيث جرب عدد من المذيبات (أستون، إيتانول، أيزو بوتيل ميتيل كيتون، رباعي كلور الكربون).

كما جرى تحديد أفضل الكميات لمحاليل معقد كربتاند، والإيوسين، والمحلول الموقي وكانت الكميات على التسلسل 0.3 mL، 0.5 mL، 0.2 mL، كما هو موضح بالجدول (3).

الجدول 3- الظرف الأمثل لتعيين الرصاص بالطريقة المقترحة.

محلول دارئ (mL)	$(Abs)_{2ppm}$	كربتاند (mL)	$(Abs)_{2ppm}$	أيوسين (mL)	$(Abs)_{2ppm}$
0.25	0.780	0.1	0.165	0.05	0.095
0.50	0.806	0.2	0.78	0.10	0.141
0.75	0.801	0.3	0.201	0.15	0.185
1.0	0.799	0.4	0.204	0.20	0.203
		0.5	0.206	0.25	0.205
		0.6	0.203	0.30	0.207
				0.40	0.206

وأيضاً الطيف الممسوح للمعقد يظهر أن الامتصاصية العظمى كانت عند طول الموجة 550 nm الشكل (1) وخطية الطريقة حتى 9 ppm كما في الشكل (2).

درست مقدرة استخلاص الكلوروفورم للرصاص فكانت (8μg.mL^{-1}Pb) كمعقد رصاص – كربتاند (2,2,2) – إيوسين وقابلية الاستخلاص في مرحلة واحدة 99.58%، وقد حددت هذه النتيجة بثلاثة طرائق:

1- حلل الطور المائي الناتج من عملية الاستخلاص للمرحلة الأولى بجهاز الامتصاص الذرّي ولم نجد رصاص (حساسية جهاز الامتصاص الذرّي عند طول موجه 217nm هي 0.19 µg. mL^{-1}).

2- في مرحلة الاستخلاص الثانية، كانت امتصاصية الطبقة العضوية مساوية تماماً لامتصاصية الشاهد.

3- حلل الطور المائي بعد الاستخلاص الأول بجهاز البولاروغراف فكانت القيمة العظمى 100ng mL^{-1} وحسب معامل التوزع (D) فكان [22].

$$D_m = \frac{[M_{tot.org}]}{[M_{tot.aque}]} = \frac{7.900}{0.100} = 79 \pm 0.11$$

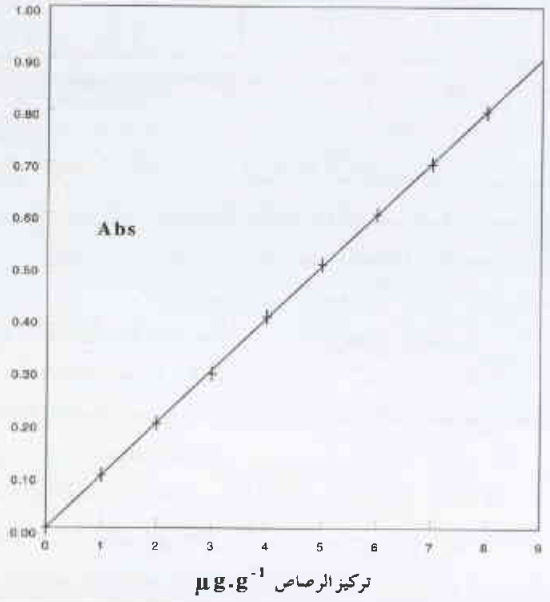
والنسبة المئوية للاستخلاص تساوي:

$$\%E = \frac{100 \times V \times D_m}{(1+(V \times D_m))} = \frac{100 \times 3 \times 79}{(1+(3 \times 79))} = 99.58\% \pm 0.11\%$$

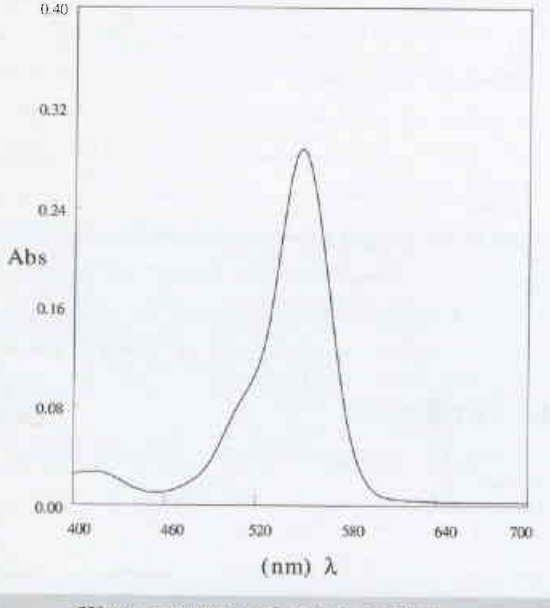
الصحة، الدقة، وحد الكشف

كما أن هذه الطريقة تتضمن معالجة متعددة للعينة (حل، فصل، استخلاص)، فهي ضرورية لتقدير الاسترداد لقيمة الشاهد لحساب حد الكشف. يطابق الانحراف المعياري للشاهد 20ng mL^{-1} (n=10) لذلك يكون حد الكشف (3 * SD) يساوي 60 ng.mL^{-1} [23].

حسبت الدقة لتحديد الرصاص باستخدام عينات جيولوجية مرجعية، فوجد أن النسبة المئوية للخطأ هي 2% كحدٍّ أعظمي، كما حسب الضبط من الانحراف المعياري لعينتين تحتويان على تراكيز رصاص معلومة ولكل واحدة عشر مرات، فوجد أنها أقل من 0.08 µg.mL^{-1} كحدٍّ أعظمي الجدول 4.



الشكل 1- الطيف الممسوح لمعقد كربتات الرصاص.



الشكل 2- منحني المعايرة عند الطول الموجي 550 nm

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

الجدول 4- الضبط والدقة، وحدّ الكشف في الطريقة المقترحة.

الضبط		حدود الكشف	الدقة					
			التربة -7			BCR144		
المقيس µg Pb. mL^{-1}	المقيس µg Pb. mL^{-1}	المقيس µg Pb. mL^{-1}	المأخوذة µg Pb. mL^{-1}	المقيس µg Pb. mL^{-1}	الخطأ %	المأخوذة µg Pb. mL^{-1}	المقيس µg Pb. mL^{-1}	الخطأ %
2.021	7.92	0.362	8.000	7.860	1.75	7.92	7.81	1.25
2.021	8.08	0.352	6.000	5.910	1.50	6.60	6.67	1.06
1.945	7.87	0.352	4.000	3.960	1.00	5.65	5.51	0.84
1.945	8.03	0.352	3.000	2.950	1.67	4.95	4.73	1.27
1.931	8.08	0.382	2.000	1.970	1.5	4.40	4.33	1.59
2.055	8.06	0.372	1.000	0.993	0.7	3.60	3.52	2.22
2.056	8.10	0.392	0.500	0.489	2.2	2.83	2.88	1.77
2.047	8.03	0.391	0.250	0.245	2.0	1.41	1.38	2.13
2.082	7.97	0.410	7.000	6.881	1.7	1.20	1.18	2.67
2.035	8.11	0.400						
[a]X̄= 2.014	X̄= 8.025	X̄= 0.378						
[b]SD=0.054	SD=0.080	SD=0.020						
—	—	[c]DL=0.060						

a متوسط القياسات. b الانحراف المعياري. c حدّ الكشف.

خاتمة

جرى في هذه الدراسة فصل الرصاص عن السترونسيوم من عينات جيولوجية مرجعية باستخدام المبادل الأيوني في وسط من HBr، وجرى قياس الرصاص المفصول كمعقد رصاص - كربتاند(2,2,2) إيوسين بجهاز المطيافية الضوئية. واستخدمت في هذا العمل محاليل معيارية وآثار من النظيرين ^{131}Ba، ^{85}Sr للتأكد من عملية الفصل، فوجد أن مقدرة الفصل كانت عالية جداً، ومعامل الانتقائية يساوي تقريباً $K_{Sr}^{Pb} \approx 10^9$، وكانت لطريقة المطيافية الضوئية المقترحة عدة ميزات:

- استخدم المحلول الموقي بورات/حمض كلور الماء لتثبيت pH الوسط عند pH=8.3، في حين كان العمل على الطرائق الأخرى عند pH=11 والذي يقود إلى ترسيب الرصاص.
- لم يُضف كلور الصوديوم لضبط القوة الأيونية، لذا لم تزد لزوجة الوسط.
- فصل سريع للأطوار - امتصاصية منخفضة للشاهد - مقدرة كبيرة للاستخلاص (99.58%) عند استعمال الكلوروفورم كمستخلص.

قورنت نتائج الطريقة المقترحة بنتائج الامتصاص الذرّي والبولاروغراف وكانت النتائج متقاربة كما هو واضح في الجدولين (1 و 2).

إن ربط طريقة المبادل الأيوني والمطيافية الضوئية لفصل الرصاص عن السترونسيوم والأيونات الأخرى في عينات جيولوجية مرجعية وقياسها كزوج معقد رصاص - كربتاند (2,2,2) - إيوسين يكون خالياً من أي تداخل، وهذه الطريقة المقترحة قابلة للتطبيق لفصل وقياس الرصاص في عينات جيولوجية مختلفة.

المراجع REFERENCES

[1] Dorfner, K., Ed. Ion Exchangers; Walter de Gruyter: Berlin, 1991;7-170.

[2] Harland, C.E. Ion Exchange, Theory and Practice, 2nd Ed.; Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK, 1994,1-19.

[3] BDH. Chemicals, Ltd, Ion Exchange Resins, 6th, product No. 57020 4G.Broom Road, Poole BH 12 4NN England, 1981.

[4] Korkisch, J. Handbook of Ion Exchange Resins; Their Application to Inorganic Analytical Chemistry, CRC Press. Inc: Florida, 1989; Vol. VI, 119-149.

[5] Kayasth, S.R.; Basu, A.K.; Chattopadhyay, N.; Desai, H.B. Differential-Pulse anodic-stripping voltammetric determination of traces of lead In high- purity copper after Its separation by ion exchange. Anal. Chim. Acta.,1990, 231, 133-136.

[6] Svoboda, L.; Safarik T.; Schmidt, U. Separation of lead, cadmium, and iron in analyses of soil samples. Collect. Czech. Chem. Commun., 1995, 60 , 938-949.

[7] Greenwood, N.N.; Earnshaw, A. Chemistry of the Elements, Pergamon Press Ltd.: Oxford, 1984; 437-445.

[8] Lehn, J.M.; Sauvage, J.P. [2]-Cryptates: stability and Selectivity of alkai and alkaline-earh macrobicyclic complexes. J. Amer. Chem. Soc. 1975, 97, 6700-6707.

[9] Cox, B.G.; Schneider, H. The acid catalyzed dissociation of metal cryptate complexes. J. Amer. Chem. Soc. 1977, 99, 2809-2811.

[10] Arnaud-Neu, F.; Spiess, B.; Schwing-Weill, M. Stabilite en solution aqueuse de complexes de metaux lourds avec des ligands diaza- polyoxamacrocycliques. J. Helv. Chim. Acta. 1977, 60, 2633-2643.

[11] Gomis B.D.; Alonso, F.E.; Garcia, A.E.; Abrodo, A.P. Ion-pair extraction and fluorimetric determination of cadmium with cryptand 2.2.1 and eosin. talanta, 1989, 36, 1237-1241.

[12] Gomis, B.D.; Alonso E.F.; Sanz-Medel, A. Extraction fluorimetric determination of ultratraces of lead with cryptand 2.2.2 and eosin.talanta, 1989, 32, 915-920.

[13] Gomis, B.D.; Garcia, A.E. Sequential extraction-spectrofluorimetric determination of lead and cadmium using cryptands. analyst, 1990, 115, 89-91.

[14] Gomis, B.D.; Abrodo, A.P.; Lobo, P.M.A.; Sanz Medel, A. Fluorimetric dtermination of ultratraces of lead by ion-pair extraction with cryptand 2.2.1 and eosin Talanta,1988, 35 (7), 553-558.

[15] Alvarez, J.R.G.; Arrbas, J.S.; Sanz-Medel, A. Fluorimetric dtermination of strontium with cryptand (222) and eosin. Tec. Lab., 1985, 9, 426.

[16] Hussonnois, M.; Bruchertseifer H.; Constantinescu, O. Study of Strontium extraction as a cryptate complex for separation of element 102 from the C actinides. Radiochim. Acta, 1988, 43, 233-237.

[17] Szczepaniak, W.; Juskowiak, B. Spectrophotometric determination of trace amounts of lead (II) by Ion-pair exraction with cryptand (2.2.2) and eosin.Anal. Chem. Acta. 1982, 140, 261-269.

[18] Khandekar, R.N.; Tripathi, R.M.; Raghnnath, R.; Mishra, V.C. Simultaneous determination of Lead, Cadmium, Zinc and Copper in surface soil using differential pulse anodic stripping voltammetry. Indian. J. Environ. Health. 1988, 30, 98-103.

[19] Perkin-elmer, Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry 1983.

[20] Welz, B. Atomic Absorption Spectrophotometry, 2th Ed , VCH: Germany, 1985; Vol.387,389-390.

[21] Addams, F.; Dams, R. Applied gamma spectrometry, 2nd Ed: International series analytical chemistry, 1970, Vol. 41.

[22] Morrison G.H.; Freiser, H. Solvent Extraction in Analytical Chemistry, John Willey & Sons, Inc. New York, 1957.

[23] Miller, J.C.; Miller, J.N. Statistics for Analytical Chemistry; 3rd Ed.; Ellis Horwood PTR Prentice Hall: N.Y., 1993.

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

إدارة النفايات الحاوية لمواد مشعة طبيعية في صناعة النفط والغاز: الخبرة السورية★

د. محمد سعيد المصري، د. حازم سومان
قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرّية ص.ب. 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

تصف الورقة الحالية الخبرة السورية المتعلقة بإدارة النفايات المشعة الحاوية لمواد مشعة طبيعية والناجمة عن صناعة النفط السورية. تمّ التعرّف على ثلاثة أصناف أساسية من النفايات الحاوية لمواد مشعة طبيعية، أما الصنف الأول فهو الرواسب الحرشفية القاسية الناجمة عن أعمال إزالة التلوث عن المعدات الملوثة والأنابيب، وتُعدّ هذه الرواسب الأكثر احتواءً للمستويات المرتفعة من نظائر الراديوم (^{228}Ra, ^{226}Ra, ^{224}Ra). تخزن حالياً، هذه النفايات في براميل نظامية في منطقة مراقبة. شوهد الوحل، الصنف الثاني من النفايات، والذي يحوي على مستويات منخفضة نسبياً من نظائر الراديوم، بكميات كبيرة في كل حقل نفط سوري، حيث جرى إنشاء حفر مبطنة بالبلاستيك في كل منطقة للخزن المؤقت لهذه النفاية. على أية حال، مازالت معايير التخلص من هذين الصنفين المذكورين آنفاً قيد النقاش. أما الصنف الثالث، والذي اعتُبر أيضاً نفاية مشعة، فهو التربة الملوثة بالمواد المشعة الطبيعية نتيجة رمي المياه المرافقة للنفط بشكل غير مضبوط. ولقد وضعت المعايير السورية للتخلص والإزالة لهذا الصنف من النفاية، حيث يُعدّ استخدام المطامر الهندسية للتخلص من التربة الملوثة من الحلول المعتمدة من قِبَل مكتب التنظيم النووي والإشعاعي في هيئة الطاقة الذرّية السورية.

الكلمات المفتاحية: المواد المشعة الطبيعية، النفايات المشعة، الصناعة النفطية، سورية.

مقدمة

تتركز المواد المشعة الطبيعية الناجمة عن سلسلة تفكك اليورانيوم 238 والثوريوم232 وتتراكم في أنابيب النفط والمعدات السطحية على شكل رواسب حرشفية ووحل نتيجة العمليات الفيزيائية والكيميائية المرافقة لصناعة النفط والغاز [1، 2، 3، 4]. أما النفايات المشعة الحاوية لمواد مشعة طبيعية فهي المياه المنتجة التي تحوي بشكل أساسي على نظائر الراديوم والمتبقيات الصلبة ومعدات الإنتاج. وتتألف المتبقيات الصلبة من الوحل والرواسب الحرشفية وأنابيب النفط ومعدات الإنتاج الملوثة، وتحتاج هذه النفايات المشعة إما إلى معالجة أو رمي بالطرائق المناسبة حيث يؤدي رمي هذه النفايات بطرق غير مضبوطة إلى تلوث البيئة ومن ثم تعرّض عموم الناس للإشعاع المؤين. على أية حال، تُعدّ المياه المنتجة والمرافقة للنفط أكبر هذه النفايات حجماً. يُفصل عادة الماء المنتج عن النفط ويُتخلص منه بطرائق عديدة كإعادة حقنه في آبار مخصصة للحقن أو آبار مخصصة للتخلص من المياه المنتجة. وقد تقوم بعض شركات النفط برمي المياه المرافقة للنفط في البيئة المجاورة بهدف تبخيرها، حيث تُبنى عادة الحفر أو البحيرات غير المبطنة لجمع هذه المياه فتصبح هذه الحفر والبحيرات بدورها ملوثة بالمواد المشعة الطبيعية.

إن وجود المواد المشعة الطبيعية في حقول النفط السورية معروف منذ العام 1987، وتصف الورقة الحالية الأعمال التي اتخذت لإدارة نفايات المواد المشعة الطبيعية بالتعاون بين هيئة الطاقة الذرّية وشركات النفط العاملة في سورية. وبالإضافة إلى ذلك، تمّ عرض الإجراءات التنظيمية المرافقة لأعمال التخلص والمتعلقة بمثل هذه النفايات.

طرائق قياس المواد المشعة الطبيعية

تحديد نظائر الراديوم في العيّنات الصلبة

جُفِّفت كافة عيّنات التربة والرواسب الحرشفية في الفرن عند الدرجة $105^{o}C$ ولمدة 48 ساعة، طُحنت العيّنات الجافة ووضع قرابة 40 غراماً من كل عيّنة في عبوة قياس وخُزنت لمدة أسبوعين. حددت فعاليات نظائر الراديوم في العيّنات بقياس وليداتها مصدرات غاما الرصاص212، والبزموث212 والرصاص214 والبزموث214

★ نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 256, No.1, 2003

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

والأكتنيوم 228 بواسطة مطيافية غاما مزودة بكواشف من الجرمانيوم عالي النقاوة وذي مقدرة فصل مرتفعة (1.85 كيلو إلكترون فولط عند الطاقة 1.33 ميغا إلكترون فولط)، وكفاءة تعداد نسبية مرتفعة (26% و80%) وخلفية طبيعية منخفضة، أما عيّنات الوحل فقد تمت مجانستها يدوياً بقضيب زجاجي ووضعت في عبوات قياس بلاستيكية بحجم 0.5 لتر.

تحديد الراديوم 226 في عيّنات المياه المنتجة

جرى ترشيح العيّنات المائية لوجود النفط فيها وذلك من خلال ورق ترشيح. حُللت العيّنات إشعاعياً لتحديد الراديوم 226 بمطيافية غاما، وقد تمّ ذلك بطريقتين الأولى وتتلخص بوضع العيّنة المشعة 0.5 لتر في عبوة بلاستيكية وخزنها لمدة أسبوع (وقد استُخدمت هذه الطريقة عندما كان التركيز المتوقع للراديوم 226 أعلى من 3 بكريل/لتر)، أما الطريقة الثانية فتتلخص في تركيز الراديوم في العيّنة (5-10 لتر) بالترسيب المشترك مع كبريتات الباريوم. حل الراسب بعد ذلك في 0.5 ل من 0.5 مول/ل محلول الـEDTA ووضعت العيّنات في عبوات بلاستيكية وخزنت لمدة شهر وقيست كل عيّنة بعد ذلك بمطيافية غاما لمدة 24 ساعة باستخدام كاشف جرمانيوم ليثيوم (كفاءة التعداد النسبية 10%) وكاشف جرمانيوم عالي النقاوة (26% كفاءة تعداد نسبية).

تحديد الرصاص 210 والبولونيوم 210

وضع لقرابة 0.2 غرام عيّنة صلبة كمية معلومة من البولونيوم 208 (0.2 بكريل) كمقفي أثر، ومن ثم هضمت العيّنة باستخدام مزيج من الحموض المعدنية (حمض الآزوت وحمض الكلور المركز) لمدة 24 ساعة. جففت العيّنة عندما أصبح المحلول شفافاً لقرب الجفاف وحلّ الراسب في 100 مل من حمض كلور الماء (0.5 مول/لتر). سخن المحلول للدرجة 80°C وطلي البولونيوم 210 تلقائياً على قرص من الفضة وذلك بعد إرجاع الحديد الثنائي في المحلول إلى الحديد الثلاثي بإضافة حمض الأسكوربيك. جرى تعداد جسيمات ألفا الصادرة عن البولونيوم 208 (5.15 ميغا إلكترون فولط) والبولونيوم 210 (5.3 ميغا إلكترون فولط) باستخدام مطيافية ألفا صنع شركة أكسفورد ومن طراز Oasis، أعيدت عملية الطلي والقياس لنفس المحلول بعد قرابة ستة أشهر من خزن العيّنة بهدف قياس نمو البولونيوم 210 من الرصاص 210 ولحساب تركيز الرصاص 210 في العيّنة الأساسية. بلغ حد الكشف الأدنى للطريقة المستخدمة قرابة 0.4 بكريل/كغ وزن جاف.

أصناف نفايات المواد المشعة الطبيعية

الصنف الأول: نفايات الرواسب الحرشفية الحاوية لمواد مشعة طبيعية

تُعد الرواسب الحرشفية القاسية، الناجمة عن أعمال تنظيف المعدات والأنابيب الملوثة باستخدام أنظمة الماء المضغوط تحت ضغط عالٍ أو الناجمة عن التنظيف الميكانيكي، بأنها تحوي أعلى مستويات نظائر الراديوم (^{228}Ra, ^{226}Ra, ^{224}Ra). حالياً، تحفظ الرواسب الحرشفية في براميل قياسية وفي منطقة مراقبة، حيث يزداد عدد البراميل مع الوقت (يبلغ عدد البراميل حتى تاريخ إعداد هذه الورقة قرابة 93 برميلاً). ويبيّن الجدول 1 بعض نتائج عيّنات الرواسب الحرشفية، حيث يمكن ملاحظة مستويات مرتفعة من نظائر الراديوم. ما زالت الاختيارات للتخلص من هذا النوع من النفايات قيد الدراسة، ويعتبر اختيار إعادة حقنها في الآبار المهجورة من أكثر الاختيارات المستخدمة بشكل واسع. على أية حال، يوجد عدد من الطرائق المعتمدة عالمياً نذكر منها النثر فوق الأرض والمطامر الهندسية [1, 5, 6, 7]. ومن جهة أخرى، جرى بناء وتشغيل عدد من محطات الغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء خلال السنوات العشر الماضية، حيث أدّت أعمال الصيانة الدورية لهذه المحطات إلى عشرات الأطنان من الرواسب الحرشفية الحاوية لوليدات غاز الرادون، والرصاص 210 والبولونيوم 210، بتراكيز مرتفعة نسبياً. ولا يوجد إلا غاز الرادون ووليداته في الغاز الطبيعي من بين المواد المشعة الطبيعية الأخرى. عُرضت بعض النتائج لعيّنات من الرواسب الحرشفية جُمعت من ثلاث محطات كبيرة في الجدول 2. إن الممارسة الشائعة للتخلص من هذه المواد هي "المطامر"، حيث جرى إنشاء حفرة غير مبطنة بالقرب من كل محطة توليد للطاقة.

