عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

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

العدد التاسع والسبعون | السنة السابعة عشرة | أيار–حزيران 2002

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسّام (رئيس هيئة التحرير)

الدكتور محمد قعقع — **الدكتور فؤاد العجل**

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

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

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم الاشتراك

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

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

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

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

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

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

مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة – دمشق – 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 ريال و6 دولارات في البلدان الأخرى.

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

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقالات

☐ بيانات نووية من أجل استخدامات طبية: مسح عام ..... س. م. كايم 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ تصوير وظيفي في الحي بتقنيتي التصوير المقطعي الطبقي SPECT و PET ..... هـ. هيرتسوغ 16
ترجمة هيئة التحرير

☐ بيانات نووية ذات صلة بإنتاج واستخدام نكليدات مشعة تشخيصية ..... س. م. كايم 31
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

☐ ليزر نانوي فوق بنفسجي 44
☐ أين اختفت المادة المضادة كلها؟ 44
☐ مغنطيس مصنوع من الكربون 46
☐ تعطّل كاشف النترينو الياباني بفعل موجة صدم 47
☐ ما الذي حدث بـ B و C و S ؟ 48
☐ الجسيمات المنساقة إلى الانعراج 50
☐ الأتوفيزياء التجريبية تبلغ سن الرشد 52
☐ رؤية جديدة للعبور النفقي المغنطيسي 53
☐ بلّورات فيغنر التقليدية تستمر في الحركة 55
☐ أنصاف النواقل تصبح باردة 57

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

☐ محطة مناخية محمولة مع نظام مراقبة الإشعاع النووي باستخدام المعالج التحكمي المكروي "BASIC-8052" ..... د. علي المحمد وآخرون 60
☐ النمذجة الرياضيّة للّيزر CO_2 النبضي الهجين ..... د. بشار عبد الغني – مصطفى حمادي 68
☐ دراسة مصدر عينات سيراميك أثرية من موقع مار تقلا (عين منين/سورية) بطريقة الفَلْورة بأشعة X باستخدام نظير مشع ..... د. إلياس حنا بكرجي وآخرون 74
☐ تشكيل مركب خشب – بلاستيك من أنواع أشجار سورية بالتحريض بأشعة غاما ..... د. الياس حنا بكرجي وآخرون 77
☐ تطور أبعاد وحجم الخصى، وعلاقتها بالعمر، ووزن الجسم وحجم الآباء في حملان ذكور العواس النامية ..... د. سليمان سلهب وآخرون 81

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الري على نمو وتشكل العقد الجذرية وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات السيسبان Sesbania aculeata Pers، وعلى نمو نبات عباد الشمس Helianthus annuus L باستخدام تقانة ^{15}N . . . . . د. فواز كردعلي، فريد العين. 86
- توزع النظير ^{137}Cs في العينات الإسمنتية بعد التصلب وأثر الغسل. . . . د. صلاح الدين تكريتي، أحمد فارس علي . . . 88
- تعديل الكود EXTERMINATOR-2 واستثماره على الحاسب الشخصي . . . . . د. محمد البرهوم، سلمان محمد، ياسر كاملة 90
- إعداد نظام استعلام مناخي. . . . . د. عماد خضير، محمد موفق نصري 93
- إزاحة الكادميوم من حمض الفسفور بواسطة الاستخلاص بسائل - سائل بمذيب الـ TOPO في الكيروسين . . . . . د. سعد الدين خرفان 97
- معامل الهضم والقيمة الطاقية لبعض المخلفات الزراعية نتيجة تأثير أشعة غاما والمعاملات الكيميائية . . . . . د. محمد راتب المصري 99
- تقدير الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في زراعة مختلطة من السيسبان Sesbania aculeata وذرة السورغوم العلفية Sorghum باستعمال تقانة الآزوت ^{15}N، 1: دراسة حقلية في ظروف غير مالحة . . . . . د. فواز كرد علي، د. خلف خليفة، د. مصدق جانات 101
- دراسة خلية ليثولوجية صنعية لحجز النورم النفطي المطروح بجوار حقول النفط السورية . . . . . .محسن علي موسى 102

كتب حديثة مختارة

- فيزياء مكاشيف الجسيمات . . . . . (تأليف: د. غرين) 106
  (عرض وتحليل: شلدون ل. ستون)
- مدخل إلى الدينامية اللاخطية التجريبية: دراسة حالة في الاهتزازات الميكانيكية . . . . . (تأليف: لورنس ن. فيرجن) 107
  (عرض وتحليل: فرنسيس س. مون)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 116

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

بيانات نووية من أجل استخدامات طبية: مسح عام*

س. م. كايم
معهد الكيمياء النووية، مركز بحوث يولش، ألمانيا.

ملخص

عُرضت مقدمة موجزة لبيانات نووية تستخدم في المجال الطبي. يتطلب اختيار النظير المشع للاستخدام الطبي معرفة دقيقة ببيانات الاضمحلال الإشعاعي. وتفضل النظائر القصيرة العمر المفردة الفوتون والمصدرة لجسيمات β^+ من أجل استقصاءات تشخيصية، في حين تفضل النظائر المشعة الأطول عمراً المصدرة لإشعاع جسيمي من أجل علاج باطني بالإشعاع. من ناحية أخرى، هناك حاجة لبيانات المقطع العرضي لتفاعل نووي من أجل أمثَلة طرق الإنتاج. ونوقش، بالإضافة إلى النظائرالمشعة، استخدام الإشعاع المؤيِّن في العلاج. وحقق العلاج بالتشعيع الخارجي مكاناً مرموقاً في المجال الطبي. نوقش بإيجاز دور البيانات النووية التي تلزم لحسابات جرعة التشعيع. وجرى التعرض، في مجال العلاج بالبروتونات، إلى نواتج التنشيط التي لاتزال مهملة حتى الآن. وجرى أخيراً تقديم ملخص حول منهجية تطوير ملف بيانات نووية من أجل الاستخدامات الطبية.

الكلمات المفتاحية: تفاعل نووي، مقطع فعّال، بيانات اضمحلال، تشخيص، علاج، ملفات بيانات.

مقدمة

بعد فترة وجيزة من اكتشاف هـ. بكريل H. Becquerel للنشاط الإشعاعي في عام 1896، بدأت الأفكار تتنامى حول إمكانية تطبيق هذه الظاهرة في مجال الطب. وقد كان جورج دي هفسي G. de Hevesy، عالم الكيمياء الفيزيائية المولود في هنغاريا، أول من أدخل الواسمات المشعة في علم الأحياء. وبعد ذلك، اتبع عدد من العلماء الآخرين هذا المفهوم. وتلقّت تطبيقات الوسم عموماً والطب النووي خصوصاً قوة دافعة من خلال ظهور المفاعلات النووية واستخداماتها في تصنيع عدد كبير من النظائر المشعة. وقد ساهم كثيراً في تطوير الكيمياء الحيوية، عبر استخدام طرائق في الزجاج in vitro، توفر مركبات عضوية موسومة بنظائر مشعة مصدرة لجسيمات β^-، مثل: ^{3}H، ^{14}C، ^{32}P، ^{35}S، ^{125}I، إلخ.. كذلك جرى إدخال ضروب من المستحضرات الصيدلانية الموسومة بنظائر مشعة مصدرة لإشعاعات γ، كنظائر: ^{18}F، ^{51}Cr، ^{99m}Tc، ^{131}I، إلخ.. من ناحية ثانية، يبدو أن النظائر المشعة المعوزة للنترون تكون أكثر ملاءمة لعدد من الدراسات التشخيصية؛ ولهذا السبب، بذلت جهود متواصلة لتطوير سيكلوترونات ومسرّعات مخصصة لإنتاج هذا النوع من النظائر المشعة. وفي الوقت الراهن، طرأ تطور ملحوظ على تقانة إنتاج النظائر؛ فاستخدمت المفاعلات والسيكلوترونات على حدٍّ سواء من أجل تحقيق أغراض هذا الإنتاج. ويشكل الاستخدام المناسب للبيانات النووية جزءاً مكملاً لأي عملية إنتاج. كذلك، يشهد حقل الطب النووي التشخيصي (أي الدراسات التشخيصية المستخدِمة لواسمات مشعة) وضعاً مزدهراً [1و2]، كما يتطلب المزيد من النظائر المشعة والمستحضرات الصيدلانية المشعة من أجل تحرّي مختلف ظواهر الكيمياء الحيوية.

ويُعدّ النشاط الإشعاعي فريداً في خواصه حيث يمكن أن يُوظّف في التشخيص والعلاج كليهما. ففي الأول، يوظف بسبب حساسية كشفه العالية، وفي الثاني يوظف من خلال التأثيرات البيولوجية لإشعاعه. وعليه، يمكن تصنيف النظائر المشعة، اعتماداً على خصائص اضمحلالها واستخدامها، إلى فئتين: نكليدات مشعة تشخيصية، ونكليدات مشعة علاجية. وفي السنوات الأخيرة، حظيت النظائر المشعة العلاجية باهتمام شديد، وبخاصة تلك التي تلائم العلاج الباطني بالإشعاع [1 و 2]. ولاتزال هناك حاجة ماسة لبحوث في مجال البيانات النووية ذات الصلة بإنتاج واستخدام الفئة الأخيرة من النظائر المشعة.

وإضافة إلى النظائر المشعة، تبين أن للاشعاع المؤيِّن العديد من التطبيقات في العلاج. فعلاوة على الفوتونات والإلكترونات والنترونات، ظهرت استخدامات متزايدة للجسيمات المشحونة العالية الطاقة – كالبروتونات، و ^{4}He، والأيونات الثقيلة (^{22}Ne ،N، إلخ) – في علاج أنواع مختلفة من الأورام والأمراض الخبيثة؛ وتُعدّ الحاجة للبيانات، في هذا السياق، واسعة وشاملة. كذلك، تعد النمذجة لنقل الإشعاع أمراً ذا أهمية حتى نستطيع إجراء حساب دقيق لجرعة التشعيع.

في هذا المقال التمهيدي، سنقدم في خطوط عريضة دور البيانات النووية في التشخيص والعلاج؛ وسيجري تجميع مواضيع المناقشة مع بعضها تحت عنوانين رئيسين هما: "بيانات النظائر المشعة" و "علاج بالتشعيع الخارجي". وفي ختام المقال، سيُعالج موضوع تطوير ملف بيانات نووية من أجل الاستخدامات الطبية.

* نشر هذا المقال في مجلة *Radiochimica Acta* 89, 2001. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

أهمية البيانات النووية لبرامج نظائرية ذات صلة بالطب

تتطلب برامج الطب النووي المستخدمة لنظائر مشعة نوعين من البيانات، بيانات خاصة بالاضمحلال الإشعاعي، وأخرى ذات علاقة بالمقطع الفعال للتفاعل النووي. وفيمايلي، سنناقش بإيجاز النوعين المذكورين من البيانات.

بيانات الاضمحلال الإشعاعي

تتيح هذه البيانات حساب جرعة التشعيع التي يتعرض لها المريض جرّاء تلقيه النشاط الإشعاعي. والمنهجية المتبعة في أرجاء العالم كافة لحساب الجرعة الباطنية هي تلك التي قدّمتها "شكلية ميرد MIRD Formalism" التي وضعت من قبل اللجنة الطبية لجرعة الإشعاع الباطنية Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD) المنبثقة عن جمعية الطب النووي في الولايات المتحدة وعن عدد آخر كبير من المشاركين والمستشارين. وبموجب هذه الشكلية تقدر الجرعة بواسطة الصيغة التالية:

$$\bar{D} = 2.13\bar{c}\sum_i n_i \bar{E}_i \Phi_i ,$$

حيث $\bar{c}$ هو التركيز التراكمي للنشاط الإشعاعي$\left(Bq\cdot\frac{T_{eff}}{\ln 2}/kg\right)$،

و n_i عدد الجسيمات أو الفوتونات المصدرة لكل اضمحلال،

و $\bar{E}_i$ وسطي الطاقة للإشعاع المصدَر،

و Φ_i هو الجزء من الإشعاع الذي امتصه العضو،

و T_{eff} هو عمر النصف الفعّال للنظير المشع داخل العضو.

وتتوفر عدة نسخ محوسبة لشكلية ميرد. فعلى سبيل المثال، هناك ما يسمى "جرعة مير MIR - Dose" (وهي برنامج يعتمد على حاسوب شخصي) [3]. وتساعد حسابات الجرعة لاتخاذ القرار فيما إذا كان النظير المشع موضع الدراسة مناسباً للتطبيقات التشخيصية. والمبدأ الأساسي في جميع الاستقصاءات التشخيصية هو أن تكون الجرعة الإشعاعية للمريض من أقل سوية ممكنة.

وهنالك مظهر ثانٍ، لبيانات الاضمحلال الإشعاعي على جانب من الأهمية، يتعلق بالكشف عن الإشعاع المصدَر. ومع التزايد المستمر لأهمية التصوير المقطعي الطبقي الإصداري emission tomography: التصوير المقطعي الطبقي المحوسب بإصدار فوتونات مفردة Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)، والتصوير المقطعي الطبقي بإصدار بوزترونات Positron Emission Tomography (PET)، أصبح الطلب على النظائر المشعّة المصدرة للإشعاع الملائم عظيماً. أما بالنسبة للنظائر المشعّة العلاجية، تغدو الجرعة العالية بعد الدراسة المتأنية أمراً مرغوباً فيه. من ناحية ثانية، لابد من توفر إمكانية جيدة لكشف الإشعاع من أجل تقدير دقيق للجرعة. وفي حال استخدام نظائر مصدرة لأشعة β^- الصافية (مثل ^{32}P و ^{90}Y، إلخ..) لايمكن قياس توزع النشاط الإشعاعي من خارج الجسم؛ لذلك تصبح مقياسية الجرعة في التطبيقات الوثيقة الصلة بالموضوع أمراً يعتمد على التجريب. لهذا تكون بيانات الاضمحلال ذات أهمية بالغة في اختيار واستخدام نظير مشع في المعالجة الطبية. ويبين الجدول 1 بعض النماذج الهامة من بيانات الاضمحلال ذات الصلة بالموضوع.

بشكل عام، البنية النووية وبيانات الاضمحلال معروفة جيداً؛ وقد سُخّرت جهود كبيرة من أجل وضع ملفات ومكتبات للبيانات [4 - 6].

الجدول 1- بيانات نووية وثيقة الصلة بالتطبيقات الطبية للنظائر المشعة

نوع البيانات	كميات	تطبيقات رئيسة
بيانات الاضمحلال الإشعاعي	- عمر النصف - طاقات وشدات أشعة α و β و γ. - نسبة تفرع EC/β^+ - IT*، معامل التحويل - شدات أشعة x و إلكترونات أوجيه - مخطط الاضمحلال	• اختيار النظير المشع من أجل الاستخدام الطبي (تشخيص، علاج) • حساب جرعة التشعيع الداخلية
بيانات التفاعل النووي	بيانات نترونية - مقاطع فعالة للتبعثر والأسر - تكاملات التجاوب - (n، جسيم مشحون) مقاطع فعالة للتفاعل - مردودات الانشطار بيانات جسيم مشحون - عتبات التفاعل - وظائف الإثارة - بيانات تفاضل وتكامل - مردودات الهدف الرقيق والسميك	• إنتاج النظائر المشعّة بالمفاعل • إنتاج النظائر المشعّة بالسيكلوترون

* IT = isomeric Transition تحول تصاوغي (أيزوميري)

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

وفيما يتعلق بالاستخدامات الطبية، قامت لجنة MIRD بتجميع بيانات لحوالي 250 من النكليدات المشعة تتضمن مخططات الاضمحلال وثوابت جرعة التوازن [7]. وفي الواقع، تُشكل هذه البيانات الأساس لمزيد من العمل البحثي في مجال الطب النووي. لكن لا يستبعد أن يلقى نظير مشع ما استخداماً كبيراً على الرغم من أن بعض خصائص اضمحلاله لاتزال غير معروفة تماماً. و قد توجد بعض المجالات تعاني من نقص تشمل شدّات أشعة β و γ وتفرع اضمحلال إصدارات β^+ و EC*، وطيوف و شدّات إلكترونات أوجيه، إلخ. وتؤدي جميع أنواع هذا النقص إلى شيء من عدم الدقة في حساب جرعة الإشعاع وفي التقدير الكمي لتأثير الإشعاع المؤيّن.

لقد تطورت النظرية والمنهجية النوويتين بقدر يكفي للتنبؤ ببيانات الاضمحلال لنوى طبيعية وبدقة معقولة؛ لكن هذه التنبؤات تصبح أقل موثوقية من أجل النوى الخفيفة وتلك البعيدة عن خط الاستقرار. و مع ذلك أظهر في السنوات الأخيرة مجالان في الطب النووي شيئاً من النقص في بيانات الاضمحلال. واحد يخص العلاج الباطني بالإشعاع (والعلاج القصير الأجل) بواسطة نظائر مشعة تصدر إشعاعات لينة، مثل أشعة x، وإلكترونات أوجيه، وجسيمات β^- أو β^+ ذات الطاقة المنخفضة. والمجال الآخر، يتعلق بدراسات التصوير المقطعي الطبقي بإصدار البوزترونات PET التي تستخدم مصدرات β^+ الأطول عمراً وغير الشائعة. وفي هذه الحالة، لايمكن الحصول على بيانات اضمحلال دقيقة (كطاقات وشدّات الأشعة المصدَرة) إلاّ إذا توفر النظير المشع، موضع الدراسة، بشكل نقي (عن طريق اختيار تفاعل إنتاج وفصل كيميائي أو كتلي مناسبين). وهنالك مثال حديث على ذلك يتمثل بالنظير ^{120g}I ($T_{1/2}$ = 1.35 ساعة) المصدر لجسيمات β^+ والذي يمكن أن يكون له استعمالات مفيدة. وقد أعطيت له قيمة تفرع اضمحلال β^+ تقع مابين 39 و 81%، لكن دراسات كيميائية - إشعاعية حديثة وضعت له قيمة 56 ± 3% [8]. وهكذا نجد أنه على الرغم من توفر كميات ضخمة من بيانات الاضمحلال قد يغدو ضرورياً، في بعض الأحيان، إجراء قياسات جديدة ودقيقة على بعض النظائر المشعة المختارة.

بيانات التفاعل النووي

هنالك حاجة إلى هذه البيانات في برامج إنتاج النظائر المشعة، وفي الدرجة الأولى من أجل أمثلة طرق الإنتاج. وبما أن النظائر المشعة تُنتج داخل المفاعلات أو بالسيكلوترونات، يتطلب الامر بيانات حول المقطع الفعّال للتفاعل المحرّض بالنترونات والجسيمات المشحونة في آنٍ معاً. وتكون مجالات الطاقة المستخدمة لهذا الإنتاج واسعة إلى حد ما. وفي حالة النترونات غالباً ما تكون الطاقة الحرارية وكذلك طيف نترون الانشطار على قدر من الأهمية؛ وفي الجسيمات المشحونة تمتد مجالات الطاقة ما بين بضعة MeV و لغاية عدة مئات MeV. يبين الجدول 1 ملخصاً لبيانات المقطع الفعّال اللازمة في برامج إنتاج النظائر المشعة. وفيما يلي، نبين بإيجاز أهمية البيانات النووية في الإيفاء ببعض المتطلبات النوعية للمنتَج.

تشتمل الطرق الأكثر شيوعاً المستخدمة في إنتاج النظائر بالمفاعل على العمليات (n, γ)، و (انشطار, n) و (جسيم مشحون, n). وعموماً، يمتلك التفاعل (γ، n) مقطعاً فعالاً عالياً عند طاقات نترونية حرارية، الأمر الذي يجعل مردود المنتج عالياً إلى حد ما. غير أن العائق الجدي لهذه العمليه هو النشاط الإشعاعي المنخفض الذي يجعل النظير المشع أقل مواءمة للتطبيقات الطبية. ويمكن، من خلال طرائق مختلفة، تحسين النشاط الإشعاعي النوعي (العودة إلى مقال Qaim في هذا العدد حول مايتعلق بالنظائر المشعة التشخيصية). ومع ذلك يبقى العائق المذكور آنفاً أمراً واقعاً من حيث المبدأ. أما عملية الانشطار، فتعدّ طريقة مناسبة جداً لإنتاج عدد كبير من النظائر المشعة بشكل "دون إضافة حامل". وعلى أية حال، تكون المعالجة الكيميائية المتضمنة شاملة. وعموماً، يكون المقطعان الفعّالان للتفاعلين (n, p) و (n, α) ضعيفين، لذلك تستخدم هاتان العمليتان لإنتاج عدد قليل فقط من النظائر المشعّة الواقعة في منطقة عناصر الكتلة الخفيفة. وبشكل عام، تكون البيانات النووية التي يُحتاج إليها في برامج إنتاج النظائر المشعة ذات طبيعة متكاملة (على سبيل المثال - وسطي المقاطع الفعالة لطيف الانشطار النتروني) وغالباً ماتتوفر في المكتبات الخاصة بالبيانات النترونية المقدَّرة.

لقد وضعت قاعدة بيانات المقطع الفعال لإنتاج النظائر المشعة بالمفاعل وتوطدت بصورة جيدة. ولاتوجد حاجة لإجراء أي قياسات وتقديرات جديدة، إلا من أجل بعض النظائر المشعة الخاصة التي لاتزال قيد التطوير (على سبيل المثال، تلك المنتجة عن طريق الأسر النتروني المضاعف). وفيما يتعلق بقدرة التنبؤ لكل من النظرية النووية والمنهجية العلمية، فقد أمكن، بوساطة النموذج الإحصائي، التوصل إلى توصيف جيد ومعقول لتفاعلات (n, γ) و (n, p) و (n, α) ذات الطاقة المنخفضة، كما أمكن، بوساطة المنهجية العلمية، التنبؤ بمردودات الانشطار بدقة كبيرة.