الجدول 1- تراكيز المواد المشعة الطبيعية في الرواسب الحرشفية القاسية

العينة	تركيز المواد المشعة الطبيعة (Bq/g)		
	^{224}Ra	^{226}Ra	^{228}Ra
Scale 1	27±2	147±6	55±3
Scale 2	105±6	1020±45	179±11
Scale 3	115±6	1050±48	181±79
Scale 4	33±2	153±8	43±3

الجدول 2- تراكيز المواد المشعة الطبيعية في الرواسب الحرشفية المنتجة من محطات الطاقة العاملة على الغاز الطبيعي

المحطة	تركيز المواد المشعة الطبيعة (Bq/g)	
	^{210}Po	^{210}Pb
T-1	2371±85	160±10.4
N-1	224±14	174±9
N-2	320±15	<12

الصنف الثاني: نفايات الوحل الحاوية لمواد مشعة طبيعية

يعتبر الوحل، وهو رسوبيات نفطية ناجمة عن أعمال تنظيف خزانات فصل النفط وخزانات خزن النفط والمعدات السطحية الأخرى، نفاية مشعة حاوية لمواد مشعة طبيعية. تحوي هذه النفايات نشاطاً أقل مما تحويه الرواسب الحرشفية القاسية، ويبيّن الجدول 3 بعض نتائج تحاليل عيّنات من الوحل السوري. قامت بعض شركات النفط بالتخلص من مثل هذه النفايات بوضعها في

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

حفر غير مبطنة مما أدّى إلى تلويث مناطق واسعة، في حين قامت شركات أخرى والتي تطبّق نظاماً معتمداً لإدارة المواد المشعة الطبيعية، باستخدام حفر مبطنة بطبقات من البلاستيك ومتوفرة في كل حقل كمخزن مؤقت. على أية حال، أعطيت لبعض شركات النفط الموافقة من مكتب التنظيم النووي والإشعاعي للتخلص من هذه النفايات بمزجها مع التربة الملوثة بالمواد المشعة الطبيعية ووضعها في حفر هندسية معتمدة.

الجدول 3- تراكيز المواد المشعة الطبيعية في بعض عيّنات الوحل

نوع العينة	تركيز المواد المشعة الطبيعة (Bq/g)		
	^{234}Ra	^{226}Ra	^{228}Ra
ST-1	396±24	750±38	510±15
ST- 2	562±34	1000±50	660±20
ST- 3	385±15	470±18	359±18

الصنف الثالث: التربة الملوثة بالمواد المشعة الطبيعية

تُعدّ التربة الملوثة الصنف الثالث للنفايات الحاوية لمواد مشعة طبيعية والناجمة عن صناعة النفط السورية، حيث تمّ تحديد أكثر من 150,000م^3 من التربة الملوثة والتي صُنفت كنفاية مشعة لاحتوائها على تراكيز مرتفعة من الراديوم 226 وصلت للقيمة 100 بكريل/غرام في النقاط الحارة. ويبيّن الجدول 4 بعض القيم الوسطية للتلوث في بعض حقول النفط السورية، وقد لوحظ أن التلوث محصور في الطبقة السطحية من التربة حتى عمق 50 سم في معظم المناطق مع ملاحظة وجود بعض الشذوذات، حيث وجد التلوث على أعماق تحت 50 سم.

الجدول (4) مستويات التلوث المتوسطة والجرعات الإشعاعية التي يتلقاها الأشخاص في مناطق مختلفة بافتراض وجود قدره 100%.

الموضع	Th	OM1	OM2	OM2	EIW	Mal
متوسط ^{226}Ra (Bq/g)	77	5.2	12.1	4.2	4.0	2.4
الجرعة المكافئة mSv/a	59	20	46	16	16	9.2

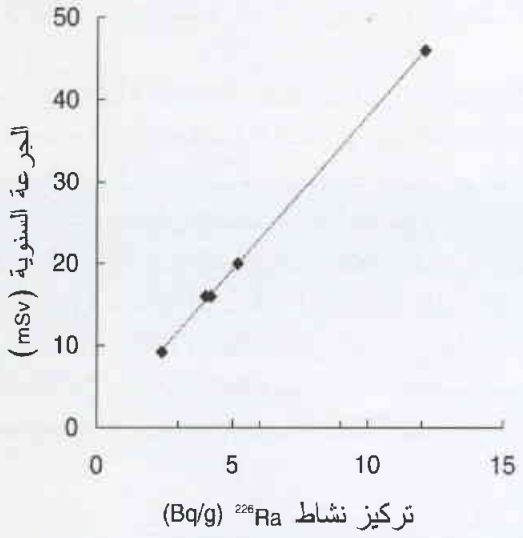
من التربة الملوثة وتنظيف المواقع الملوثة وهي على الشكل التالي [7]:

1. تعتبر التربة نظيفة ولا تحتاج لأي معالجة عندما يكون تركيز الراديوم -226 أقل من 0.15 بكريل/غرام.
2. تعتبر التربة ملوثة وتحتاج إلى معالجة في الموقع حتى ينخفض معدل الجرعة إلى 0.1 ميكروسيفرت في الساعة أو أقل، وذلك عندما يكون تركيز عنصر الراديوم -226 في التربة متراوحاً بين 0.15 و5.2 بكريل/غرام.
3. تُعدّ التربة ملوثةً وبحاجة للجمع والرفع من الموقع للتعامل معها على أنها نفاية مشعة عندما يكون تركيز الراديوم -226 أكبر من 5.2 بكريل/غرام.

اعتمدت المعايير المذكورة آنفاً على الاعتبارات التالية:

من المعهود به كثيراً أن تختار الجرعة التي يمكن أن يتلقاها عموم الناس والناجمة عن التعرّض لمناطق ملوثة بالمواد المشعة الطبيعية أو الخطر المرافق لها كمقياس لاستخدامه في وضع المعايير. ويعكس هذا المقدار أثر التربة الملوثة الحاوية لمواد مشعة طبيعية على الإنسان من خلال كافة السبل المحتملة، حيث يؤخذ في الاعتبار فترة وجود الناس في الموقع وعاداتهم. وبالإضافة إلى ذلك، تعتمد الجرعة على عدد من السيناريوهات المقيدة بعوامل لا يمكن أن يُعتمد عليها من أجل تطور السكان والبيئة في الإقليم المحدد، كتقييم أثر التعرّض المزمن، ولهذا يُعدّ من الصعب استخدام هذا المقدار كمقدار عملياتي، ويفضل استخدام تركيز التلوث في الموقع كمقدار عملياتي، إما كتركيز أو تلوث سطحي لبعض النكليدات المشعة الممثلة كالراديوم 226 أو يمكن استخدام الفعالية الإشعاعية الكلّية للموقع.

أجريت دراسة حاسوبية لتقييم الأخطار كمياً ووضعت العلاقة التي تربط متوسط فعالية الراديوم 226 في المواقع الملوثة والجرعات الإشعاعية التي يمكن أن يتلقاها عموم الناس (الشكل 1 والجدول 4)، ووجد أن التعرّض الخارجي هو أكثر السبل مساهمةً في الجرعة الإشعاعية وهو أكبر بمقدار واحد من المرتبة للتعرّض الناجم عن كافة السبل الأخرى، وبقيت العلاقة خطية ما دام تركيز الفعالية الإشعاعية أقل من 15 بكريل/غرام. وباستخدام العلاقة وجد أن تركيز الراديوم المقابل لـ0.15 بكريل/غرام يعطي جرعة إشعاعية تقارب 1 ملي سيفرت/سنة لشخص مقيم بشكلٍ دائم في الموقع في حين أعطى التركيز 5.2 بكريل/غرام جرعة إشعاعية قدرها 20 ملي سيفرت/سنة بافتراض فترة وجود قدرها 100%، ونشير هنا إلى أن فترة الوجود الحالية للعمال في المواقع الملوثة أقل من 10% بكثير.



الشكل 1- العلاقة بين الجرعة المتلقاة من قبل الأشخاص وتركيز فعالية الراديوم 226 (يعبر المنحني عن علاقة خطية معطاة بالمعادلة: y=3.773 x ±0.386)

اقتُرح للتخلص من التربة الملوثة والحاوية لنشاط إشعاعي أعلى من 5.2 بكريل/غرام إنشاء حفر هندسية مع اتباع إجراءات ضبط صارمة. ويُعدّ هذا الاختيار للتخلص من التربة الملوثة من الاختيارات المعتمدة عالمياً والمستخدمة في التخلص من النفايات الناتجة عن عمليات معالجة اليورانيوم الخام [11، 12]. تبنت هيئة الطاقة الذرّية السورية هذا الاختيار وفرضت إجراءات وقائية لمنع تطفل الإنسان والحيوان والتعرية الطبيعية لهذه المطامر.

اتخذت العديد من الضوابط للوقاية من الإشعاع بهدف خفض الأخطار المرافقة للأعمال الهندسية إضافة إلى وضع وتنفيذ برنامج مراقبة بيئي للمطامر الهندسية والمناطق المجاورة. شمل هذا البرنامج الفحوصات الدورية لسلامة المطامر ومراقبة انبثاق غاز الرادون ومراقبة المياه الجوفية. وتمّ رفع ونقل التربة الملوثة الحاوية للراديوم 226 بتراكيز أعلى من 5.2 بكريل/غرام إلى هذه المطامر واتبعت إجراءات وقائية صارمة مع مراقبة مستمرة خلال التنفيذ من قبل هيئة الطاقة الذرّية السورية للتأكد من وقاية وأمان العاملين وعموم الناس والبيئة.

الجدول 5 - بعض نتائج المياه المرافقة

وصف العينة	النشاط الإشعاعي ^{226}Ra (Bq/L)
DS104-JAFRA G/S	56.2±2.7
JAFRA-TA 610	50.8±4.0
ATALLA-V 114	60.3±3.1

نفايات أخرى حاوية لمواد مشعة طبيعية في حقول النفط السورية

لوحظ أيضاً نوعان هامان من النفايات في حقول النفط السورية هما المعدات الملوثة والمياه المنتجة. تخزن حالياً المعدات الملوثة في ساحات مخصصة إلى حين يتم تنظيفها، حيث حددت مناطق مراقبة في كل حقل نفط تفتش بشكل دوري من قبل مكتب التنظيم النووي والإشعاعي.

يفصل عادة الماء المنتج عن النفط ويتخلص منه بطرائق عديدة مثل إعادة حقنه في آبار مخصصة للحقن أو آبار التخلص. عرضت بعض نتائج التحليل الإشعاعي لبعض عيّنات المياه المرافقة للنفط في الجدول 5، حيث يمكن أن تصل تراكيز الراديوم 226 إلى قرابة 100 بكريل/لتر. تُعدّ هذه المستويات مرتفعة بالمقارنة مع القيم الأخرى المذكورة لمناطق أخرى في العالم، حيث بلغت أعلى القيم المنشورة عالمياً المقدار 10 بكريل/لتر [1]. تقوم حالياً شركات النفط العاملة في سورية بإعادة حقن المياه المنتجة في آبار مخصصة لهذا الغرض وهو الأسلوب المعتمد عالمياً.

الاستنتاج

شوهدت ثلاثة أصناف من النفايات الحاوية لمواد مشعة طبيعية في حقول النفط السورية. تعالج التربة الملوثة بالمواد المشعة الطبيعية بشكل فعال في حقول النفط السورية، حيث تمّ وضع معايير خاصة لإزالة التلوث والتخلص من النفايات. رفعت التربة الملوثة ونقلت من المناطق الملوثة إلى مطامر هندسية لتخزينها. أما الرواسب الحرشفية القاسية والطرية والوحل الحاوية لمواد مشعة طبيعية فتخزن حالياً في براميل قياسية أو حفر مبطنة، ولا يوجد إلى الآن معايير أو رخصة رسمية للتخلص من مثل هذا النوع من النفايات ولهذا لا بد من بذل جهود إضافية لوضع هذه المعايير.

المراجع REFERENCES

[1] R.D. BARIED, G.B. MERRL, R.B. KLEIN, V.C. ROGERS, K.K NILSON, Management and Disposal Alternatives for NORM Wastes in Oil Production and Gas Plant Equipment (American Petroleum Institute, 1996), P.1-5-18.

[2] R. S. OBRIEN, M. M. COOPER. Appl. Radiat. Isot 227 (1998) 31.

[3] G. JONKERS, F.A. HARTOG, W.A.J. KNAEPEN, P.F.J. LANCEE, Characterization of NORM in the oil and gas production (E&P) industry. Proc of Int. Symposium On Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry. Amsterdam, September 8-10, 1997, pp. 23-47.

[4] W.A. WOICIK, Science of the Total Environment 45 (1985) 77.

[5] G.H. OTTO, "A National Survey on Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Petroleum Producing and Gas Processing Facilities", Dallas, TX, p. 17, (1989).

[6] H. NICHOLAS. Oil & Gas Journal 68 (1991).

[7] ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA, Administrative Council Decision, Damascus, 4419811, (1998).

[8] ATOMIC ENERGY AUTHORITY TECHNOLOGY, "Quantified Risk Assessment for NORM Contaminated Land at AFPC, Syria", AEAT, 1997.

[9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY,, "Clearance Levels for Radio Nuclides in Solid Materials, Application of Exemption Principles", IAEA-TECDOC-855, (1996).

[10] NRPB, "Radiological Protection Objectives for Land Contaminated with Radio Nuclides, A Consultative Document", NRPB-M728, (1996).

[11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Close-Out of Residues", International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 362, Vienna, (1992).

* * *

تقانة بسيطة لتقويم تفاعل أنماط الشعير الوراثية مع العامل الممرض Pyrenophora graminea ★

د. محمد عماد الدين عرابي ، محمد جوهر
قسم البيولوجيا الجزيئية و التقانة الحيوية - هيئة الطاقة الذرية - ص . ب 6091- دمشق- سوريا

ملخص

استخدمت تقنية الاستزراع في الزجاج In vitro لتقويم مستوى إصابة عشرة أنماط من الشعير بالعامل الممرض Pyrenophora graminea. يتميز الفطر بأنه ذو منشأ بذري مسبباً مرض تخطط أوراق الشعير. اعتمد التقويم على حساب النسبة المئوية لبذور الشعير الملقحة التي أعطت نموات هيفية على سطح بيئة بطاطا دكستروز (potato dextrose agar) ضمن طبق بتري. أشارت النتائج إلى إمكانية توظيف تقانة in vitro في التمييز الدقيق لمستوى الإصابة المرضية لدى الأنماط الوراثية المختلفة. حيث كان النمطان CI-5791 و Banteng مقاومين، والأنماط Igri، Thibaut، و PK(30-531) متوسطة المقاومة، بينما كان النمط Golf متوسط قابلية الإصابة في حين كانت الأنماط WI2291، عربي أبيض، فرات 1 و Arrivate قابلة للإصابة بالمرض. كما دلّت النتائج إلى وجود علاقة ارتباط قوية (r = 0.96) بين نتائج in vitro والحقل وجميع أنماط الشعير المستخدمة، مما يشير إلى تماثل تكرارية القياسات المتحصّل عليها في كلا الطريقتين.

الكلمات المفتاحية: الشعير horderum vulgare L، تخطط أوراق الشعير، تقنية الاختبار في الزجاج.

مقدمة

يعتبر العامل الممرض Pyrenophora graminea من العوامل الممرضة البذرية والمسببة لمرض تخطط أوراق الشعير، حيث غالباً ما يسبب المرض انخفاضاً في الغلة الحبية [1]. يبقى الفطر داخل الحبوب على شكل ميسليوم داخل خلايا parenchymatical من طبقة تحت القشرة pericarp. يخترق العامل الممرض خلايا coleorhiza بسرعة عند إنتاش بذور أنماط الشعير الحساسة [2]، وغالباً ما تتكشف الإصابة بعد مرور ستة أسابيع على زراعة البذور [3].

يمكن تجنب الأضرار الاقتصادية التي يحدثها مرض تخطط أوراق الشعير الطولي باستخدام كميات كبيرة من المبيدات الفطرية أو بزراعة أنماط وراثية مقاومة، حيث تعتبر الأخيرة أكثر اقتصادية وحلاً ملائماً للمحافظة على البيئة [4].

تعتمد مقاومة هذا الفطر على تعاضد عدة مورثات مقاومة مع بعضها مؤدية في ذلك إلى رفع درجة مقاومة النبات للمرض، وتكون متعددات التراكيب الوراثية والتي تؤدي بدورها إلى مقاومة جزئية مما ينجم عن ذلك تباين في درجة المقاومة [5،6]. تعتمد الطريقة التقليدية الحقلية في تقويم إصابة الشعير بالعامل الممرض P. graminea على عدِّ النباتات المصابة و تلك غير المصابة في مرحلة الإسبال [7،8] إلا أن هذا التقويم غالباً ما يحتاج إلى وقت طويل إضافة إلى تأثره بالعوامل البيئية مثل درجة حرارة و رطوبة التربة الأمر الذي ينجم عنه استحالة الحصول على تقديرات صحيحة لمستوى الإصابة [3].

إن وجود طريقة مخبرية موثوقة لتقويم مقاومة هذا المرض يمكن أن يزيد فعالية برامج التحسين الوراثي لمقاومة أمراض النبات، وتخفيف التكلفة التي يتطلبها الاختبار الحقلي. هدفت الدراسة هذه إلى تطوير تقنية جديدة في الزجاج سريعة وفعّالة في تقويم مستويات إصابة أنماط الشعير بمرض تخطط أوراق الشعير.

المادة النباتية وتحضير الملقح

استخدمت عشرة أصناف من الشعير في هذه الدراسة (الجدول 1). اختيرت تبعاً لاختلاف إصابتها بالمرض، ولصفاتها الزراعية ولتنوُّع مصدرها. استخدمت العزلة SY3 من العامل الممرض Pyrenophora graminea لكونها الأكثر قدرة على إحداث الإصابة من بين مجموعة العزلات التسع المختبرة من قبل [9] والمجموعة في عامي 1998 و 1999 من مناطق مختلفة

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة J. Phytopathology 151, 1-3 (2003).

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

الجدول 1: شدة إصابة (%) عشرة أنماط وراثية من الشعير بمرض تخطط أوراق الشعير مستخدمين طريقة التقويم في الزجاج in vitro

النمط الوراثي	المصدر	في الزجاج In vitro	
		I	II
WI2291	الولايات المتحدة	96.67A	93.00A
Arrivate	الولايات المتحدة	90.00A	96.67A
عربي أبيض	سوريا	86.67A	89.33A
فرات 1	سوريا	85.67A	96.33A
Golf	بريطانيا	60.00B	63.33B
Thibaut	فرنسا	20.33C	26.67C
Igri	بريطانيا	18.33C	21.00D
PK 30-531	باكستان	19.67C	14.67E
CI-5791	إثيوبيا	10.00D	14.00E
Banteng	ألمانيا	1.00E	1.00F

I: النسبة المئوية للبذور الملقحة والتي أعطت نموات هيفية على سطح بيئة الزرع PDA
II: بذور مصابة طبيعياً جرى اختبارها بطريقة الزجاج in vitro
تختلف القيم المتبوعة بأحرف مختلفة (ضمن العمود) معنوياً عند P< 0.001 حسب Newman-keuls test

في سورية. جرت تنمية الفطر ضمن أطباق بتري احتوت على بيئة بطاطا دكستروز آغار (PDA) وذلك بتحضينها في الظلام على درجة حرارة 21±1 °C.

التلقيح

عُقمت البذور بمحلول هيبوكلوريد الصوديوم 5% لمدة 5 دقائق، غمست بالماء المقطر المعقم 3 مرات لمدة 5 دقائق كل مرة، ثم تركت لتجف بين ورق نشاف معقم وجاف. نقلت 60 بذرة إلى طبق بتري احتوى على ميسليوم الفطر بعمر 8 أيام ثم حضنت لمدة 14 يوماً على درجة حرارة 6 °C حسب [10].

طريقة الزجاج

عقمت سطوح البذور الملقحة باتباع نفس خطوات الطريقة المشار إليها أعلاه، ثم أخذت 20 بذرة من كل نمط شعير مستخدم ووضعت على سطح البيئة ضمن كل طبق بتري. جرى توزيع الأنماط المستخدمة ضمن قطاعات عشوائية كاملة وفي ثلاثة مكررات. حضنت الأطباق في الظلام لمدة 72 ساعة على درجة حرارة 21±1 °C، حيث ميزت نمو المستعمرات الفطرية. وبغية تحديد تبعية هذه المستعمرات للعامل المرض، جرى تحضين الأطباق لمدة 4 أيام إضافية ضمن دورة 12 ساعة ظلام و 12 ساعة تعرض للأشعة فوق البنفسجية (UV). استخدم المجهر الضوئي لاختبار أبواغ الفطر المتشكلة. أعيدت التجربة ست مرات، وقد أعيدت تجربة لكل مكرر على 50 بذرة جمعت من نباتات مصابة طبيعياً في الحقل. اعتمد تقدير شدة الإصابة (%) على حساب النسبة المئوية للبذور الملقحة التي أعطت ميسليوم الفطر على سطح بيئة البطاطا.

الطريقة الحقلية

نفذت التجربة تحت الظروف الحقلية (500 مل معدّل الهطول المطري السنوي) في موقع يبعد 50 كم غرب مدينة دمشق. زرعت البذور الملقحة و غير الملقحة لمدة عامين متتاليين ضمن قطاعات عشوائية كاملة تكونت من ثلاثة مكررات، مساحة القطعة 1×1. تكونت كل قطعة تجريبية من 5 خطوط وبفاصل 25 سم فيما بينها وبمعدل 50 بذرة في الخط الواحد. جرى خلط الأسمدة الأرضية قبل الزراعة وبمعدل 50 كغ/هكتار يوريا (46% N) و 27 كغ/هكتار سوبر فسفات (33% P). سجل عدد النباتات السليمة والمصابة في مرحلة الإسبال [11]، قيس مستوى الإصابة اعتماداً على النسبة المئوية لعدد النباتات المصابة حسب السلم الموضوع من قبل [12].

التحليل الإحصائي

استخدم برنامج STAT-ITCF [13] في تحليل النتائج. واستخدم تحليل Newman-Keuls test لتبيان مستوى إصابة كل نمط وراثي في كلا التجربتين الحقلية وتلك التي في الزجاج.

النتائج والمناقشة

يظهر الجدولان 1 و 2 تفاعل كل من أنماط الشعير العشرة المستخدمة في طريقتي in vitro والحقل. لوحظ وجود فروقات عالية المعنوية (P<0.001) بين متوسطات قيم شدة الإصابة بين الأنماط المختلفة، حيث كانت هناك قيم لشدة الإصابة ثابتة وأعلى لدى الأنماط قابلة الإصابة. أدى التلقيح بالعزلة القوية من الفطر إلى زيادة النسبة المئوية للبذور المصابة في الأصناف قابلة الإصابة وذلك في طريقتي in vitro والحقل. أشارت نتائج كلا الطريقتين إلى شدة حساسية كل من النمطين (الأميركي Arrivate والأسترالي WI2291) والأنماط السورية (عربي أبيض وفرات 1)، وكان النمط Golf حساساً وكان النمطان CI- 5791 و Banteng مقاومين في حين جاءت الأنماط Thibaut, Igri و PK (30-531) متوسطة المقاومة.

أثبت الصنف الألماني Banteng مقاومته للمرض بطريقتي in vitro والحقل، حيث تراوحت الإصابة ما بين 1 و 0 % على التوالي. كما و أظهرت النتائج تماثل استجابة هذا النمط للمرض في كلا الطريقتين وذلك عند استخدام البذور بعد الحصاد (الجدول 2).

تظهر النتائج وجود علاقة ارتباط قوية (r = 0.96) بين نتائج طريقتي in vitro والحقل، مما يشير إلى تماثل تكرارية طريقة in vitro مع تلك الحقلية خلال سنتي الدراسة.

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

الجدول 2: شدة إصابة (%) عشرة أنماط وراثية من الشعير بمرض تخطط أوراق تحت الظروف الحقلية خلال عامي 2000 و 2001.

النمط الوراثي	الحقل	
	2001	2000
WI2291	88.00B	100.00A
Arrivate	91.33B	95.00B
عربي أبيض	99.00A	100.00A
فرات 1	80.00C	82.67C
Golf	60.00D	62.33D
Thibaut	18.00E	22.67E
Igri	19.67E	20.67F
PK 30-531	11.67F	16.33G
CI-5791	12.67F	15.00G
Banteng	0.00G	0.00H

تختلف القيم المتبوعة بأحرف مختلفة (ضمن العمود) معنوياً عند P< 0.001 حسب Newman-keuls test

هدفت الدراسة إلى تطوير تقنية سهلة ذات موثوقية عالية في المخبر من أجل قياس شدة إصابة الشعير بمرض تخطط أوراق الشعير. أعطت هذه التقنية مؤشراً رقمياً لدرجة حساسية الشعير للإصابة بالعامل الممرض بدقة وتكرارية عالية. كان النمط الوراثي Golf متوسطاً في قابلية الإصابة في كلا طريقتي الدراسة وهذا يتوافق مع النتائج [8].

كما أظهرت النتائج تباين مستوى استجابة الأنماط المستخدمة للإصابة بالمرض من شديدة القابلية للإصابة إلى مقاومة وهذا ما يتفق بشكل جيد مع نتائج كلٍّ من [12.14] يفترض اشتراك عدد من المورثات في مقاومة هذا المرض لدى نبات الشعير. تؤثر عوامل عديدة في مستوى قابلية الشعير للإصابة بالعامل الممرض المدروس تحت الظروف الحقلية حسب [15]، حيث أشار هؤلاء الباحثون إلى ارتباط مستوى الحساسية بكلٍّ من تركيز الملقح والظروف المناخية. ضبط مستوى الملقح في طريقتنا in vitro وبالتالي أمكن الحصول على تقديرات دقيقة لإصابة الشعير بالمرض المدروس.

تمتاز تقنية in vitro بأنها سريعة وبسيطة تساعد مربي النبات على إجراء اختبار المقاومة ولجميع النباتات خلال وقت قصير وضمن ظروف متماثلة، في حين في الحقلية يكون توزيع الملقح تحت الشروط غير متجانس وبالتالي يمكن لمستويات الإصابة أن تكون واسعة التباين مما يتطلب إعادة عملية التقويم لعدة مواسم نمو. علاوة على ذلك، يمكن لهذه الطريقة أن تساعد في كشف العزلات المسببة للمرض إضافة إلى إمكانية تحديد مستوى فوعتها المرضية والتي تعتبر بالغة الأهمية في برامج التربية.

REFERENCES المراجع

[1] Porta-Puglia, A., G., Delogu, G. Vannacci (1986): Pyrenophora graminea on winter barley seed: effect on disease incidence and yield losses. Phytopathology 117, 26-33.

[2] Platenkamp, R. (1977): Investigations on the infection pathway of Drechslera graminea in germinating barley. Rev. Plant Pathol. 56, 319-320.

[3] Metz, S.G., A.L. Scharen (1979): Potential for the development of Pyrenophora graminea on barley in a semi-arid environment. Pl. Disease Reptr 63, 671-675.

[4] Kline, D. M. (1972): Helminthosporium stripe resistance in spring barley cultivars. Pl. Disease Reptr. 56, 891-893

[5] Boulif, M., R. D. Wilcoxson (1988): Inheritance of resistance to Pyrenophora graminea in barley. Plant Dis. 72, 233-238.

[6] Pecchioni, N., P. Faccioli, H. Toubia-Rahme, G. Vale, V. Terzi (1996): Quantitative resistance to leaf stripe (Pyrenophora graminea) is dominated by one major locus. Theor. Appl. Genet. 93, 97-101.

[7] Skou, J. P., V. Haahr, (1987): Screening for and inheritance of resistance to barley leaf stripe (Drechslera graminea). Riso. Report 554, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark.

[8] Thomsen, S. B., H. P. Jensen, J. Jensen, J. H. Jorgensen (1997): Localization of a resistance gene and identification of sources of resistance to barley leaf stripe. Plant Breed. 116, 455-459.

[9] Jawhar, M., R. S., Sangwan, M. I. E. Arabi (2000): Identification of Drechslera graminea isolates by cultural characters and RAPD analysis. Cereal Res. Comm. 28, 89-93.

[10] Hammouda, A. M. (1986): Modified technique for inoculation in leaf stripe of barley. Acta Phytopathol. Entomol. Hung. 21, 255-259.

[11] Zadoks, J. C., T. T. Chang, C. F. Konzak (1974): A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14, 415-421.

[12] Delogu, G., A. Porta-Puglia, G. Vannace (1989): Resistance of winter barley varieties subjected to nature of Pyrenophora graminea. J. Genet. Breed. 43, 61-66.

[13] Anonymous (1988): STAT-ITCF, Programme, MICROSTA, realized by ECOSOFT, 2nd Ver. Institut Technique des cereals et des Fourrages Paris, pp.55.

[14] Tekauz, A. (1983): Reaction of Canadian barley cultivars to Pyrenophora graminea, the incitant of leaf stripe. Can. J. Plant Pathol. 5, 294-301.

[15] Teviotdale, B.L., D. H. Hall, (1976): Factors affecting inoculum development and seed transmission of Helminthosporium gramineum. Phytopathology. 66, 295-301.

الاختيار الأمثل لمسابير غاما-غاما الطيفية باستخدام مصادر إشعاعية منخفضة لتحديد الرماد في مخزونات الفحم ★

د. جمال أصفهاني
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرية - ص . ب 6091- دمشق- سورية

ملخص

تم في هذا البحث اختبار تقانة مسبار غاما-غاما الطيفية المتبعثرة الراجعة المستخدمة في القياسات الجيوفيزيائية البئرية من أجل تحديد نسبة الرماد في مخزونات الفحم. استخدمنا مسباراً مركزاً ومصدراً لإشعاعات غاما ذات شدات إشعاعية منخفضة جداً من مرتبة 1.85 ميغا بكريل (MBq). اختبرنا هذه التقانة الجيوفيزيائية البئرية باستخدام السيزيوم (^{137}Cs) والباريوم (^{133}Ba)، والكاشف عبارة عن بلورة يوديد الصوديوم المشعة بالتنتاليوم أبعادها 37mm (قطر) بـ 75mm. تمّ تحليل عشرة تشكيلات مابين المنبع المشع والكاشف باستخدام السيزيوم، وتحليل تسعة تشكيلات أخرى مابين المنبع المشع والكاشف باستخدام الباريوم وطبقناها من أجل دراسة أربعة نماذج جيوفيزيائية قطر كل منها 90mm. طبقنا تقانة تحليل التراجع Regression analysis على المعطيات الجيوفيزيائية البئرية من أجل كل من التشكيلات المدروسة، وذلك بهدف استنتاج معادلات المعايرة التي تسمح بالتنبؤ عن نسبة الرماد في الفحم. إن التشكيل الأمثل في حال استخدام ^{137}Cs هو 80mm بين المنبع المشع والكاشف وسماكة التدريع الحديدي (shielding) هي 80mm. يعطي هذا التشكيل أفضل النتائج في التنبؤ عن نسبة الرماد حيث كان الانحراف المعياري (rms)1.52% من أجل الرماد.

إن التشكيل الامثل في حال استخدام ^{133}Ba هو 85mm بين المنبع المشع والكاشف، وسماكة التدريع الحديدي هي 50mm. يعطي هذا التشكيل أفضل النتائج في التنبؤ عن نسبة الرماد حيث كان الانحراف المعياري (rms)1.47% من أجل الرماد.

الكلمات المفتاحية: القياسات البئرية، تقانة غاما-غاما، قياسات طيفية، رماد، فحم.

مقدمة

تعتبر نسبة محتوى الرماد عاملاً مهماً في تحديد نوعية الفحم، لذلك تمَّ تطوير العديد من التقانات في الماضي لقياس الرماد في الموقع (in- situ) وذلك إما قبل العمليات المنجمية (في القياسات البئرية أو على سطوح الفحم مباشرة)، أو بعد العمليات المنجمية (على قشط الكميونات). وقد أصبحت هذه التقانات شائعة الاستخدام أكثر فأكثر في مجال صناعة الفحم المنجمية، وبخاصة التقانات الجيوفيزيائية البئرية التي أضحت جزءاً متكاملاً في فعاليات الاستكشاف الحديث والتطوير المنجمي. ومن بين مختلف تقانات القياسات الجيوفيزيائية البئرية تبرز التقانات النووية بأهميتها في مراقبة نوعية الفحم في إطار صناعة الفحم المنجمية من خلال التحاليل المكانية وفي القياسات البئرية.

تمَّ توظيف مسبار غاما-غاما الطيفية المتبعثرة الراجعة الذي يستخدم مصدراً إشعاعياً ذا فعالية منخفضة جداً في مناجم الفحم والحديد [4،3،2،1] إضافة إلى استخدامه في مجال المناجم المعدنية [5].

يهدف هذا البحث إلى تحليل واختبار أفضل تشكيل جيوفيزيائي بئري يستخدم تقانة غاما-غاما الطيفية المتبعثرة الراجعة ومصادر إشعاعية منخفضة قادر على تحديد نسبة الرماد. في الواقع، يعتبر الاختيار السليم للتشكيل الجيوفيزيائي المناسب على غاية كبيرة من الأهمية في مجال يتطلب دقة وفاعلية فائقة في الكشف. لذلك تمَّ اختبار العديد من التشكيلات مابين المنبع المشع والكاشف وبوضعيات مختلفة للتدريع الحديدي بينهما باستخدام أولاً السيزيوم ذي الشدة الإشعاعية المنخفضة (1.85MBq)، وثانياً الباريوم ذي الشدة الإشعاعية المنخفضة (1.85MBq) أيضاً وباستخدام مصدر ثانوي من السيزيوم (0.37MBq) ليؤمن إحداث نبضة عند

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Radiation and Isotopes*, 2003.

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

662 keV، الهدف منها ضمان الحصول على كامل طيف غاما المتبعثرة الراجعة.

تعد عملية الحصول على تشكيل ذي تباعد أمثل بين المصدر المشع والكاشف أساسية وضرورية من أجل كل حالة من التطبيقات وذلك للحصول على أفضل النتائج.

مبدأ تحديد نسبة الرماد في الفحم

يحدد محتوى الرماد في عينة من الفحم بالنسبة المئوية الوزنية للمتبقي من هذه العينة بعد حرقها، وهو يرتبط بشدة بالمحتوى المعدني للفحم، حيث توجد علاقة ارتباط جيدة بين محتوى الرماد ومركباته الأساسية (Fe.Al.Si) [7،6].

يستند قياس محتوى الرماد في الفحم على تقانة غاما- غاما المتبعثرة الراجعة، التي تتوجب إيجاد نوافذ طاقية في الطيف الذي يتم الحصول عليه وإجراء ملائمة وفق نموذج خطي يأخذ الشكل التالي:

$$ash\% = a_0 + a_1 X_1$$

حيث a_1 ،a_0 ثوابت، X_1 متحول.

وكان [8،4] قد وصفا التشكيل مابين المنبع المشع واللاقط في المحلل الأمامي Face analyzer لتحديد محتوى الرماد في قياسات تتم وفق 2π، وحديثاً جداً قامت منظمة الكومنويلث للبحوث العلمية والصناعية (CSIRO) في أستراليا بتعديل هذا التشكيل ليصبح ملائماً لإجراء قياسات بئرية تتم وفق 4π. لهذا فإن الهدف الرئيس من هذا العمل البحثي يتجلى بإجراء قياسات بئرية وفق التشكيل المعدل باستخدام مسبار غاما- غاما المشار إليه لمعرفة التشكيل الأمثل لتحديد محتوى الرماد في الفحم.

يتم تحديد محتوى الرماد في الفحم عن طريق قياس تغيرات العدد الذرّي Z_{eq} الذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$Z_{eq} = 3.5\sqrt{\frac{\sum_i P_i Z_i^{4.5}/A_i}{\sum_i P_i Z_i/A_i}}$$

حيث A_i الوزن الذرّي، P_i النسبة الوزنية، Z_i العدد الذرّي للعنصر (i) المساهم في تكوين الفحم. تقاس تغيرات Zeq إما من خلال الشدة الطيفية في الطاقات المنخفضة من الطيف، أو من خلال P_i وهي النسبة بين معدلات العدّ الإشعاعي التي يتم الحصول عليها في فتحتين طاقيتين توجدان في مجال الطاقات العالية والمنخفضة في طيف غاما المتبعثرة الراجعة الذي يتم الحصول عليه [9،8]. ولهذا السبب فإنه من الضروري أن تكون القياسات المنفذة طيفية وأن يتمّ تسجيل كامل طيف غاما المتبعثرة الراجعة.

التجهيزات المستخدمة

هذا المسبار المستخدم مركّز ومصنوع من الألمنيوم بسماكة 3mm وقطره الخارجي 60mm، محمل عليه كاشف NaI (Ti) أبعاده 75mm×37mm لكشف إشعاعات غاما المتبعثرة الراجعة الناتجة عن المصادر المشعة المستخدمة. استخدمنا في هذا البحث نوعين من المصادر المشعة:

النوع الأول: هو مصدر السيزيوم المشع، شدته الإشعاعية من مرتبة (1.85MBq). تستخدم النبضة الحاصلة في التسجيل الطيفي عند 662keV (الناتجة عن إشعاعات غاما التي تخترق التدريع الحديدي) لاستقرار كامل الطيف وضمان الحصول على تسجيلات بئرية سليمة.

النوع الثاني: هو مصدر الباريوم المشع، شدته الإشعاعية من مرتبة (1.85MBq)، إضافة إلى مصدر ثانوي آخر من السيزيوم شدته الإشعاعية من مرتبة (0.37MBq) لضمان استقرارية الأطياف. يتم فصل المنبع المشع عن الكاشف بواسطة سماكة متغيرة من التدريع الحديدي (Shielding) وذلك بهدف انتقاء التشكيل الأمثل (منبع مشع- تدريع حديدي- كاشف) من أجل تحديد نسبة الرماد. يتم تسجيل أطياف غاما المتبعثرة الراجعة في حالة السكون وتخزين معطيات هذه الأطياف مباشرة على القرص الصلب في حواسب I.B.M الشخصية وذلك تمهيداً لتحليلها وتفسيرها.

يظهر الشكل 1 مخططاً توضيحياً لبنية المسبار المستخدم والذي يتضمن منبعاً مشعاً وكاشفاً لأشعة غاما وتدريعاً حديدياً، كما استخدمنا في هذا المسبار البحثي سماكات متغيرة من البولي إيتيلين (P1،P2) فقط بهدف تغيير موقع التدريع الحديدي بين المنبع المشع والكاشف.

الشكل 1: مخطط توضيحي لتشكيل مسبار غاما-غاما.

العمل المخبري

مصدر السيزيوم ^{137}Cs

تمّ استخدام مسبار غاما- غاما البئري بوجود مصدر مشع من السيزيوم ^{137}Cs ذي الشدة الإشعاعية المنخفضة (1.85MBq) وفق 4π في دراسة أربعة نماذج جيوفيزيائية من خام الفحم المطحون. يبلغ حجم كل من هذه النماذج 40 لتراً ويبلغ القطر الخارجي للأنبوب المستخدم كبئر نجري داخله القياس والمركّز في وسط النموذج المدروس 90mm. يظهر الجدول 1 التركيب الكيميائي للنماذج الأربعة المدروسة.

تمّت دراسة وتحليل عشرة تشكيلات لهذا المسبار بوضعيات مختلفة مابين المنبع المشع والدرع الحديدي والكاشف كما هو موضح في الجدول 2.

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

الجدول 1: التركيب الكيميائي للنماذج الأربعة المدروسة.

النموذج	Ash%	S%	Al_2O_3%	SiO_2%	Fe_2O_3%	MgO%
1	13.1	0.18	35	35.2	14.9	1.98
2	15.4	0.29	32	45.4	16.2	1.52
3	23.1	0.19	32.6	45.5	12.6	1.30
4	33.1	0.20	30.2	55.8	10.3	0.63

يظهر الجدول 3 المجالات الطاقية للنسب المستخدمة في معادلات المعايرة الموضحة في الجدول 2.

تتراوح المسافة بين المنبع المشع وأسفل الكاشف (SD) بين 20mm و 100mm (يتموضع الكاشف في جسم المسبار فوق المنبع المشع). طبقنا طريقة التراجع بهدف دراسة خصائص كل من هذه التشكيلات المدروسة واختيار أفضلها مع معادلة معايرته الناظمة. تظهر النتائج وفق طريقة التراجع الموضحة في الجدول [2] قيماً عالية لمعامل الارتباط (Rc>0.90) بين قيم ash المحللة كيميائياً وبين مختلف النسب الطيفية. تتراوح قيمة الانحراف المعياري (rms) بين نتائج التحاليل الكيميائية ونتائج التنبؤ باستخدام مسبار غاما-غاما بين 1.52% و 4.75% للرماد (ash). تمّ أيضاً حساب ومقارنة حساسية مسبار القياس (S) من أجل التشكيلات المدروسة. تعطى هذه الحساسية بالعلاقة:

$$S = \frac{Y2-Y1}{\overline{Y}} / \frac{X2-X1}{\overline{X}}$$

حيث Y1، Y2 قيم التنبؤ من أجل نقطتين 1 و 2.

Y: وسطي التنبؤ من أجل أربع نقاط.

X1، X2 قيم التحليل الكيميائي من أجل النقطتين 1 و 2.

$\overline{X}$ وسطي التحليل الكيميائي من أجل أربع نقاط.

إن نتائج هذه الحساسية موضحة في الجدول 2.

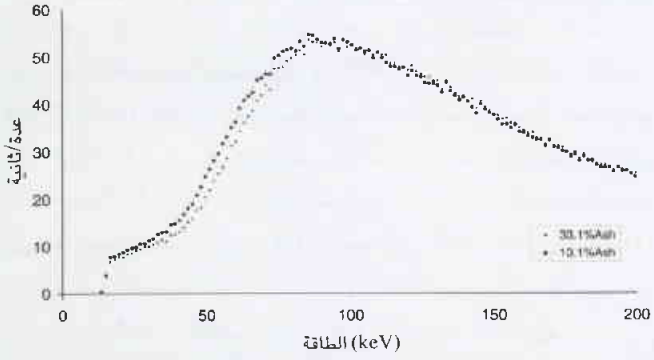
وجدنا أيضاً أن التشكيل الأمثل يمكن توصيفه على النحو التالي: سماكة التدريع الحديدي 80mm، المسافة بين المنبع

الجدول 3: النسب المستخدمة في معادلات المعايرة.

Rat 2= 234-252keV/40-63keV	Rat 3= 259-282keV/40-63keV
Rat 4= 228-260keV/40-63keV	Rat 5= 199-231keV/24-69keV
Rat 7= 259-282keV/24-69keV	Rat 9= 21-42keV/112-187keV

والكاشف 80mm. تبلغ حساسية هذا التشكيل 0.987. يظهر الشكل 2 طيفاً موسعاً لكل من النموذجين 1 و 4، والذي منه يتضح بسهولة الفرق الواضح في الشدة الإشعاعية بين النموذجين، وبشكل خاص في مجال الطاقات المنخفضة. ترتبط شدة غاما المتبعثرة الراجعة بعاملين أساسيين هما كثافة الوسط وتركيبه الكيميائي، حيث يؤثر التركيب الكيميائي للوسط بدوره على مجال الطاقات المنخفضة، بينما يحمل لنا مجال الطاقات المرتفعة معلومات عن كثافة الوسط [9]. تكون العدّات الإشعاعية من أجل النموذج الأول المكون من 13.1% ash أعلى من العدّات الإشعاعية من أجل النموذج الثاني المكون من 33.1% ash وذلك في مجال الطاقات المنخفضة (أقل من 100 keV).

يمكن تفسير ذلك بالقول أن الفحم المحتوي على كمية منخفضة من الرماد ash(13.1%) يتمتع بامتصاص أقل في



الشكل 2: طيوف غاما-غاما المتبعثرة الراجعة لنموذجي الفحم الأول والرابع باستخدام مصدر السيزيوم.

الجدول 2: معادلات تحليل التراجع للتشكيلات العشرة المدروسة باستخدام مصدر السيزيوم.

رقم التشكيل	التشكيل الهندسي				المتحولات	معادلة المعايرة	rms	σ%	R_c	S
	P_1(mm)	Iron(mm)	P_2(mm)	SD(mm)						
1	0	20	0	20	Rat 3	Ash%=1823.9-3421.12 Rat 3	2.30	10.8%	-0.978	89.3
2	10	20	0	30	Rat 9	Ash%=329.69-1798.59 Rat 9	2.89	13.7%	-0.965	108.48
3	10	20	10	40	Rat 9	Ash%=214.23-1010.79 Rat 9	4.75	22.4%	-0.90	97.82
4	10	30	10	50	Rat 9	Ash%=172.19-622.84 Rat 9	3.57	16.8%	-0.95	103.3
5	10	50	0	60	Rat 9	Ash%=165.91-601.5 Rat 9	4.34	20.5%	-0.92	100.1
6	10	70	0	80	Rat 4	Ash%=165.91-601.5 Rat 4	2.74	12.9%	0.968	105.2
7	0	80	0	80	Rat 3	Ash%=-336.82+9118.47Rat3	1.52	2.4%	0.998	98.7
8	15	60	10	85	Rat 5	Ash%=-241.64+2332.69Rat5	3.03	14.3%	0.96	104.8
9	10	80	10	100	Rat 7	Ash%=-200.96+6574.66Rat7	2.93	13.8%	0.964	96.9
10	20	80	0	100	Rat 3	Ash%=-487.24+7680.11Rat3	1.77	8.3%	0.987	104.6

الجدول 4: عدّات غاما الإشعاعية ونسبها في المجالات الطاقية (40-63keV) و (259-282keV) للنموذجين 1 و 4 باستخدام مصدر السيزيوم.