تقوم بيانات المقطع الفعال بدور هام جداً في إنتاج النظائر المشعة بالسيكلوترون [9 و 10]. وبسبب التدنّي السريع لطاقة القذيفة في مادة الهدف، يكون المجال الطاقي المغطى ضمن الهدف عريضاً نسبياً، وبما أن المقطع الفعال للتفاعل يتغير بسرعة مع تغير الطاقة، فمن غير المناسب اعتماد مقطع فعال وسطي على كامل المجال الطاقي. والأفضل هو الحاجة إلى كامل تابع الإثارة للعملية النووية ليصبح قادراً على حساب المردود بدقة معقولة. هنالك نقطة أخرى هامة وهي عدد القنوات المشاركة في التفاعل. فعلى سبيل المثال، عند طاقة قذف واردة قدرها 20 MeV، هنالك ست قنوات تفاعل ذات مقاطع فعّالة هامة. ومن وجهة نظر تقدير موازنة النشاط، يغدو إلزامياً معرفة المقاطع الفعّالة لتلك العمليات كافة. ويتحقق إنتاج النظائر المشعة باستخدام بروتونات أو دوترونات أو جسيمات ^3He أو α. و معرفة جميع المقاطع الفعّالة للتفاعل أمر ضروري؛ وبذلك يصبح الطلب على البيانات شاملاً. أما من الناحية العملية، لايوجد سوى عدد قليل فقط من النظائر المشعة التي تنتج عبر تفاعلات مُحرّضة بجسيمات غير البروتونات. لذلك فبالإمكان التنبؤ بالمتطلبات البيانية. تستخدم في السيكلوترونات الصغيرة الحجم تفاعلات منخفضة الطاقة

* EC = electron Capture = أسر نتروني.

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

مثل (p, n)، و (p, α)، و(d, n)، و (d, α)، إلخ. وعند الطاقات الأعلى من جهة ثانية، تُوظّف عادة تفاعلات (p, nx). وفي بعض الحالات الخاصة تطبق عملية (تشظية p,).

ومن تابع إثارة معين، يمكن حساب المردود المتوقع لمنتج ما من أجل مجال طاقي محدد عن طريق استخدام الصيغة التالية:

$$Y = \frac{N_L \cdot H}{M} I(1 - e^{-\lambda t}) \int_{E_1}^{E_2} \left(\frac{dE}{d(\rho x)} \right)^{-1} \sigma(E)\, dE ,$$

حيث N_L هو عدد أفوغادرو، و H الإغناء (الوفرة النظيرية) للنكليد الهدف، و M هو العدد الكتلي لعنصر الهدف، و I تيار القذيفة، و $\left(\frac{dE}{d(\rho x)}\right)$ قدرة التوقف، و σ(E) المقطع الفعال عند الطاقة E، و λ هو ثابت الاضمحلال للمنتج، و t زمن التشعيع. تمثل قيمة المردود المحسوب (بموجب المعادلة السابقة) المردود الأعظمي الذي يمكن توقعه جرّاء عملية نووية معطاة.

تشمل أمثلة عملية نووية من أجل إنتاج نظير مشع بالسيكلوترون اختيار مجال طاقة القذيفة الذي سيعطي أعظم مردود للمنتَج وأقل مردود للشوائب المشعة. وبينما يمكن إزالة الشوائب اللانظيرية المنتَجة بعمليات فصل كيميائية، يمكن فقط الحد من سوية الشوائب النظيرية إما باستخدام نظائر مغناة كمواد هدف و / أو باختيار حذر ودقيق لمجال طاقة الجسيمات المؤثرة في الهدف.

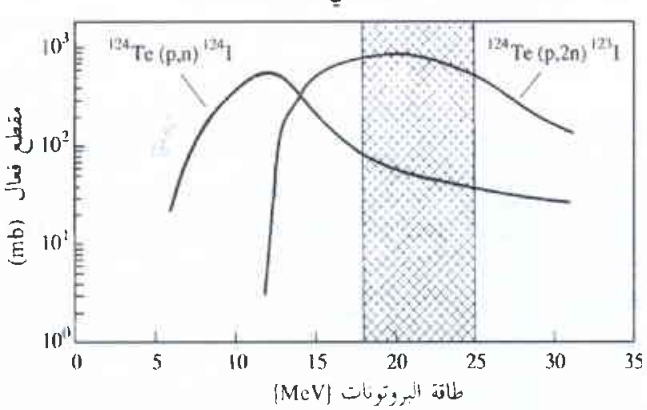
وعلى سبيل المثال، يمكن اتباع طرق مختلفة لإنتاج النظير المشع ^{123}I ($T_{1/2}$ = 13.2 ساعة)، وهو نكليد هالوجيني يُستخدم لوسم جزيئات حيوية، من أجل دراسات تشخيصية باستعمال التصوير المقطعي الطبقي SPECT. يُقدَّم إنتاج هذا النظير المشع، عبر التفاعل $^{124}Te\ (p, 2n)^{123}I$، مثالاً جيداً على أهمية البيانات النووية. فللإقلال من سوية الشوائب النظيرية في النظير ^{123}I المنتج يغدو ضرورياً استخدام النظير ^{124}Te عالي الإغناء كمادة هدف. من جهة ثانية، وبسبب التفاعل المنافس $^{124}Te\ (n, p)\ ^{124}I$، لايمكن استبعاد شائبة ^{124}I استبعاداً تاماً حتى ولو كان ^{124}Te مغنى بنسبة 100%. واعتماداً على قياسات تابع الإثارة التي وصفت في المرجعين [11 و 12]، يبين الشكل 1 أن المجال الطاقي للبروتونات من أجل إنتاج ^{123}I هو E_p = 25.0 → 18.0 MeV، بمعنى أنه يجب اختيار طاقة للبروتونات الواردة قدرها 25.0 MeV واختيار ثخانة الهدف من التلوريوم التي تسبب تدنّي الطاقة الواردة إلى 18.0 MeV فقط. وفي هذه الشروط، سيصل مردود ^{123}I عند نهاية القصف (EOB) إلى 565 MBq/μAh، كما ستصل سوية شائبة ^{124}I في ^{123}I إلى حوالي 1%. وإذا كان الوصول إلى سوية شوائب أقل لايزال مرغوباً، فلابد عندئذ من إجراء مزيد من التعديل على نافذة الطاقة. يتضح مما سبق أنه من الضروري التعرف بدقة على توابع الإثارة لمختلف التفاعلات المشاركة.

وللشوائب المشعة تأثير مزدوج، فهي أولاً تؤثر عكسياً على تابع انتشار الخط في عملية التصوير، إنها ثانياً تسبب للمريض جرعة تشعيع معزّزة. وإذا كان مقدار الشائبة الأطول عمراً عالياً جداً فإنها ستعرض للخطر كامل الميزة التي يتمتع بها النظير المشع القصير العمر المراد استخدامه. وقد يغدو ضرورياً، عندئذ، التفتيش عن طريق بديلة لإنتاج النظير المشع المرغوب فيه.

وإلى جانب الشوائب النظيرية التي نوقشت أعلاه، تزايد الوعي في السنوات الأخيرة حول الشوائب الأيزوميرية أيضاً. فهنالك عدة نظائر مشعة، من النوع المهم استخدامه في الأبحاث الطبية، لديها حالات أيزوميرية مزعجة إلى حدٍّ ما. وكأمثلة على هذه النظائر نذكر: ^{94m}Tc (^{94g}Tc)، و ^{120m}I (^{120g}I)، إلخ. ولايمكن، بتعديل دقيق لنافذة الطاقة (كما سبق التنويه به أعلاه)، التحكم بالشوائب النظيرية. وبما أن نسبة المقطع الفعال الأيزوميري تتعلق أساساً بنزع التفاعل الحاصل [13] يغدو ضرورياً التحرّي عن جميع طرق الإنتاج الممكنة، ومن ثم اختيار التفاعل والمجال الطاقي اللذين يعطيان أفضل النتائج. ومن الواضح أن تقوم البيانات النووية هنا بدور فائق الأهمية.

أضحت بيانات المقطع الفعال للتفاعل النووي ، المتعلقة بإنتاج نظائر مشعة شائعة الاستخدام بالسيكلوترون، من الأمور المعروفة تماماً. وقد صدرت مؤخراً عن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية نشرة "TECDOC" [14]، أُعدت كحصيلة لبرنامج بحث منسق (CRP) حول "إنتاج النظائر المشعة الطبية" تصف البيانات الموصى بها في المجالات الطاقية المرغوبة. وعموماً، يتطلب الأمر إجراء قياسات جديدة أثناء البحث عن طريق بديلة لإنتاج نظير مشع مفيد أو أثناء القيام بعمل تطويري لنظير مشع يحتمل أن يكون هاماً. إن مجالي الطب النووي المتطورين بسرعة والمنوه عنهما أعلاه، أي العلاج الباطني بالإشعاع ودراسات PET التي تستخدم مصدرات β^+ الأطول عمراً، يتطلبان قدراً كبيراً من العمل التجريبي للبيانات النووية.

وفيما يتعلق بحسابات النموذج النووي، أمكن تحقيق درجة متفاوتة من النجاح في حالة التفاعلات المحرضة بجسيمات مشحونة. ويمكن بصعوبة وصف المقاطع الفعالة لنوى الهدف الخفيفة الكتلة بواسطة الحسابات النموذجية. أما في مجالي الكتلة المتوسطة والثقيلة، فقد لاقى كلا النموذجين "مركب / مركب أولي" و"مركب أولي / هجين" نجاحاً جزئياً (مستخدمين، على سبيل المثال، الكودين STAPRE / GNASH و ALICE IPPE، على التوالي). وعموماً، لايمكن لحسابات أولوية أن تحقق متطلبات الدقة اللازمة في برامج إنتاج النظائر المشعة؛ ولذلك كانت الدراسات التجريبية أمراً ضرورياً في غالبية الحالات.

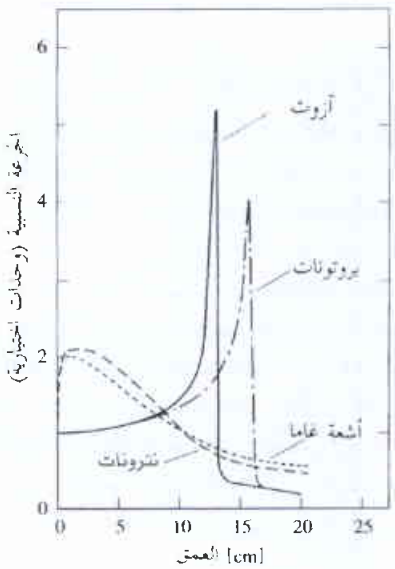


الشكل 1– تابعا الإثارة لتفاعلي ^{124}I $^{124}Te\ (p, n)$، و ^{123}I $^{124}Te\ (p, 2n)$. المجال الطاقي المناسب من أجل إنتاج ^{123}I هو E_p = 25.0 → 18.0 MeV (وذلك اعتماداً على البيانات الواردة في المرجعين 11 و 12).

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

أهمية البيانات النووية في العلاج بالتشعيع الخارجي

يشمل العلاج بالتشعيع الخارجي استخدام الإلكترونات، و أشعة X، و أشعةγ العالية الطاقة، أو الهدرونات (نترونات، بروتونات، أيونات ثقيلة، إلخ.). إن استخدام الإلكترونات المنخفضة الطاقة (المصدَرة من منابع مشعة أو المزودة من مسرعات صغيرة)، وأشعة X (من مصادر تقليدية)، والإلكترونات العالية الطاقة (المزودة بواسطة LINAC)، والفوتونات العالية الطاقة (المنتجة كإشعاع كبح في تأثر الإلكترونات العالية الطاقة مع العناصر الثقيلة) يشكل تطبيقاً علاجياً تقليدياً معيارياً. وتمثل التأثرات الداخلة فيها ظواهر مفهومة جيداً في الفيزياء الذرّية، كما أن البيانات اللازمة لنوعي العلاج بالإلكترونات والفوتونات موثّقة تماماً. وحالة الفوتونات العالية الطاقة جداً هي الحالة الوحيدة التي يمكن أن تحدث فيها عمليات فوتونية نووية مثل (γ, n)، و (γ, 2n)، إلخ. عندئذ، تصبح التوزعات الطاقية والزاويّة للنترونات المصدَرة ذات أهمية من وجهتي نظر النقل والتدريع الإشعاعيين كليهما. إضافة لما سبق، قد تتشكل أيضاً بعض نواتج التنشيط.



الشكل 2– توزع الجرعة كتابع للعمق لكل من أشعة γ، والنترونات، والبروتونات، وأيونات الآزوت داخل النسيج (الشكل مُهايأ من المرجع 15). يطلق على المنطقة حول الجرعة الأعظمية، في حالة الجسيمات المشحونة، اسم منطقة "قمة- براغ".

يوجد اعتباران هامان في العلاج الإشعاعي، ألاوهما: الانتقال الخطي للطاقة linear energy transfer (LET)، والكفاءة البيولوجية النسبية relative biological efficiency (RBE). وقد يكون لاستخدام الهدرونات، مقارنة بالعلاج التقليدي، ميزة الحصول على انتقائية فيزيائية أفضل، أو بمعنى آخر، الحصول على بروفيل جرعة مُحسَّن وكفاءة بيولوجية أعلى يتوافقان مع قتل أو تخريب أعظم داخل الورم [15]. لكن الهدرونات المختلفة تتباين في خصائصها. وتقارن في الشكل 2 علاقة العمق - جرعة للفوتونات والنترونات والبروتونات وأيونات الآزوت. ومن الواضح أن للنترونات والفوتونات توزعاً متماثلاً للجرعة، بينما تزداد الجرعة مع زيادة عمق الاختراق من أجل الجسيمات المشحونة لتصل إلى أعظم قيمة لها في منطقة قمة - براغ Bragg - peak region. لاتبدي النترونات هذا البروفيل الفيزيائي المتقدم للجرعة، لكنها تختلف عن الفوتونات في كفاءتها البيولوجية النسبية RBE. والهدف النهائي للعلاج بالهدرونات هو بلوغ أعظم قدر من الانتقائية الفيزيائية والبيولوجية [يمكن الرجوع إلى إسهامات كل من Jones و Wambersie حول مايتعلق بالأساس المنطقي للعلاج الهدروني، والتي نشرت في العدد 89 من مجلة Radiochim Acta (2001)].

وفي العلاج بالأيونات، يتدخل نوعا التأثرات الذرّية والنووية كلاهما؛ ويزداد إسهام النوع الأخير من التأثرات مع ازدياد الطاقة. أما تأثرات النترونات فهي إلى حد ما صعبة الفهم لأنها

الجدول 2– بيانات نووية وثيقة الصلة بالعلاج الهدروني

نوع البيانات	كميات	تطبيقات رئيسة
بيانات النترونات	– مقاطع فعالة مرنة ولا مرنة	● حساب أطياف النترونات
	– إصدار ثانوي للنترون وأشعة γ (مقاطع فعالة تفاضلية وتفاضلية مضاعفة).	● حسابات نقل الأشعة
	– إصدار جسيم مشحون (p، d، t، α) (مقاطع فعالة تفاضلية وتفاضلية مضاعفة)	● حساب معاملات kerma
	– مقاطع فعالة للتنشيط	● تحديد موازنة النشاط
بيانات البروتونات	– مجموع المقاطع الفعالة اللامرنة	● تقدير نضوب الحزمة البروتينية
	– إصدار نترونات، وجسيمات مشحونة، وأشعة γ (مقاطع فعالة تفاضلية وتفاضلية مضاعفة)	● حساب توضع الطاقة ونقل الإشعاع
	– الطاقات الوسطية لمقذوفات خفيفة	
	– أطياف مرتدة للمنتج	● تقدير RBE
	– مقاطع فعالة للتنشيط	● تحديد موازنة نشاط وجرعة إضافية من خلال اضمحلال

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

تتضمن العديد من الظواهر النووية التي لايمكن دائماً حسابها بطريقة يُعوّل عليها.

وفي العلاج بالنترونات، هناك حاجة إلى المقاطع الفعالة من أجل تشكل النترونات الثانوية وأشعة γ والجسيمات المشحونة؛ ويقدم الجدول 2 خلاصة موجزة جداً بهذا الشأن، حيث تلزم البيانات فيه لتقدير الجرعة الممتصة عند المريض. وهناك حاجة إلى معلومات تتعلق بالنترونات الثانوية وأشعة γ من أجل حساب نقل الإشعاع عبر مسافات كبيرة. وتُعدّ البيانات حول إصدار الجسيمات المشحونة في تفاعلات محرّضة بنترونات سريعة أمراً بالغ الأهمية من أجل حساب الحرارة الموضّعة في النسيج. ويُعبَّر عن التأثير بعبارات "معامل kerma" (الطاقة الحركية المتحررة ضمن المادة kinetic energy released in matter). وغالباً ما تقدّر دقة المقاطع الفعالة المحرّضة بالنترونات بمقارنة معاملات kerma المشتقة من مقاطع فعّالة مع تلك التي تم الحصول عليها تجريبياً. إذا أعطت المقاطع الفعالة "معامل kerma" متفقاً مع القياسات التجريبية، تزداد الثقة في تنبؤات الجرعة الممتصة بوساطة كود النقل.

وفي العلاج بالبروتونات، توجد حاجة إلى المقاطع الفعالة من أجل تشكل النترونات وأشعة γ، وكذلك من أجل تشكل جسيمات مشحونة ثانوية. وتلزم مثل هذه المعلومات لحساب كل من نقل الإشعاع وجرعة التشعيع. ويُقدَّم الجدول 2 خلاصة موجزة للبيانات اللازمة. والفائدة الرئيسة لهذا العلاج هي القدرة على علاج أورام متوضعة في العمق قريباً من بنى حرجة. وهذا يمكن تحقيقه نظراً، بشكل رئيسي، إلى الانتقائية العالية لقمة براغ.

أما العلاج بحزمة الأيونات الثقيلة، فيجري باستخدام أيونات: ^{12}C، و ^{14}N، و ^{20}Ne، و ^{28}Si، و ^{40}Ar، مع أن المستخدَم حالياً هو ^{12}C فقط. من جهة ثانية، يُعدّ العلاج تقنية متخصصة؛ وعلى الرغم من إمكاناته العظيمة ليس له سوى تطبيقات محدودة. وهناك طريقة علاجية تتمثل بإعطاء مركب يعتمد على البورون، والذي يجري تشعيعه بوساطة مصدر خارجي من النترونات فوق الحرارية بعد تراكمه في العضو المحتوي على الورم (علاج بالأسر النتروني للبورون BNCT boron capture therapy). تؤدي العملية النووية $^{10}B(n, \alpha)^{7}Li$ إلى تحرر جسيمات α كثيفة التأين قصيرة المدى، ومرتدات ^{7}Li المسببة للتأثير العلاجي.

البيانات الطيفية

يتضح من المناقشة المذكورة أعلاه أن هناك حاجة للبيانات الطيفية الأساسية في العلاج الإشعاعي. وإلى جانب إجمالي المقاطع الفعالة للتبعثر المرن واللامرن، هناك حاجة لأطياف إصدار كل من أشعة غاما والنترونات، والجسيمات المشحونة. المعتمدة على الطاقة وزاوية الإصدار. وبسبب الجهد العظيم الواجب توظيفه في مثل هذه الدراسات، لايتوفر سوى عدد محدود من طواقم البيانات التجريبية لعناصر الهدف ذات الأهمية البيولوجية؛ ولهذا كان جلياً وجود اعتماد كبير على النظرية. وبما أن متطلبات الدقة ليست على قدر من الإلحاح كما هو الحال عليه في البيانات اللازمة لإنتاج نظائر مشعة تشخيصية، لذلك يمكن عموماً قبول البيانات المتنبأ بها عبر حسابات نموذج نووي.

سبق أن نوقشت إمكانية توفر بيانات نووية متوسطة الطاقة من أجل المداواة الإشعاعية، كما خضعت الاحتياجات الجديدة الناشئة عن ظهور طرق جديدة في المداواة إلى مراجعات عامة مستمرة [16،17]. وفي الآونة الأخيرة، تشكلت، برعاية من الهيئة العالمية لوحدات وقياسات التشعيع International Commission Radiation Units and measurements، مجموعة دراسة متمكنة في مجال البيانات النووية اللازمة للمداواة الإشعاعية بالنترونات والبروتونات [18]. ويُقدَّم التقرير النهائي لمجموعة الدراسة الآنفة الذكر [18] معلومات بشأن المقاطع الفعالة للتفاعل النووي المحرض بالنترونات ومعاملات kerma التي تصل لغاية 150 MeV، إضافة إلى معلومات أخرى بشأن مقاطع فعالة محرضة بالبروتونات تصل لغاية 250 MeV. هذا، ويتسع مدى طاقة النترونات المستخدم حالياً إلى حوالي 70 MeV؛ لكنه، بسبب احتمال استخدام طاقات أعلى في المستقبل، فقد أعطى التقرير المذكور بيانات لغاية 150 MeV. وقد أمكن الحصول على البيانات المذكورة جميعها من خلال الجمع ما بين التجربة والنظرية. ولهذا الغرض، تمت الاستفادة من كود النموذج النووي "GNASH" والذي يدمج النظريات لكل من النواة المركبة، وحالة ما قبل التوازن preequilibrium، والتأثرات المباشرة. كذلك، جرى تسخير حسابات النموذج الضوئي optical model calculations لتقدير إجمالي مجموع المقاطع الفعالة للتبعثر المرن واللامرن.

وفي العلاج بالهدرونات، يُحتاج قبل كل شيء إلى بيانات نووية للنظائر الهامة لكل من العناصر: H، و C، و N، و O، و Al، و Si، و P، و Ca، و Fe، و Cu، و W، و Pb، علماً أن العناصر الأخيرة من هذه المجموعة تُستخدم كمواد مُسدِّدة وتدريعية. هذا، وتدعو الحاجة إلى كثير من المعلومات التفصيلية بالنسبة للعناصر الأعظم أهمية، بينما تكون الحاجة إلى مثل هذه المعلومات أقل بالنسبة لعناصر أخرى أقل أهمية؛ وقد اتبع التقرير المذكور أعلاه [18] في نهجه هذه الاستراتيجية.

نواتج التنشيط

بوجه عام، لايُعدّ تنشيط مكوّنات النسيج عملية خطرة أو ذات أهمية كبيرة، ولهذا السبب لم ينشر سوى القليل من الدراسات التي تتعلق بتشكل نواتج التنشيط سواء نُفِّذ العلاج بالنترونات أو بالبروتونات. من ناحية ثانية، لايمكن، في عدة حالات خاصة، إهمال عملية التنشيط؛ وسوف نناقش فيما يلي بعضاً من هذه الحالات.

تؤدي تأثرات النترونات السريعة مع النوى خفيفة الكتلة إلى تشكل كميات معنوية من التريتيوم ($T_{1/2}$ = 12.3 سنة). وفي دراسة شاملة استخدمت فيها نترونات d(Be) بطاقة 53 MeV [19]، تبين أن المقاطع الفعالة (n, t) لأخف العناصر تكون كبيرة على نحو استثنائي (ما بين 10 و 400 mb). من ناحية ثانية، يكون المقطع الفعال الإصداري للتريتون (نواة التريتيوم) ثابتاً عند حوالي 5 mb بالنسبة للعناصر التي لها Z>20. ومن الأنشطة الأخرى، التي جرت مراقبتها، النظير ^{7}Be ($T_{1/2}$ = 53.3 يوم)، لكن مقطعه الفعال يقع ضمن مجال الـ μb [20]. وجرت أيضاً مراقبة عدة نواتج قصيرة أو طويلة العمر في المجال الكتلي المتوسط، لها مقطع فعال تشكلي يراوح بين 5 إلى 10 mb [19–21].