النموذج (%Ash)	العدّات الإشعاعية 40-63keV	العدّات الإشعاعية 259-282keV	Rat 3 (259-282/40-63)
1 (13.1% ash)	1187.27	45.547	0.0384
4 (33.1% ash)	1134.65	45.99	0.0405

مجال الطاقة المنخفضة. تكون هذه الصورة معكوسة في مجال الطاقة المرتفعة (فوق 150keV)، حيث ترتبط العدّات الإشعاعية مباشرة بالكثافة، وبالتالي يعطي النموذج الأول عدّات إشعاعية أقل مقارنة بالنموذج الرابع. يظهر الجدول 4 عدات غاما الإشعاعية التي يتم الحصول عليها من الطيوف في المجالات الطاقية (40-63keV) و (259-282keV) وذلك للنموذجين الجيوفيزيائين المدروسين 1 و 4.

تعطى معادلة المعايرة لهذا التشكيل بالعلاقة التالية:

$$ash\% = -336.82 + 9118.47\ Rat3$$

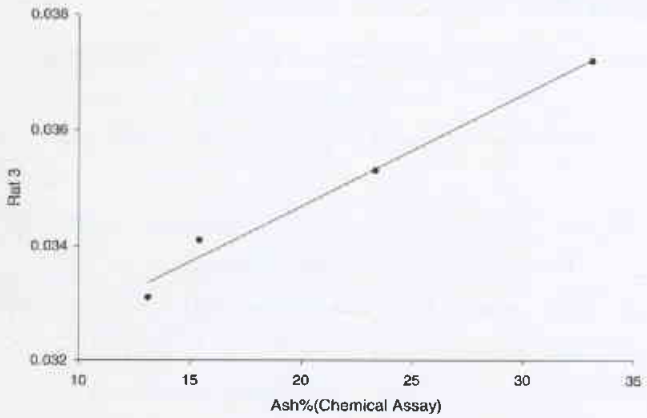
حيث Rat3 هي النسبة بين العدات الإشعاعية المقيسة في المجالين الطاقيين المنخفض والعالي (40-63keV) و (259-282keV). إن الانحراف المعياري بين نتائج التحليل الكيميائي ونتائج التنبؤ عن الرماد (ash) باستخدام هذا التشكيل 1.52% للرماد. كما تعطي طريقة التراجع قيمة عالية لمعامل الارتباط (0.9989) بين قيم الرماد المحسوبة كيميائياً وبين مختلف النسب الطيفية وثوابت Pz المعتبرة. يظهر الشكل 3 منحني المعايرة بين نتائج التحليل الكيميائي للرماد والنسبة الطيفية Rat3.

مصدر الباريوم ^{133}Ba

تمّ اختبار تسعة تشكيلات لمسبار غاما-غاما باستخدام الباريوم كمصدر مشع. كما تمّت إضافة مصدر ثانوي مشع من السيزيوم شدته الإشعاعية من مرتبة 0.37 ميغا بكريل للحصول على نبضة عند 662keV وذلك لضمان استقرارية الأطياف. طبقنا طريقة التراجع الخطي لتفسير المعطيات التجريبية التي تمّ الحصول عليها من خلال دراسة النماذج الجيوفيزيائية الأربعة المشار إليها سابقاً. يظهر الجدول 5 ويلخص نتائج طريقة التراجع من أجل النماذج التسعة المدروسة. إن النسب الطاقية المستخدمة في معادلات المعايرة هي نفسها المبينة في الجدول [3]. كما حصلنا على قيم عالية لمعامل الارتباط (Rc>0.92) بين قيم الرماد المحللة كيميائياً وبين مختلف النسب الطيفية وثوابت Pz للتشكيلات التسعة المدروسة. يتراوح الانحراف المعياري (rms) بين القيم المحللة كيميائياً وقيم التنبؤ التي تمّ الحصول عليها من خلال تطبيق مسبار غاما- غاما بين 1.47% و 4.06% رماد (ash). كما يتضح من الجدول 5 أن التشكيل الأمثل لمسبار غاما-غاما يمكن توصيفه على النحو التالي:

تبلغ سماكة التدريع الحديدي 50mm، المسافة الفاصلة بين المنبع المشع والكاشف 85mm. كما تبلغ حساسية هذا المسبار 1.04. يظهر الشكل 4 طيفاً موسعاً لكل من النموذجين 1 و 4، والذي يتضح منه الفرق الواضح في الشدة الإشعاعية بين هذين النموذجين وبشكل خاص في مجال الطاقات المنخفضة.

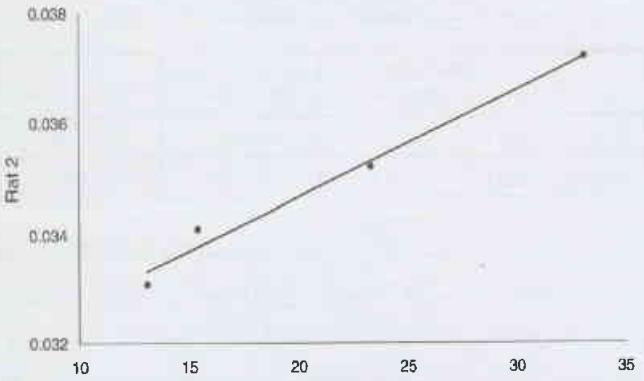
يظهر الجدول 6 عدّات غاما الإشعاعية التي يتمّ الحصول عليها من الأطياف الطاقية في المجالات (40-63keV) و (234-252keV) للنموذجين الجيوفيزيائين المدروسين 1 و 4.



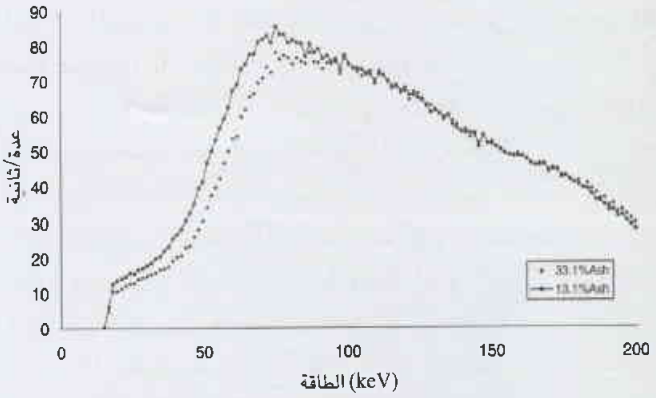
الشكل 3: منحني المعايرة بين محتوى الرماد و Rat 3.

الجدول 5: معادلات تحليل التراجع للتشكيلات التسعة المدروسة باستخدام مصدر الباريوم.

رقم التشكيل	التشكيل الهندسي				المتحولات	معادلة المعايرة	rms	σ%	R_c	S
	P_1(mm)	Iron(mm)	P_2(mm)	SD(mm)						
1	0	20	10	30	Rat 9	Ash%=186.16-676.19 Rat 9	4.06	19.2%	-0.93	102
2	10	20	0	30	Rat 9	Ash%=170.58-546.15 Rat 9	3.53	16.7%	-0.947	101.9
3	10	30	0	40	Rat 9	Ash%=146-354.82 Rat 9	3.76	17.7%	-0.94	102.6
4	0	30	25	55	Rat 9	Ash%=130.16-298.4 Rat 9	3.96	18.7%	-0.93	101.8
5	10	20	25	55	Rat 9	Ash%=142.92-323.6 Rat 9	3.67	17.3%	-0.944	102.9
6	10	50	0	60	Rat 2	Ash%=-279.43+5444.79Rat2	1.90	9%	0.985	104.6
7	10	30	25	65	Rat 9	Ash%=128.23-232.79 Rat 9	3.89	18.3%	0.936	102.4
8	10	50	25	85	Rat 2	Ash%=-155.85+5072.19Rat2	1.47	6.9%	0.99	104
9	35	30	25	90	Rat 9	Ash%=115.62-179.25 Rat 9	3.68	17.4%	0.943	103.2



الشكل 3: منحني المعايرة بين محتوى الرماد و Rat 2.



الشكل 4: طيوف غاما-غاما المتبعثرة الراجعة لنموذجي الفحم الأول والرابع باستخدام مصدر الباريوم.

تعطى معادلة المعايرة لهذا التشكيل وفق العلاقة التالية:

$$ash(\%) = -155.849 + 5072.19Rat2$$

حيث Rat2 هي النسبة بين العدّات الإشعاعية المقيسة في المجالين العالي والمنخفض (40-63keV) و (234-252keV).

إن الانحراف المعياري بين قيم الرماد المحللة كيميائياً وقيم الرماد التي تمّ التنبؤ عنها باستخدام هذا التشكيل هي 1.47% للرماد، كما أن الانحراف المعياري من أجل التجمع هي 6.9%، إضافة إلى ذلك فقد أظهر هذا التشكيل قيمة عالية لمعامل الارتباط (0.99) بين قيم الرماد المحللة كيميائياً ومختلف النسب الطيفية وثوابت P_z المعتبرة. يظهر الشكل 5 منحني المعايرة بين نتائج التحليل الكيميائي للرماد والنسبة الطيفية المستخدمة Rat2.

الخلاصة

برهنّا من خلال هذا البحث أن مسبار غاما-غاما الذي يستخدم شدات إشعاعية منخفضة جداً والمطور حديثاً من قبل CSIRO في أستراليا يمكنه قياس محتوى الرماد في الفحم. لقد أظهرت النتائج التجريبية أن التشكيل الأمثل لمسبار القياس يتكون من 80mm كمسافة بين المنبع المشع والكاشف في حالة استخدام مصدر من السيزيوم المشع. وأن التشكيل الأمثل لمسبار القياس يتكون من 85mm كمسافة بين المنبع المشع والكاشف في حالة استخدام مصدر من الباريوم المشع. لايحتاج مصدر السيزيوم استخدام مصدر ثانوي آخر لاستقرار الأطياف، حيث يستخدم نفس المصدر المشع كمنبع أولي لإشعاعات غاما ولاستقرارية الأطياف. في حين يتطلب استخدام الباريوم المشع مصدراً مشعاً إضافياً من السيزيوم لاستقرارية الأطياف.

الجدول 6: عدات غاما الإشعاعية ونسبها في المجالات الطاقية (40-63keV) و (234-252keV) للنموذجين 1 و 4 باستخدام مصدر الباريوم

النموذج (%Ash)	العدات الإشعاعية 40-63keV	العدات الإشعاعية 234-252keV	Rat 3 (234-252/40-63)
1 (13.1% ash)	1899.06	62.858	0.0331
4 (33.1% ash)	1784.70	66.391	0.0372

المراجع REFERENCES

[1] Charbucinski J., (1993): The ZERO PROBE: low radioactivity borehole logging tool. In: Transactions of the 1993 Nuclear Science Symposium, San Francisko, USA, vol.2, p. 855.

[2] Borsaru M., 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] Borsaru M., Dixon; R., Rojc A. Stehle R., and Jecny Z. (2001): Coal face and stockpile ash analyser for the coal mining industry. Appl. Radiat. Isot. 55, 407-412.

[5] Asfahani J., (1999): Optimisation of spectrometric gamma-gamma probe configuration using very low radioactivity sources for lead and zinc grade determination in borehole logging. Applied Radiation and Isotope. 51,449-459.

[6] Borsaru M., Ceravolo C., Charbucinski J., Eisler P.L. and Youl S.F. (1983a): Ash determination of black coal in exploration boreholes by the neutron-gamma method: International Symposium and Workshop on Borehole Geophysics, Toronto.

[7] Mikesell J.L, Dotson D.W., Senftle F.E., Zych R.S., Koger T., and Goldman, L., (1983): In-situ capture gamma-ray analysis of coal in an oversize borehole: Nucl. Instr. Methods, 215, 561-566.

[8] Borsaru M., Ceravolo; C. Carson G. and Tchen T. (1997): Low radioactivity portable coal face ash analyser. Appl. Radiat. Isot. 48, 715-720.

[9] 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.

التقارير العلمية

دراسة نظرية وتجريبية لتحديد تابع انتقال المفاعل MNSR ★

د. علي حينون - د. إبراهيم خميس - جورج سابا - وائل سليمان
قسم الهندسة النووية - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

دُرس في هذا العمل تابع انتقال المفاعل منسر في حالة الدارة المفتوحة والمغلقة باعتماد مبدأ التحريك النقطي لأجل مجموعة واحدة من النترونات المتأخرة مع مراعاة تأثير النترونات الضوئية. وقد أجريت لهذا الغرض ثلاث تجارب تناولت قياس التغير الزمني للتدفق النتروني الناتج عن إحداث تغير قفزي على التفاعلية الموجبة المدخلة إلى القلب انطلاقاً من الحالة المستقرة عند سويات استطاعية بدئية مختلفة للمفاعل. وقد نتج عن دراسة الدارة المفتوحة حساب الثوابت النترونية الرئيسية للمفاعل متمثلة بعمر الجيل للنترونات الآنية Λ والحصة الكلية للنترونات المتأخرة β، ونتج عن دراسة الدارة المغلقة حساب تابع انتقال المفاعل وتحليل سلوكه الاستقراري.

الكلمات المفتاحية: عمر الجيل للنترونات الآنية، الحصة الفعالة للنترونات المتأخرة، تابع الانتقال النتروني، الدارة المفتوحة، تحليل الضجيج، تابع الانتقال الطاقي، الدارة المغلقة، مفعول الربط العكسي لدرجة حرارة المبرد، مفاعل البحث منسر، النترونات الضوئية، التغير القفزي للتفاعلية، السلوك الاستقراري، دالة نيكوست، الكبح الذاتي احتياطي الكسب.

مقدمة

ينتمي مفاعل منسر (MNSR) إلى مرتبة مفاعلات البحث ذات التدفق النتروني المنخفض من نوع الخزان في حوض (tank-in-pool reactor) بطاقة حرارية اسمية تبلغ 30 kW يأخذ عندها التدفق النتروني الحراري قيمته العظمى 1.10^{12}n/cm^2. s في موضع التشعيع الداخلي ضمن عاكس البريليوم الحلقي الذي يحيط بقلب المفاعل. يستخدم اليورانيوم ذو الإغناء العالي كوقود والماء الخفيف كمهدئ ومبرد ويتم 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 التفاعلية وإطفاء المفاعل عند الضرورة.

يهدف هذا العمل إلى دراسة الخواص الاستقرارية لمفاعل منسر كنظام ترابطي تلعب فيه التفاعلية دور إشارة الدخل، والتدفق النتروني دور إشارة الخرج. ويصف تجاوب المفاعل المتمثل بتغير التدفق النتروني في القيمة والطور بتأثير تغيير في التفاعلية ما يسمى بتابع الانتقال، (Reactor Transfer Function) الذي يعرّف على أنه النسبة بين تغير إشارة الخرج إلى تغير إشارة الدخل في المستوى اللابلاسي لكل منهما. وقد درس هذا العمل سلوك المفاعل كدارة مفتوحة (open loop) في طور التشغيل اليدوي عند استطاعات دنيا، وكدارة مغلقة في طور التشغيل اليدوي والآلي عند استطاعات مختلفة. يسمى تابع الانتقال في حالة الدارة المفتوحة بتابع انتقال الطاقة الصفرية كونه يصف حالة الجملة عند سوية طاقية شبه معدومة تكون عندها الآثار الترموهدروليكية مهملة ويقتصر سلوك الجملة هنا على الخواص النترونية للتوضع الحرج. لذا يستفاد من تابع الانتقال في هذه الحالة في حساب بعض الثوابت النترونية للمفاعل العائدة للنترونات الآنية والمتأخرة. بالمقابل يسمى تابع انتقال الدارة المغلقة بتابع الانتقال الطاقي كونه يصف السلوك الكلي للمفاعل متضمناً الخواص النترونية والترموهدروليكية والمفعولات الترابطية فيما بينها. ويعتبر تابع الانتقال في هذه الحالة أكثر أهمية من الحالة الأولى ذلك أنه يصف السلوك الديناميكي الحقيقي للمفاعل، إلا أنه أكثر تعقيداً لاحتوائه في الحالة العامة على العديد من الدارات الترابطية.

المعالجة

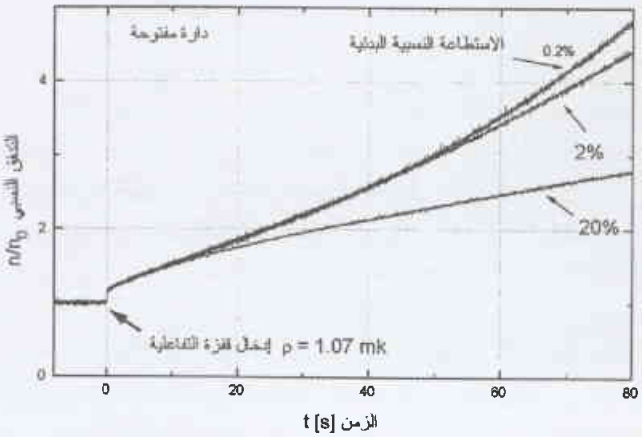
أجريت ثلاث تجارب ديناميكية تم فيها إحداث تغير قفزي موجب على التفاعلية باستخدام عينة من الكادميوم بتفاعلية تبلغ 1.07 mk وذلك انطلاقاً من سويات الاستطاعة البدائية النسبية، 20%، 0.2%، 2% بالنسبة للاستطاعة الاسمية.

يظهر الشكل 1 نتائج قياس التوزع النسبي للتدفق النتروني للمفاعل MNSR عند إدخال تغير قفزي على التفاعلية عند سويات

★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الهندسة النووية – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

مختلفة للاستطاعة البدئية. نلاحظ من الشكل أن توزعات التدفق للحالات الثلاث متطابقة تماماً في مرحلة الـ 10 ثوانٍ الأولى ويستمر هذا التطابق حتى 50 ثانية من بدء تغير التفاعلية بالنسبة للحالتين 0.2% و 2%. بعد ذلك يلاحظ أن تنامي التدفق النسبي عند الاستطاعة الصغرى (0.2%) أكبر منه بالنسبة للحالتين المتبقيتين إذ يصل بعد مرور 100 ثانية إلى 6.5 من القيمة البدئية مقابل 3 أمثال بالنسبة للاستطاعة الكبرى.



الشكل 1- التوزع النسبي للتدفق المقيس على المفاعل MNSR بعد إدخال تغير قفزي على التفاعلية عند 3 سويات مختلفة للاستطاعة البدئية (0.2%، 2%، 20%).

تم في المرحلة الأولى حساب تابع انتقال الدارة المفتوحة الموافق لسوية الاستطاعة البدئية المتدنية (0.2%) تسمح بإهمال مفعول الترابطات العكسية، وقد طور لهذا الغرض البرنامج LAPT. For لتحليل النتائج التجريبية وحساب تابع الانتقال لهذه الدارة.

وقد مكنت دراسة هذا التابع من حساب الثوابت النترونية الرئيسية للمفاعل متمثلة بعمر الجيل للنترونات اللحظية Λ والحصة الكلية للنترونات المتأخرة β باستخدام طريقتين متباينتين؛ اعتمدت الأولى على تقريب القفزة الآنية للتدفق النتروني بينما اعتمدت الثانية على مبدأ تحليل الضجيج باعتماد طريقة التربيعات الأصغرية المعممة GLS. وتوضح الجدول 1 نتائج حساب كلا القيمتين.

الجدول 1- النتائج التجريبية لقيمتي Λ و β وفق طريقة الانتقال وتحليل الضجيج.

الطريقة	Λ [10^{-5} s]	β [10^{-3} s]
تحليل تابع الانتقال	7.459 ± 0.157	7.83 ± 0.170
تحليل الضجيج	7.831 ± 0.127	7.943 ± 0.113
وسطي القيمتين	7.645 ± 0.142	7.887 ± 0.141

وعليه يأخذ انتقال الدارة المفتوحة الشكل التالي (p متحولة لا بلاس):

$$Gn(p)=\frac{p+0.0967}{7.645\times10^{-5}\,p.(p+103.2)}$$

اعتماداً على معطيات الدارة المفتوحة جرى في المرحلة الثانية تحليل تابع انتقال الدارة المغلقة التي قيس سلولها عند سويات استطاعية بدئية مرتفعة نسبياً (2%، 20%) تسمح بدراسة تأثير مفعول الترابط العكسي لدرجة حرارة المبرد. وقد طور برنامج تحت نظام MATHCAD لتحليل النتائج التجريبية سمح بإعطاء الشكل النهائي لتابع انتقال الدارة المغلقة وفقاً للعلاقة التالية:

$$G(p)=\frac{p+0.0967}{7.645\times10^{-5}p.(p+103.2)-\dfrac{1.1114\times10^{-3}.(p+0.0967)}{2.(1+p\,22.814)}}$$

المناقشة

نتج عن دراسة سلوك الدارة المفتوحة، إضافة إلى تحديد تابع الانتقال، قياس عمر الجيل للنترونات الآنية والحصة الكلية للنترونات المتأخرة بما فيها الضوئية باستخدام طريقتين مختلفتين اعتمدت الأولى على تقريب القفزة الآنية وتحليل تابع الانتقال واعتمدت الثانية على تقنية تحليل الضجيج. وقد أظهرت الطريقتان توافقاً جيداً فيما بينهما من جهة وفيما بينهما وبين القيم الواردة في تقرير الأمان من جهة أخرى. وتدل النتائج على أن قياس تابع انتقال الدارة المفتوحة يمثل طريقة ناجعة لحساب الثوابت النترونية الديناميكية للمفاعل.