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

وعلى هذا الأساس، وباستثناء التريتيوم، لاتوجد أهمية تذكر للنواتج المشعة المتشكلة في العلاج بالنترونات؛ لكن تنشيط المواد التدريعية والمُسدّدة يُعدّ أمراً ذا أهمية.

وتوجد في الأدبيات العلمية دراسات شاملة حول تشكل نواتج التنشيط في تفاعلات محرّضة بالبروتونات [22–24]، ومهما يكن من أمر، لم تخضع العناصر المناسبة بيولوجياً إلى بحوث تفصيلية. وفي حقل العلاج بالبروتونات، نُفّذ عدد قليل من الدراسات التجريبية التي تناولت الاتجاهات الأربعة التالية:

آ - تشكل مصدرات β^+ القصيرة العمر، كالنظائر: ^{11}C ($T_{1/2}$ = 20.3 دقيقة)، و ^{13}N ($T_{1/2}$ = 10.0 دقيقة)، و ^{18}F ($T_{1/2}$ = 110.0 دقيقة).

ب - تراكم النظير ^{7}Be ($T_{1/2}$ = 53.3 دقيقة).

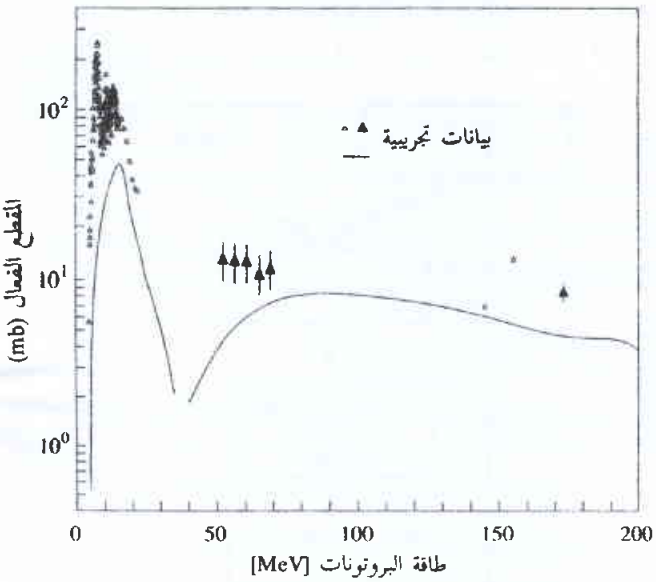
جـ - تشكل نواتج تنشيط متوسطة الكتلة، كالنظائر: ^{22}Na ($T_{1/2}$ = 2.6 سنة)، و ^{42}K ($T_{1/2}$ = 12.4 ساعة)، و ^{48}V ($T_{1/2}$ = 16.0 يوم)، و ^{51}Cr ($T_{1/2}$ = 27.7 يوم)، وإلخ.

د - تراكم نشاط طويل العمر داخل المُسدّدات كالنظير ^{54}Mn ($T_{1/2}$ = 312.2 يوم)، إلخ.

أمكن من الدراسات السابقة التوصل إلى استنتاج هام مَفَادُه أن الكمية المتراكمة من ^{7}Be هي كمية مهملة [25]. وبصورة مماثلة، تبيّن أن نواتج التنشيط المتوسطة الكتلة هي أيضاً ليست معنوية [26]. غير أن تنشيط المسدّدات محسوس [27]. ومن الضروري اتخاذ الاحتياطات المناسبة لحماية الموظفين القائمين على العلاج. ويُعدّ تَشكُّل مصدرات β^+ قصيرة العمر أمراً على قدر كبير من الأهمية؛ لذلك سنعمد إلى مناقشته بشيء من التفصيل.

هنالك أهمية معنوية للمقاطع الفعالة التشكلية الخاصة بمصدرات β^+ قصيرة العمر، لكن المعلومات المتاحة عبر كامل المجال الطاقي لها تبقى نوعاً ما هزيلة وغير كافية. ويبين الشكل 3 [28] نتائج قياسات وتحاليل حديثة تمّ إجراؤها على تشكل النظير ^{11}C ($T_{1/2}$ = 20.3 دقيقة) من ^{nat}N. وبينما تتوفر بيانات شاملة حتى 20 MeV [14]، فإن قاعدة البيانات تبقى هزيلة عند طاقات أعلى. وجدير بالذكر أن الذي يساهم في تشكل النظير المذكور عمليتان رئيستان بعتبتين مختلفتين، هما: $^{14}N(p,\alpha)^{11}C$، و $^{14}N(p,2p2n)^{11}C$. ومن المتوقع أن يكون هناك إسهام بسيط من التفاعل $^{15}N(p,\alpha n)^{11}C$. ويُري الشكل 3 أيضاً حساباً نظرياً يعتمد الكود الهجين المسبق التركيب "ALICE-IPPE" الذي يقوم بدمج إصدار جسيمات α. ومن الواضح أن النظرية هي التي تُولّد، إلى حد ما، شكل تابع الإثارة، ولو أن المقادير تتباين بشكل ملموس.

تُعدّ بيانات المقطع الفعال من أجل تشكل مصدرات β^+ قصيرة العمر هامة من ناحيتين: الأولى، من أجل تقدير الجرعة الإضافية التي يسببها النظير للمريض، والثانية من أجل التوضع الدقيق لتوزع الجرعة المتعلق بالمعالجة. بشأن الناحية الأولى، أجري تقدير للكبد [28] باعتباره عضو المنبع، و حزمة بروتونية بطاقة 200 MeV وبشدة قدرها 5 nA/cm². وتُقدّر الجرعة التي تسببها النظائر ^{11}C، و ^{13}N، و ^{15}O بـ 500 mSv تقريباً. وبالمقارنة مع جرعة تشعيع كلية قدرها 2 Sv لكل جلسة علاجية، فإن التعزيز في جرعة التشعيع الناجم عن اضمحلال مصدرات β^+ قصيرة العمر سيقدر بحوالي 25%. أما بالنسبة لتوضع توزيع الجرعة، فيُعدّ الجمع ما بين تقانتي PET والعلاج بالبروتونات أمراً واعداً جداً [2]. ومن وجهة النظر المثالية، يكون الجمع في آن واحد بين هاتين التقانتين أمراً مرغوباً فيه؛ لكن ذلك صعب جداً من الناحية التقنية حيث يتطلب وضع العربة العلاجية المتنقلة وآلة PET قريبتين جداً من بعضهما (حول المريض). وقد تبين أن إجراء استقصاء بواسطة PET بعد العلاج بالأيونات (باستخدام النظير ^{11}C المتشكل أثناء الجلسة العلاجية) هو أكثر ملاءمة ويُمارس لدى بضعة مراكز علاجية.



الشكل 3– تابع الإثارة للعملية $^{nat}N(p,x)^{11}C$. انظر المرجع [14] من أجل إجراء جمع تفصيلي للبيانات حتى 20 MeV. تمت مهيأة الشكل من المرجع [28].

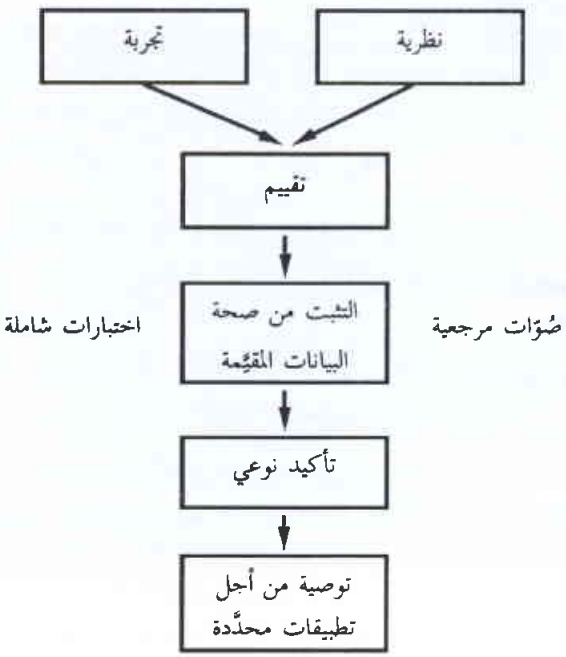
كخلاصة لما سبق، قد لا تكون للمقاطع الفعالة للتنشيط أهمية بالغة في التطبيقات العلاجية العامة؛ لكنها تغدو ذات أهمية كبيرة عند متابعة بعض المظاهر العلاجية الخاصة.

إنشاء ملف بيانات نووية

تشتمل عملية إنشاء ملف بيانات نووية من أجل استخدامات مختلفة على عدة مراحل (الشكل 4). وتُجرى قياسات تجريبية باستخدام التنشيط والطرائق الطيفية في آن واحد. ومن الأهمية بمكان أن تتضمن البيانات التي جرى نشرها وصفاً كاملاً للتجربة ولمختلف مصادر الخطأ مع مقاديرها المحسوبة. أما المصدر الثاني للبيانات فهو النظرية. وقد جرى تطوير العديد من النماذج النووية للتنبؤ بمقاطع فعالة غير معروفة. ويطلق اسم "تقييم" على عملية الجمع بين البيانات التجريبية والنتائج النظرية للحصول على أفضل قيم للمقاطع الفعالة. ويحاول المقيّم أن يشتق "أفضل" القيم من مجموعة تجارب ناقصة ونماذج نظرية ذات موثوقية جزئية فقط. وغالباً ما يضطر إلى إجراء عدة عمليات ضبط أو تعديل من خلال الممارسة. و في مجالات للطاقة حيث لايوجد سوى القليل من القياسات إما بسبب نقص التجهيزات أو بسبب صعوبات تجريبية، يستدعي الأمر الاعتماد بشكل

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

تطوير بيانات نووية من أجل تطبيقات محدّدة



الشكل 4- خطوات في عملية تطوير ملف بيانات نووية من أجل تطبيقات محددة.

قوي على النظرية. ويكون هدف الخطوة اللاحقة التأكد من صحة البيانات المقيَّمة؛ وهذا يتحقق عموماً من خلال بعض الصُوَّات المرجعية benchmarks أو الاختبارات الشاملة. وفي حال حدوث انحرافات كبيرة يغدو ضرورياً إجراء قياسات أو حسابات جديدة. وإذا أظهرت تجارب التأكد من الصحة موثوقية جيدة يغدو من الضروري أيضاً إجراء بعض الاختبارات الداعمة، وبخاصة توصيف الأخطاء وإيضاح حدود الاستخدام. وهكذا، تُعتبر البيانات المتحصل عليها بهذه الطريقة بيانات موصى بها، وتشكل في حد ذاتها "ملفاً file" لبعض التطبيقات الخاصة.

توجد في الأدبيات العلمية أنواع عديدة من ملفات البيانات التي يجري تنسيقها بواسطة واحد أو أكثر من مراكز رئيسة للبيانات النووية، ألا وهي:

- NNDC، بروكهافن - الولايات المتحدة الأمريكية.
- مصرف بيانات OECD-NEA، باريس - فرنسا.
- قسم البيانات النووية التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا - النمسا.
- مركز البيانات النووية، أوبنينسك - روسية.

من جهة ثانية، نجد أن معظم الملفات تعالج بيانات ذات علاقة بالطاقة. و فيما يتعلق بالاستخدامات الطبية، لاتزال الجهود الموظفة حتى تاريخه متواضعة نوعاً ما ومعظمها موجه نحو العلاج بالنترونات. كذلك، لاتزال منهجية التقييم، (وخاصة من أجل البيانات المتعلقة بالتطبيقات التشخيصية) حتى تاريخه، غير متطورة بالقدر الذي يعادل التطور الحاصل في البيانات ذات العلاقة بالطاقة. وهناك نوعان من الجهود الحديثة الشاملة التي يتوقع لها ملء الفجوات الموجودة حالياً في البيانات، أحدهما يتعلق بالنظائر المشعة التشخيصية [14]، بينما يعالج الآخر موضوع العلاج بالهدرونات [18]. ومهما يكن من أمر، لاتزال الحاجة ملحة إلى مزيد من الجهود التفصيلية اللازمة لتعزيز معرفتنا حول ما يتعلق بنواحٍ عدة ذات علاقة بالتشخيص والعلاج.

المراجع REFERENCES

[1] Stöcklin, G., Qaim, S. M., Rösch. F.: The impact of radioactivity on medicine. Radiochimica Acta 70/71, 249 (1995).

[2] Qaim, S. M.: Radioactivity in medicine: achievements, perspectives and role of nuclear data. Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology. Trieste, Italy, May 1997 (Reffo, G., Ventura, A., Grandi, C, Eds.), Italian Physical Society 59, 31 (1997).

[3] Stabin, M.: MIR-DOSE 2 Program. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. Tennessee, USA (1985).

[4] Pfennig, G., Klewe-Nehenius, H., Seelmann - Eggebert, M.: Karlsruher Nuklidkarte. Forschungszentrum Karlsruhe, Germany (1995).

[5] Browne, E., Firestone, R. B.: Table of Radioactive Isotopes. (Shirley, V S., Ed.), Wiley, London (1986).

[6] Nuclear Data Sheets, Periodic issues.

[7] Weber, D. A., Eckerman, K. G., Dillman, L. T., Ryman. J. C.: MIRD-Radionuclide Data and Decay Schemes. Society of Nuclear Medicine, New York (1989).

[8] Hohn, A., Coenen, H. H., Qaim, S. M.: Positron emission intensity in the decay of ^{120g}I. Radiochimica Acta 88, 139 (2000).

[9] Qaim, S. M.: Nuclear data relevant to cyclotron produced short - lived medical radioisotopes. Radiochimica Acta 30, 147 (1982).

[10] Qaim, S. M.: Medical radioisotopes and nuclear data. Proc. IAEA - Consultants Meeting on Data Requirements for Medical Radioisotope Production. Tokyo, Japan, April 1987 (Okamoto, K., Ed.), Report INDC(NDS)-195, IAEA, Vienna (1988), p. 25.

[11] Kondo, K., Lambrecht, R. M., Wolf, A. P: ^{123}I production for radiopharmaceuticals XX. Excitation functions of the ^{124}Te(p,2n)^{123}I and ^{124}Te(p,n) ^{124}I reactions and the effect of target enrichment on radionuclidic purity. Int. J. Appl. Radiat. Isot. 28,395 (1977).

[12] Scholten, B., Kovacs, Z., Tarkanyi, f., Qaim, S. M.: Excitation functions of ^{124}Te(p,xn)$^{124, 123}$I reactions from 6

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

to 31 MeV with special reference to the production of ^{124}I at a small cyclotron. Appl. Radiat. Isot. 46, 255 (1995).

[13] Qaim;· S. M.: Recent developments in the study of isomeric cross sections. Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology. Gatlinburg, Tennessee, USA, May 1994 (Dickens, J. K., Ed.), American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois (1994), p.186.

[14] Gul, K., Hermanne, A., Mustafa, M. G., Nortier, F. M., Oblozinsky, P., Qaim, S. M. (Chairman), Scholten, B., Shubin, Y, Takacs, S., Tarkanyi, F. T., Zhuang, Y.: Charged Particle Cross Section Database for Medical Radioisotope Production. IAEA - TECDOC 1211, Vienna (2001), pp. 1 - 284.

[15] Kraft, G., Kraft-Weyrather, W., Taucher - Scholz, G., Scholz, M.: What kind of radiobiology should be done at a hadron therapy centre? Advances in Hadrontherapy. (Amaldi, U., Larsson, B., Lemoigne, Y, Eds.), Elsevier, Amsterdam (1997), p. 38.

[16] Kocherov, N. P. (Compiler): Status of Data Needed for Radiation Therapy and Existing Developing Activities in Member States. IAEA-Consultants Meeting, December 1996, Report INDC (NDS)-365, IAEA, Vienna (1997).

[17] Broerse, J. J., DeLuca, Jr., P. M., Dietze, G., Haight, R. C., Hirauka, T., Kawashima, K., Kocherov, N., Menzel, H. G., olsson, N., Wambersie, A., White, R. M., Zoetelief, J.: Nuclear Data for Neutron Therapy: Status and Future Needs. IAEA-TECDOC-992, Vienna, December (1997).

[18] Barschall, H. H., Chadwick, M. B. (Chairman). Jones, D. T. L., Meulders, LP, Schumacher, H., Young, PG.: Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection. ICRU Report 63, Bethesda, March (2000).

[19] Qaim, S. M., Wolfle, R.: Triton emission in the interactions of fast neutrons with nuclei. Nucl. Phys. A 295, 150 (1978).

[20] Scholten, B., Qaim, S. M., Stöcklin, G.: A systematic study of (n,^{7}Be) reactions on medium and heavy mass nuclei induced by 53 MeV d(Be) - breakup neutrons. Radiochimica Acta 62, 107 (1993).

[21] Qaim, S. M., Wu, C. H., Wölfle, R.: ^{3}He - particle emission in fast neutron induced reactions. Nucl. Phys. A 410, 421 (1983).

[22] Bodemann, R., Lange, H.- J., Leya, L, Michel, R., Schiekel, Th., Rösel, R., Herpers, U., Hofmann, H. J., Dittrich, B., Suter, M., Wölfli, W., Holmquist, B., Conde, H., Malmborg, P.: Production of residual nuclei by proton - induced reactions on C, N, O, Mg, Al and Si. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 82, 9 (1993).

[23] Schiekel, Th., Sudbrock, F., Herpers, U., Gloris, M., Lange, H. - J., Leya, I., Michel, R., Dittrich - Hannen, B., Synal, H. - A., Suter, M., Kubik, P. W., Blann, M., Filges, D.: Nuclide production by proton induced reactions on elements ($6 \leqslant z \leqslant 29$) in the energy range from 200 MeV to 400 MeV. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 114, 91 (1996).

[24] Michel, R., Bodemann, R., Busemann, H., Daunke, R., Gloris, M., Lange, H.- J., Klug, B., Krins, A., Leya, I., Lüpke, M., Neumann, S., Reinhardt, H., Schnatz - Buttgen, M., Herpers, U., Schickel, Th., Sudbrock, F., Holmquist, B., Conde, H., Malmborg, P, Suter, M., Dittrich - Hannen, B., Kubik, P. W., Synal, H. - A., Filges, D.: Cross sections for the production of residual nuclides by low - and medium - energy protons from the target elements C, N, O, Mg, Al, Si, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Y, Zr, Nb, Ba and Au. Nucl. Instr. Meth. Phys, Res. B 129, 153 (1997).

[25] Fassbender, M., Scholten, B., Qaim, S. M.: Radiochemical studies of (p,^{7}Be) reactions on biologically relevant elements in the proton energy range of 50 To 350 MeV. Radiochimica Acta 81, 1 (1998).

[26] Fassbender, H., Shubin, Yu. N., Qaim, S. M.: Formation of activation products in interactions of medium energy protons with Na, Si, P, S, Cl, Ca and Fe. Radiochimica Acta 84, 59 (1999).

[27] Fassbender, M., Shubin, Yu. N., Lunev, V P, Qaim, S. M.: Experimental studies and nuclear model calculations on the formation of radioactive products in interactions of medium energy protons with copper, zinc and brass: Estimation of collimator activation in proton therapy facilities. App. Radiat. Isot. 48. 1221 (1997).

[28] Fassbender, M., Scholten, B., Shubin, Yu. N., Qaim, S. M.: Activation cross section data for (p,x) processes of therapeutic relevance. Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology. Trieste, Italy, May 1997 (Reffo, G., Ventura, A., Grandi, C., Eds.), Italian Physical Society 59, 1646 (1997).■

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

تصوير وظيفي في الحي بتقنيتي التصوير المقطعي الطبقي SPECT و PET ★

هـ. هيرتسوغ
معهد الطب - مركز بحوث يولش - ألمانيا

ملخص

تسمح الطرائق الطبيّة النووية برؤية تشكيلة من العمليات الاستقلابية والفيزيولوجية في جميع أنحاء الجسم. وبالرغم من اكتشاف أن التصوير الومضاني المستوي مفيد في العديد من المسائل، فإن الحصول على المعلومات المكانية المفصّلة عن العضو المريض لايمكن أن يتم إلّا بطرائق التصوير المقطعي الطبقي. وبالاعتماد على استخدام النكليد المشع، هنالك إجراءان ملائمان من التصوير المقطعي الطبقي: التصوير المقطعي الطبقي المحوسب بإصدار فوتونات مفردة (SPECT)، والتصوير المقطعي الطبقي بإصدار بوزترونات (PET). يصف الجزء الأول من هذه الورقة التطور التاريخي لهاتين الطريقتين بالإضافة إلى أسسهما التقنية والمنهجية. ولشرح التنوع الكبير لتطبيقاتهما الممكنة، جرى تقديم نظرة شاملة لإجراءات SPECT وPET المستخدمة في البحوث بالإضافة إلى الممارسات الطبية. وعلاوة على ذلك، تمت مقارنة الطريقتين و لفت النظر لمزايا كل منهما.

الكلمات المفتاحية: توهين، وسم، خبيث، إرواء، نكليد مشع، منظومة، تصوير مقطعي طبقي، قفّاء.

مقدمة

تطورت خلال العقود الثلاثة الأخيرة إجراءات تصوير فعّالة جديدة في الطب لتحسين تشخيص الأمراض. تختلف الطرائق في أسسها الفيزيائية التي تعتمد عليها والصور الممكن إنجازها والمَيّز الزمني ونوعية المعلومات التي تنتجها. فبينما تقع قوة التصوير المقطعي الطبقي المحوسب (CT) والتصوير المقطعي الطبقي ذي التجاوب المغنطيسي (MRT) والفوق صوتي (US) في عارضة المعلومات البنيوية، فإن الميّزات الرائعة لطرائق الطب النووي تكمن في قابليتها لتصوير تشكيلة من العمليات الاستقلابية والفيزيولوجية في جميع أنحاء الجسم. ومن أجل هذا، توسم الركازات، التي تشترك في عمليات الاستقلاب والفيزيولوجيا، بالنكليدات المشعّة. تُنتج قياسات الإشعاع الصادرة عن هذه النكليدات أنواعاً مختلفة من المعلومات الضرورية للتشخيص. ولملاحظة البُعْد الزمني وكذلك المكاني للمعلومات يجب تطبيق طرائق التصوير المقطعي الطبقي. وتبعاً للنكليد المشع المستخدم هنالك إجراءان مختلفان للتصوير المقطعي الطبقي متاحان في الطب النووي: التصوير المقطعي الطبقي بإصدار فوتونات مفردة single photon emission computed tomography (SPECT)، والتصوير المقطعي الطبقي بإصدار بوزترونات positron emission tomography (PET).