تبيّن أن سلوك تابع انتقال الدارة المغلقة يعتمد بشكل أساسي في حالة المفاعل منسر على معامل الربط العكسي السالب لدرجة حرارة المبرد α_T ومعدل تسخين المبرد ضمن القلب إضافة لمعدل جريان المبرد عند مستوى الاستطاعة البدئية. وقد تبين وفقاً لذلك أن تقنية تحليل تابع الانتقال تمثل طريقة مقبولة لحساب أحد المعاملين الأخيرين بدلالة الآخر. وقد دلت دراسة سلوك استقرار الدارة المغلقة على أن المفاعل منسر يمتلك بتأثير مفعول الترابط العكسي للتفاعلية الناتج عن درجة حرارة المبرد هامش استقرار كبير يجعله بعيداً بشكل كاف عن حدود التشغيل الحرج. حيث تبيّن أن الدارة المدروسة تمتلك احتياطي كسب يصل إلى 88.5 db واحتياطي طور موافق يقرب من 85°، وهي قيمٌ مرتفعة جداً مقارنة مع تلك القيم المعتمدة للتحكم بالسلوك الديناميكي للمحطات النووية والتي تبلغ 12 db لاحتياطي الكسب و 50° لاحتياطي الطور على التوالي.□

دراسة أثر وجود فتحات متعددة داخل مجاوب ليزري على الأنماط وضياعها*

د. محمد خير صبرة، د. بسام عباس
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

عُولجت مسألة مجاوب ليزر CO_2 مؤلف من مرآة مقعرة ومرآة مستوية، يحتوي على فتحة دائرية مستوية وحيدة، وعلى فتحتين مستويتين دائريتين أنصاف أقطارهما متساوية، وذلك باستخدام طريقة الفروق المحدودة لحل معادلة فرينل التكاملية التي تصف انعراج الحقل الكهربائي عند حواف مرآتي المجاوب [1]. تم الحصول على النمط الأساسي TEM_{00} تحديداً المتولد داخل المجاوب، كما درس صياغه بدلالة موضع ونصف قطر تلك المتوضعة في داخله.

وجد في حال وجود فتحة دائرية وحيدة داخل المجاوب مايلي:

❶ يكون ضياع النمط TEM_{00} بدلالة موضع الفتحة أصغرياً، عندما تكون الفتحة في الجوار القريب من إحدى المرآتين. كذلك يكون الضياع أكبر، عندما تكون الفتحة أقرب من المرآة المقعرة منها إلى المستوية.

❷ يتناسب الضياع عكسياً مع نصف قطر الفتحة.

❸ إن وجود الفتحة داخل المجاوب، يجعل TEM_{00} يعاني من تشوه في شكله، نتيجة اضطراب الحقل الكهربائي عند حواف هذه الفتحة.

كما وجد في حال وجود فتحتين دائريتين داخل المجاوب ما يلي:

① في حال تثبيت (انطباق) إحدى الفتحتين على المرآة الأولى تؤول المسألة إلى الحالة السابقة.

② يكون الضياع بدلالة نصف قطر الفتحتين أصغرياً، عندما يكون نصف القطر أعظمياً، والعكس صحيح.

③ إن وجود الفتحتين داخل المجاوب، يجعل النمط TEM_{00} يعاني أيضاً من تشوه في شكله نتيجة اضطراب الحقل الكهربائي عند حواف هاتين الفتحتين.

الكلمات المفتاحية: مجاوب متناظر، مجاوب غير متناظر، مجاوب مكافىء، وسط فعّال، نمط أساسي، مصفوفة انسحاب.

مقدمة

يتناول هذا العمل موضوع المادة الفعالة (الوسط الفعال) التي تملأ فراغ المجاوب ذات قرينة انكسار معينة، والتي يمكن الاستعاضة عنها حسابياً بفتحة دائرية، توضع بين مرآتي المجاوب. قمنا بدراسة النمط الأساسي TEM_{00} دون بقية الأنماط ذات الرتبة الأعلى منه، كونه النمط الأقل ضياعاً داخل المجاوب، وذلك بالاعتماد على طريقة المجاوب المكافئ. وأخذنا حالة مجاوب لليزر CO_2 يحتوي على فتحة دائرية وحيدة، ومن ثم على فتحتين دائريتين كنموذج لمجاوب ليزري يحتوي على عدة فتحات داخلية. وقد استخدمنا مفهوم مصفوفة الانتقال ABCD. ومن ثمَّ قمنا بدراسة الأنماط وضياعها في كلتا الحالتين.

النتائج والمناقشة

أوضحت هذه الدراسة أن:

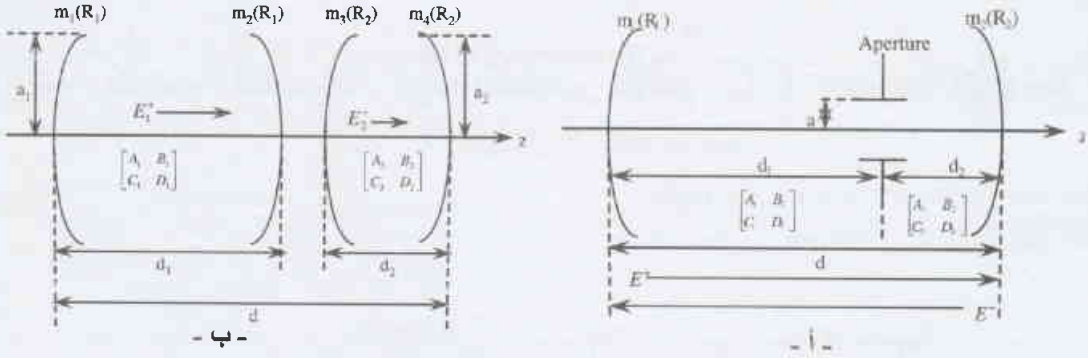
❶ كل مجاوب ليزري متناظراً كان أم غير متناظر ويحتوي على فتحة دائرية وحيدة نصف قطرها a، يكون المجاوب المكافئ له عبارة عن جملة مؤلفة من مجاوبين متجاورين كل منهما متناظر.. يظهر الشكل 1 مخططاً تمثيلياً لمجاوب ليزري محتوٍ على فتحة دائرية وحيدة، وكذلك المجاوب المكافئ له.

❷ وكل مجاوب يحتوي على فتحتين دائريتين أنصاف أقطارها متساوية $a_1=a_2=a$، يكون المجاوب المكافئ له عبارة عن جملة مؤلفة من ثلاثة مجاوبات كل منها متناظر، وهي متجاورة.

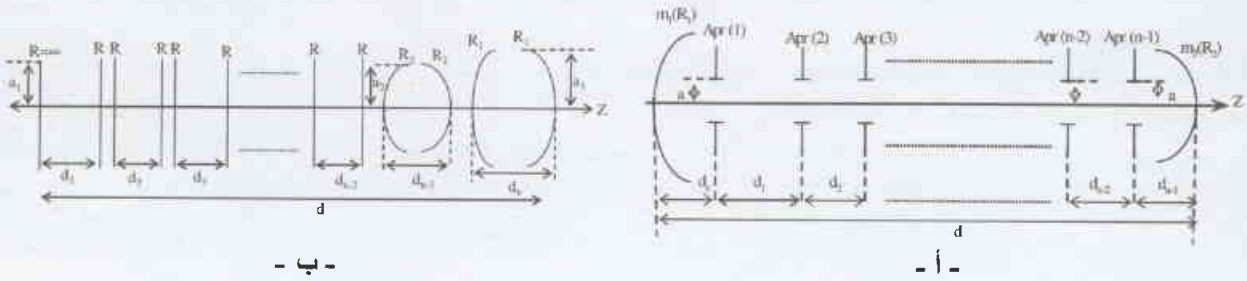
❸ وبصورة عامة، كل مجاوب يحتوي على (n-1) فتحة دائرية أنصاف

* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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



الشكل (1)، مخطط تمثيلي لمجاوب ليزري غير متناظر بفتحة دائرية وحيدة (أ)، ومجاوبه المكافئ (ب).



الشكل (2)، مجاوب غير متناظر يحتوي على (n-1) فتحة دائرية أنصاف أقطارها متساوية وتفصل بينها مسافات متساوية (أ)، ومجاوبه المكافئ (ب).

أقطارها متساوية: $a=a_1=a_2=$ ----$=a_{n-1}$، فإن المجاوب المكافئ له عبارة عن جملة مؤلفة من n مجاوباً متجاوراً، كل منها متناظر (الشكل 2).

وجد، في حال وجود فتحة دائرية وحيدة داخل المجاوب، ما يلي:

① يكون ضياع النمط TEM_{00} بدلالة موضع الفتحة أصغرياً، عندما تكون الفتحة في الجوار القريب من إحدى المرآتين. كذلك يكون الضياع أكبر، عندما تكون الفتحة أقرب من المرآة المقعرة منها إلى المرآة المستوية.

② يتناسب الضياع عكسياً مع نصف قطر الفتحة.

③ إن وجود الفتحة داخل المجاوب، يجعل النمط TEM_{00} يعاني من تشوه في شكله، نتيجة اضطراب الحقل الكهربائي عند حواف هذه الفتحة.

كما وجد في حال وجود فتحتين دائريتين داخل المجاوب ما يلي:

① في حال تثبيت (انطباق) إحدى الفتحتين على المرآة الأولى تؤول المسألة إلى الحالة السابقة.

② يكون الضياع بدلالة نصف قطر الفتحتين أصغرياً، عندما يكون نصف القطر أعظمياً، والعكس صحيح.

③ إن وجود الفتحتين داخل المجاوب، يجعل النمط TEM_{00} يعاني أيضاً من تشوه في شكله نتيجة اضطراب الحقل الكهربائي عند حوافّ هاتين الفتحتين.

المراجع REFERENCES

[1] A.G. Fox and Li, The Bell System Technical Journal, p. 453 (1961).

[2] عبد الناصر نعساني و د. محمد خير صبرة، "دراسة ضياع الأنماط في حجرة التجاوب الليزرية"، تقرير عن دراسة علمية حاسوبية، هيئة الطاقة الذرية السورية، تشرين الثاني (1995).

[3] K. Ati=Ameur, "Influence of the longitudinal position of an aperture inside a cavity on the transverse mode discrimination", Applied Optics, 32 (36/20), Dec. (1993).

[4] W. W. Rigrod, "Diffraction loss of stable optical resonators with internal limiting apertures", IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-19 (11), Nov. (1983).

[5] V. R. Kushnir, "Integral equations for complex resonators with an internal diaphragm", Sov. J. Quantum Electronics, 10 (1), Jan. (1980).

[6] A. Gerrard and J.M. Burch, "Introduction to matrix methods in optics", A Wiley-Interscience Publications-Copyright (1975).

[7] A.E. Siegman, "Lasers", Oxford University Press (1986).

[8] O.J. Trabocchi, C.M.V. Colautti, and E.E. Sicre, "Diffraction properties of a periodic multiple-aperture system: an approach based on the Walsh functions", Optical Engineering, 35 (1), Jan. (1996).

دراسة علمية مخبرية حول تحضير طاقم EC وضبط جودته*

د.توفيق ياسين - نها الريس - ماجدة دادوخ - رناء المالكي
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

تصف هذه الدراسة طريقة مطورة في مخابر دائرة النظائر المشعة لتحضير طاقم EC المعدّ للوسم بالتكنيسيوم 99 م ولدراسة عمل النبيبات الكلوية. حيث حُضّر الطاقم على شكل عبوتين، تحوي الأولى مكونات الطاقم والمواد المرجعة في حين تحوي الثانية محلول وقاء لضبط درجة حموضة الطاقم الموسوم بالتكنيسيوم 99 م بحدود pH = 8.5.

تبيّن الدراسة أيضاً طرق ضبط جودة الطاقم التي تتضمن اختبار الصفات الفيزيائية والنقاوة البيولوجية (العقامة والخلو من مولدات الحرارة) بالإضافة لدراسة النقاوة الكيميائية الإشعاعية والتوزع البيولوجي والثباتية والنشاط الإشعاعي الأعظمي الذي يمكن أن يوسم به الطاقم وأظهر الطاقم المحضر خواصّ مميزة إذ يمتاز على الطواقم الأخرى المستعملة مثل MAG3 وأيودوهيبوران حيث يطرح بسرعة من الكلية مع احتفاظ مهمل في الكليتين (2%~).

الكلمات المفتاحية: المركبات الصيدلانية المشعة، تكنيسيوم -99 م، إيتلين ثنائي سستيئين، تصوير الكلى.

مقدمة

يعود استعمال النظائر المشعة طبياً في مجال التشخيص والمعالجة إلى نحو قرن مضى بعد اكتشاف النشاط الإشعاعي مباشرة ً، ولا تزال أهميتها في تزايد مستمر لما تقدمه من حلول لمعضلات طبية تعجز عنها التقنيات الأخرى .

تُعطى النظائر المشعة للمرضى بشكل مستحضرات تدعى المركبات الصيدلانية المشعة Radiopharmaceuticals التي تجمع بين خواص المركبات الصيدلانية وخواص المواد المشعة، ويجري تحضيرها وفق متطلبات قواعد التصنيع الجيد GMP وقواعد تصنيع الصيدلانيات المشعة الجيد GRP التي تضمن التعامل الآمن مع المواد المشعة. ويعد التكنيسيوم 99 م النظير المشع الأكثر استعمالاً في مجال الطب النووي لما يملكه من خواص فريدة إذ يصدر أشعة غاما بطاقة 140keV المثالية لاختراق الجسم والكشف بكاميرا الغاما ولا يوجد إصدارات جسيمية مرافقة لها، إضافةً لعمر النصف الفيزيائي القصير نسبياً (6 ساعات) وتوافر عدد كبير من الربائط القابلة لتشكيل معقدات ثابتة معه حيث تتوضع بشكل انتقائي في أعضاء محددة ضمن الجسم الحي.

استخدمت العديد من مركبات التكنيسيوم 99 م في دراسة بنية ووظائف الكلية، ومن المركبات الصيدلانية المشعة المستخدمة والخاصة بتصوير ودراسة الكلية DTPA, GH, DMSA حيث يستخدم كل منها لدراسة جزء أو وظيفة محددة في الكلية ثم بينت الدراسات والأعمال في هذا المجال وجود مركب أخر هو 99mTc-MAG3 الذي أظهر جودة منخفضة نتيجة ارتباطه ببروتينات مصل الدم (البلاسما) الأمر الذي جعل تحديد التدفق البلاسمي الكلوي الفعال أمراً صعباً نوعاً ما [2] بالإضافة إلى صعوبة وسمه بالتكنيسيوم في المشافي. فاقترح مركب صيدلاني جديد هو اتيلين ثنائي سيستئين (L,L-Ethylenedicysteine) القابل للارتباط مع التكنيسيوم 99 م كبديل مناسب وملائم في تصوير الكلية لدراسة عمل النبيبات الكلوية لامتيازه بسهولة التحضير والثباتية ولامتلاكه خواص سريرية جيدة من تحمل الجسم البشري وانخفاض توضعه في الحافظة الكلوية وتوضعه بشكل لا يذكر في كل من الكبد والدم والجهاز الهضمي وسرعة التصفية البلاسمية والإطراح ووضوح الصورة وانخفاض الجرعة الإشعاعية للمريض [4,2].

واستجابة لطلب المشافي ولمواكبة التطور في مجال تحضير الطواقم وإتمام المهمة التي بدأتها دائرة النظائر المشعة – قسم الكيمياء في هيئة الطاقة الذرّية السورية – لتلبية حاجة السوق المحلية والعربية أجريت محاولات متعددة بشروط متنوعة لتحضير الطاقم للحصول على المنتج النهائي الذي تم التأكد من جودة مواصفاته وتلبيتها للغاية المخصصة لها باختبارات ضبط الجودة الموثقة عالمياً.

* 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

القسم العملي

التحضير

حضر الطاقم ضمن شروط GRP في عبوتين: عبوة (A) تحوي مادة EC مع المادة المرجعة و المواد المساعدة بشكل مجفد عقيم وخال من مولدات الحرارة وعبوة (B) تحوي 1 مل من محلول وقاء حمض الفوسفور (M 0.04) العقيم والخالي من مولدات الحرارة.

ضبط الجودة

– الطاقم البارد: تراقب الصفات الفيزيائية للطاقم البارد من شكل ولون وانحلالية ودرجة حموضة، وللتأكد من النقاوة البيولوجية [5] تختبر العقامة بإضافة حجم محدد من محلول الطاقم إلى أوساط زرع مناسبة بدرجات حرارة محددة لمدة أربعة عشر يوماً وكذلك يختبر خلو الطاقم من مولدات الحرارة (الاندوتوكسين) باستخدام طواقم LAL.

– الطاقم الموسوم: تختبر النقاوة الكيميائية الإشعاعية باستخدام طرق الكروماتوغرافيا الصاعدة [3.1] على الطاقم الموسوم لتحديد نسبة التكنيسيوم 99 م المرتبط مع ربائط الطاقم والتحري عن حالات التكنيسيوم 99 م غير المرتبط مع المرجع (يجب أن تكون النقاوة الكيميائية الإشعاعية أكبر من 90%).

– التوزع البيولوجي: يدرس بحقن فئران التجربة البيضاء (20-25 غ) بحوالي 100 مكروكوري/100 مكروليتر من الطاقم الموسوم في الوريد الذيلي ثم تقتل بعد ثلاثين دقيقة وتشرّح وتعد الأعضاء المفصولة على عداد غاما، وتحدد النسبة المئوية للنشاط الإشعاعي في كل عضو نسبة إلى النشاط المحقون ويقبل الطاقم عندما يطرح أكثر من 70% منه في البول بعد ثلاثين دقيقة ويتبقى في الكليتين أقل من 5%.

– الثباتية: تختبر بدراسة النقاوة الكيميائية الإشعاعية كل ساعة لتحديد الزمن الذي يكون خلاله الطاقم الموسوم صالحاً للاستعمال وكل شهر لتحديد فترة الصلاحية للطاقم المجفد.

– النشاط الإشعاعي الأعظمي: هو أكبر نشاط إشعاعي يوسم به الطاقم ويعطي مردود وسم أكبر من 90%، يحدد بوسم الطاقم بنشاط إشعاعي متزايد ودراسة النقاوة الكيميائية الإشعاعية.

النتائج والمناقشة

طبقت إجراءات ضبط الجودة على عدة دفعات تجريبية من الطاقم البارد فأظهرت جميعها صفات فيزيائية جيدة حيث كانت بشكل مسحوق أبيض اللون متجانس ينحل عند إضافة 1-3 مل من الماء المخصص للحقن أو المصل الفيزيولوجي ليعطي محلولاً رائقاً عديمَ اللون ذا درجة حموضة تساوي 12.00 ± 0.20 تصبح بين 7.5- 8.5 وهي درجة الحموضة المناسبة للحقن عند إضافة محتوى العبوة (B). كما أظهرت جميعها نقاوة بيولوجية عالية فلم تظهر أي نمو جرثومي أو فطري وكانت خالية من مولدات الحرارة.

وأظهرت نتائج ضبط الجودة على الطاقم الموسوم نقاوة كيميائية إشعاعية مرتفعة قبل وبعد تعديل درجة الحموضة فكان مردود الوسم بحدود 99.00% (الجدول 1).

كما لوحظ في نتائج التوزع البيولوجي أن 82.39% ± 8.04 من المادة المحقونة تطرح خلال نصف ساعة من الحقن في حين تحتفظ الكليتان بحوالي 2.63% ± 1.45 ويبقى في الدم 1.27%±0.07 بينما كان التوضع في الكبد وجهاز الهضم وباقي الأعضاء أقل من 5.00%. وتتوافق هذه القيم مع القيم المرجعية العالمية المناسبة للحقن البشري (الجدول 2) و (الشكل 1).

وبينت دراسة ثباتية الطاقم أن الطاقم الموسوم ثابت لمدة تزيد عن ثماني ساعات

الشكل (1)

① جدول 1

رقم الدفعة /pH	1	2	3	4	5	6	المتوسط والانحراف المعياري
pH=12	99.43%	99.2%	98.34%	98.66%	98.17%	99.23%	X=98.84±0.52%
pH=8	99.75%	98.24%	99.53%	99.41%	98.32%	99.1%	X=99.1 ±0.63%

② جدول 2

العضو%	الفأر الأول	الفأر الثاني	الفأر الثالث	الفأر الرابع	الفأر الخامس	الفأر السادس	القيمة الوسطية	الانحراف المعياري
المثانة والبول	89.23	85.4	74.04	71.94	91.8	81.91	82.39	8.04
الكليتان	1.56	2.1	3.10	5.35	1.49	2.20	2.63	1.45
الأمعاء	1.62	6.2	10.10	8.43	3.06	4.28	5.62	3.25
الكبد	1.18	5.2	5.3	5.89	1.18	1.76	3.42	2.26
الرئتان	0.1	0.2	0.2	0.29	0.1	0.11	0.17	0.08
المعدة	0.09	0.34	0.13	0.26	0.58	0.23	0.27	0.18
الطحال	0.03	0.1	0.06	0.09	0.02	0.04	0.06	0.03
القلب	0.03	0.1	0.07	0.06	0.03	0.04	0.06	0.03
الدم	0.72	2.3	1.44	1.72	0.82	0.6	1.27	0.67

في درجة حرارة الغرفة و أن الطاقم المجفد ثابت لمدة تزيد عن عام في درجة حرارة أقل من الصفر.

كما أظهرت الدراسة أن النشاط الأعظمي الذي يمكن أن يوسم به الطاقم يصل الى حوالي 40 ملّي كوري وهذا يكفي لدراسة أكثر من خمس حالات .

المراجع REFERENCES

[1] Tec Doc 805 production of 99mTc Radiopharmaceuticals for brain- heart and Kidney imaging.

[2] Technetium -99m-L,L-ethylene dicysteine Scintigraphy in patients with renal disorders by Narainder k. Gupta and other. Institute of nuclear Medicine, Middlesex ,Hospital, London, UK.

[3] In vivo Behavior of 99mTc-Labelled Ethylenediamine(EC) by Md. Zainul Abedin. Radioisotope Division, Institute of Nuclear Science and technology, Atomic Energy Research Establishment, BANGLADESH.

[4] Technetuim -99m ethylene dicysteine: a new renal tubular function agent by levent Kabasakal, Department of Nuclear Medicine, cerrahpasa Medical Faculty, Istanbul University,Turkey.

[5] U.S.P.

محاكاة الحت الكيميائي الرطب لرقائق سليكونية من كلا الوجهين★

د. محسن شحود ، سامر آغابي

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

ملخص

يُعتبر الحت (التنميش) الكيميائي الرطب من أهم التقنيات المستعملة في تصنيع العناصر الإلكترونات والمكروميكانيكية، فهو يستعمل على سبيل المثال في تصنيع الأغشية السليكونية وحساسات الضغط والتسارع. إن كثرة العوامل التي تؤثر على النتيجة النهائية لعملية الحت (شكل القناع - البنية البلّورية - زمن الحت - المحلول الكيميائي المستعمل....) تجعل التنبؤ بهذه النتيجة أمراً صعباً جداً، ولذا فإنه من المفيد القيام بمحاكاة هذه التقنية من أجل اختصار الوقت وتقليل الكلفة المبذولين في صناعة العناصر الإلكترونية والمكروإلكتروميكانيكية (Micro Electro Mechanical System Devices MEMS).

لقد تم في هذا العمل تطوير الطريقة الخلوية الحتمية لمحاكاة الحت الكيميائي الرطب المعطاة في المراجع العلمية [1،2] في نقطتين أساسيتين هما:

- **محاكاة المستويات السالبة الميل.**
- **محاكاة الحت الكيميائي الرطب لرقائق سليكونية من كلا الوجهين.**

أعطيت أمثلة لعملية محاكاة الحت من وجه واحد ومن وجهين، وقد أظهرت تلك الأمثلة أن الطريقة المتبعة في عملية المحاكاة تمكّننا من محاكاة المستويات السالبة الميل ومحاكاة الحت الكيميائي الرطب من كلا الوجهين.

الكلمات المفتاحية: الحت الكيميائي الرطب، المحاكاة، السليكون، المستويات السالبة الميل.

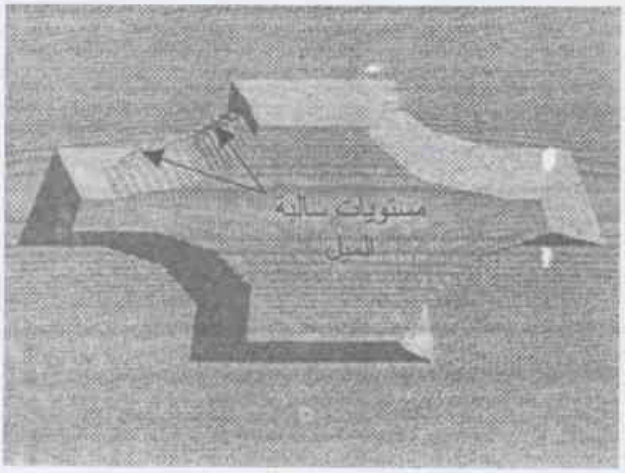
النتائج والمناقشة

- محاكاة المستويات السالبة الميل: تظهر هذه المستويات في النتائج التجريبية تحت الزوايا المحدبة للقناع وتتم محاكاتها عن طريق عملية قلب افتراضية للقناع بحيث تصبح المناطق المكشوفة مغطاة والمناطق المغطاة مكشوفة، حيث تمكّننا عملية القلب هذه من تحديد الخلايا التي تنتمي إلى المستويات السالبة لأن كافة خلايا الجوار لهذه الخلايا في تلك المستويات تصبح لها نفس القيمة. يظهر الشكل 1 نتيجة محاكاة لعملية حت تمّت باستخدام قناع على شكل إشارة + مكشوفة. نشاهد بوضوح المستويات السالبة الميل عند الزوايا المحدبة للقناع وهذا يتوافق مع النتائج التجريبية.

- محاكاة الحت الكيميائي الرطب لرقائق سليكونية من كلا الوجهين: تتم هنا في البداية محاكاة الحت الكيميائي الرطب من وجه

★ تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

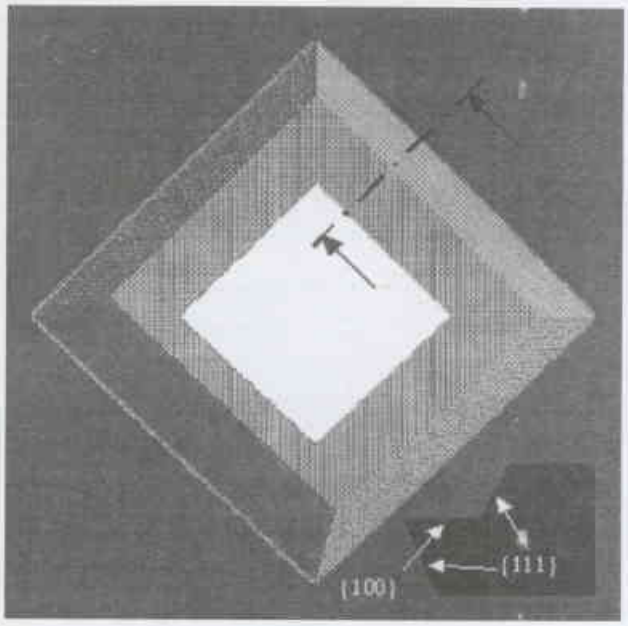
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الشكل (1): نتيجة محاكاة لعملية حت باستخدام قناع على شكل إشارة + مكشوفة

واحد لكل وجه على حدة بعد ذلك تُطبق خوارزميات الحت المعطاة في المرجع [2] على كافة الخلايا التي تمّت إزالتها في إحدى عمليتين المحاكاة السابقتين. أما الخلايا التي لم تتم إزالتها في كلا العمليتين السابقتين فتنطبق عليها تلك الخوارزميات باستثناء البند الأخير منها الذي يقضي بإزالة الخلية إذا لم يُحدد انتماؤها لمستو معين بالطريقة المقعرة أو المحدبة.

يظهر الشكل 2 نتيجة محاكاة لعملية حت من كلا الوجهين تمّت باستخدام قناعين مربعي الشكل مختلفين في المساحة. وقد تمّ إيقاف عملية الحت في لحظة تلاقي جبهتي الحت في منتصف الرقاقة.



الشكل (2): نتيجة المحاكاة لعملية حت من كلا الوجهين

المراجع REFERENCES

[1] M. Chahoud et al., Anisotropic-etching simulation of InP, Sensors and Actuators A 63, 1997.

[2] M. Chahoud et al., Etching simulation of convex and mixed Si-structures, Sensors an Actuators A 69, 1998.

مراقبة الأشخاص المعرَّضين مهنياً لعنصر التريتيوم★

د. محمد حسان خريطة ، ميسون المغربي ، عامر النشواتي
قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

عنيت هذه الدراسة بإعطاء لمحة شاملة عن التريتيوم: خصائصه، وجوده، استخدامه، طرق مراقبته، الخطورة المهنية الناشئة عنه، وتركز بشكل أساسي على الجرعة الإشعاعية الناتجة عن التعامل مع هذا العنصر وكيفية حسابها. ولحساب الجرعة الإشعاعية تمّ اعتماد طريقة تعيين التريتيوم المصدر لأشعة بيتا في العينات البولية. وتنطوي هذه الطريقة على إضافة السائل الومّاض إلى العينة وقياس الفوتونات الضوئية الصادرة عنه بواسطة العداد الوميضي السائل، حيث يتناسب عدد الفوتونات المتحررة من السائل الومّاض طردا مع عدد جسيمات بيتا المرسلة. وقد حددت خصائص هذه الطريقة (التكرارية، قابلية الإعادة، حد الكشف، معامل الاسترجاع) وجرى اعتمادها باستخدام عينات عيارية وأخرى طبيعية فبلغ الحد الأدنى للكشف 0.15 بكريل في كل ملي لتر. وبيّنت نتائج تطبيق هذه الطريقة لقياس عينات مقارنة دولية وعينات حقيقية من العاملين المعرَّضين مهنياً لعنصر التريتيوم أنها مناسبة لتحديد التراكيز المرتفعة للتريتيوم (أعلى من 150Bq في اللتر).

الكلمات المفتاحية: التريتيوم، الجرعة الإشعاعية، العداد الوميضي السائل.

★ 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

مقدمة

التريتيوم هو نظير مشع للهدروجين، العدد الذرّي له 3، تتألف نواته من بروتون واحد ونترونين (رمزه T أو H_3)، يطلق عند تفككه جسيمات بيتا، يعتبر التريتيوم من النكليدات المشعة المنخفضة السمّية لذلك تمّ تصنيفه كمادة ذات حد اندخال سنوي مرتفع. يتشكل التريتيوم نتيجة تفاعلات كثيرة بين الأشعة الكونية والغازات الموجودة في الطبقة السطحية للغلاف الجوي. يستعمل التريتيوم كوقود في القنابل الهدروجينية وفي مفاعلات الطاقة النووية، كما يستعمل كمتقفي أثر مشع في مختلف الأبحاث الكيميائية والبيولوجية وغيرها، ويمكن بواسطته تعيين منشأ الأمطار ومعرفة عمر النيازك وغيرها.

تقدر الجرعة الإشعاعية الطبيعية الناتجة عن التريتيوم بنحو 0.01 مكروسيفيرت في السنة موزّعة بشكل منتظم على كامل الجسم، وتعتبر هذه الجرعة منخفضة عند مقارنتها بالجرع الإشعاعية التي يتلقاها الجسم من المصادر الأخرى للإشعاع.

يدخل التريتيوم إلى الجسم عن طريق: الابتلاع أو الاستنشاق أو الامتصاص خلال الجلد وبعد أن تتم عملية الدخول يذهب التريتيوم إلى سوائل الجسم ليتوازن معها، ولتقدير الجرعة الناتجة عن ذلك لابد من معرفة البيانات الاستقلابية لمركبات التريتيوم؛ وهي عبارة عن نماذج مناسبة تستخدم لتحديد الجرعة الإشعاعية.

المناهج والمعالجة

أوضحت نتائج الاعتماد وفق الطريقة المقترحة أنها مناسبة لتعيين التريتيوم في العينات البولية للعاملين المهنيين، وذلك في حال كانت كمية التريتيوم الموجودة في البول تتجاوز $0.15\ Bq.ml^{-1}$ أي تتجاوز حد الكشف للطريقة المتبعة، وغالباً ما تكون كمية النشاط الإشعاعي في حالة التعرض المهني أعلى بكثير من هذا الحد لأن التريتيوم في جسم الإنسان يطرح عن طريق البول ويكون تركيزه في عينة البول تماماً مثل تركيزه في سوائل الجسم الأخرى، وتعتبر هذه الطريقة صحيحة عند قياس النشاط الإشعاعي للأشخاص المتعاملين مع H_3 وقد تكون غير مناسبة لكشف الخلفية الطبيعية البيئية لعينة البول للإنسان غير المعرَّض للإشعاع، ففي هذه الحالة يجب أن تؤخذ عينة بول 100 ml تقطر وتؤكسد ومن ثم تقاس كمية النشاط الإشعاعي للتريتيوم فيها. وقد دلّت نتائج تحليل عينات البول للأشخاص المتعاملين مع عنصر التريتيوم مهنياً، أن جميع النتائج كانت دون حد الكشف أي أقل $0.15\ Bq.ml^{-1}$.

لوحظ أن نتائج هذه القياسات ضمن الحدود الطبيعية لتركيز التريتيوم في البول والتي تعطى ضمن المجال (0.0185-0.148Bq)، وهذا يدل على عدم وجود أي تعرض إشعاعي داخلي ولا يطلب في هذه الحالة تقدير للاندخال الإشعاعي ولا للجرعة الإشعاعية، ولو حسبت الجرعة وفقاً لأقل قيمة يستطيع الجهاز كشفها وهي $15Bq.ml^{-10}$ نجد أن الجرعة الناتجة هي $0.12\mu Sv$، وذلك على أساس أنه تمّ أخذ العينات في اليوم الأول من الاندخال الإشعاعي، وبمقارنة هذه النتيجة مع حد الجرعة المسموح بها لعموم الناس وهي 1mSv نجد أن $0.12\mu Sv$ أقل بكثير من 1mSv لذلك نكتفي بتسجيل نتائج هذه القياسات ونحتفظ بها لعدة سنوات على الأقل. ونستنتج مما سبق أن جميع المتعاملين مع عنصر التريتيوم والذين تمّت مراقبتهم في هذه الدراسة يعملون في ظروف آمنة ومرضية من وجهة نظر الوقاية الإشعاعية ويطبقون أساليب الوقاية الإشعاعية التي تمنع من حدوث التلوثات الداخلية. ويفضل إجراء مراقبة إثبات سنوية لهؤلاء الأشخاص وذلك للتأكد من سلامة العمل المخبري وخاصة في حالات الطوارئ كانسكاب مادة مشعة في مكان العمل، ولا يطلب إجراء مراقبة روتينية لأن نتائج القياس كانت ضمن الحدود الطبيعية المسموح بها، وإذا لوحظ أثناء إجراء مراقبة الإثبات السنوية أن في بعض نتائج قياس عينات العاملين زيادة في النشاط الإشعاعي، نقارن هذه النتائج مع سوية التحقيق المشتقة أي 3DIL/1 وهو ما يعادل 2133Bq عندها يجب إجراء سلسلة من القياسات لمدة أسبوع لتحديد كمية النشاط الإشعاعي في هذه العينات، ثم إجراء حساب وسطي قيم النتائج التي حصلنا عليها، وبعد ذلك نقدر الاندخال الإشعاعي بتقسيم نتيجة قياس العينة M على m(t) (وهي عبارة عن تركيز النشاط الإشعاعي المتوقع في البول المكافئ لاندخال 1Bq) ثم نقدر الجرعة الفعالة المودعة وذلك بضرب قيمة الاندخال الإشعاعي بمعامل الجرعة. ويمكن أن نكشف عن وجود تراكيز عالية من النشاط الإشعاعي في العينات بسهولة باستخدام هذه الطريقة التي تمّ اعتمادها، والدليل على ذلك عينات المقارنة الدولية procorad لتحديد تركيز التريتيوم في عينات البول التي تمت المشاركة بها، حيث كانت نتائج القياسات بالمقارنة مع القيم الحقيقية للعينات جيدة وضمن الحدود المقبولة في هذه المقارنة.

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

أتمتة تقدير الجرعات الإشعاعية الفردية★

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

ملخص

يعد تقدير الجرع الإشعاعية الفردية للعاملين المعرضين مهنياً للإشعاع من المتطلبات الأساسية للقواعد التنظيمية العامة للوقاية من الإشعاعات المؤينة. ويهدف لتأمين الأدوات والسبل اللازمة لتخفيض الجرع الإشعاعية الناتجة عن استخدامات الأشعة المؤينة إلى أقل حدود يمكن التوصل إليها بشكل معقول.

يقدم هذا التقرير النظام المتبع لتقدير الجرعة الشخصية باستخدام الفلم بادج حاسوبياً، بالإضافة إلى شرح واف عن البرنامج الحاسوبي "PERSMONIT" الذي تم إعداده لتقدير الجرعة المذكورة.

يقوم هذا البرنامج أيضاً بالإدارة الكاملة للمراقبة الإشعاعية الفردية للعاملين المعرضين مهنياً للإشعاع من بداية تحضير مقاييس المراقبة الفردية، طباعة الأرقام عليها، توزيعها، استخدامها، معالجتها، حساب الجرع الشخصية للعاملين، طباعة التقارير وإرسالها. بالإضافة إلى كل ما يتعلق بأمور المتابعة وضبط الجودة وحفظ السجلات (ضمن قاعدة بيانات تمثل السجل الوطني للتعرض الإشعاعي للعاملين). ويمكن من خلال هذا البرنامج إجراء العمليات الإحصائية المختلفة حول التعرض الإشعاعي ضمن المجموعات المختلفة من العاملين.

الكلمات المفتاحية: الجرعة الشخصية، الفلم بادج، قاعدة البيانات، الممارسات، سجل الجرع.

مقدمة

ترمي المراقبة الإشعاعية الفردية إلى تحديد مقدار الإشعاع الذي يتعرض له الأشخاص العاملون بتماس مع الأشعة المؤينة، أي تحديد المقدار المسمى (جرعة إشعاعية شخصية) وذلك باستعمال أدوات تتحسس الأشعة وتجمع آثارها التي تدل على مقدارها، ومن أشهر وأقدم الأدوات المتداولة لهذا الغرض هو الفلم الحساس مع الحامل والمسمى اصطلاحاً (الفلم بادج) وكذلك مقاييس التألق الحراري Themoluminescence Dosimetre (TLD).

بدأ العمل بتطبيق برنامج المراقبة الإشعاعية الفردية باستخدام الفلم بادج في الجمهورية العربية السورية رسمياً عام 1985 بمراقبة الجرع التي يتعرض لها الأشخاص العاملون بالإشعاع في مجموعة من المشافي والمؤسسات العامة والخاصة. وقد أصبحت المراقبة الإشعاعية الفردية مفروضةً قانونياً على جميع المؤسسات والأفراد المتعاملين مع المواد المشعة وذلك بقرار رئيس مجلس الوزراء رقم 6514 لعام 1997 وصدور القواعد التنظيمية العامة للوقاية من الإشعاعات المؤينة بالقرار رقم 112 لعام 1999. هذا وتزايد عدد المستفيدين من المراقبة الإشعاعية الفردية بشكل مطرد ليصل العدد عام 2001 إلى أكثر من 2000 من العمال المعرضين مهنياً للإشعاع (العمال المراقبين).

استخدمت التقنيات الحديثة – ولاسيما الحاسوب– في جميع أعمال المراقبة الإشعاعية الفردية أسوةً بجميع مجالات العمل في الهيئة، فقام كادر من الهيئة ومنذ بداية تطبيق برنامج المراقبة الفردية بوضع برنامج حاسوبي لحفظ المعلومات الخاصة بالعاملين المراقبين إشعاعياً (المعلومات الذاتية – الجرع الدورية والسنوية...الخ) ولإجراء العمليات الإحصائية عن التعرض الإشعاعي ضمن الإمكانيات المتاحة في علم البرمجة؛ إلاّ أن التطور السريع للبرمجيات في السنوات الأخيرة وزيادة المتطلبات الفنية والتقنية ومتطلبات الجودة جعل البرنامج المستخدم لا يفي بالغرض مما كان حافزاً لتشكيل فريق عمل من المبرمجين والفيزيائيين والمختصين بالمراقبة الإشعاعية الفردية لوضع برنامج حاسوبي يتلاءم مع بيئة Windows التي كانت أساساً للتطور الهائل في علم البرمجيات في السنوات الأخيرة. وضع فريق العمل مجموعة من المتطلبات التي يجب أن تتوفر في البرنامج المراد وضعه، وهذه المتطلبات تشمل الاقتراحات اللازمة لتطوير البرنامج القديم مع إضافة إمكانية أخرى مثل حساب الجرع الذي يجري حالياً بشكلٍ يدوي وهذه الإمكانية لم تكن متوفرة في البرنامج القديم.

مناقشة

قبل الشروع في إنشاء برنامج جديد للقيام بجميع الأعمال الممكنة حاسوبياً في المراقبة الإشعاعية الفردية كان لابد من وضع هيكلية جديدة لنظام المراقبة بحيث نستطيع الاستفادة من جميع

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

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

الإمكانيات البرمجية المتاحة في الوقت الحالي والأخذ بعين الاعتبار جميع النواحي القانونية حول التعرض المهني للإشعاع ولاسيما المواد 22 و 27 و 29 من القواعد التنظيمية العامة للوقاية من الإشعاعات المؤينة، ومتطلبات الجودة التي أصبحت من أساسيات العمل في جميع مجالات العمل.

وُضعت الخوارزمية اللازمة للبرنامج الحاسوبي وطريقة الربط بين ملفاته وتصميم الشكل العام للتقارير والجداول القابلة للطباعة اعتماداً على الهيكلية الجديدة لنظام المراقبة الإشعاعية الفردية.

بعد الانتهاء من كتابة البرنامج نُقلت جميع البيانات القديمة من البرنامج القديم، وأجريت مجموعة من التجارب للتحقق من نجاح عملية النقل لهذه البيانات وكذلك جرى تجريب جميع الميزات والتحقق من عملها، ولاسيما عملية حساب الجرعة آلياً ومقارنتها مع الحسابات اليدوية حيث كانت النتائج مطابقة ضمن مجال + 1%.

وتمت طباعة جميع التقارير والجداول المطلوبة بنجاح.

المراجع REFERENCES

[1] "المراقبة الفردية للعاملين بتماس مع الأشعة" – د. إبراهيم عثمان – نشرة توضيحية – 1988.

[2] قرار رئيس مجلس الوزراء رقم 6514 لعام 1997.

[3] القواعد التنظيمية العامة للوقاية من الإشعاعات المؤينة، القرار رقم 112. 1999.

[4] Pacheco X. & Teixeira S.: "Delphi 5 Developer's Guide". SAMS Publishing, Division of Macmillan Computer Publishing, 201 West 103rd St., Indianapolis, Indiana, U.S.A. 2000. ISBN 0-672-31781-8.

[5] Reisdorph K: "Sams Teach Yourself Delphi 4 in 21 Days". SAMS Publishing, Division of Macmillan Computer Publishing, 201 West 103rd St., Indianapolis, Indiana, U.S.A. 1998. ISBN 0-672-31286-7

[6] Interbase Software Corporation: "InterBase 5 Server":
API Guide
Data Definition Guide
Language Reference
Operations Guide
Programmer's Guide
1800 Green Hills Road, Scotts Valley, CA 95066, U.S.A. 1998.

[7] Dr.Ehrlich M.:"Safety Series No.8. - Photographic Film Dosimeters", IAEA

[8] Heard M.J.:"Photographic Radiation Dosimetry and the Development of the A.E.R.E./R.P.S. Film Dosimeter". The Journal of Photographic Science, Vol.13, 1965.

تقييم الأداء التحليلي للمخابر المشاركة في البرنامج الوطني لضبط جودة التحاليل المخبرية★

عبد الغني شخاشيرو، فؤاد البيش، حسين الأشقر، محمد تمّام أبورشيد
شذا الخطيب، خلود حداد، أحمد المحمد، محمد الجزار بكداش
مكتب ضمان الجودة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تأسيس أول برنامج وطني لفحص الأداء التحليلي للمخابر الوطنية، بإدارة مكتب ضمان الجودة في هيئة الطاقة الذرّية السورية، للحصول على نتائج تحليلية قابلة للمقارنة وطنياً ودولياً بما يلبي متطلبات الاعتماد المخبري الدولي وللوقوف على مستوى جودة الأداء التحليلي في المخابر الوطنية ودراسة تأثير المشاركة في برامج ضبط الجودة في رفع سويتها، ولتحسين جودة الخدمات التحليلية واستثمارها بالشكل الأمثل.

عُرضت النتائج التحليلية للمخابر الوطنية المشاركة في البرنامج والتي بلغ عددها 28 مخبراً بالشكل الإحصائي المناسب وجرى أيضاً حساب الوسطي لها بعد استثناء القيم الشاذة وفق اختبارات إحصائية معتمدة، وحساب الانحراف المعياري، ومن ثم تحديد علامة التقييم لكل عنصر تحليلي وفق معيار علامة Z "Z-Score".

أظهرت الدراسة أن نتائج تحاليل المياه أظهرت أداءً جيداً وتوافقاً مقبولاً بين المخابر، ما عدا بعض الشوارد السالبة في المياه مثل السلفات، ولوحظ تحسن واضح في تحليل شاردة الكلور في الماء، وارتفع عدد المخابر القادرة على تحليل عنصري الزرنيخ والسيلينيوم من مخبرين في الدورة الأولى إلى خمسة مخابر في الدورة الرابعة.

تبين الدراسة ضرورة المشاركة في برامج فحص الأداء التحليلي وتأثيرها الإيجابي على تحسين جودة التحاليل المخبرية لتحقيق استقرار النتائج الإحصائية وقابليتها للمقارنة على المستويين الوطني والعالمي.

الكلمات المفتاحية: ضبط جودة التحاليل المخبرية، البرنامج الوطني لضبط جودة التحاليل المخبرية، برامج المقارنة المشتركة.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أنجزت في مكتب ضمان الجودة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

مقدمة

يُعد إثبات موثوقية النتائج التحليلية وصحتها من أهم متطلبات نظم الجودة في المخابر التحليلية ويجري ذلك من خلال المشاركة الدورية والمستمرة في برامج فحص الأداء التحليلي، الأمر الذي يلبي البند رقم 5.9b من متطلبات المواصفة الدولية :ISO/IEC 17025 1999 الخاصة بالكفاءة الإدارية والفنية لمخابر المعايرة والتحليل. وبشكل عام فإن المشاركة في مثل هذه البرامج عالية الكلفة وغالباً لا تلبي الاحتياجات المحلية، ولهذا فإن عدم توافر برامج محلية لفحص الأداء التحليلي قد يضع المخابر الوطنية المرشحة للحصول على الاعتماد الدولي المخبري في وضع صعب من حيث تلبية متطلبات الاعتماد الدولي.