إن الغرض من هذا الاستعراض هو أن نصف باختصار التطور التاريخي لهاتين الطريقتين بالإضافة إلى أسسهما التقنية والمنهجية. ولتوضيح التنوع الكبير للتطبيقات الممكنة، جرى تقديم أمثلة على إجراءات SPECT و PET المستخدمة في البحوث بالإضافة إلى الممارسات السريرية.

التطور التاريخي لـ SPECT و PET

أُعدَّت الاقتراحات الأصلية المتعلقة بـ SPECT و PET سابقاً في أوائل الستينيات من القرن الماضي من قِبل كول Kuhl وإدواردز Edwards [1] ومن قِبَل رانكوفتس Rankowitz ومعاونيه [2]. ولكن خوارزميات إعادة البناء غير الكافية المتوفرة في ذلك الوقت قد أعاقت الإدخال الناجح لهذه الأساليب. أصبحت الخوارزميات المقنعة متوفرة بابتكار CT وتطورها المبكر من قبل كورماك Cormack [3] وهاونسفيلد Hounsfield [4]. لقد تتطورت أولى منظومات SPECT التجارية في نهاية السبعينيات من القرن الماضي عندما وضعت كاميرات أشعة غاما التقليدية المستعملة في التصوير الوميضي المستوي على حامل خاص يسمح بدوران كاميرات غاما حول مريض مستلقٍ على ظهره. وبخاصة من أجل التطبيقات الدماغية أصبحت منظومات المكشاف الحلقي متوفرة. ولتحسين حساسية الـ SPECT تستخدم المنظومات التجارية الحالية اثنتين أو ثلاث أو حتى أربع من كاميرات غاما. وإلى جانب تحسين الحساسية أصبحت المنظومات ثابتة أكثر فأكثر من الناحية الميكانيكية إلى درجة أنها استخدمت في الأعمال السريرية الروتينية بأزمنة قياس تقلّ عن عشر دقائق.

وبموازاة تطور الـ SPECT، أدخلت نبائط PET أولاً وبشكل رئيسي في البحوث البيئية حيث تكون السيكلوترونات اللازمة لإنتاج مُصدِرات البوزترونات القصيرة العمر متوفرة على الأغلب. تستخدم معظم هذه المنظومات تجميعات حلقية أو شبه حلقية من مكاشيف يوديد الصوديوم (NaI) تحيط بالمريض. هنالك تحسّن مستمر في منظومات PET بالنسبة إلى الحساسية ومَيّز الصورة باستخدام بلّورات BGO بدلاً من بلّورات

★ نشر هذا المقال في مجلة *Radiochim Acta* 89, (2001). ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية

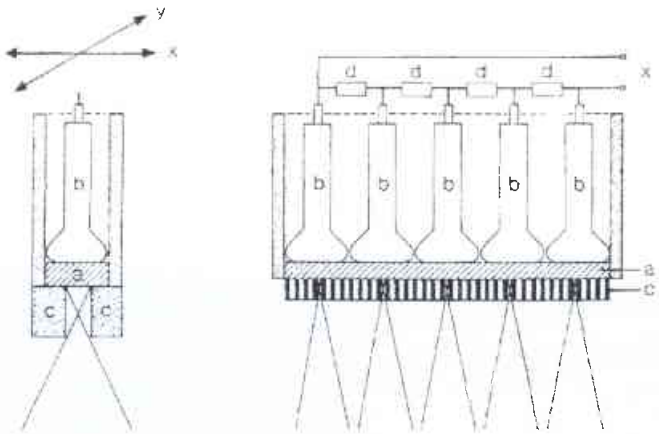
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

NaI، وبإدخال مخططات مكشاف الكتالة وتقنيات الاكتساب الثلاثية الأبعاد.

الأسس الفيزيائية والتقنية لـ SPECT و PET

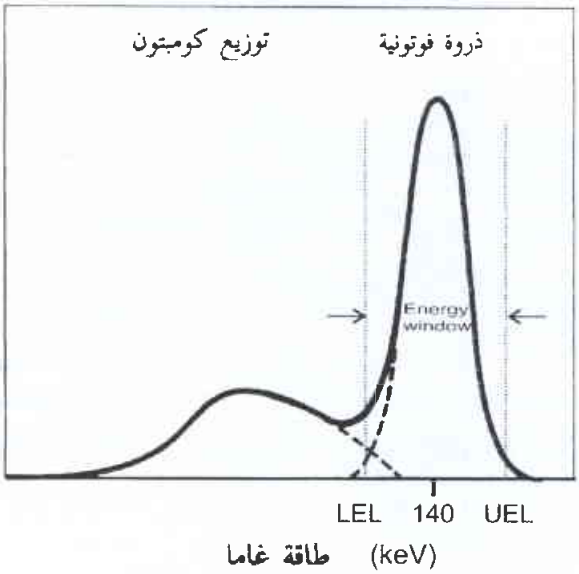
منظومة المكشاف

العنصر الأولي في أية منظومة مكشاف طبي نووي هو المكشاف الوميضي. يبيّن الشكل 1a مثل هذا المكشاف الذي يتألف على الأقل من بلّورة وميضيّة ومضاعف ضوئي. وتكون البلّورة الوميضيّة حسّاسة لطاقة الإشعاع γ الذي تصدره النكليدات المشعة المستخدمة في الطب النووي، بغض النظر عن كونها مُصدِرات فوتونات مفردة أو بوزترونات. يثير إشعاع – γ المادة الوميضيّة بحيث تصدر فوتونات ضوئية يضرب قسم منها الكاتود الضوئي للمضاعف الضوئي مسبّباً تأثيراً ضوئياً ينتج إلكترونات. يجري تضخيم هذه الإلكترونات ضمن أنبوب المضاعف الضوئي مما يؤدي إلى نبضة فولطية متناسبة مع عدد الفوتونات الضوئية المنتَجة ضمن البلّورة الوميضيّة، وبهذه الطريقة تكون متناسبة مع طاقة إشعاع γ الوارد. يبيّن الشكل 2 طيف الطاقة لمصدِر الفوتون الضوئي المفرد ^{99m}Tc. يتألف طيف الطاقة لهذا المصدِر بطاقة –γ مفردة وحيدة، فقط من قسمين. تكون النهاية العظمى للذروة الفوتونية عند طاقة – γ للنكليد المشع. يمثل طيف كومبتون Compton التوزيع الطاقي للفوتونات –γ التي فقدت جزءاً من طاقتها بسبب تبعثر كومبتون ضمن الجسم تحت الاستقصاء أو في البلّورة الوميضيّة. ومن أجل فصل إشعاع – γ الحقيقي عن ذلك الذي غيّر اتجاهه بفعل تبعثر كومبتون، تستخدم إلكترونيات التفريق للتمييز بين الذروة الفوتونية وتوزيع كومبتون. تعرّف الدارة المفرِّقة سوية الطاقة الأخفض والأعلى ولهذا فإن نافذة الطاقة داخل هذه السويات تحوي الذروة الفوتونية. ويجب إتمام قياس حادثة الإشعاع بالمكشاف الوميضي بالمعلومات حول اتجاه الإشعاع، إذا كان المراد بناء صورة لتوزيع



a) b)

الشكل 1– مكشاف وميضي (على اليسار) يتألف من بلّورة وميضية (a)، مضاعف ضوئي (b)، ومسدّد (c) يحصر اتجاه الإشعاع المكتشف. تتألف كاميرا غاما (على اليمين) من حزمة مضاعفات ضوئية b محمولة على بلّورة وميضية مفردة من NaI (a) ومسدّد (c). تستخدم شبكة من مقاومات (d) لوزن نبضات المضاعفات الضوئية المختلفة بغرض توضيع (x) الإشعاع المرئي.

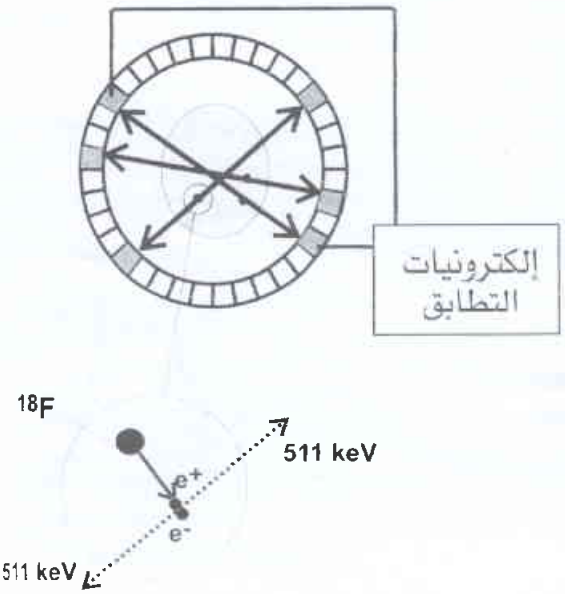


الشكل 2– طيف الطاقة للمصدِر غاما ^{99m}Tc مؤلف من ذروة فوتونية وطيف كومبتون. نافذة طاقة لكاميرا غاما مع سوية طاقتها الأدنى (LEL) وسوية طاقتها الأعلى (UEL) متمركزة عند الحد الأعظمي للذروة الفوتونية. يوجد تراكب بين توزيع كومبتون والذروة الضوئية.

الفعالية ضمن الجسم. في حالة مصدِرات الفوتونات المفردة يتم الحصول على هذه المعلومات بمساعدة مسددات من الرصاص أو التنغستين التي لا تسمح إلاّ لذلك الإشعاع بالوصول إلى المكشاف الذي يأتي من اتجاه تحدده ثقوب المسدِّد (الشكل 1). ويمكن الحصول مسبقاً على بيانات حول دخول الفعالية إلى العضو، وخروجها منه، ويُعدّ ذلك كتابع للزمن، بمكاشيف وميضية مفردة توضع على العضو تحت الدراسة. ولأخذ معلومات صورة ثنائية الأبعاد، ينبغي استخدام مجموعة من مكاشيف وميضية مفردة، كتلك المتوفرة في كاميرا غاما (الشكل 1b). تتألف كاميرا غاما من بلّورة واحدة كبيرة من NaI التي يُركّب عليها صفيف من المضاعفات الضوئية [5]. تُرى الفوتونات الضوئية الناتجة من أشعة – γ خلال بلّورة NaI بواسطة عدة مضاعفات ضوئية متجاورة. ولتركيز دخول أشعة – γ توزن الإشارات الناتجة من المضاعفات الضوئية بواسطة شبكة مقاوِمات مناسبة. وفوق ذلك، هنالك مسدد موضوع أمام بلّورة – NaI يستثني تقريباً كل إشعاع غير قادم من اتجاه عمودي على سطح كاميرا غاما. يوجد العديد من أنواع المسدّدات، مثل النظر باتجاه مائل. وعلى أية حال لن نناقش هذا الأمر هنا.

وفي الوقت الذي يكون فيه وجود مسدّد ميكانيكي ضرورياً من أجل قياس مصدِرات الفوتونات المفردة بواسطة التصوير الومضاني المستوي أو SPECT، فإن هذه المسدّدات الميكانيكية ليست ضرورية من أجل PET التي تستخدم ما يسمى التسديد الإلكتروني. يبيّن الشكل 3 الأسس الفيزيائية لـ PET. نجد هنا أن البوزترون هو النتيجة الأولية لاضمحلال النشاط الإشعاعي. وهو تبعاً لطاقته، التي هي نوعية للنكليد المشع الفردي، ينتقل لمسافة قصيرة بين أقل من ملّيمتر واحد وعدّة ملّيمترات يقترب بعدها من حالة الاستقرار، بحيث يكون قادراً على أن يتفاعل مع إلكترون من مادة مجاورة. وكنتيجة لذلك يتفاتى الجسيمان وينتجان زوجاً من

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



الشكل 3- مبدأ قياس التطابق باستخدام حلقة من مكاشيف وميضية مع مكاشيف مقابلة مرتبطة بإلكترونيات التطابق. يشير مخطط الجزء المخرق إلى إصدار بوزترون النكليد المشع ^{18}F وإصدار فوتونين 511 keV بعد أن يجتمع البوزترون مع إلكترون.

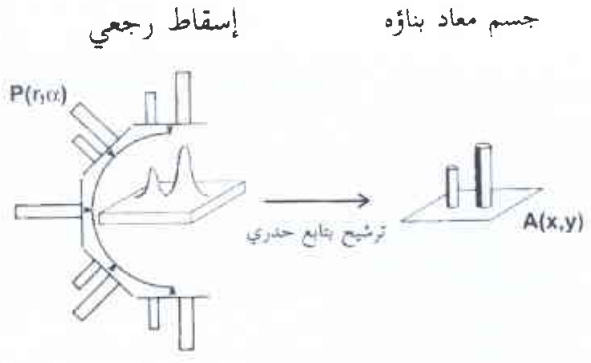
الفوتونات يصدران في اتجاهين متعاكسين بطاقة مقدارها 511 keV، تطابق كل منهما الطاقة السكونية لإلكترون واحد. تُجمع المكاشيف الوميضية في الـ PET غالباً كحلقة. وإذا ما ضرب فوتونان من الزوج الفوتوني مكشافين من الحلقة خلال نافذة زمنية قصيرة جداً (مثلاً 12 نانو ثانية) يُفترض أن هذين الفوتونين ينتميان إلى عملية الفناء نفسها (قياس تطابق الشكل 3). ولهذا، يُعتبر موضع الذرة المشعّة موجوداً على خط التوصيل بين المكشافين (= تسديد إلكتروني). وبهذه الطريقة يتم الحصول على المعلومة المتعلقة باتجاه إشعاع - γ دون أي تسديد ميكانيكي. وقد استمر التسديد بين حلقات المكشاف المجاور حتى بضع سنين مضت، ولهذا كان توجيه إشعاع - γ يتم ضمن مستوٍ واحد مما يسمح بنمط اكتساب ثنائي الأبعاد (2D) فقط. توفر أجهزة التصوير المقطعي الطبقي PET الحديثة نمط اكتساب ثلاثي الأبعاد (3D) تتحد فيه مكاشيف الحلقات المتجاورة بواسطة إلكترونيات التطابق [6,7]. تُظهر مثل هذه المنظومات الثلاثية الأبعاد زيادة في الحساسية تفوق حساسية المنظومة الثنائية الأبعاد بثلاث مرات إلى خمس.

إعادة بناء الصورة

لما كان التصوير المستوي، مثل التصوير الإشعاعي التقليدي أو التصوير الومضاني المستوي، يختصر التوزع الثلاثي الأبعاد ضمن الجسم إلى معلومة مُسقطة ثنائية الأبعاد، فإن إجراءات التصوير المقطعي الطبقي تعطي عرضاً تاماً ثلاثي الأبعاد. ومن أجل ذلك يجب اكتساب بيانات إسقاط من عدة معاينات حول الجسم يمكن الحصول عليها باستخدام حلقة من المكاشيف أو باستخدام كاميرا غاما واحدة - أو أكثر - تدور حول المريض [8]. إن العلاقة الأساسية التي تجمع بين بيانات الإسقاط المقيسة خارج الجسم وبين تركيز الفعالية داخل الجسم تعطى في المعادلة:

$$P(r,\alpha) = \int_{L(r,\alpha)} A(x,y)\,dl(r,\alpha) \qquad (1)$$

أول من قدّم هذا الشكل من المعادلة الرياضياتي الألماني رادون Radon ولذلك يطلق عليها اسم تحويل رادون [9]. إنها تصل بين توزع الفعالية الثنائي الأبعاد A(x,y) المُعبَّر عنه بالإحداثيات الديكارتية وبين التكاملات الخطية P(r,α) المُعبَّر عنها بالإحداثيات القطبية. التكامل الخطي هو مجموع كل الفوتونات المقيسة بمكشاف ينظر إلى الجسم بزاوية محددة α. ويحدَّد المنظر الحقيقي للمكشاف بالإحداثيات القطبية r و α (انظر أيضاً الشكل 7). لم تأخذ المعادلة (1) بعين الاعتبار الفوتونات الصادرة بالنشاط الإشعاعي، وإنما الممتصة والمتبعثرة داخل الجسم. تعتمد كمية الامتصاص والتبعثر على كثافة وشكل نسيج الجسم وعلى الميّزات الفيزيائية للنكليد المشع. هنالك اختلافات معتبرة في معالجة هذه التأثيرات بالـ SPECT و PET. وفي حال إمكانية تجاهل هذه التأثيرات أو تصحيحها بشكل مقنع، فإن العمل للتوصل من بيانات الإسقاط المسجّلة P(r,α) إلى تركيز الفعالية المجهول A(x,y)، أي حل المعادلة (1) بالنسبة إلى A(x,y) هو ذاته من أجل PET و SPECT. إن أكثر طرائق إعادة البناء استخداماً من أجل الحصول على A(x,y) هي الإسقاط الراجع المرشح [10]. وطبقاً لمصطلح الإسقاط الراجع فإن البيانات المسجلة من عدة معاينات α يعاد إسقاطها باستمرار على المستوي x,y. على كل حال، يعطي تراكب جميع بيانات الإسقاط الراجع فقط صورة مشوشة عن توزيع الفعالية الحقيقي. ولذلك يجب تدقيق هذه البيانات باستخدام مرشّح مناسب مثل المرشح الحدري الذي يضخّم مركبات التواترات العالية مفضّلاً ذلك على التواترات المنخفضة (الشكل 4). تمثل الصورة الناتجة تركيز الفعالية المطلوب A(x,y). إن الإسقاط الراجع المرشح في معظم التطبيقات هو طريقة إعادة البناء المختارة كما هو الحال في جميع الدراسات حيث تسجل كمية كافية من الفوتونات بواسطة مكاشيف إشعاعية وحيث يكون تباين الفعالية بين البنى المهمة المتجاورة غير عالٍ. وإذا لم يتم تحقيق هذين الشرطين، يصبح النتاج الصنعي المخطط (المقلّم) مرئياً. يمكن تجنب مثل هذا النتاج الصنعي بطريقة إعادة بناء بديلة تحسِبُ صورة الفعالية بشكل تكراري بطريقة جبرية. يمكن اشتقاق هذه الطريقة من وجهة النظر الإحصائية والعددية، وقد تمّ وصف الطريقة العددية هنا بشكل مختصر. ووفق هذا المنهج يمكن إعادة كتابة المعادلة (1) كجداء مصفوفات:



الشكل 4- مبدأ الإسقاط الرجعي المرشّح. تكون بيانات الإسقاط المختلفة مسقطة رجعياً في مكان التصوير وفائقة التراكب، منتجةً جسماً غير واضح يُستنبط منه الجسم المرغوب المعاد بناؤه المرغوب بعد استخدام ترشيح حدري.

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

$$P_n = Z_{mn}a_m \qquad (2)$$

حيث تدل p_n على مصفوفة تشمل جميع عناصر الإسقاط، وتمثل a_m بيانات الفعّالية عند عنصورات الصورة m مثل توزيع الفعّالية المجهول. تصف عناصر المصفوفة Z_{mn} الطريقة التي تساهم فيها حوادث التطابق الصادرة عن عنصورة الصورة m في الإسقاط المفرد P_n. وعموماً لايمكن حل هذه المعادلة من أجل المصفوفة المجهولة a_m. وبدلاً عن ذلك يتم حلّها بطريقة مغايرة مثل استعمال الخوارزمية كالتالي:

$$a_m^{n+1} = a_m^n \sum z_{mn} \frac{p_n}{\sum z_{nm} a_m^n} . \qquad (3)$$

تمثل هذه المعادلة طريقة الحد الأقصى المتوقع (EM) للاحتمال الأعظمي (ML) من أجل إعادة البناء المكرر [11]. يُنصح باستخدام إعادة البناء المكرر خاصة في حالة الإحصاءات المنخفضة والصور العالية التباين. كانت المثالب المبكرة لهذه الطريقة تتمثل في زمن الحوسبة الطويل جداً - وهي المشكلة التي حُلّت بواسطة الحواسيب السريعة وبإدخال بارامترات التسريع [12] بالإضافة إلى طريقة المجموعة الجزئية الموجّهة [13]. إن الدقة الكمّية المؤمّنة في إجراء ML-EM الأصلي قد لا تكون مضمونة من أجل الحلول الأخرى. وبالنظر في الأدبيات نجد الكثير من الاقتراحات المختلفة من أجل إعادة البناء المتكرر لتطبيقات كل من SPECT وPET قد نشرت في السنوات الأخيرة [14].

وكما تمّ توضيحه سابقاً يكون المرشح الحدري (الممر العلوي) هو جزء التكامل للإسقاط الراجع المرشح، ويوازن ميّزات الممر السفلي لحد الإسقاط الراجع. ومن أخطر مساوىء ترشيح الممر العلوي تضخيم الضجيج الإحصائي الموجود في العدّات المقيسة. ومن أجل هذا، يكون المرشح الحدري مقتصراً على التواترات المنخفضة و/أو يُضاعَف مع تابع نافذة مناسب لإضعاف ميّزات الممر العلوي للمرشح الحدري. وكمثال على توابع النافذة هذه نافذة هان Hann، شب - لوغان Shepp-Logan، هامينغ Hamming، بارتزين Parzen أو بتروورث Butterworth. وبالرغم من الترحيب بتخفيض الضجيج الإحصائي العالي التواتر، فيجب على المرء أن يأخذ بالاعتبار أن مَيْز الصورة يصبح أسوأ إذا قورن باستخدام المرشح الحدري الأصلي. يؤدي مَيْز الصورة المنخفض إلى تخطيط أسوأ للتفاصيل الصغيرة وإلى تخفيض كمال الصورة. إن لمَيْز الصورة المنخفض العائد إلى استخدام نافذة حدّية التواتر عواقب مشابهة كاستخدام منظومة مكشاف بمَيْز ذاتي منخفض. وفي الحالتين يزداد تأثير الحجم الجزئي. يسبب هذا التأثير تقديراً بخساً للفعالية الملاحظة القريبة من الفعاليات المنخفضة مغالاة تقدير قرب تراكيز الفعالية العالية، ويكون مناسباً بشكل خاص للبنى الصغيرة. ولتخفيض مثل هذه الأخطاء بالتوافق مع كبت كافٍ للضجيج يجب أن يتم اختيار توابع النافذة وحدّ التواتر الأعلى لها بعناية فائقة.