هدفت هذه الدراسة إلى تأسيس أول برنامج وطني لفحص الأداء التحليلي للمخابر الوطنية، بإدارة مكتب ضمان الجودة في هيئة الطاقة الذرية، للحصول على نتائج تحليلية قابلة للمقارنة وطنياً ودولياً بما يلبي متطلبات الاعتماد المخبري الدولي وللوقوف على مستوى جودة الأداء التحليلي في المخابر الوطنية ودراسة تأثير المشاركة في برامج ضبط الجودة في رفع سويتها، ولتحسين جودة الخدمات التحليلية واستثمارها بالشكل الأمثل.

يغطي البرنامج القرائن التحليلية الآتية:

$As, Cd, Co, Cr, F^-, Cl^-, Br^-, NO_2^-, NO_3^-, SO_4^{--}, PO_4^{---}$ Na^+, Li^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, NH_4^+, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Se, Ti, V, Zn, الكربون الكلي TC، الكربون الكلي العضوي TOC، الكربون اللاعضوي IC.

- المبيدات الكلورية في المياه:

Aldrin, 4,4'-DDT, Dieldrin, Lindane, 4,4'-DDD, Endrin.

- درجة الحموضة pH، الناقلية الكهربائية عند درجة الحرارة 25°C.

- التعداد العام للجراثيم Total Count بالدرجة 37 مئوية.

المعالجة

عُرضت النتائج التحليلية للمخابر الوطنية التي شاركت في الدورات الأربع للبرنامج بالشكل الإحصائي المناسب وجرى أيضاً حساب الوسطي لها بعد استثناء القيم الشاذة وفق اختبارات إحصائية معتمدة، وحساب الانحراف المعياري، ومن ثم تحديد علامة التقييم لكل عنصر تحليلي وفق معيار علامة "Z-Score" "Z".

بلغ العدد الكلي للمخابر المشاركة في البرنامج 28 مخبراً، منها 23 مخبراً من الجهات الآتية:

وزارة التعليم العالي، وزارة الدفاع (مركز الدراسات والبحوث العلمية، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا)، وزارة الإسكان والمرافق، وزارة الصحة، وزارة التموين والتجارة الداخلية، وزارة الدولة لشؤون البيئة (مركز الدراسات البيئية)، وزارة الري، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، وزارة الصناعة، هيئة الطاقة الذرية و 5 مخابر من شركات القطاع الخاص (صناعات صيدلانية وغذائية وصناعة المنظفات).

أظهرت الدراسة أن نتائج تحاليل المياه أظهرت أداءً جيداً وتوافقاً مقبولاً بين المخابر، ما عدا بعض الشوارد السالبة في المياه مثل السلفات، ولوحظ تحسن واضح في تحليل شاردة الكلور في الماء ، وارتفع عدد المخابر القادرة على تحليل عنصري الزرنيخ والسيلينيوم من مخبرين في الدورة الأولى إلى خمسة مخابر في الدورة الرابعة.

تبين الدراسة ضرورة المشاركة في برامج فحص الأداء التحليلي وتأثيرها الإيجابي على تحسين جودة التحاليل المخبرية لتحقيق استقرار النتائج الإحصائية وقابليتها للمقارنة على المستويين الوطني والعالمي.

من خلال هذه الدراسة يمكننا أن نخلص إلى ما يلي:

① أهمية المشاركة في برامج المقارنة المشتركة واستمراريتها لرفع سوية الأداء التحليلي في المختبرات ومراقبته للحصول على نتائج قابلة للمقارنة عالمياً ولتدعيم ثقة المجتمع العلمي بتحاليل مختبراتنا.

② بينت الدراسة أنه للحصول على نتائج تحليلية موثوقة ليس بالضرورة استخدام تقانات تحليلية معقدة ومؤتمتة فقد بينت نتائج المقارنة أن التقانات البسيطة نسبياً مثل المعايرات الحجمية قادرة على تقديم نتائج تحليلية ذات موثوقية وجودة مناسبة، وذلك فيما لو طبقت بدقة ووفق القواعد والممارسات المخبرية الجيدة من حيث المعايرات واستخدام عينات عيارية مناسبة لضبط الجودة.

③ تبين نتائج مقارنة تحاليل الناقلية الكهربائية والـ pH في المحاليل الشاردية ضرورة تطبيق آليات ضبط الجودة حتى في مثل هذه التقانات والتحاليل البسيطة، حيث ظهرت بعض المفارقات التحليلية في نتائج بعض المخابر.

④ ضرورة الاعتماد على تطبيق آليات ضبط الجودة وبطاقات الضبط الإحصائي للتحاليل والقياسات لإجراء مراجعات دورية للأداء في المختبرات والكشف المبكر عن المفارقات وتدريب العاملين في المخابر لاتباع آليات ضبط الجودة في التحاليل والمحافظة على الضبط الإحصائي للعمليات التحليلية واستقرارها.

⑤ تبين نتائج هذه الدراسة أن تحسناً قد طرأ على أداء المخابر بالنسبة لتحليل شاردة الكلور والمعادن الثقيلة في المياه التي كان معدل أدائها دون الوسط في الدورتين الأولى والثانية.

⑥ بالرغم من كل الجهود المبذولة في المختبرات ، ما زالت بعض العناصر التحليلية مثل النترات والسلفات في المياه بحاجة إلى مزيد من الدراسة والمراجعة، للبحث عن أسباب المفارقات بين المختبرات ووضع الخطط لتنفيذ الأعمال الكفيلة بالوصول إلى حالة الضبط الإحصائي وبالتالي قابلية المقارنة وطنياً وعالمياً.

⑦ تبين نتيجة المشاركة أن نتائج تحليل المعادن في المياه تبدي توافقاً في مستوى الأداء التحليلي وقابلية للمقارنة، ولكن من جهة أخرى تبين أيضاً عدم وجود عدد كاف من المخابر المجهزة والقادرة على تحليل بعض المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والزئبق والسيلينيوم بموثوقية مقبولة، وبالتالي ضرورة توجيه الاهتمام نحو مثل هذه التحاليل.

⑧ من خلال نتائج تحليل المعادن الثقيلة في المياه لاحظنا أن بعض المخابر أعطت نتائج تحليلية مساوية للصفر، بينما كما هو معروف فإنه يجب في هذه الحالة وضع قيمة الحد الأدنى للكشف للطريقة المتّبعة في المخبر، حيث أن عجز الطريقة عن كشف العنصر المحلل، لا يعني بأي شكل من الأشكال عدم وجوده في العينة أو أن تركيزه مساوٍ للصفر. لذلك فإنه لا بد للمخابر من تحديد قيمة الحد الأدنى للكشف وفق دليل Eurachem لإعطاء القيمة الفعلية لهذا الحد في ظروف مخبرهم العملية، وذلك تلبية لمتطلبات المواصفة العالمية /ISO IEC-17025:1999.

⑨ يؤكد الدارسون على ضرورة استمرار المشاركة في البرنامج وزيادة عدد العناصر التي تغطيها هذه الدراسة، مما يعطي الثقة العالية للمحللين ويحثهم على رفع مهاراتهم الفنية وتحديد احتياجاتهم التدريبية، ومراقبة أداء المخبر وقياسه والمحافظة على جاهزية أدوات وأجهزة القياس والتحليل.❐

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

كتب حديثة مختارة

1- استشعار المحيط بالليزر من بُعد: طرائق وتطبيقات

LASER REMOTE SENSING OF THE OCEAN: METHODS AND APPLICATION★

تأليف: أ. بنكين - ك. فولياك
عرض وتحليل: غ. أ. نويمان★★

على الرغم من كون التطبيقات الهدروغرافية تشكل البؤرة التي يركّز عليها كتاب ألكسي بنكين وكونستانتين فولياك الذي عنوانه استشعار المحيط بالليزر من بعد، فإن العنوان يعطي فكرة خاطئة عن اتساع الكتاب وتنوعه: فنصف الكتاب تقريباً مخصص لمواضيع عامة تتعلق بتقنيات لا ملاحية في الاستشعار من بُعد بواسطة الليزر. إن تنوع مجال المواضيع التي يغطيها الكتاب يشمل المسح الجوي (رسم خرائط للتضاريس من الجو (بالطائرات)، وقياس سرعة الرياح بطريقة دوبلر، وقياس مكونات الغلاف الجوي، والحالات الترموديناميكية، وتراكيز الحلالات الهوائية aerosol concentrations، والملوثات الغازية gaseous pollutants.

الكتاب لا يغطي التطورات الأكثر حداثة في منطقة الجليد السريعة الحركة، ولا ليدارات مسح (رسم مخططات) الغطاء النباتي vegetation canopy-mapping lidars، التي أصبحت ممكنة بفضل أصفّة من الكواشف المتقدمة والمرقّمات (التي تحول الصورة أو الصوت إلى أرقام كي تسهل معالجتها بالحاسوب) detector arrays and digitizers. لكنه، على كل حال، يقدم مراجعة لكثير من الأدبيات السابقة، الروسية منها والأمريكية. كما أنه يلعب دور جسر بين العمل الهدروغرافي خلال ثمانينيات القرن العشرين لمعهد الفيزياء العامة (G P I) في أكاديمية العلوم الروسية وتطبيقات الليزر المحمول جواً في الولايات المتحدة لدى مؤسسة طيران Wallops Flight Facility التابعة لوكالة ناسا NASA في فرجينيا. إن لهذا النوع من أبحاث الاستشعار من بعد مضامين عديدة بالنسبة للمراقبة البيئية من بعد من الطائرة.

توجّه الليدارات المحمولة جواً والمدارية على نحو نموذجي أكثر من 10^{18} فوتوناً نحو سطح الأرض في كل ثانية. تتبعثر بعض الفوتونات تبعثراً مرناً بطولها الموجي الأصلي من على الأرض، وفق رايلي*** ووفق ماي Rayleigh and Mie scattering من على الماء والسحاب. يمكن كشف حَفْنة (عدد قليل) منها عند الجهاز المستقبِل. الاهتمام الرئيس بالنسبة لراسمي الخرائط هو زمن وصول الإشارة، التي تكون نافذتها الطيفية مقتصرة عن عمد على التواتر المبثوث. باستخدام ليزرات مضاعفة من نيوديميوم إتْريوم عقيق الألمنيوم الأحمر (Nd :YAG) في مجال الطيف المرئي وعند الطول الموجي 532nm، يمكن أن تصل مقياسية عمق مياه البحار بواسطة الليزر laser bathymetry إلى عشرة أضعاف مجال التوهين الضوئي المميّز، البالغ 50m أو أكثر، قبل أن تضيع الإشارة. إن تغلغلاً من هذا القبيل يجعل من الممكن أيضاً القيام بمسح (رسم خرائط) للصباغات المركبة ضوئياً photosynthetic pigments والجسيمات المعلقة في العمق، من خلال التبعثر والإصدار المحرّض. من أجل المسح في الداخل وعلى الساحل، يؤمن المسح الليداري بواسطة ملاحة السواتل (الأقمار الاصطناعية) دقة تصل إلى الديسيمتر وهو أكثر فعالية من السونار بالنسبة لسعره.

إن التبعثر اللامرن (تبعثر رامان و بريلون) يعطي معلومات إضافية عن التركيب الجزيئي للغلاف الجوي والمحيط المائي. يقدم المؤلفان معالجة نظرية وتجريبية مفصلة عن استجابة الغازات والسوائل للإضاءة بالليزر. إن خصائص التبعثر الطيفية للمحيط يمكن أن تُحوّل إلى أرقام كتوابع للزمن. تعتمد المركبات الطيفية للضوء المتبعثر وفق رامان على درجة حرارة عمود الماء وملوحته. إن فلورة الطحالب (الأشنيات) الصباغية pigmented algae والمواد اللاعضوية تتنافس مع تبعثر رامان في طيف الضوء الراجع والمتغير تغيراً مؤقتاً. تسمح الفلورة بقياس وتحديد كمية حمل الرسابة sediment load، ومعظم نباتات المنطقة أيضاً، من خلال فلورة النباتات المغمورة بالمياه phytoplankton. يمكن التعرف على منسكبات زيت النفط المضاءة بفوق البنفسجي UV: فالفلورة من النفط الخفيف تدوم مدة أطول من فلورة النفط العربي الثقيل.

الكتاب مرجع مفيد بصورة أساسية للمختصين في دراسات الوسط الحيوي للمحيطات من بُعد. مواضيع الكتاب ليست دائماً مفهرسة بدقة، والرسوم التوضيحية بلون واحد، والتجهيزات الموصوفة كانت قديمة في بعض الأحيان. لكن الكتاب يقدم مراجعة ممتازة نظرية وتطبيقية للاستشعار من بعد بالليدار الطيفي لتقييم البيئات البحرية.❑

★ A. Bunkin & K. Voliak: Wiley, New York, 2001.

★★ غ. نويمان: مركز طيران الفضاء غودارد التابع لوكالة ناسا - ماريلاند.

★★★ تبعثر رايلي هو تبعثر الضوء على جزيئات الوسط من دون تغيير في الطول الموجي.

- العرض والتحليل عن مجلة ***Physics Today***, January 2003. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

2- أثر كازيمير: دلالات فيزيائية على طاقة نقطة الصفر

THE CASIMIR EFFECT: PHYSICAL MANIFESTATIONS OF ZERO-POINT ENERGY★

تأليف: ك. أ. ميلتون

عرض وتحليل: ب. و. ميلوني★★

في عام 1946 قام هندريك كازيمير H. Casimir وديك بولدر D. Polder بحساب تأثر فانديرفالس van der Waals interaction، بين ذرتين وبين ذرة وصفيحة ناقلة تفصل بينهما مسافات كبيرة. أدت بساطة وسذاجة النتائج التي حصل عليها كازيمير إلى إثارة فضوله واهتمامه، فذكرها أثناء نزهة كان يقوم بها مع نيلز بور N. Bohr. وكما جاء في رسالة بعثها إلي كازيمير في 12 آذار من عام 1992 "كان [بور] يتمتم ببعض الكلمات حول طاقة نقطة الصفر. كان ذلك كل ما في الأمر، ولكنها وضعتني على مسار جديد. فقد وجدت أن حساب تغيرات طاقة نقطة الصفر تقود بالفعل إلى النتائج ذاتها كما في حسابات بولدر وفي حساباتي أيضاً". وبعد مزيد من التفكير حول طاقة حقل نقطة الصفر استطاع كازيمير في عام 1948 أن يتنبأ بالأثر الأكثر شهرة ألا وهو أثر كازيمير. وهو قوة الجذب الصغيرة جداً الكائنة بين صفيحتين ناقلتين متوازيتين، يمكن تفسيرها بدلالة التغير، العائد للصفيحتين، في طاقة نقطة الصفر الكهرمغنطيسية. ولقد لوحظ انزياح لامب Lamb shift في وقت مماثل تقريباً، وفُسِّر على أنه التغير في طاقة نقطة الصفر العائد لوجود الذرة. ربما تكون ملاحظة بور قد عكست معرفة بهذا العمل، ولكن كازيمير نفسه لم يكن على علم به. وكما أخبرني كازيمير في رسالته في عام 1992 قائلاً "لم أكن أبداً على اطلاع [بذلك العمل]. إن لي عملي الخاص، إنها طريق غير ملائمة إلى حد ما .... لا أظن أنه كان هناك تأثيرات خارجية ..."

بعد سنوات من الهدوء النسبي، إذ بدراسة قوى كازيمير تصبح حقلاً نشطاً. ورغم أن التنشيط من جديد مدين كثيراً إلى التجارب الحديثة التي تؤكد بصورة لا يتطرق إليها الشك تنبؤات كازيمير، كما أنها تدل على اعتراف متنام للأهمية الأساسية لأثر كازيمير، المعرّف بأنه "الإجهاد على سطوح الربط عندما يكون حقل كمومي مقتصراً على حجم محدود من الفراغ"، في كتاب أثر كازيمير: دلالات فيزيائية على طاقة نقطة الصفر، الذي ألفه كيمبول ميلتون.

ليس بالأمر السهل الخوض في تفاصيل آثار كازيمير من أجل حقول كمومية مختلفة وهندسات مختلفة. إن كتاب كازيمير الهزيل على نحو جذاب سيكون دليل المبتدئ الجاد في وسط المخاطر، كما أن تحليله الدقيق سوف يجذب أيضاً النظريين المحنّكين. وهو أيضاً شيِّق وممتع في طريقته الموحَّدة، المبنية بصورة رئيسة على طرائق تابع غرين التي أوجدها ميلتون وآخرون بالتعاون مع جوليان شوينغر Julian Schwinger. طبقت هذه التقنيات في عدد من الفصول الأولى لمعالجة أمثلة متنوعة من بينها القوة الكهرمغنطيسية الكائنة بين الصفائح المتوازية الناقلة والكهرنافذية (العازلة) dielectric، وقوة كازيمير الفرميونية من أجل السطوح المتوازية، وقوى كازيمير الكهرمغنطيسية والفرميونية للسطوح الحدية الكروية، وأثر كازيمير الكهرمغنطيسي للكرات الكهرنافذية (العازلة). لقد حللت بالتفصيل تصحيحات درجات الحرارة المحدودة والناقلية حيث كان ذلك ملائماً. ويتناول ثلثا الكتاب الباقيان، من بين أشياء أخرى، مواضيع الهندسات الأسطوانية، والكرات ذات البعد D، وتطبيقات على فيزياء الهدرونات ونموذج الكيس bag model، والإلكتروديناميك (التحريك الحراري) تشرن-سيمون Chern-Simons، وعلم الكونيات cosmology (بما في ذلك، وباختصار، مسألة الثابتة الكونية).

لا يحتاج المرء إلى أن يكون خبيراً في كل هذه المجالات كي يتتبع الحسابات. وعلى كل حال فإن كثيراً من القراء قد يرحبون بمزيد من المناقشات للأشياء مثل الشرط الحدي لنموذج الكيس، الذي يُقدم بصورة شكلية بدون الإشارة إلى أساسه الفيزيائي البسيط. إن التأكيد الأولي خلال الكتاب لم يكن على البواعث الفيزيائية بل على كيفية حساب آثار كازيمير وكيف نتعامل مع الانحرافات والاختلافات.

وعلى كل حال، فإن ميلتون يستشهد بحجج ومناقشات فيزيائية في فصل عن "التألق الصوتي sonoluminescence وأثر كازيمير التحريكي Dynamical Casimir Effect (DCE)". وهنا يلقي شكا خطيراً على قيمة سلسلة من الأوراق العلمية التي نشرها شوينغر والتي اقترحت أثر كازيمير كأصل للتألق الصوتي. ورغم أن ميلتون لم يستبعد كلياً احتمال أن يكون أثر كازيمير التحريكي ساري المفعول في التألق الصوتي، لكنه يسوق حججاً ومناقشات جبرية مفادها أن أثر كازيمير ببساطة لا يستطيع أن يولد أي شيء يشبه الطاقات الملاحظة.

★ K. A. Milton: World Scientific, River Edge, N.J. 2001.

★★ ب. و. ميلوني: مختبر لوس ألاموس الوطني – نيو مكسيكو.

– العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, January 2003. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

لديَّ شكويان ثانويتان فقط، الأولى، لديَّ شعور بأن لهجة ميلتون تكون في بعض الأحيان قاسية وجافة جداً في خلافه مع العاملين الآخرين، بالرغم من أن قرّاء آخرين قد يشعرون أن هذا يضفي حيوية على القراءة.

أما شكواي الثانية فتتعلق بالتاريخ. فكثير من الأدبيات القديمة عن أثر كازيمير في المواد الكهرنافذة (العازلة) تصف الظاهرة كإظهار جهري (عياني أو ماكروسكوبي) لقوى فاندرفالس. إن الذي يعقد النظرية هو الصفة اللاجمعية لقوى فاندرفالس: القوة بين أجسام جهرية ليست ببساطة هي مجموع قوى فاندرفالس المزدوجة. (يمكن أن تكون القوة دفعية أو جذبية، وليس الحدس دليلاً أو موجهاً لما ينبغي أن تكون عليه في هندسات مختلفة. والشيء نفسه صحيح بالنسبة للنواقل؛ فقد ظن كازيمير أن قشرة (طبقة) كروية ناقلة سيكون لها قوة جذبية، في حين وجد تيموثي بوير T. Boyer في عام 1968 أن القوة هي في الحقيقة دفعية). لكن الآثار اللاجمعية في نهاية الأوساط المشعْشعة (المخفَّفة) dilute media صغيرة ويكون تقريب الازدواجية صحيحاً ودقيقاً. كنت أحسب أن ذلك كان معلوماً تماماً - وإن يكن عرضة لقضايا اختلاف وانحراف - لكن المؤلف ينسب العمل الجديد للإظهار والتوضيح بأنه "من أجل أوساط رقيقة (غير كثيفة) يكون أثر كازيمير ومجموع قوى فاندرفالس الجزيئية متطابقين".

استنتج ميلتون أن ما تعلمناه عن آثار كازيمير "قليل بصورة ملحوظة في غضون أكثر من خمسين عاماً بعد مشاهدة كازيمير المثيرة للإعجاب". وكتابه يبرهن، على كل حال، أن هذا لم يكن لنقص في عمل نظري بالدرجة الأولى.❑

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

ABSTRACT

Assessment of individual radiation doses of occupationally exposed workers is one of the main requirements of the general regulation for the protection from ionzing radiation. The aim of dose assessment is to provide the means and tools to reduce radiation doses as low as reasonably achievable.

This work introduces the system of Personal Monitoring Service using film badge, the software and the database written for this purpose. This software manages all the aspects of the Personal Monitoring System; dosimeters preparations, identification, distribution, processing, dose calculation, printing and sending monitoring results, in addition to all aspects of quality control and dose record keeping (in national dose record database).

This program can also perform all different statistical processes on occupational exposure within different groups of workers.

Key Words

personal dose; film badge; data base; practices; dose record.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

EVALUATION OF THE ANALYTICAL PERFORMANCE OF PARTICIPANT LABORATORIES IN THE NATIONAL PROGRAM FOR QUALITY CONTROL IN THE ANALYTICAL LABORATORIES

A. SHAKHASHIRO, F. AL BICH, H. AL ASHKAR, T. ABOU RSHAID, S. AL KHATEEB, K. HADDAD, A. MUHAMMAD, M. A. BAKDASH

Quality Assurance Office, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The study aimed to establish and maintain the first Syrian National Proficiency Test (SNPT) for quality control in analytical laboratories, i.e. a national analytical intercomparison network, to help laboratories candidate for accreditation to fulfill ISO/IEC 17025: 1999 standard requirements.

This study also evaluated the analytical performance of 28 national participating laboratories in the SNPT during the year 2002.