رغم أن إعادة البناء المكرر لايشمل مشكلة المرشح كما نوقش منذ قليل، إلاّ أن هنالك بعض الميّزات الأخرى يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. وبصورة عامة، إن إعادة البناء المكرّر تسمح بمَيز للصورة قريب لمَيْز المسح الأمثل. على أية حال، يعتمد مَيْز الصورة النهائي عملياً على خوارزم إعادة البناء الفردي وعلى انجازه النوعي. وهكذا يجب ضبط أداء المَيْز للبرنامج الفردي. تقول القاعدة العامة بأن المَيْز يصبح أفضل مع إعادة التكرار مرات عديدة. وعلى أية حال، تبدي بعض إجراءات إعادة البناء المكرر مثل طريقة ML-EM ضجيجاً عالي التواتر عند القيام بإجراء تكرارات عديدة، رغم أن تقارب الطريقة مضمون. وفوق ذلك، فإن زيادة الضجيج تعتمد على إنجاز البرنامج النوعي. ولتجنب مثل هذا الضجيج، اقتُرحت تعديلات لخوارزميات إعادة البناء و/أو معالجة تالية للترشيح. وفي كلتا الحالتين يصبح مَيْز الصورة أسوأ بحيث تتم زيادة تأثير الحجم الجزئي، ويمكن للدقة الكمية لـ PET أن تنخفض [15].

طُوِّرت خوارزميات مناسبة لـ 3D-FBT من أجل إعادة بناء بيانات مكتسبة مع نمط 3D، [17,16]. ورغم أنه لايمكن حل المعادلة (1) بشكل صحيح من أجل حالة 3D، فإن عدة مقاربات من أجل 3D-FBF استخدمت بنجاح مع منظومات PET تجارية. وفي الوقت نفسه فقد بُرهن على أن دقتها الكمية أصبحت مرضية. وفوق ذلك من الممكن إعادة خزن بيانات 3D في المخططات الجيبية بحيث يمكن إعادة بنائها كما هو معروف من نمط اكتساب 2D. وفي حالة إعادة خزن شريحة مفردة يتم تجميع الإسقاطات المائلة في المخطط الجيبي 2D العائد إلى المستوي الذي تُقاطِع فيه الإسقاطات المائلة المحور المركزي. توزّع طريقة إعادة الخزن المتعدد الشرائح الإسقاطات المائلة في المخططات الجيبية لهذه المستويات التي تُقاطَع بالإسقاط المائل [18]. تُطبّق طريقة إعادة خزن فوريه (FORE) توزعاً موزوناً للمخططات الجيبية 2D بحيث تعتبر العلاقة بين المستويات المستقيمة والمستويات المائلة في الطريق الصحيح نظرياً [19]. يمكن إعادة بناء المخططات الجيبية 2D الناتجة عن طرائق إعادة الخزن المختلفة بواسطة الإسقاط الراجع المرشّح التقليدي 2D أو بطريقة البناء المكرّر.

إجراءات التصحيح

يجب أن تكون المعلومات المتوفرة في صور SPECT أو PET المعاد بناؤها خطيةً للفعّالية الأساسية، أي يجب أن يُمثّل تركيز الفعّالية المضاعف في نسيج معين بقيمة عنصورة مضاعفة في الصورة المعاد بناؤها. ومن ناحية أخرى، فإن الإشعاع الصادر بسبب الفعّالية يكون مشوّهاً بعدة طرق قبل أن يصل إلى المكاشيف الوميضية والإلكترونيات المكتسبة. ويمكن لأشعة - γ، في طريقها عبر نسيج الجسم، أن تتبعثر و/أو تُمتص (الشكل 5). وفوق ذلك، يمكن أن يؤدي الوقت الضائع للمكاشيف إلى نتائج خاطئة. يجب أن يؤخذ التطابق العشوائي في PET بعين الاعتبار (الشكل 5b). ومن أجل تأمين الخطية لقياس الإشعاع لا بدّ من تصحيح هذه التأثيرات [20].

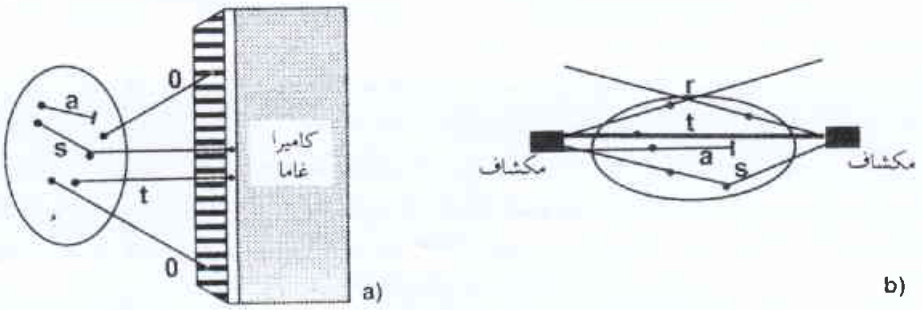
تصحيح التوهين

كما هو مبيّن في المعادلات التالية، يتعلق أحد الاختلافات الرئيسة بين SPECT و PET بتصحيحات تلك الفوتونات التي تمّ امتصاصها داخل الجسم (الشكل 5).

تبدو معادلة الإسقاط لـ SPECT على الشكل التالي:

$$P(r,\alpha) = \int_{L(r,\alpha)} A(x,y) \times \exp\left(-\int_{L'(r,\alpha)} \mu(x,y)\, dl'(r,\alpha)\right) dl(r,\alpha), \qquad (4)$$

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



الشكل 5– إشعاع صالح (t = صحيح) وغير صحيح يُرى بكاميرا غاما و/أو زوج مكشاف متطابق إشعاع مبعثر (s) وتطابقات عشوائية (r). يُمتص جزء من الإشعاع ضمن الجسم (a). تتقبل كاميرا غاما فقط تلك المعلومة (t) التي تتطابق مع اتجاه ثقوب المسدّد، بينما تُرفض بقية الفوتونات (0).

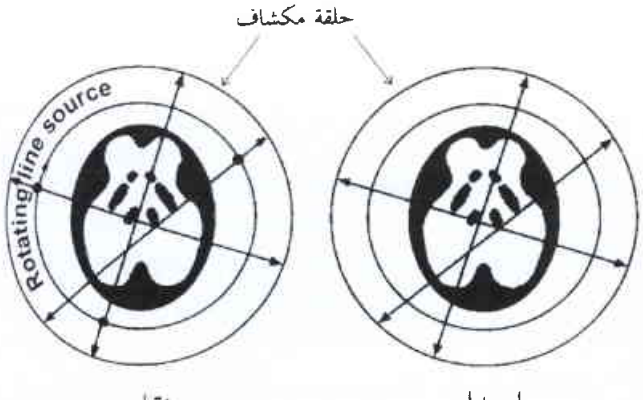
بينما تصف المعادلة التالية الإسقاطات الملائمة لـ PET:

$$P(r,\alpha) = \int_{L(r,\alpha)} A(x,y)\,dl(r,\alpha) \times \exp\left(-\int_{L(r,\alpha)} \mu(x,y)\,dl(r,\alpha)\right) \quad (5)$$

$$AF = \exp\left(-\int_{L(r,\alpha)} \mu(x,y)\,dl(r,\alpha)\right) \quad (6)$$

$$P^{corr}(r,\alpha) = P(r,\alpha)/AF = \int_{L(r,\alpha)} A(x,y)\,dl(r,\alpha)\,. \quad (7)$$

يوضح الشكل 6 العلاقات (5) – (7). الميزة الحاسمة لـ PET هي أن التكامل على توزيع الفعالية A(x,y) والصيغة الأسية الحاوية μ(x,y) هما حدّا جداء يمكن تحديدهما على مرحلتين، واحدة تلو الأخرى. ولكي نصحح توهين الفوتون، يحدَّد عامل التوهين AF(6) عادة بواسطة قياس النقل، مثلاً، عشر دقائق غالباً قبل حقن الواسم. ومن أجل هذا التصحيح يتم الحصول على المعادلة (7) لشكل صيغة تحويل رادون (1) ويمكن حلّها كما تمَّ شرحه سابقاً. إن تصحيح التوهين أساسي إذا أُريد بأن يكون



الشكل 6– في الـ PET يعطي قياس النقل عوامل التوهين للتصحيح من أجل الامتصاص على الخطوط نفسها التي يسجل فيها مسح الإصدار حوادث التطابق.

قياس PET كمياً. وإذا لم يتم هذا التصحيح، من أجل تقصير زمن الاكتساب في دراسات كامل الجسم مثلاً، يكون الحكم على نتائج PET كيفياً فقط. وعلاوة على ذلك، فإن الصور المعاد بناؤها في حالة عدم إجراء تصحيح التوهين تُظهر تشوهات خطيرة.

إن تراكيز الفعالية، التي تكون نفسها في داخل الجسم وعلى حدوده، قد صُوِّرت بشكل مختلف تماماً مع زيادة تقدير للفعالية على الحدود. كما أن صورة الـ PET بدون تصحيح التوهين ليست خطية. هنالك أسلوب جديد يهدف إلى تحقيق مسح نقل قصير جداً بدون فَقْد لنسبة الإشارة إلى الضجيج، يكمن في استخدام مصدرات فوتونات مفردة بدلاً من مصدرات بوزترونات من أجل مصدر النقل. يمكن بهذه الحالة قياس عدّات أكثر في وقت أقصر بكثير. وإذا تمَّ قياس النقل بواسطة مصدرات البوزترونات فقط، فسنحتاج إلى فوتون واحد من أجل معلومة النقل، ويُستخدم الفوتون الآخر فقط لتعريف خط الاستجابة (انظر الشكل 6). وإذا كان من الممكن تعيين خط الاستجابة بطريقة أخرى مثل تقفّي مسار مصدر النقل، فلا حاجة لمصدِرات البوزترونات. وبدلاً عن ذلك يمكن استخدام مصدِرات فوتونات مفردة لها الطاقة نفسها ولكن بعمر نصف أطول بكثير مثل مُصدِر الفوتونات المفردة ^{137}Cs بطاقة فوتون تساوي 662 keV [21, 22]. وبالنظر لطاقة الفوتون الأعلى، فإن بيانات التوهين المقيسة تختلف عن تلك الصحيحة من أجل 511 keV رغم أن صورة النقل هي من الناحية العملية متطابقة وهنالك طريقة لتصحيح هذا الفرق تتمثل في تعديل عوامل التوهين المقيسة إلى طاقة الفوتون 511 keV. وهنالك طريقة أخرى تتمثل في تقطيع صورة النقل المعاد بناؤها وإدخال معاملات التوهين المعيارية من أجل مختلف النسج. تؤدي الطريقة التي ذكرت أخيراً إلى معاملات توهين خالية من الضجيج AF. ويمكن باستخدام هذا الأسلوب تخفيض زمن النقل إلى عشر دقائق فقط من أجل خمسة مواقع طبقية. وفوق ذلك يتم تجنب التشوهات بين مختلف أجزاء الجسم.

وبعكس PET، فإن مسح النقل المعمول بـ SPECT لايتمكن مباشرة من تحقيق تصحيح التوهين بشكل دقيق لأنَّ مسار التكامل L'(r,α) الواصل بين نقطة الإصدار إلى سطح الجسم يبقى غير معروف. ولذلك، فإن معادلة الإسقاط من أجل SPECT [4] لايمكن حلّها بصورة تحليلية، مثلاً بالإسقاط الراجع المرشَّح. يهمَل حَدُّ التوهين تماماً في بعض التطبيقات بفرض $\mu = 0$، أي يعني عامل التوهين للهواء. ورغم هذا التبسيط فإن SPECT بدون تصحيح التوهين برهنت على أنها مفيدة جداً في كثير من التطبيقات السريرية، وبخاصة دراسات القلب، (انظر لاحقاً). ويمكن بالنظر إلى الدماغ أو التجويف البطني تسويغ فرض ثبات μ، وهذا يعني أن قيمتها بالنسبة إلى الماء تبلغ 0.154 cm^{-1}. ويتطلب السماح بتصحيح التوهين السابق لإعادة البناء أن تكون بيانات الإسقاط حول المريض تماماً،

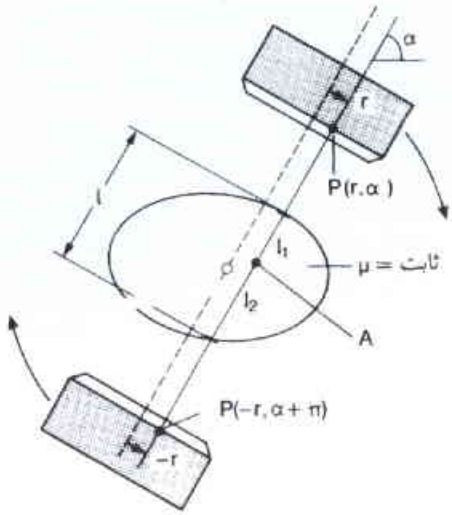
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ثم تُوسط هندسياً المناظر المقابلة (الشكل 7). وبسبب هذا التجميع وبفرض أن μ ثابتة من أجل إعادة بناء قسم التصوير المقطعي الطبقي يمكن اشتقاق العامل التالي AF من أجل ما يسمى بتصحيح التوهين من المرتبة الأولى [23].

$$AF = (1-\exp(-\mu l))/\mu l \qquad (8)$$

وبهذا تكون معادلة الإسقاط من أجل هذه المقاربة على الشكل:

$$P^{corr}(r,\alpha) = P^{geo}(r,\alpha)/AF = \int_{l,(r,\alpha)} A(x,y)dl(r,\alpha) \qquad (9)$$



الشكل 7– مبدأ الإسقاطات المتعاكسة من أجل تحقيق تصحيح توهين المرتبة الأولى لبيانات SPECT.

ونجد في المشابه هنا إلى PET أن الإسقاط الراجع المرشّح يجمع الإسقاطات إلى نصف الدائرة الواحدة فقط. وبالاستناد إلى هذا الأسلوب طُوِّر تصحيح التوهين من المرتبة الثانية من أجل بيانات SPECT، بإدخال خطوة معالجة واحدة أو أكثر (بالتقريب التكراري) من أجل زيادة الدقة في التصحيح [24].

تصحيح التبعثر

يمكن للفوتون أن يغيّر اتجاهه داخل الجسم بسبب تبعثر كومبتون كما هو واضح في الشكل 5. تسبب مثل هذه الفوتونات خلفية منخفضة التواتر وتخفض التباين في الصورة. وتكمن الوسائل الرئيسة لحذفها بتمييز الطاقة. ينتج عن تبعثر كومبتون فقدان في الطاقة ولهذا تسهم الفوتونات في توزيع كومبتون المبيّن في الشكل 2. يعرِّف تمييز الطاقة الإلكتروني نافذة الطاقة حول الذروة الفوتونية حيث تكون العتبة الأخفض في الفصل بين الفوتونات المتبعثرة والفوتونات غير المتبعثرة. ويوجد دوماً كما هو مبيّن في الشكل 2 تراكب صغير. و من جهة أخرى يجب أن توضع عتبة الطاقة الأخفض بشكل لاتكون فيه عالية جداً حتى لايتم فَقْد الكثير من الفوتونات اللامتغيرة ومن الحساسية. إن عرض نافذة الطاقة المعبّر عنه بالنسبة المئوية لطاقة الذروة الفوتونية يعتمد على خرج الضوء للمادة البلّورية الوميضيّة. وعلى هذا الأساس فإن NaI المستخدم من أجل SPECT ملائم أكثر من BGO. وبالرغم من نافذة طاقتها أعرض فإننا نجد BGO في معظم ماسحات PET لأن كثافتها أكثر ملاءمة من أجل طاقة 511 keV لفوتونات PET من تلك التي لِ NaI.

ونظراً لاستحالة استبعاد جميع الفوتونات المتبعثرة بواسطة تمييز الطاقة، كان من الضروري تطبيق معالجات إضافية للتصحيح. اقتُرح العديد من الطرائق المختلفة. أسهل الطرائق هي في تعديل تصحيح التوهين من المرتبة الأولى باستخدام μ مساوياً $0.12\ cm^{-1}$ بدلاً من $0.154\ cm^{-1}$. وبتضعيف تصحيح التوهين يكون تضمين تصحيح التبعثر ممكناً بطريقة ما. إن الأسلوب الرئيس هو في تقنية النافذة الثنائية الطاقة. وهنا تسجل البيانات في نافذة الذروة الفوتونية بالإضافة إلى تسجيلها في النافذة التي تغطي توزيع كومبتون. يفترض أن الفوتونات المتبعثرة $P^{Compton}$ المقيسة داخل نافذة كومبتون وداخل الذروة الفوتونية لها نسبة ثابتة κ، ولهذا يمكن إجراء التصحيح طبقاً لِـ:

$$P^{corr} = P^{pp} - \kappa . P^{Compton} \qquad (10)$$

حيث تدل P^{pp} على جميع الحوادث – غير المتبعثرة والمتبعثرة – المسجلة داخل الذروة الفوتونية [25]. المشكلة الأساسية هي أن κ تابعة للجسم تماماً. وبالإضافة إلى هذه الطريقة السهلة طورت طرائق تصحيح أكثر تعقيداً [28 - 26] مما أدى إلى تحسين مهم في الدقة الكمية لـ SPECT في كثير من التطبيقات.

رغم أن الأساس هو نفسه فإن مشكلة التبعثر في PET تختلف في بعض المظاهر عن تلك الموجودة في SPECT. فطبقاً لطاقة الفوتون الأعلى، تكون كمية الفوتونات المتبعثرة أقل. ومن ناحية أخرى تقدم ماسحات PET الحديثة نمط اكتساب – 3D، حيث تتراجع الحواجز التي تمنع التبعثر وبذلك يمكن أن يتم تبعثر 50% من التطابقات المقيسة. تستخدم إحدى طرائق التصحيح نمط تبعثر كلاين – نيشينا Klein-Nishina وتتطلب قياس النقل الإضافي لتجميع معلومات عن المادة المتبعثرة [26]. اقتُرح إجراء أسهل من قبل ستيرنز Stearns [30]. يقاس من أجل نمط قياس 2D منبعٌ نقطي في الهواء وفي الماء، حيث يمكن نمذجة تابع تبعثر وتطبيق نمط تصحيح قائم على طرح التفافي [31]. ويمكن رغم التصحيحات أن يوجد جزء تبعثر متبقٍّ يبلغ 5 إلى 10%. تكمن المشكلة النوعية من أجل 3D-PET في الإشعاع المتبعثر القادم من خارج حقل الرؤية. ويجب هنا أن تكون الطريقة المثلى هي أسلوب الطاقة الثنائي المطبّق على كل عنصر مكشاف، والذي يحتاج مع ذلك إلى زيادة معتبرة في كلفة الإلكترونيات.

تصحيح الوقت الضائع

تُظهر جميع المكاشيف الومضانية تأثير الوقت الضائع إذا كانت سرعة العدّ المقيسة عالية. يتعلق الوقت الضائع بجميع الفوتونات (غير المتبعثرة والمتبعثرة) المرئية في المكاشيف. ولتصحيح الوقت الضائع يتم إجراء قياسُ معايرة يربط العدّ الناتج من مصدر فعّالية مع الفوتونات المقيسة فعلاً حقيقة بواسطة نسائق مكاشيف مفردة. أما بالنسبة إلى PET فإن الوقت الضائع لايتعلق بمعدّل التطابق فقط بل بجميع الفوتونات التي تتضمن أيضاً الفوتونات الناتجة من الفعالية خارج حقل الرؤية.

التصحيح من أجل التطابقات العشوائية

إن هذا النوع من التصحيح نوعي من أجل PET. يحصل التطابق العشوائي إذا كان فوتونان مفردان منتسبان إلى إصدارَي بوزترون مختلفين قد جرى تسجيلهما بمكشافين متعاكسين ضمن نافذة زمن التطابق واعتُبرا بصورة زائفة كحادث تطابق (الشكل 5b). تسبب التطابقات العشوائية خلفية منخفضة التواتر. يوجد إجراءان لتصحيح التطابقات العشوائية. تستخدم الطريقة القائمة على المكونات hardware نافذة زمن التطابق المتأخر الذي يملك الطول نفسه لنافذة التطابق الأصلية. تعتبر جميع التطابقات التي جرى عَدُّها في المجال الثاني عشوائية وتطرح مباشرة من التطابقات المقيسة (فوراً). تنجز الطريقة الثانية تصحيحاً محسوباً [32]. تقاس في هذه الحالة أيضاً معدّلات العدّ المفردة للمكاشيف الوحيدة S_i. وبمعرفة معدّلات العدّ هذه وأمد نافذة زمن التطابق τ تعطى التطابقات العشوائية R بالعلاقة:

$$R = 2\tau S_i S_j \qquad (11)$$

التي تطرح من التطابقات المقيسة كخطوة سابقة لإعادة البناء.

تطبيقات SPECT

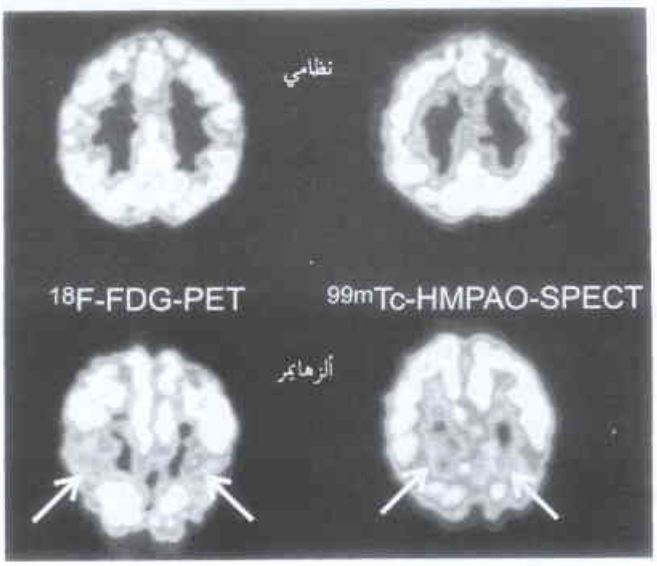
يمكن أن تتوفر التطبيقات السريرية الوثيقة الصلة بتصوير SPECT من أجل جميع أعضاء الجسم عملياً بدءاً من الدماغ إلى الرئة والقلب والكبد ونزولاً حتى القدمين. وتشير معظم النشرات عند النظر في الأدبيات إلى مشاكل الأمراض القلبية والعصبية. تتجلى الميزة النوعية لـ SPECT في أن زمن الاكتساب لـ SPECT مع مكاشيفه الدوّارة يبطء حول المريض أطول مما هو في منظومات المكشاف الحلقي PET - الشرط الأساسي لـ SPECT هو أن توزيع الصيدلانيات المشعة المحقونة في المريض يبقى عملياً مستقراً أثناء دوران المكشاف حول المريض. ولهذا يجب أن تعطى هذه الصيدلانيات المشعة وفق الحاجة فقط حيث أن التخلص منها بعد أخذها في العضو يكون بطيئاً.. وفوق ذلك، يجب أن يكون عمر النصف للنكليد المشع طويلاً بصورة كافية. يمكن أن يكون زمن التدوير من أجل الاكتسابات الدينامية، البالغ 2 دقيقة، مناسباً لتسجيل إطار زمن مفرد بواسطة منظومة SPECT الثلاثية الرأس، التي تعطي مثلاً صورة ساكنة عالية النوعية في 15 دقيقة.

يقترن نجاح الطب النووي بصورة عامة، و كذلك نجاح SPECT، اقتراناً قوياً بالنكليد المشع الصنعي، وأعني ^{99m}Tc. فهو يصدر إشعاع فوتون مفرد وحيد الطاقة 140 keV (انظر الشكل 2). وفوق ذلك فإن لـ ^{99m}Tc عمر نصف مناسباً يبلغ حوالي ست ساعات (وهذا ليس قصيراً جداً لغرض التخزين والتصوير وليس طويلاً جداً من أجل مقياسية الجرعة)، وهو يتلاءم مع منظومة التوليد التي تعطى أسبوعياً إلى الزبون [33]. ولهذا فإن منظومة SPECT، وبعكس PET، لاتعتمد على وجود سيكلوترون قريب. لقد طوّرت صناعة الصيدلانيات المشعّة على مرّ السنين عدة عتائد تحوي مركبات مولّدات طليعية موسومة بـ ^{99m}Tc. وبالإضافة إلى ذلك، هنالك مُصدِرات فوتونات أخرى مستخدمة مثل ^{123}I أو ^{201}Tl التي يبلغ عمر نصفها 13.2 ساعة و 3 أيام بالترتيب.

الميزة النوعية لـ SPECT هي في إمكانية دراسات الواسم المتعدّد حيث تحقن الصيدلانيات المشعة المختلفة، التي لكل منها نكليد مشع آخر (وطاقة - α منفصلة)، في الوقت نفسه أو معاً. تسمح كاميرات - غاما عملياً بدراسات نافذة متعددة مع نوافذ طاقة مختلفة مما يتيح إمكانية فصل النكليدات المشعة.

SPECT في الأمراض العصبية

يُستخدَم أغلب تصوير SPECT للدماغ HMPAO [34] أو ECD [35]، الموسوم بـ ^{99m}Tc (وأحياناً ^{123}I-IMP حتى الآن [36] في اليابان خاصة) لاقتفاء جريان الدم الدماغي الموضعي (rCBF). وغالباً ما يجري البحث عن انخفاض الـ rCBF حيث أن ذلك يحصل عند وجود اضطرابات مختلفة في الدماغ. يبيّن الشكل 8 مثالاً نموذجياً لتشخيص مرض الزهايمر Alzheimer. يوجد في خرف الزهايمر شكل نموذجي من الإرواء القليل في منطقة قشرة العظم القذالي الجداري ويمكن أن يساعد في التشخيص التفاضلي من بين الأنواع الأخرى من الخرف. وأيضاً يتنت rCBF-SPECT قيمتها في الصرع [37]. وإذا ما أُخذت rCBF-SPECT بين نوبتين مرضيتين من الصرع (inter-ictal) فإن الانخفاض الموضعي لتمثل أو أخذ الواسم يؤخذ بعين الاعتبار لكونه متوافقاً مع بؤرة الصرع. وعلى أية حال، إذا ما تمت الدراسة أثناء - أو بعد نوبة الصرع مباشرة (ictal أو حول الـ ictal بالترتيب) فعندئذ يُستدَلّ على بؤرة الصرع بزيادة جريان الدم. وقد تمّ تبيان أن طرح صور الـ interictal من صور الـ ictal يؤدي إلى حساسية في التشخيص أفضل [38]. وتستطيع rCBF-SPECT أن تبين بعد الاحتشاء الدماغي مباشرة تغيرات الإرواء، بالرغم من بقاء CT طبيعياً. وفي مرحلة متأخرة تشير المناطق التي أظهرت نقصاناً في rCBF إلى عجز وظيفي بسبب نقص الدخل (المورد) من المنطقة المحتشية.

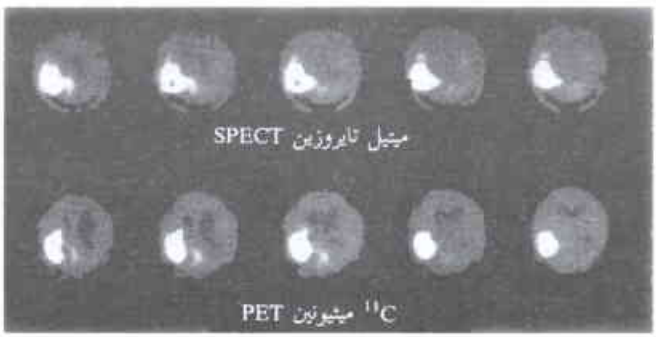


الشكل 8- بالمقارنة مع جسم طبيعي هنالك فعالية إشعاعية أقل في قشرة العظم القذالي الجداري لدى مريض مصاب بمرض الألزهايمر (الأسهم). يمكن تعيان هذه النتيجة بـ SPECT باستخدام ^{99m}Tc-HMPAO (الذي يدل على نقصان في تدفق الدم) بالإضافة إلى ^{18}F-FDG-PET (وهو يدل على نقصان متوافق لاستقلاب الغلوكوز).

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

وبالرغم من هيمنة الـ PET أصلاً، فقد اكتشف المزيد من دراسات في النواقل العصبية في أدبيات SPECT. ومعظم هذه المركبات موسومة بـ ^{123}I. إن حجم هذه الذرّة مناسب لِتحلّ محل مجموعة الميتيل أثناء الوسم الكيميائي الإشعاعي. وبعكس PET، حيث الوسم بـ ^{11}C لايغيّر السلوك الكيميائي الحيوي للمستحضر الصيدلاني، فإنه يجب أن نأخذ بعين الاعتبار سلوكاً بديلاً عند استخدام ^{123}I. يمكن أن يكون عمر النصف الطويل لـ ^{123}I ميّزة على PET لأنه يمكن عمل مسح SPECT بعد عدة ساعات من الحقن، وهذا ما يمكن أن يكون ملائماً في بعض التطبيقات. إن ^{123}I-β CIT المقتفي لنقل الدوبامين المخي مثال حديث على ذلك. لقد أظهر هذا المقتفي صورة مثالية بعد يوم من الحقن. يعطي ^{123}I-β CIT نتائج مشابهة للمقتفي PET وهو ^{18}F-L-Dopa وذلك بإظهاره تمثّلاً منخفضاً في المرضى المصابين بمرض باركنسون [39]. ومن المقتفيات الموسومة بـ ^{123}I لمربوطات المستقبلات دوبامين ^{123}I-$IBZM_2$ [40] أو ^{123}I-IBF [41] ومربوطة المستقبل بنزوديازيبين المركزية ^{123}I- ايومازينيل [42]. لقد جرى اختبار هذه المقتفيات في العديد من الاضطرابات العصبية والنفسية [43]. اقترح في السنوات الأخيرة العديد من مقتفيات النقل العصبي الأخرى الموسومة بـ ^{123}I والتي لا يمكن تفصيلها هنا.

لقد برهن ^{123}IMT، الحمض الأميني الموسوم إشعاعياً، أنه مفيد جداً في تخطيط أورام الدماغ [44] معطياً نتائج مشابهة كمقتفي PET ميثيونين -^{11}C (الشكل 9) [45]. وبالمقارنة مع الغلوكوز المنقوص الأكسجين الموسوم بـ ^{18}F FDG (انظر لاحقاً)، يمكن الحصول على معلومات متممة حول امتداد الورم.



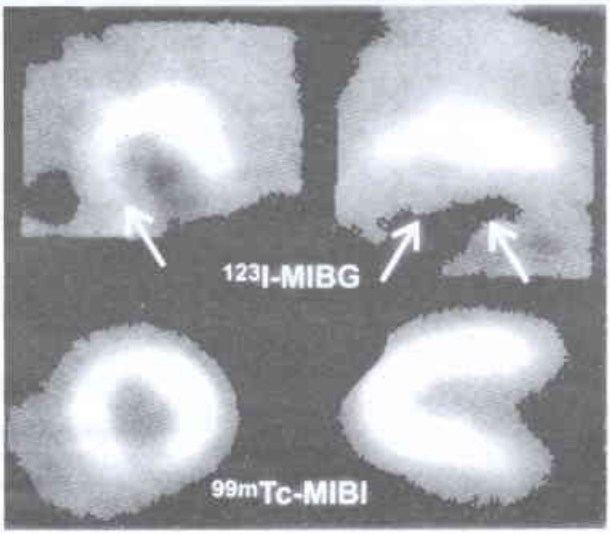
الشكل 9– يبيّن SPECT أحداً متزايداً من حمض أميني موسوم إشعاعياً في ورم النجميات من الدرجة الثانية باستخدام ^{123}I-α ميتيل تايروزين بالإضافة إلى PET باستخدام الحمض الأميني الطبيعي ميثيونين الذي يبقى غير متغير من الناحية الكيميائية الحيوية عند وسمه بـ ^{11}C.

SPECT في الأمراض القلبية

في الروتين السريري الذي يتم يومياً، تتعامل معظم دراسات SPECT مع القلب. ولاتزال تستعمل هنا المقتفيات المشعة مثل ^{99m}Tc-MIBI [46] وتتروفوسمين - ^{99m}Tc [47] وحتى ^{201} TL لدراسة إرواء العضلة القلبية وبخاصة إذا كان هنالك إشارات لمرض انسداد الشريان التاجي مثل الذبحة الصدرية. والبروتوكول المعروف هو في جمع دراسة الراحة مع دراسة الجهد بحيث تُخطّط أو تُصوّر المناطق السيئة التروية بامتصاص منخفض للمقتفي أثناء دراسة الجهد مع طلب الطاقة المتزايد. يحرّض الجهد بالممارسة الرياضية أو بحقن الدوبوتامين. يمكن استخدام مقتفيات إرواء العضلة القلبية أيضاً لتتبع النتائج بعد عملية المجرى الجانبي أو رأب الوعاء التاجي اللمعي الجلدي (PTCA). وتتجلى ميّزات مقتفيات الإرواء الموسومة بـ ^{99m}Tc عند مقارنتها بعوامل التصوير المعيارية السابقة، بنوعية التصوير الأفضل وملاءمة ناتج المولّد ^{99m}Tc.

صمّمت الحموض الدسمة الموسومة ^{123}I- لفحص استقلاب طاقة العضلة القلبية القائمة على أساس أكسدة الحموض الدسمة بحوالي 60% من ^{123}I -HDA [49]، و ^{123}I - BMIPP [50] و ^{123}I-pPPA [51]، وطبقت كأداة للتحري عن الأشخاص المصابين باعتلال عضلة القلب [52].

يجري فحص اضطرابات تعصيب العضلة القلبية التلقائي، والتي توجد مثلاً في اعتلال عضلة القلب المتمددة وزراعة القلب والداء السكري بـ ^{123}I-MIGB [53] (الشكل 10).



الشكل 10– يشير انخفاض أخذ ^{123}I-MIBG في العضلة القلبية الخلفية إلى عدم انتظام الأعصاب القلبية الذاتية لدى مريض بالسكري. يعرض واسم الإرواء ^{99m}Tc-MIBI الإرواء النظامي.

SPECT في علم الأورام

بالرغم من أن تشخيص وتتبع أورام الأمراض الخبيثة هو في المقام الأول من عمل علم الأشعة المستوية CT و MRT أو فوق الصوتية، فإن الطب النووي يستطيع أن يساعد في حالة النتائج غير الواضحة وفي توصيف نوع الورم باستخدام قدرته النوعية في الاستقلاب والمستقبِل والتصوير المستضد. ومن أمثلة ذلك نقائل خزن اليود في الأورام الخبيثة الدرقية ونقائل العظم الحساس للفسفات الناتج عن كثير من السرطانات. أن يكون التصوير المستوي في كثير من الحالات كافياً، في حين يكون SPECT ضرورياً لتحسين التخطيط المكاني. وبعكس PET التي تقدم ^{18}F-FDG لتصوير أنواع مختلفة وكثيرة من الأورام، فإن على SPECT أن يختار ذلك المقتفي الذي يكون مناسباً من أجل نوع الورم الموضوع

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

تحت البحث كما هو مبين في الأمثلة التالية: أو كتريوتيد –^{111}In ملائم من أجل تصوّر مستقبِل السناتين الجسدي الذي يعبر عن الورم [54]. يستخدم ^{123}I-MIBG أيضاً في تشخيص مرض القوائم وورم الأرومة العصبية [55]. طُبق ^{67}Ga لتتبع معالجة الأورام اللمفاوية [56] وسرطان الرئة [57]. وفوق ذلك فإن التخطيط الومضاني المناعي للأورام يقوم على كثير من المضادات الوحيدة النسيلة المختلفة الموسومة بـ ^{99m}Tc أو ^{123}I أو ^{111}In [58].

تطبيقات SPECT الأخرى

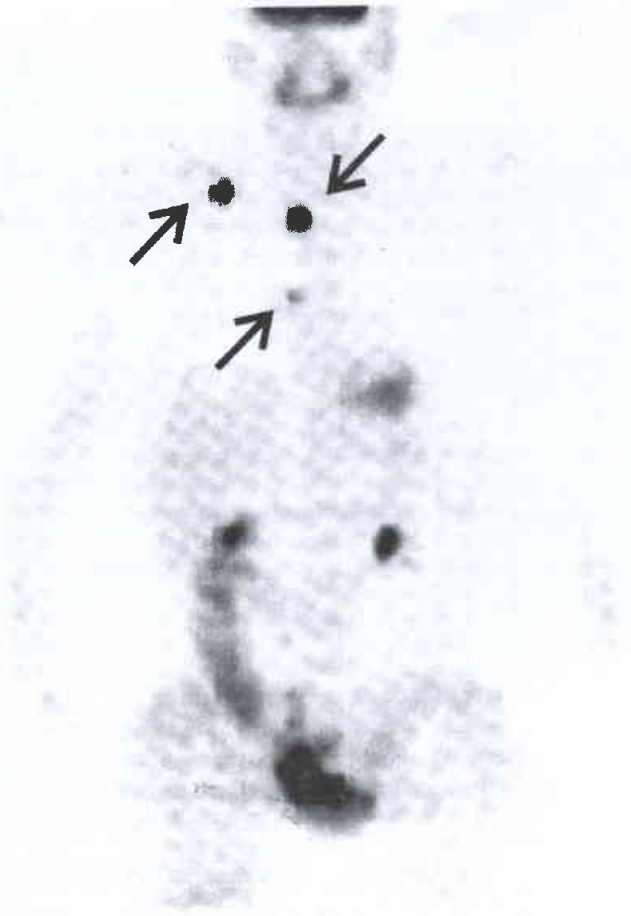
استخدمت SPECT أيضاً لدراسة أمراض الكبد باستخدام غِروانيات كبريت ^{99m}Tc [59] و ^{99m}Tc-GSA [60]. جرى تصوير الوعاؤوم الدموي الكهفي في الكبد والشذوذات الوعائية في البطن بواسطة خلايا الدم الموسومة بـ ^{99m}Tc [61 و 62]. أنجزت دراسات SPECT في الكلية بواسطة ^{99m}Tc-DSMA كمؤشر على أداء الأنبوب الكلوي [63]. طُبق ^{67}Ga في مجالات مختلفة مثل سرطان الرئة [57] وفي الورم اللمفاوي بعد المعالجة [56] وفي الأخماج المختلفة [64]. لقد قدمت SPECT معلومات مهمة في التشخيص والإنذارات من أجل مشاكل تقويم الأعضاء المتعلقة بالأطراف السفلى [65].

تطبيقات PET

غالباً ما تعتبر PET أداة بحث مكلفة جداً لكي تصبح ذات أهمية عامة من أجل استخدامها في الروتين السريري. يصبح التغير في هذا الوضع واضحاً بازدياد الانتشار العالمي السريع لماسحات PET من عدة دزينات عام 1990 إلى أكثر من 300 دزينة عام 2000. إن عمر النصف لأغلب مصدرات البوزترونات المستخدمة الذي يتراوح من 2 دقيقة من أجل ^{15}O و 10 دقائق من أجل ^{13}N و 20 دقيقة من أجل ^{11}C إلى 109 دقائق من أجل ^{18}F، كما أن الحاجة لسيكلوترون مجاور لإنتاج هذه النكليدات المشعة هي أحد الأسباب لتوسع PET البطيء نسبياً. ومن ناحية أخرى برهن الفلوكوز المنقوص الأكسيجين الموسوم بـ ^{18}F (FDG) أنه ملائم تماماً في كثير من التطبيقات السريرية ويمكن شحنه من السيكلوترون إلى موقع PET ضمن نصف قطر يبلغ مئات الكيلومترات. ومنذ عام 1979 فإن FDG الذي يعود إلى عمل سوكولوف Sokoloff بالغلوكوز المنقوص الأكسجين الموسوم بـ ^{14}C [66] من أجل دراسة استقلاب الغلوكوز المخي، استخدم بنجاح في الأمراض العصبية والأمراض القلبية وفيما بعد في علم الأورام خاصة.

PET في علم الأورام

يستطيع FDG-PET في كثير من الأورام المختلفة أن يُظهر الأورام الخبيثة المرتدة وانتقالاتها وفي بعض الأحيان الأورام الأولية المجهولة، أفضل من الوسائل العلاجية الأخرى كـ CT أو MRT [67]. وفوق ذلك فإن FG-PET مفيد في تتبع المعالجات الإشعاعية والكيميائية عندما تشير علامات الورم الدموي إلى وجود ارتدادات أو انتقالات لايمكن وصفها أو تبيانها بـ CT أو MRT. تشكل هذه الميّزات السبب الرئيس للانتشار العالمي السريع لـ PET. يبيّن الشكل 11 مثالاً على صورة الانتقال الذي لايُرى في أية طريقة أخرى.



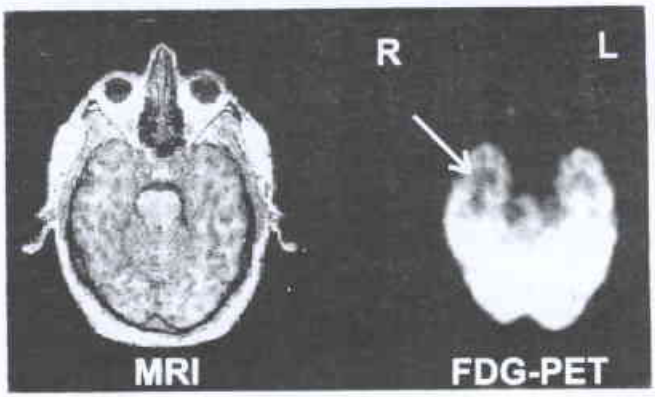
الشكل 11– يُظهر فحص جميع الجسم بالتصوير المقطعي الطبقي PET بعد الحقن بـ FDG ثلاثة انتقالات ورمية (الأسهم) من سرطان البروستات التي لاتظهر بإجراءات التصوير الأخرى.

PET في الأمراض العصبية

كان الاستخدام الأولي لـ FDG في الدراسات البحثية والسريرية للدماغ [68 و 69]. ولما كان الدماغ يتلقى 90% من طاقته بأكسدة الغلوكوز، فإن مضاهي الغلوكوز FDG قادر أن يبيّن القصور أو الفرط في الوظائف. وُجد النقص في أخذ FDG الذي يشير إلى قصور وظيفي في الدماغ في حالة الصرع (الشكل 12)، وفي الاحتشاء وفي الخرف [70]. وبسبب التزاوج الوثيق بين جريان الدم الدماغي واستهلاك الغلوكوز الدماغي في الأنسجة الطبيعية [71]، وكذلك في أمراض عديدة، فإن الهدف من FDG-PET شبيه بدراسات الإرواء بطريقة SPECT. وبالرغم من أن العديد من هذه الدراسات يستخدم SPECT في الوقت الحاضر، فإنه لايزال هناك حاجة إلى PET إذا بقيت المشكلة الخاصة تتطلب صورة عالية الميّز من PET. ويمكن أن تكون هذه هي الحالة عندما نبحث عن بؤرة صرع صغيرة قاصرة الاستقلابية [37].

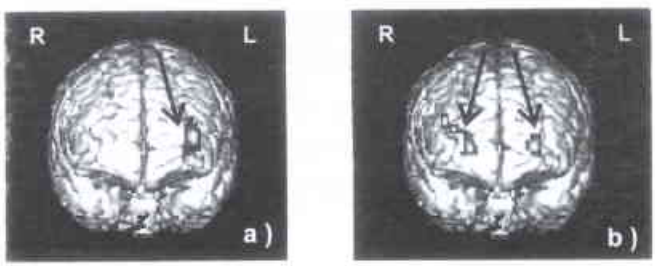
وإذا أصبحت أجزاء من الدماغ نشطة جداً بالمقارنة مع الأجزاء الأخرى بسبب تحريض خارجي أو عقلي، فيمكن وصف أو تبيان هذه المناطق من فرط الوظيفة بازدياد الأخذ لـ FDG. استخدمت مثل هذه التحريات، في السنوات الأخيرة، الماء – ^{15}O أو بوتانول – ^{15}O بحيث

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



الشكل 12– يصور النقصان في FDG في مجال الفص الصدغي الأيمن بؤرة الصرع المشكوك فيها لمريض يعاني من النوبة المرضية. لايبين التصوير المقطعي الطبقي ذو التجاوب المغنطيسي (MCI) أي اضطراب.

يمكن قياس تتابع التحريض وفقاً للاضمحلال السريع للنكليد المشع ^{15}O ذي العمر القصير (مثلاً 1- راحة، 2- حركات بطيئة لإبهام اليد، 3- حركات أسرع لإبهام اليد، 4- حركات سريعة جداً لإبهام اليد). تتوزع هذه المقتفيات بعد الحقن ضمن الأوردة خلال الدماغ بصورة مترابطة مع rCBF. أنجزت المئات من هذه الدراسات من قِبَل علماء الأعصاب بحيث أن كثيراً من التفاصيل الخاصة بالمنظومات المحركة والحسّية بالإضافة إلى عمليات الإدراك الأعلى يمكن تصورها وتبيانها. يبيّن الشكل 13 مثالاً على هذه الدراسة التي تتطلب التعلم والذاكرة [72]. وبالإضافة إلى العديد من المسائل المتعلقة بالبحوث الأساسية فإن الدراسات المتعلقة بالنشاط العصبي يمكن أن تكون مفيدة للمريض الفرد. فمثلاً، من الممكن تبيان لغة مهمة أو مساحات تحكم آلي في جوار ورم الدماغ الخبيث قبل أن ينتقل بفعل الجراحة.