The results were presented in appropriate statistical means, the consensus values and standard deviation where calculated after exclusion of outliers values. While each laboratory was awarded an evaluation mark (Z-Score) for every reported analytical result.

The study showed an acceptable comparability and analytical performance for water analysis, except for some anions in water such as sulphate. In addition, a substantial improvement has been noticed on the analytical performance of chloride in water.

Moreover, the number of participating laboratories who were able to report valid and reliable analytical data for the analysis of As, Se, and Hg, was increased.

Key Words

Syrian National Proficiency Test, Quality Assurance in analytical laboratories, intercomparison programs.

★ A short report on a scientific study in the Quality Assurance Office, Atomic Energy Commission of Syria.

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

TWO-SIDED WET CHEMICAL ETCHING SIMULATION OF SILICON

M. CHAHOUD, S. AGHABI

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Anisotropic wet chemical etching of silicon plays an important role in the realization of three dimensional microelectromechanical system structures (MEMS) like membranes and cantilevers.

Many factors such crystal orientation, etchant composition, temperature, and doping influence the etching rates. Therefore the prediction of the etching result can be sometimes very difficult. In this work a new approach to simulate negative sloped planes, which often appear underneath convex mask corners in wet chemical etching of semiconductors, is represented. Additionally the two-sided wet chemical etching of silicon wafers is simulated. .

In order to investigate the quality of the simulation method we presented simulated and experimental results of the etching system Si in KOH. Good agreement between both results can be observed.

Key Words

wet chemical etching, simulation, silicon, negative sloped planes.

★ A short report on a scientific research achieved in the Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.

THE MONITORING OF OCCUPATIONAL EXPOSED PERSONS TO TRITIUM

M.H. KHARITA, M. MAGHRABI, A .NASHAWATI

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

This study gives a general view about Tritium (properties, existence, uses, methods of monitoring, and its occupational risk) and it focuses basically on the radiation dose due to dealing with this element and the methods of its calculation.

The method of tritium measurement in urine samples was validated in order to calculate the radiation dose. This method is based on adding liquid scintillator to the sample then measuring the released photons by Liquid scintillation counter as the number of released photons proportional to the number of emitted beta particles..

Method properties (repeatability, reproducibility, detection limit, recovery coefficient) were investigated using reference and natural samples. The lower limit of detection was found to be 0.15 Bq. mL^{-1}.

The results of this method using international comparison samples and real samples (from tritium occupationally exposed persons) showed that the method is suitable for determination of high concentration of tritium (more than 150Bq. L^{-1}).

Key Words

tritium, radiation dose, liquid scintillation counter.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

AUTOMATION OF PERSONAL RADIATION DOSE

M. H. KHARITA, E. EL BAHRA, A. BAZZAL, G. SHELLY

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091 Damascus, Syria

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

ABSTRACT

We have studied the CO_2 laser resonator (consists of a plane and a concave mirrors) in two cases. The first case delt with a resonator containing one circular aperture, and the second case two apertures, whose diameters were equal.

The finite difference method has been used in order to solve Fresnel's integral equation, which describes the electric field deflection at the edges of both resonator's mirrors. We have obtained the fundamental mode TEM_{00}, which was generated inside the resonator, and we have studied its losses as a function of the position and radius of the apertures.

It was found, in the first case that:

TEM_{00} mode loss as afunction of the apeerture position is minimum at the vinicity of either mirrors. In addition, the loss is bigger if the aperture is located closer to the concave mirror than to the plane mirror.

The loss is inversely proportional to the aperture radius.

The perture existence inside the cavity causes the TEM_{00} mode shape to suffer deformations due to the electric field disturbance at the edge of the aperture.

In the case of two apertures within the laser resonator, it was found that:

if one of the apertures coincides with either mirrors, the problem is then reduced to a laser resonator with one aperture only.

The loss is inversely proportional to the apertures radii.

The apertures existence inside the cavity causes the TEM_{00} mode shape to suffer deformations due to the electric field disturbance at the edge of the aperture.

Key Words

symmetric resonator, asymmetric resonator, equivalent resonator, effective medium, fundamental mode, translation matrix.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

EC KIT PRODUCTION AND QUALITY CONTROL

T. YASSINE, M. DADOKH, R. ALMALKI, N. ALRAYYES

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

This study describes a method developed at Radioisotopes Division laboratories, for preparation of L,L,Ethylenedicysteine kit for technetium-99m labeling. This kit is used in renography for renal tubular function studies.

EC kit is prepared in two vials one contains kit ingredients and reducing agents while the other contains buffer solution to keep pH value of labeled kit about 8.5.

This study also describes quality control procedures, and a summary of their results like physical properties and biological purity (sterility and pyrogenity), in addition to radiochemical purity, biodistribution, stability and the maximum activity can be used in kit labeling. This kit showed unique properties superior to that of similar kits like MAG3 and iodohupporane where it is cleared quickly with low retention in kidneys.

Key Words

Radiopharmaceuticals, Technitium -99m, Ethylenedicysteine, Kidney imaging.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ABSTRACT

A stockpile probe based on backscattered gamma-gamma-ray technique was tested for the dtermination of coal ash. A centralized tool employing a gamma-ray source of very low radioactivity (1.85 MBq) was used. This logging tool was tested using ^{137}Cs and ^{133}Ba sources with a 37mm (diameter) by 75mm NaI (TI) scintillation detector. Ten source detector configurations were analyzed using ^{137}Cs, and another nine source detector configurations are analyzed, using ^{133}Ba source, both for 4 geophysical models, having a borehole diameter of 90 mm. Regression analysis on the laboratory logging data for each studied configuration was carried out in order to establish calibration equations for ash prediction. The optimum configuration for the logging stockpile probe using ^{137}Cs source was determined to be 80 mm source to detector spacing, and 80mm iron thickness shielding. This configuration gives the best results for ash prediction. The root mean square (rms) deviation for ash is 1.52%. The optimum configuration for the logging stochpile probe using ^{133}Ba source is determined to be 85 mm source to detector spacing, and 50mm iron thickness shielding. this configuration gives the best results for ash prediction, where the rms deviation for ash is 1.47%.

Key Words

well logging, gamma-gamma techinque, spectroscopic meaurements, ash, coal.

* This paper appeared in *Applied Radiation and Isotopes*, 2003.

REPORTS

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION TO DETERMINE THE TRANSFER FUNCTION OF MNSR

A. HAINOUN, I. KHAMIS, G. SABA, W. SULEIMAN

Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The transfer function of Syrian MNSR reactor has been analyzed for the open and closed loop. The neutron dynamics has been studied using the point kinetic method by considering one group of delayed neutrons including the effect of photo neutrons. Measurements of time change of relative neutron flux were carried out using the method of step changes of reactivity starting from steady state at various power levels. From the analysis of open loop the prompt neutron generation time Λ and the total effective fraction of delayed neutrons β were determined. With the analysis of closed loop transfer function the stability characteristic of the MNSR reactor has been analyzed.

Key Words

prompt neutron generation time, effective fraction of delayed neutrons, neutronics transfer function, open loop, noise analysis, power transfer function, closed loop, temperature feedback effect of reactivity, MNSR, photo neutrons, step change of reactivity, stability characteristic, Nyquist diagram, inherently safe, gain margin.

* A short report on a scientific research achieved in the Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission of Syria

EFFECT OF MANY APERTURES IN LASER RESONATORS ON MODES AND ITS LOSSES

M. K. SABRA, B. ABBAS

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

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

NORM WASTE MANAGEMENT IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: THE SYRIAN EXPERIENCE

M. S. AI-MASRI, H. SUMAN

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

This paper describes the Syrian experience with respect to naturally occurring radioactive materials (NORM) waste produced by the Syrian oil industry. Three main categories of NORM waste were identified. First, hard scales from decontamination of contaminated equipment and tubings which are considered to contain the highest levels of radium isotopes (^{226}Ra. ^{228}Ra. ^{224}Ra); this type of waste being currently stored in standard barrels in a controlled area. Second, sludge wastes containing low levels of radium isotopes were found in large amounts in each Syrian oilfield; plastic lined disposal pits were constructed in each area for temporary storage. However, disposal criteria for the above two categories of NORM waste are still under discussions. Third, soil contaminated with NORM as a result of uncontrolled disposal of production water was also considered as NORM waste. The Syrian criteria for disposal and clean up of this type of waste has been defined and approved by the Regulatory Office.

Key Words

naturally occurring radioactive materials (NORM), radioactive waste, oil industry, Syria.

* This paper appeared in *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 256, No. 1 (2003) 159-162.

A SIMPLE TECHNIQUE FOR DETERMINING THE REACTION OF BARLEY GENOTYPES TO *PYRENOPHORA GRAMINEA*

M.I. E. ARABI & M. JAWHAR

Department of biotechnology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

An *in vitro* technique was used to determine the reaction of 10 barley genotypes to *pyrenophora graminea*, the seed-borne pathogen causing barley leaf stripe disease. Determination was based on the percentage of inoculated seeds that produced fungal hyphae when cultured on potato dextrose agar. The technique allows low, intermediate and absolute levels of resistance to leaf stripe to be determined. Genotypes CI-5791 and Banteng were resistant, Thibaut, Igri and PK (30-531) were moderately resistant, Gollf was moderately susceptible, and WI2291, Arabi Abiad, Furat 1 and Arrivate were susceptible. The *in vitro* and in field assessments were significant (correlation coefficient r = 0.96), results indicating that repeated measurements for infected seeds by this *in vitro* method were very similar to those of field assessments.

Key Words

Pyrenophora graminea, barley, barley leaf stripe, *in vitro* determination test.

* This paper appeared in *J. Phytopathology* 151 (2003) 1-3.

OPTIMIZATION OF LOW ACTIVITY SPECTROMETRIC GAMMA-GAMMA PROBES FOR ASH DETERMINATION IN COAL STOCKPILES

J. ASFAHANI

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

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

ABSTRACT

The influence of intentional introduction of oxygen, at the surface of GaAs, on its native surface was studied. Oxygen was made to interact with the surface of GaAs by three different means: (1) by growing native oxides, (2) exposing to oxygen plasma in an electron cyclotron resonance (ECR) plasma reactor and by (3) high energy oxygen ion irradiation. Thermally stimulated exo-electron emission (TSEE) spectroscopy was used to estimate the relative densities and energies of the surface states induced by the three different modes of introducing oxygen. Out of the two native defect levels found in GaAs by TSEE; at 325 K (0.7 eV Below E_c) and at 415 K (0.9 below E_c); the former is seen to get broadened or split into multiple peaks in each of the methods. Multiple peaks in TSEE signify the presence of a closely spaced band of defect levels. Therefore the results exclusively point out that oxygen- related complexes contribute to the formation of a band of defects centered at 325 K in TSEE which is correlated to an energy level 0.7 eV below E_c known as the EL2 defect level. The results reported in this paper thus confirm that TSEE peak at 0.7 eV below E_c is related to oxygen induced defects whereas the peak at 0.9 eV is not affected by the presence of oxygen-related species.

Key Words

oxygen-related defect level, GaAs, thermally stimulated exo-electron emission.

* This paper appeared in *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 183 (2001) 432-438.

ION EXCHANGE SEPARATION OF LEAD FROM STRONTIUM IN CERTIFIED REFERENCE SAMPLES AND SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF LEAD AS EXTRACTABLE ION-PAIR OF EOSIN^{2-} AND THE LEAD-CRYPTAND (2.2.2)$^{2+}$ COMPLEX*

R. AL-MEREY & O. AL-SHAYAH

Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A two-step procedure including anion exchange separation of lead from strontium in geological reference samples and a spectrophotometric determination of the separated lead as lead-cryptate (2.2.2) complex is presented. The exchangeable anion Cl^- of the ion exchange resin (Dowex 1×4) is changed to Br^- in 6M HBr solution. Lead is quantitatively retained in the column from 0.5M HBr medium, while Sr^{2+}, Ba^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Fe^{3+}, Cr^{3+}, and Al^{3+} are passed through. Subsequently the retained Pb is eluted from the column with 6M HBr. The separation efficiency of the resin is controlled using mixed standard solution of (Pb, Sr, Ca, Mg, Ba, Na, K, Fe, Cr and Al), and radioactive tracer of ^{85}Sr and ^{131}Ba. The resin selectivity coefficient (K) of separating Pb from Sr is found to be $K_{Sr}^{Pb} \approx 10^9$. The Spectrophotometric method of lead determination is based on the formation of lead-crytate (2.2.2) complex at pH 8.3 using borate/HCl as a buffer solution. Then the ion-pair of eosin^{2+} and lead-cryptand (2.2.2) complex is extracted with chloroform, finally the absorbance of the extractable legend is measured at 550 nm. The extraction recovery, accuracy, precision, linearity and detection limit of the spectrophotometric method are 99.58%, 1.7%, 0.080μg mL^{-1}, 0-9μg mL^{-1}, and 0.060μg mL^{-1}, respectively.

Key Words

lead; ion exchange resin; cryptand (2.2.2); Spectrophotometry; anoding striping voltametry; atomic absorption spectrometry, γ-spectrometry.

* This paper appeared in *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, Vol. 21, No. 1 (2003) 13-24.

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

APPLICATIONS FOR NUCLEAR PHENOMENA GENERATED BY ULTRA-INTENSE LASERS★

K. W. D. Ledingham,[1,3] P. Mckenna,[1] R. P. Singhal,[2]
[1] Dipartment of Physics, University of Strathclyde, Glasgow, G4 ONG, UK.
[2] Dipartment of Physics and Astronomy, University of Glasgow, Glasgow, G12 8QQ, UK.
[3] Atomic Weapons Establishment, Aldermaston, Reading, Berkshire RG7 4PR, UK.

ABSTRACT

The amplification of laser light to generate powers large enough to affect the nucleus has been the desire of scientists since the invention of the laser 40 yeas ago. Many lasers, including tabletop varieties, now have pulse powers greater then the electrical power generated by all the world's power plants combined. When this power is focused to dimensions of a few microns, lasers-driven nuclear phenomena can occur. Here we review the developments in this research field and describe the potential of laser-produced proton, neutron, and heavy ion beams, together with isotope and isomer production.

Key Words

high intensity pulse, intense lasers, neuclear reactions, bremsstrahlung radiation, protons, neutrons, heavy ions, laser-plasma interaction, laser-induced fission, isomeric transition, photonuclear activation, nuclear isomers.

★ This article appeared in *Science*, May 2003. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

X-RAYS PINPOINT TUMOUR TARGETS★

ABSTRACT

Intensit-modulated radiation therapy can deliver precise doses of X-rays to tumours while leaving surrouding, healthy tissue relatively unscathed. M. Durrani looks at recent advances in this radiotherapy technique.

Key Words

radiation therapy, tumour, computed tomography, prostate cancer, breast tumour.

★ This article appeared in *Phsics World*, August 2003. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

DETECTION OF OXYGEN-RELATED DEFECTS IN GaAs BY EXO-ELECTRON EMISSION SPECTROSCOPY★

SHIVA S. HULLUVARAD
Department of Physics, University of Pretoria, Pretoria 0002, South Africa
M. NADDAF, S.V. BHORASKAR
Department of Physics, Center For Advance Studies in Material Science and Solid State Physics, University of Pune, Pune 411 007, India.

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

ARE THE LAWS OF NATURE CHANGING WITH TIME?★

J.WEBB
School of Physics, University of New South Wales
Sydney, NSW 2052, Australia

ABSTRACT

Precise measurements on the light from distant quasars suggest that the value of the fine-structur constant may have changed over the history of the universe. If confirmed, the resulte will be of enormous significance for the foundations of physics.

Key Words

laws of nature, quasar, fine structure constant, doublet, many-multiplet.

★ This article appeared in *Phsics World*, April 2003. It has been translated into Arabic by A. M. Shazlie, Department of Physics, Aleppo University.

TAKING FREE-ELECTRON LASERS INTO THE X-RAY REGIME★

E. PLÖNJES, J. FELDHAUS, T. MÖLLER
Hamburger Synchrotronstrahlungslabor (HASYLAB), Hamburg, Germany

ABSTRACT

Free-electron lasers are set to provide researchers with intense femtosecond beams of coherent radiation at vacuum-ultraviolet and X-ray wavelengths.

Key Words

clustures, coherent, free electron lasers, vacuum- ultraviolet.

★ This article appeared in *Phsics World*, JULY 2003. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

WHO WILL CATCH THE HIGGS?★

P. COLAS, B. TUCHMING
CEA-Saclay, France

ABSTRACT

Nobody have seen Higgs boson, but the physicists have no doubts about its existence. The discovery of "Higgs boson" which gives its mass to other elementary particles makes subject of stubborn competition with the help of giant particle accelerators.

Key Words

particle physics, large Hadron collider, Higgs boson, CERN, standard model, boson, graviton, quark, tevatron.

★ This article appeared in *La Recherche*, May 2003. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION TO DETERMINE THE TRANSFER FUNCTION OF MNSR ..... A. HAINOUN, I. KHAMIS, G. SABA, W. SULEIMAN 80

EFFECT OF MANY APERTURES IN LASER RESONATORS ON MODES AND ITS LOSSES ..... M. K. SABRA, B. ABBAS 82

EC KIT PRODUCTION AND QUALITY CONTROL ..... T. YASSINE, M. DADOKH, R. ALMALKI, N. ALRAYYES 84

TWO-SIDED WET CHEMICAL ETCHING SIMULATION OF SILICON ..... M. CHAHOUD, S. AGHABI 86

THE MONITORING OF OCCUPATIONAL EXPOSED PERSONS TO TRITIUM ..... M.H. KHARITA, ET AL 87

AUTOMATION OF PERSONAL RADIATION DOSE ..... M. H. KHARITA, ET AL 89

EVALUATION OF THE ANALYTICAL PERFORMANCE OF PARTICIPANT LABORATORIES IN THE NATIONAL PROGRAM FOR QUALITY CONTROL IN THE ANALYTICAL LABORATORIES ..... A. SHAKHASHIRO, ET AL 90

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

LASER REMOTE SENSING OF THE OCEAN: METHODS AND APPLICATIONS ..... BY: A. BUNKIN & K. VOLIAK OVERVIEW & ANALYSIS: G. A. NEUMANN 94

THE CASIMIR EFFECT: PHYSICAL MANIFESTATIONS OF ZERO-POINT ENERGY ..... BY: K. A. MILTON OVERVIEW & ANALYSIS: P. W. MILONNI 95

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 104

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

CONTENTS

ARTICLES

ARE THE LAWS OF NATURE CHANGING WITH TIME? ..... J. WEBB 7

TAKING FREE-ELECTRON LASERS INTO THE X-RAY REGIME ..... E. PLÖNJES, ET AL 14

WHO WILL CATCH THE HIGGS? ..... P. COLAS, B. TUCHMING 20

APPLICATIONS FOR NUCLEAR PHENOMENA GENERATED BY ULTRA-INTENSE LASERS ..... K. W. D. LEDINGHAM, ET AL 27

X-RAYS PINPOINT TUMOUR TARGETS ..... M. DURRANI 34

NEWS

PENTAQUARKS ARRIVE EN MASSE ..... *PHYSICS WORLD* 39

MAGNETIC ANGLE FOR GAMMA RAYS ..... *PHYSICS WORLD* 40

CALCULATING THE INCALCULABLE ..... *SCIENCE* 42

TIPS FOR MOVING SINGLE MOLECULES ..... *NATURE* 45

NUCLEAR ALCHEMY ..... *PHYSICS WORLD* 46

RADIATION'S DEADLY SECRET ..... *NEWSCIENTIST* 49

PROSPECTING FOR OIL WITH AN OPTICAL NOSE ..... *PHYSICS WORLD* 50

MAGNETIC NANOPARTICLES TO PINPOINT VIRUSES IN BODY SCANS ..... *NEWSCIENTIST* 52

IODINE ..... *ANL* 53

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

DETECTION OF OXYGEN-RELATED DEFECTS IN GAAS BY EXO-ELECTRON EMISSION SPECTROSCOPY ..... SHIVA S. HULLUVARAD, M. NADDAF, S. V. BHORASKAR 57

ION EXCHANGE SEPARATION OF LEAD FROM STRONTIUM IN CERTIFIED REFERENCE SAMPLES AND SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF LEAD AS EXTRACTABLE ION-PAIR OF $EOSIN^{2-}$ AND THE LEAD-CRYPTAND $(2.2.2)^{2+}$ COMPLEX ..... R. AL-MEREY, O. AL-SHAYAH 62

NORM WASTE MANAGEMENT IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: THE SYRIAN EXPERIENCE ..... M. S. AI-MASRI, H. SUMAN 67

A SIMPLE TECHNIQUE FOR DETERMINING THE REACTION OF BARLEY GENOTYPES TO PYRENOPHORA GRAMINEA ..... M.I. E. ARABI, M. JAWHAR 71

OPTIMIZATION OF LOW ACTIVITY SPECTROMETRIC GAMMA-GAMMA PROBES FOR ASH DETERMINATION IN COAL STOCKPILES ..... J. ASFAHANI 74

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:

Damascus, P.O.Box 6091 Phone 6111926/7,Fax 6112289, Cable; TAKA.

E-mail :aalam_al_zarra@aec.org.sy

Subscription rates, including first class postage charges : a) Individuals $ 30 for one year

b) Establishments $ 60 for one year

c) for one issue $6

It is preferable to transfer the requested amount to:

The commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012/2

Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam

Editor In-Chief

Dr. Mohammed Ka'aka

Dr. Fouad Al-Ijel

Dr. Ahmad Haj Said

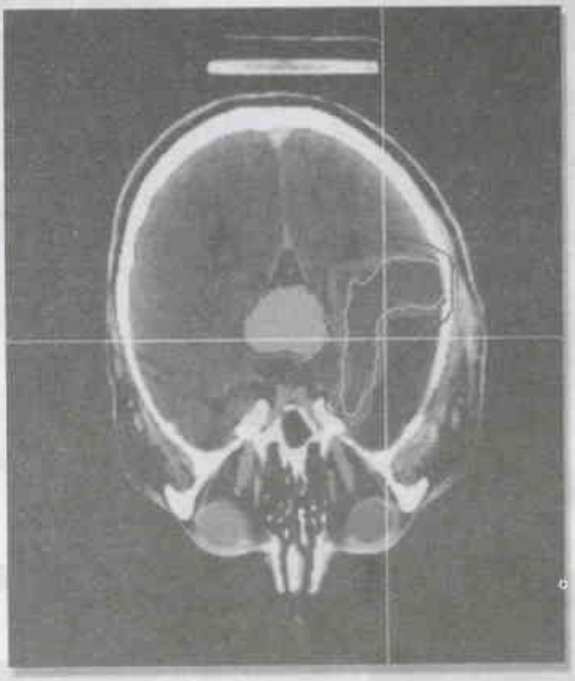
Dr. M. Fouad Al-Rabbat

Dr. Elias Abouchahine

Mr. Antoune Marine

Dr. Ziad Qutob

Dr. Bassam Massarani



91

19 th Year /MAY-JUNE/

2004

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of Atomic energy.

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