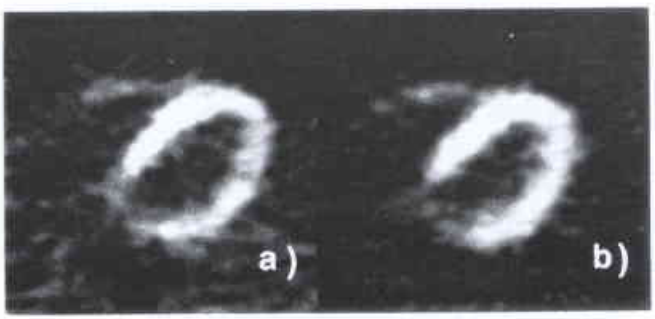


الشكل 13– عند التعلم (a) لأزواج الكلمات غير المترابطة (مثل بيت –نهر، بيانو – شارع) نجد هنالك حداً أعظمياً من تزايد في جريان الدم في القشرة الجبهوية اليسرى (السهم). ونجد أثناء الاسترجاع (b) لجزء من أزواج الكلمات فعالية إضافية في القشرة الجبهوية اليمنى (السهم). تُعرض فقط نهاية عظمى من ازدياد جريان الدم على المنظر السطحي لصورة MRI المعيارية.

هنالك المئات من المستحضرات الصيدلانية المشعة المصدرة للبوزترونات، وبخاصة روابط النواقل العصبية والحموض الأمينية التي اقترحت لدراسات الدماغ. فالحموض الأمينية مثل مثيونين ^{11}C– (الشكل 9) ملائمة بشكل خاص للمساعدة في التشخيص التفاضلي لأورام الدماغ الخبيثة ولتتبع الدراسات [73]. طبقت المستحضرات الصيدلانية المشعة التي لها ألفة مع منظومة النواقل العصبية في أبحاث علم الأمراض العصبية وأبحاث علم الوراثة النفسية مثل مرض باركنسون وغيره من الاضطرابات الحركية، وكذلك في الاكتئاب وانفصام الشخصية [74 – 77]. حيث أن المعرفة الأولية عن منظومة الناقل العصبي تكون مطلوبة في الأبحاث على الحيوانات أو في الدراسات ما بعد الموت. يمكن لـ PET أن يؤكد هذه النتائج في الجنس البشري في الحي. يحقق الوسم الإشعاعي عادة بمصدر البوزترون ^{11}C (عمر النصف = 20 دقيقة) ولذلك فإن الميزات الكيميائية الحيوية (البيوكيميائية) لجزيئات الناقل الموسوم لاتتغير [78]. يقود التحليل الحركي للمقتفي لبيانات PET إلى تعيين كمون الارتباط وكثافة المستقبلات العصبية وإلى ألفة الارتباط بين المستقبِل والعقاقير. وصل قليل من روابط النواقل العصبية فقط إلى ما له صلة بالموضع السريري مثل ^{18}F-L-Dopa الذي يساعد على التشخيص التفاضلي لمرض باركنسون وفي تتبع المعالجة [79]. ومن مواضيع البحوث المفيدة جداً مع إمكانية التطبيقات على الروتين السريري، هنالك دراسة التآثر بين المستحضرات الصيدلانية النفسية ومركبات PET النوعية مثل رباط المستقبِل دوبامين راكلوبريد – ^{11}C ورباط مستقبِل الطاقة المصلية ألتانسرين [81].

PET في الأمراض القلبية

الحقل الثالث السريري الذي نجحت فيه طريقة PET هو علم الأمراض القلبية. فباستخدام مؤشرات جريان الدم مثل $^{13}NH_3$ [82] أو ماء ^{12}O– [83] أو ^{82}Rb [84] أنجزت دراسات الجريان القلبي بصورة مشابهة لما تمّ في SPECT (الشكل 14) [85]. ورغم أن PET تعطي مَيّزاً أفضل وهي ملائمة تماماً للجمع بين دراسة الراحة ودراسة الجهد مستخدمة نظائر قصيرة العمر، فإن هذه النظائر قد حجبت الاستعمال الواسع الانتشار لهذه الطريقة نظراً لضرورة وجود سيكلوترون مجاور أو مولّد غالي الثمن (من أجل ^{82}Rb). والأكثر أهمية في ما يظهره استخدام PET في الأمراض القلبية هو التعرف على النسيج القابل للحياة أو النمو في جوار الاحتشاء [86]. ولما كان نسيج العضلة القلبية القليلة الارتواء قرب الاحتشاء يُظهر أخذاً عالياً نسبياً من FDG، فيمكن استخدام هذه النتيجة في تقرير ما إذا كان النسيج لايزال قابلاً للحياة بحيث سيستفيد من التدخل العلاجي كجراحة الإمرار الجانبي أو PTCA. وإذا كان احتشاء العضلة القلبية غير قابل للشفاء، فلا ضرورة لمثل هذا التدخل العلاجي. وكما رأينا سابقاً في SPECT، تُستخدم الحموض الدسمة



الشكل 14– صور PET لأخذ عضلة القلب من المقتفي ^{13}N أمونيا لجريان دم قلب لمقطوع طبيعي عند الراحة (a)، وأثناء حقن ثنائي بيريداميول (b) الذي يزيد من جريان الدم بما يشبه الممارسة الرياضية. يُرى تزايد جريان الدم بشكل خاص بواسطة الخلفية الأدنى.

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

لدراسة استقلاب طاقة الاحتشاء القلبي. وهنا توسم بلميتات الحموض الأمينية الطبيعية بـ ^{11}C لدراسة اعتلال العضلة القلبية مثلاً [87].

المقارنة بين SPECT و PET

بالرغم من أن الميزّات النوعية لـ SPECT ولـ PET قد تمت مقارنتها سابقاً، إلاّ أننا سنوجز بعض الصلات والاختلافات بين هاتين الوسيلتين من التصوير المقطعي الطبقي في الطب النووي هنا. ولما كان التسديد الإلكتروني لـ PET يعطي حساسية أفضل بعامل يصل إلى 100 مرّة أكثر من SPECT، فإن الإمكانية لعمل قياس نقل دقيق وتصحيح توهين مضبوط هو السبب في أن تكون PET كمّية. وبالمقابل تعتبر SPECT أكثر كيفية إذ تعطي سرعات عدٍّ أكثر من كون معايرتها بالكيان الفيزيائي للفعالية بالنسبة للحجم. ومع ذلك، هنالك تقدم مُعتبر في السنوات الأخيرة في تحسين القدرات الكمّية لـ SPECT. وبسبب الحساسية الأفضل تستطيع PET أن تسجل أطر زمنية أقصر في الدراسات الدينامية. إن الوسم الإشعاعي للجزيئات الفعالة استقلابياً بمصدّرات البوزترونات ^{11}C، ^{13}N أو ^{15}O لاتغيّر السلوك الكيميائي الحيوي للجزيء الموسوم إشعاعياً بحيث أن تطوير مستحضرات صيدلانية مشعة جديدة يمكن أن يستند إلى على معرفة طبية حيوية سابقة. تعتبر المستحضرات الطبية المشعة لـ SPECT "غير طبيعية" ولهذا يحتاج إدخالها / استخدامها على الأغلب زمناً طويلاً، ويتطلب ذلك تحريات أساسية وأحياناً اختبارات عقيمة عديدة. وبالرغم من الميزّات الكمّية والكيميائية الإشعاعية، فإن إتاحية PET بقيت محدّدة بسبب كلفة الماسحات وبسبب السيكلوترون والكيمياء الإشعاعية. وكما ذكر سابقاً فإن تقدم الكيمياء الإشعاعية لـ SPECT في السنوات الأخيرة قد أفسحت المجال أمام إمكانية نقل الخبرة الأصلية التي تمت في مجال بحوث PET إلى الأداة السريرية المستخدمة في SPECT التي هي أرخص وأكثر انتشاراً وروتينية. إن المستحضر الصيدلاني المشع في PET الذي لايستطيع الـ SPECT أن يقدم مضاهياً له هو FDG، وهو الحصان العامل في PET. وهنا بُنيَ جسر بين PET و SPECT بإدخال كاميرات غاما متطابقة ثنائية الرأس. وبالإضافة إلى نمط SPECT العادي، تقدم منظومات SPECT المضاعفة الرأس هذه انضمام المسدّدات الميكانيكية مع مجموعة إلكترونيات مكشافات كاميراتي غاما في مجموعة دارات متطابقة. وفي هذه الطريقة، يمكن أن يستخدم جهاز SPECT أيضاً في تصوير PET. ومع أن الأداء الإجمالي لمثل هذه المنظومات يبقى أضعف أو أقل من منظومات PET الدقيقة، فقد سمح باستخدام FDG الذي أصبح مهماً بشكل خاص في تطبيقات علم الأورام إذا لم تكن معدّات PET الأغلى ثمناً متوفرة.

المراجع REFERENCES

[1] Kuhl, D. E., Edwards R. Q.: Image separation radioisotope scanning Radiology 80, 653-662 (1963).

[2] Rankowitz, S. Robertson, J. S., Higinbotham, W.A., Niell, A.M.: Positron scanner for locating brain tumors. IRE Int. Conv. Rec. 9. 49 - 56 (1962).

[3] Cormack, A. M.: Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. II. J. Appl. Phys. 35, 2908-2913 (1964).

[4] Hounsfield, G. N.: Computerized transverse axial scanning (tomogrphy) Part 1: Description of system. Brit J. Radiol. 46. 1016-1022 (1973).

[5] Anger, H. O.: Multiple plane tomographic scanner. In: Tomographic imaging in Nuclear Medicine (Freedman, G. S. ed.). New York, Society of Nuclear Medicine, 1973, pp. 2-18.

[6] Karp, J. S., Muehllehner, G., Marnkoff, D. A., Ordonez, C. E., Ollinger, J. M., Daube-Witherspoon, M. E., Haigh, A. T., Beerbohm, D. J.: Continuous-slice PENN-PET: A positron tomograph with volume imaging capability. J. Nucl. Med. 31, 617-627 (1990).

[7] Cherry, S. R., Dahlbom. M., Hoffman, E.J.: 3D PET using a conventional multislice tomograph without septa, J. Comput. Assist. Tomogr. 15, 655-668 (1991).

[8] Budinger, T. F., Gullberg, G. T., Huesman, R. H.: Emission computed tomography. In: Image reconstruction from projections (Herman, G. T. ed). Springer, Berlin 1979, pp. 147-246.

[9] Radon, J.: Uber die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. Sächsische Gesellschaft Wissenschaft, Leipzig, Math. Phys. 69. 262-277 (1917).

[10] Ramachandran, G. N., Lakshminaraynan, A. V.: Three-dimensional reconstruction from radiographs and electron micrographs: Application of convolutions instead of Fourier transforms. Proc. Nat. Acad. Sci. 9. 2236 (1971).

[11] Shepp. L. A., Vardi, Y.: Maximum likelihood reconstruction for emission tomography. Trans. Med. Imag. MI-1, 113-122 (1982).

[12] Schmidlin, P., Bellemann, M. E., Brix, G.: Iterative reconstruction of PET images using a high-overrelaxation single-projection algorithm. Phys. Med. Biol. 42, 569-82 (1997).

[13] Hudson, H. M., Larkin, R. S.: Accelerated image reconstruction using ordered subsets of projection data. IEEE Trans. Med. Imaging 20, 100-108 (1994).

[14] Kay, J.: Statistical models for PET and SPECT data. Statistical Method in Med. Res. 3, 5-21 (1994).

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

[15] Hoffman, E. J, Huang, S. C., Phelps, M. E.: Quantification in positron emission computed tomography: I. Effect of object size. J. Comput. Assist. Tomogr. 3, 299-308 (1979).

[16] Defirise, M., Townsend. D., Clack, R.: Three-dimensional image reconstruction from complete projections. Phys. Med. Biol. 34, 573-587 (1989).

[17] Kinahan, P. E., Rogers. J. G.: Analytic three-dimensional image reconstruction using all detected events. IEEE Trans. Nucl. Sci. 36, 964-968 (1989).

[18] Daube-Witherspoon, M. F., Muehllehner, G.: Treatment of axial data in three-dimensional PET. J. Nucl. Med. 28, 1717-1724 (1987).

[19] Defrise. M., Kinahan. P. F., Townsend, D. W, Michel, C., Sihomana, M., Newport, D. F: Exact and approximate rebinning algorithms for 3 D PET data. IEEE Trans. Med. Imaging 16, 145-158(1997).

[20] Bergstrõm. M., Bohm, C., Ericson. K., Eriksson, L., Litton, J: Corrections for attenuation. scattered radiation. and random coincidences in a ring detector positron emission transaxial tomograph. IEEE Trans. Nucl. Sci. 27, 435-444 (1980).

[21] DeKemp, R. A., Nhamias, C.: Attenuation correction in PET using single photon transmission measurement. Med. Phys. 21, 771-778 (1994).

[22]. Karp, J. S., Muehllehner, G., Qu, H., Yan, X. H.: Singles transmission in volume-imaging PET with a ^{137}Cs source. Phys. Med. Biol. 40, 929-944 (1995).

[23] Larsson, S. A.: Gamma camera emission tomography. Acta Radiol. (suppl. Stockholm) 363, 28-32 (1980).

[24] Chang. L. T.: A method for attenuation correction in radionuclide computed tomography. IEEE Trans. Nucl. Sci. 25, 638-643 (1978).

[25] Jaszczak, R. J., Greer, K. L., Floyd Jr., C. E., et al.: Improved SPECT quantification using compensation for scattered photons. J. Nucl. Med. 25, 893-900 (1984).

[26] Msaki, R, Axelsson, B., Dahl, C. M., Larsson, S. A.: Generalized scatter correction method in SPECT using point scatter distribution functions. J. Nucl. Med. 28, 1861-1869 (1987).

[27] Mukai, T., Links, J. M., Douglass, K. H., Wagner Jr., H. N.: Scatter correction in SPECT using non-uniform attenuation data. Phys, Med. Biol. 33, 1129-1140 (1988).

[28]. Ljungberg. M., Strand, S.-E.: Attenuation and scatter correction in SPECT for sources in a nonhomogeneous object: A Monte Carlo study. J. Nucl. Med. 32. 1278-1284(1991).

[29]. Watson, C. C., Newport, D., Casey, M. E: A single scatter simulation technique for scatter correction in 3D PET. In: Proc 1995 Int. Meeting Fully 3D-Image Reconstruction in Radiology and Nuclear Medicine (Grangeat, P., Amans, J. L. eds.). Kluwer Academic Publ, Dordrecht, 1996. pp. 215-219.

[30] Stearns. C. W: Scatter correction method for 3D PET using 2D fitted Gaussian functions. J. Nucl. Med. 36, 105P (1995).

[31] Bergström. M., Eriksson. L., Bohm, C., Blomqvist, G., Litton, J.: Correction for scattered radiation in a ring detector positron camera by integral transformation of the projections. J. Comput. Assist. Tomogr. 7, 42-50 (1983).

[32] Hoffman, E. J. Huang, S. C., Phelps. M. E. Kuhl, D. E: Quantification in positron emission computed tomography: 4. Effect of accidental coincidences. J. Comput. Assist. Tomogr. 5, 391-400 (1981).

[33] Harper. P. V., Beck. R.. Charleston, D., Lathrop. K. A.: Optimiziaion of a scanning method using ^{99m}Tc. Nucleonics 22. 50-54 (1964).

[34] Novotnik, D. P., Canning, L. E., Cumming, S. A.. Harrison, R. C., Higley, B., Nechvatal, G., Pickett, R. D., Piper, I. M., Bayne. V. J., Forster. A. M., Weisner. P. S.. Neirinckx. R. D., Volckert. W.A., Troutner, D. E. Holmes. R. A.: Development of a ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceutical for cerebral blood flow imaging. Nucl. Med. Commun. 6, 499-506 (1985).

[35] Walovitch, R. C., Hill. T. C., Garrity, S. T., Cheeseman, E. H.. Burgess, B. A., O'Leary, D. H., Watson, A. D., Ganey. M. V., Morgan, R. A., Williams. S. J.: Characterization of Technetium-99m-L-ECD for brain perfusion imaging. Part I: Pharmacology, of Technetium-99m-ECD in non human primates. J. Nucl. Med. 30, 1892-1901 (1989).

[36] Winchell, H. S., Baldwin, R. M., Lin. T. H.: Development of I-123 labeled amines for brain studies: Localization of ^{123}I-iodophenylalcylamines in rat brain. J. Nucl. Med, 21, 940-946 (1980).

[37] Duncan. J. S.: Imaging and epilepsy. Brain 120. 339-377 (1997).

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

[38] O'Brien, T. J., So. E. L., Mullan, B. P., et al.: Subsraction ictal SPECT co-registered to MRI improves clinical usefulness of SPECT in localizing the surgical focus. Neurology 50, 445-454 (1998).

[39] Maraganore, D. M.. O'Connor, M. K., Bower. J. H., Kuntz, K. M., McDonnell, S. K., Schaid, D. J.; Rocca, W. A.: Detection of preclinical Parkinson disease in at-risk family members with use of [^{123}I]beta-CIT and SPECT: an exploratory study. Mayo Clinic Proceedings 74. 681-685 (1999).

[40] Kung, H. F., Alavi, A., Kung. M. P., Chang, W. Noto, R., Pan, S., Billings, J., Sorgentoni, K., Rauch. A., Reilley. J.: I-123-IBZM: A new CNS D2 receptor agent: Biodistribution and dosimetry in humans. J. Nucl. Med. 30. 834 (1989).

[41]. Buck. A., Westera, G., Sutter. M., Albani, C., Kung, H.F. von Schulthess, G.K.: Iodine-123-IBF SPECT evaluation of extrapyramidal diseases. J. Nucl. Med. 36, 1196-1200 (1995).

[42] Ho11, K., Deisenhammer. E., Dauth, J., Carmann. H., Schubiger, P. A.: Imaging benzodiazepine receptors in the human brain by Single Photon Emission Computed Tomography SPECT. Nucl. Med. Biol. 16, 757-763 (1989).

[43] Kegeles, L. S., Mnnn, J. J.: In vivo imaging of neurotransmitter systems using radiolabeled receptor ligands. Neuropsychopharmacology 17, 293-307 (1997).

[44] Langen, K.-J., Coenen, H. H., Roosen, N., Kling, P., Muzik, O., Herzog, H., Kuwert, T., Stöcklin, G., Feinendegen, L. E.: SPECT studies of brain tumors L-3-[^{123}I]Iodo-α-methyltyrosine (^{123}IMT): First clinical results and comparison with PET and ^{124}IMT. J. Nucl. Med. 31, 281-286 (1990).

[45] Langen, K. J, Ziemons, K.. Kiwit, J. C. W. Herzog, H., Kuwert, T., Bock, W. J., Stöcklin., G., Feinendegen. L. E., Müller-Gärtner, H. W.: 3-[^{123}I]Iodo-(-methyltyrosine and [methyl-^{11}C]-L - methionine uptake in cerebral gliomas: A comparative study using SPECT and PEI J. Nucl. Med. 38,517-522 (1997).

[46] Wackers, F. J. Th., Berman, D. S., Maddahi, J., et al.: Technetium-99m hexakis 2-methoxyisobutyl isonitrile: Human biodistribution, dosimetry, safety, and preliminary comparison to thallium-201 for myocardial perfusion imaging. J. Nucl. Med. 30, 301-311 (1989).

[47] Jain, D., Wackers, F. J. Th., Mattera, J., et al.: Biokinetics of technetium-99m-tetrofosmin: myocardial perfusion imaging agent: Implications for a one-day imaging protocol. J Nucl. Med. 34, 1254-1259 (1992).

[48] Lebowitz. E., Greene, M. W.. Fairchild, R., et al.: Thallium-201 for medical use. I. J. Nucl. Med. 16,151-155 (1975).

[49] Höck, A., Freundlieb. C., Vyska. K., Lösse. B., Erbel, R., Feinendegen, L. E: Myocardial imaging and metabolic studies with 17-^{123}I-iodoheptadecanoic acid in patients with idiopathic congestive cardiomyopathy. J. Nucl. Med. 24, 22-28 (1983).

[50] Knapp Jr., F. R. Kropp. J.: BMIPP-design and development. Int. J. Card. Imaging 15, 1-9 (1999).

[51] Reske. S. N., Sauer, W., Machulla, H. J., Winkler, C.: 15-p-I-123-iodophenyl-pentadecanoic acid as a tracer of lipid metabolism: Comparison with C-14-palmitate in murine tissues. J. Nucl. Med. 25, 1335-1342 (1984).

[52] Corbett, J. R.: Fatty acids for myocardial imaging. Semin. Nucl. Med. 29, 237-258 (1999).

[53] Sisson. J. C., Shapiro. B., Meyers, L. J., et al.: Meta-iodubenzyl-guanidine to map scintigraphically the adrenergic nervous system in man. J. Nucl. Med. 28, 1625-1636 (1987).

[54] Lamberts. S. W. J., Bakker, W. H., Reubi, J.-C., Krenning. E. P.: Somatostatin-receptor imaging in the localization of endocrine tumours. N. Engl. J. Med. 323, 1246-1249 (I990).

[55] Takahashi, N., Suzuki, T., Yamaya, K., Funyu, T.: The usefulness of [^{123}I]-metaiodobenzylguanidine [^{123}I]-MIBG scintigraphy performed one week after admimstration in diagnosing pheochromocytoma. Int. J. Urol. 6. 331-336 (1999).

[56] Front. D., Israel. O.: The role of 67Ga-scintigraphy in evaluating the results of therapy. of lymphoma patients. Semin. Ncul. Med. 25, 60-71 (1995).

[57] Chiti, A., Schreiner. F. A.. Crippa, F. Pauwels, E. K., Bombardieri, E.: Nuclear medicine procedures in lung cancer. Eur. J. Nucl. Med. 26, 533-555 (1999).

[58] Bischof Delaloye, A., Delaloye, B.: Tumor imaging with monoclonal antibodies. Semin. Nucl. Med. 25, 144-164 (1995).

[59] Van Heertum, R. L.,Yudd, A. P., Brunetti, J. C., Pennington, M. R., Gualtieri, N. M.: Hepatic SPECT

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

imaging in the detection and clinical assessment of hepatocellular disease. Clin. Nucl. Med. 17, 948-953 (1992).

[60] Roca, I., Ciofetta, G: Hepatobiliary scintigraphy in current pediatric practice. Q. J. Nucl. Med. 42. 113-118 (1998).

[61] Siegel, A., Mazurek. R.: Early dynamic SPECT acquisition for the imaging of hepatic hemangiomas; utilizing Tc-99m labeled red blood cells. Clin- Nucl. Med. 22. 745-748 (1997).

[62] Van Heertum, R. L., Brunetti, J. C., Yudd, A. P: Abdominal SPECT imaging. Semin. Nucl. Med. 17, 230-246 (1987).

[63] William,, E. D.: Renal single photon emission computed tomography: Should we do it? Semin. Nucl. Med. 22, 112-121 (1992).

[64] Palestro, C. J., Torres, M. A.: Radionuclide imaging of nonosseous infection. Q. J. Nucl. Med. 43, 46-60 (1999).

[65] Etchebehere, E. C., Etchebehere, M.. Gamba. R., Belangero, W., Camargo, E. E: Orthopedic pathology of the lower extremities: Scintigraphic evaluation in the thigh, knee, and leg. Semin. Nucl, Med. 28, 41-61 (1998).

[66] Sokoloff, L., Reivich, M., Kennedy, C., DesRosiers, M. H., Patlak, C. S., Pettigrew, K. D., Sakurada, O., Shinohara, M.: The [^{123}C]deoxyglucose method for the measurement of focal cerebral glucose utilization: Theory, procedure and normal values in the conscious and anesthetized albino rat. J. Neurochem. 28, 897-916 (1977).

[67] Strauss, L. G., Conti, P. S.: The applications of PET in clinical oncology. J. Nucl. Med. 32, 623-648 (1991).

[68] Phelps, M. E., Huang, S. C., Hoffman, E. J., Selin, C., Sokoloff, L., Kuhl, D. E: Tomographic measurement of local cerebral glucose metabolic rate in humans with (F-18)2-fluoro-2-deoxy-D-glucose: Validation of method. Ann. Neurol. 6, 371-388 (1979).

[69] Reivich, M., Kulhl, D., Wolf, A., Greenberg, J., Phelps, M., Ido, T., Casella, V., Fowler, J., Hoffman, E., Alavi, A., Som. P, Sokoloff, L.: The [^{123}F]fluorodeoxyglucose method for the measurement of local cerebral glucose utilization in man, Circ. Res. 44, 127-139 (1979).

[70] Mazziotta. J. C., Phelps, M.E.: Positron emission tomography studies of the brain. In: Positron Emission Tomography and Autoradiography (Phelps, M. E., Mazziotta, J. C., Schelbert, H. R., eds). Raven Press, New York 1986, p. 493.

[71] Sokoloff, L.: Relationships among local functional activity, energy metabolism, and blood flow in the central nervous system. Fed. Proc. 40, 2311-2316 (1981).

[72] Krause, B. J. Halsband, U., Schmidt, D., et al.: Neurofunctional correlates of encoding and retrieval in declarative associative learning. NeuroImage 5, S620 (1997).

[73] Hübner, K. F., Purvis, J. T., Mahaley Jr., S. N., Robertson, J. T., Rogers, F., Gibbs, W. D., Partin, C. L., Brain tumour imaging by positron emission computed tomography using ^{11}C-labelled amino acids. J. Comput. Assist. Tomogr. 6, 544-550 (1982).

[74] Burns. H. D., Harmill, T. G., Eng. W. S., Francis, B., Fioravanti, C., Gibson, R. E.: Positron emission tomography neuroreceptor imaging as a tool in drug discovery, research and development. Curr. Opin. Chem. Biol. 3, 388-394 (1999).

[75] Farde, L., The advantage of using positron emission tomography in drug research. Trends Neurosci. 19, 211-214 (1996).

[76] Wong, W. F., Pearlson, G. D., Tune, L. E., Young, L. T., Meltzer, C. C., Dannals, R. F., Ravert, H. T., Reith. J., Kuhar, M. J., Gjedde, A.: Quantification of neuroreceptors in the living human brain: IV. Effect of aging and elevations of D2-like receptors in schizophrenia and bipolar illness. J. Cereb. Blood Flow Metab. 17. 331-342 (1997).

[77] Kapur S. A.: New framework for investigating antipsychotic action in humans: Lessons from PET imaging. Mol. Psychiatry 3,135-140 (1998).

[78] Sedvall, G., Farde, L., Nyback, H., Pauli, S., Persson, A., Savic, I., Wiesel, F. A.: Recent advances in psychiatric brain imaging, Acta Radiol. Suppl. 374. 113-115 (1990).

[79] Garnett E. S., Nahmias. C., Firnau. G.: Central dopaminergic pathways in hemiparkinsonism examined by positron emission tomograhy. Can. J. Neurol. Sci. 11, 174-179 (1984).

[80] Farde, L., Hall, H., Ehrin, E., Sedvall, G: Quantitative analysis of D2 dopanmine receptor binding in the living human brain by PET. Science 231, 258-261 (1986).

[81] Sadzot, B., Lemaire. C., Maquet, R, Salmon, E., Plenevaux, A., Degueldre, C., Hermanne, J. P.,

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

Guillaume, M., Cantineau. R., Comar. D., et al.: Seratonin 5HT2 receptor imaging in the human brain using positron emission tomography and a new radioligand. [^{18}F]altanserin: Results in young normal controls. J. Cereb. Blood Flow Metab. 15, 787-797 (1995).

[82] Smith, G. T., Huang, S. C., Nienaber, C. A., Krivokapich, J., Schelbert, H. R.: Noninvasive quantification of regional myocardial blood flow with N-13 ammonia and dynamic PET. J. Nucl. Med, 29, 940 (1988).

[83] Walsh, M. N., Bergmann, S. R., Steele, R. L., et al.: Delineation of impaired regional myocardial perfusion by positron emission tomography with H_2(15)O. Circulation 78, 612-620 (1988).

[84] Gould K. L., Goldstein, R. A., Mullani, N. A.: Economic analysis of clinical positron emission tomography of the heart with rubidium-82, J. Nucl. Med. 30, 707-717 (1989).

[85] Herzog, H.: Basic ideas and principles for quantifying regional blood flow with nuclear medical techniques. Nuklearmedizin 35, 181-185 (1996).

[86] Brunken, R., Schwaiger, M., Grover-McKay, M. et al.: Positron emission tomography detects tissue metabolic activity in myocardial segments with persistent thallium perfusion defects. J. Am. Coll. Cardiol. 10, 557-567 (1987).

[87]. Schelbert, H. R., Henze, E., Sochor, H., Grossman, R. G., Huang, S. C., Barrio, J. R., Schwaiger, M., Phelps, M. E.: Effects of substrate availability on myocardial C-11 palmitate kinetics by positron emission tomography in normal subjects and patients with ventricular dysfunction. Am. Heart J. 111, 1055-1064 (1986).■

☆ ★ ☆

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

بيانات نووية ذات صلة
بإنتاج واستخدام نكليدات مشعة تشخيصية★

س. م. كايم
معهد الكيمياء النووية – مركز أبحاث يوليش – ألمانيا

ملخص

يُقدِّم هذا المقال عرضاً موجزاً لأنماط البيانات النووية ونوعيتها والتي تلزم لإنتاج واستخدام النكليدات المشعة التشخيصية. وتُحدِّد بيانات الاضمحلال الإشعاعي صلاحية استخدام النظير المشع في دراسات الاقتفاء في الحي وذلك من حيث علاقتها بكل من التصوير وجرعة التشعيع الداخلية. تسمح بيانات المقطع الفعّال لتفاعل نووي بأمثلة طرق الإنتاج. وتُستخدم لأغراض إنتاج المفاعلات والسيكلوترونات كلاهما؛ وقد نوقشت البيانات النووية التي تتطلبها كل من طريقتي الإنتاج ووضعهما الراهن، وجرى توجيه اهتمام خاص للنكليدات المشعة المناسبة للتصوير المقطعي الطبقي الإصداري (بنوعيه PET و SPECT). كذلك تمّت مناقشة الخلاف ما بين عمليتي الإنتاج بالمفاعل والإنتاج بالسيكلوترون لمنظومة توليد ^{99m}Tc / ^{99}Mo المستخدمة على نطاق واسع. وجرى أيضاً تقديم عرض موجز لبعض الاعتبارات الخاصة المتعلقة بالإنتاج السيكلوتروني للنكليدات المشعة. وفي النهاية، نوقش بشكل تفصيلي كل من: الاحتياجات إلى بيانات دقيقة قرب عتبات التفاعل، والحبس للجسيمات المتاحة في سيكلوترون صغير، والتأثير الناجم عن زيادة طاقة الجسيم الراجم، والتشكل لشوائب أيزوميرية؛ وأُخذ بعين الاعتبار الدور الذي تلعبه حسابات النموذج النووي في التنبؤ ببيانات مجهولة.

الكلمات المفتاحية: **نكليدات مشعة تشخيصية، بيانات الاضمحلال، جرعة التشعيع الداخلية، المقطع الفعّال لتفاعل نووي، ناتج الإنتاج، النقاوة النكليدية الإشعاعية، نسبة أيزوميرية، حسابات النموذج النووي، التصوير المقطعي الطبقي الإصداري، تصوير مقطعي طبقي محوسب بإصدار فوتونات مفردة، تصوير مقطعي طبقي بإصدار بوزترونات.**

مقدمة

يُصنف النظير المشع المستخدم طبياً كنكليد مشع تشخيصي أو علاجي اعتماداً على خواص اضمحلاله. وسوف يناقش هذا المقال النظائر المشعة التشخيصية بشكل عام وبيانات إنتاجها بشكل خاص. ونبيّن فيما يلي المعايير الرئيسة للاستخدام التشخيصي:

– خواص فيزيائية ملائمة، أي أن يتمتع النكليد المشع بكفاءة كشف عالية تتوافق مع أخفض جرعة تشعيع ممكنة للمريض.

– خواص كيميائية حيوية ملائمة، وبخاصة ماتعلق منها بانتقائية العضو organ selectivity وقابليته للتوافق مع الحركيات الحيوية bio - kinetics

من حيث الخواص الفيزيائية، لابد لعمر النصف أن يكون قصيراً (من بضع دقائق إلى بضع ساعات)، ومن الأفضل أن يحدث الاضمحلال عبر إصدار IT (انتقال أيزوميري)، أو EC (أسر إلكتروني)، أو β^+. إضافة لما سبق، لابد للنشاط الإشعاعي النوعي للمنتج النهائي أن يكون عالياً إلى حد ما. وعموماً، تُصنف النظائر المشعة التشخيصية في مجموعتين، وهما: مصدرات γ (مثل: ^{67}Ga ، ^{111}In ، ^{201}Tl، إلخ.)، ومصدرات β^+ (مثل: ^{15}O، ^{18}F، إلخ.). وفي حال إصدار النظير المشع لأشعة γ مفردة، فإن تقنية الكشف المسماة بالتصوير المقطعي الطبقي المحوسب بإصدار فوتونات مفردة (SPECT) هي التي سيمكن استخدامها. أما في حالة النظائر المصدرة لجسيمات β^+، يكون مفيداً جداً استخدام التصوير المقطعي الطبقي بإصدار بوزترونات (PET). وغالباً ما يُطلق على التقنيتين المذكورتين معاً اسم "التصوير الطبقي المقطعي الإصداري emission tomography. وبحكم طبيعتها الكمية، وسرعتها، وميزها الأعلى، تُعدّ تقنية PET أعظم قيمة ونفعاً من تقنية SPECT، ولو أن الأخيرة تلقى قدراً أعظم من الاستخدام بسبب الانخفاض الملموس في تكاليفها الخاصة بكلٍ من النكليدات المشعة، والتجهيزات، والتشغيل. وقد جرى تقديم وصف تفصيلي للتقنيتين التشخيصيتين المنوه بهما في مقالٍ للباحث Herzog تمّ نشره في هذا العدد.

بالنسبة للصفات الكيميائية الحيوية، فإن لها صلة ضعيفة بالبيانات النووية، وهي تعتمد على المجموعة الوظيفية للجزيء التي سبق أن ارتبط بها النظير المشع. ومن الواضح أن النظائر المشعة قصيرة العمر تكون مناسبة من أجل ظواهر كيميائية حيوية سريعة، كامتصاص الغلوكوز والأكسجين؛ في حين نجد أنه في حالة عمليات أبطأ، كالاصطناع البروتيني، فإن الحاجة ستكون إلى نظائر مشعة أطول عمراً.

★ نشر هذا المقال في مجلة *Radiochim Acta*, Vol 89, 223 - 232 (2001). ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

بيانات النشاط الاشعاعي: حساب جرعة التشعيع الداخلية

كما ذُكِر آنفاً، فإن الخواص الفيزيائية هي التي تحدد اختيار نظير مشع للاستخدام الطبي. لكنه من الضروري أن يؤخذ بعين الاعتبار كل من بيانات الاضمحلال والسلوك البيولوجي للمركّب الموسوم بالنظير المشع عند حساب جرعة التشعيع الداخلية، أي عند حساب الجرعة التي يسددها النكليد المشع المُتناول إلى عضوٍ ما. ولهذا، فإن عمر النصف الفعّال للمركّب الصيدلاني المشع داخل العضو هو عبارة عن جمعٍ ما بين عمري النصف الفيزيائي والبيولوجي.

والمعلومات المتوفرة حول بيانات الاضمحلال كثيرة وواسعة، وهذا - على الأقل - صحيح بالنسبة للنظائر المشعة الشائعة الاستخدام في تقنيتي PET و SPECT. وقد سبق للباحث كويم Qaim، في فصل تمهيدي جرى نشره في العدد 89 من مجلة Radiochim. Acta، أن قدّم عرضاً موجزاً لأنواع البيانات الضرورية في حسابات جرعة التشعيع الداخلية. وقد لقيت طرائق حساب الجرعة الداخلية اهتماماً واسعاً، كما أضحى يتوفر لها حالياً كودات حاسوبية معروفة جيداً تُدعى كودات ميرد MIRD codes. وفي موضع آخر من العدد 89 من المجلة المذكورة آنفاً، قام الباحث Herzog بمناقشة حساب الجرعة في دراسات تشخيصية تستخدم تقنيتي PET و SPECT. ولابد من الإشارة هنا إلى أن معيار الجرعة الدنيا في دراسات تشخيصية يجعل الطلب ملحّاً وثقيلاً حول ما يتعلق بالنقاوة النكليدية الاشعاعية radionuclidic purity للمركب الصيدلاني المشع. وفي حال وجود شيء من التلوث، وبخاصة عندما يكون لدينا نظير بعمر نصف طويل يصدر أشعة جسيمية، فإن ذلك سيقود إلى جرعة تشعيع إضافية. لذلك، كان من الضروري اختيار طريقة التصنيع التي يكون بموجبها النكليد المشع المنتج محتوياً على أخفض كمية ممكنة من الشوائب. وعموماً، يجري التحكم بالشوائب النظيرية عن طريق انتقاء بيانات الإنتاج المناسبة، كما يتمّ التحكم بالشوائب غير النظيرية بوساطة الفصل الكيميائي النظيف. ولابد من القول إن حسابات MIRD تعتمد عموماً على فرضية أن النكليد المشع موضوع الدراسة هو من ذلك النوع الذي يتمتع بأعلى نقاوة ممكنة.

وفي السنوات الأخيرة، تطلّبت اعتبارات القياس الدقيق للجرعة معلومات أكثر تفصيلاً بشأن أشعة جسيمية منخفضة الطاقة ولكن عالية الشدة (مثل إلكترونات التحويل وإلكترونات أوجيه) والتي تترافق مع بعض النكليدات المشعة التشخيصية [كتلك التي يحدث الاضمحلال فيها بواسطة الأسر الإلكتروني (EC) أو الانتقال الأيزوميري (IT)]. وتكون الأشعة منخفضة الطاقة المذكورة آنفاً غير قابلة للكشف بواسطة التجهيزات المستخدمة في الطب النووي لكنها تتسبب بجرعة إضافية. لذلك، تُبذل حالياً جهود جديدة من أجل اختبار معاملات التحويل لانتقالات نووية ذات علاقة بالنظائر المشعة المستخدمة في تقنية SPECT.

المقاطع الفعّالة للتفاعل النووي وحصيلات الإنتاج

تُعدّ المقاطع الفعّالة لتفاعل نووي ذات أهمية كبيرة في عملية إنتاج النظائر المشعة (يمكن الرجوع إلى الفصل التمهيدي بقلم الباحث Qaim للحصول على المزيد حول هذا الموضوع). ومن الناحية المبدئية، يُعدّ تفاعل التنشيط الشهير قابلاً للتطبيق على عمليات التنشيط كافة، سواء كانت محرَّضة بالنترونات أو محرَّضة بالجسيمات المشحونة؛ ولو أن هناك، عملياً، اختلافات بيّنة بين الحالتين المذكورتين، حيث تبدي النترونات عموماً توزعاً طيفياً في حين أن الجسيمات المشحونة تفقد طاقتها سريعاً أثناء اجتيازها للوسط. وفيما يلي، سنُناقش، بشكل منفصل، البيانات النووية ذات الصلة بتصنيع النظائر المشعة داخل المفاعل أو بواسطة السيكلوترون.

إنتاج النظائر المشعة داخل المفاعل النووي

التفاعلات النووية

خضع موضوع إنتاج النكليدات المشعة داخل المفاعل النووي إلى مراجعات مستمرة خلال العقود الأربعة الماضية[1]. وسيقتصر هذا المقال على معالجة المظاهر الخاصة بالبيانات النووية. وفيما يلي نستعرض توصيفاً للعمليات النووية ذات الصلة:

تفاعل (n, γ)

وهو التفاعل الأكثر شيوعاً حدوثه داخل مفاعل نووي ما. ولأن هذه العملية لاتشتمل على عتبة تفاعل فإنه من الممكن تحريضها بواسطة نترونات إما حرارية أو فوق حرارية أو سريعة، ولو أن المقطع الفعّال الأكثر مواءمة يكون للنترونات الحرارية. ويبيّن الجدول 1 عدداً من الأمثلة لنظائر مشعة تمّ تصنيعها عبر هذه الطريقة، ومن بينها النظائر الثلاثة: ^{99}Mo، و ^{125}Xe، و $^{131m,g}Te$، والتي هي، على التوالي، الأسلاف لكلٍ من النظائر الشائع استخدامها: ^{99m}Tc، و ^{125}I، و ^{131}I. والفائدة الرئيسة للإجراء المذكور تكمن في المنهجية البسيطة في حين يكمن المأخذ الرئيس في النشاط الإشعاعي النوعي المنخفض. وبالإمكان معالجة الناحية الأخيرة، أي تحسين النشاط الإشعاعي النوعي ، عبر عملية زيلارد - تشالمر Szilard - Chalmer's process أو عبر تحضير مولد generator preparation، أي عن طريق ناتج الاضمحلال لحصيلة تفاعل (n, γ).

تبعثر لامرن

جرى في السنوات الأخيرة تنشيط عدد من الحالات الأيزوميرية عبر عملية (n, n'γ) وبخاصة تلك التي لها سبينات نووية عالية. وبعض تلك النكليدات المشعة، مثل: ^{117m}In، و ^{119m}Sn، و ^{195m}Pt، يجري إنتاجها بنشاط إشعاعي نوعي أعلى وذلك من خلال العملية (n, n'γ) عوضاً عن التفاعل (n, γ) [2].

أسر تسلسلي نتروني

في بعض الأحيان، قد يُنتج النظير المشع عبر أسر تسلسلي لاثنين من النترونات (انظر الجدول 1). لكن، لهذه العملية استخدام محدود حيث أنها تحدث داخل مفاعل التدفق العالي فقط. ويبدو أن لهذه العملية فائدة مميزة في المجال الخاص بالمعادن الترابية النادرة حيث تكون المقاطع الفعّالة للأسرالنتروني عالية جداً.

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

عملية (انشطار ,n)

تُعدّ هذه العملية شائعة الاستخدام، كما هو الحال في تفاعل (n, γ). وعموماً، يمكن بسهولة ويسر إنتاج منتجات (نظائر) تقع على إحدى قمتي مردود الكتلة لعملية الانشطار. وهناك نوعان هامان جداً من النكليدات المشعة الطبية، هما ^{99}Mo و ^{131}I، يجري إنتاجهما عبرانشطار النظير ^{235}U (الجدول 1). ولهذه الطريقة فائدة عظيمة حيث أنها تقود إلى إنتاج منتجات غير مضاف إليها حامل، أي منتجات ذات نشاط إشعاعي نوعي عالٍ جداً. لكن المأخذ الرئيس يتمثل في المعالجة الكيميائية الواسعة التي تتطلبها هذه العملية.

عملية (n, Z)

ومن إصدار الجسيمات المشحونة في تفاعلات محرَّضة بالنترونات يستفاد أيضاً في إنتاج بعض النظائر المشعة الخاصة. وعموماً، تحدث هذه التفاعلات في المجال الكتلي الخفيف فقط حيث تكون عتبات التفاعل منخفضة ويكون التنافس بين الجسيم المشحون والإصدار النتروني لصالح الأول (الجسيم المشحون). ويُقدِّم الجدول 1 بعض الأمثلة لهذا النوع من النظائر. ولهذه الطريقة ميّزة كبيرة، إذ تتميز المنتجات الناجمة عنها بنشاط إشعاعي نوعي عالٍ؛ لكن المقاطع الفعّالة تكون منخفضة عموماً، باستثناء تلك الخاصة بتشكيل نظيري التريتيوم و ^{14}C. ويجري إنتاج النظيرين الأخيرين، بشكل حصري تقريباً، عبر العملية (n, z).

تفاعلات ثانوية

في حالات محددة، قد يُحرَّض الجسيم المشحون المصدر في تفاعل نووي تفاعلاً ثانوياً على نواة مجاورة؛ ويبيّن الجدول 1 حالتين من هذا القبيل. ولفترة زمنية لابأس بها، كان يتم إنتاج النظير ^{18}F عبر تسلسل التفاعل: $^{6}Li(n, \alpha)^{3}H \rightarrow {}^{16}O(t, p)^{18}F$

لكن مشكلتين رئيستين نجمتا عن هذا الإنتاج هما: الحصيلات المنخفضة نسبياً للنظير ^{18}F، ووجود شائبة التريتيوم. وفي السنوات الأخيرة، حَلَّ الإنتاج السيكلوتروني للنظير ^{18}F، كلياً محل إنتاجه داخل المفاعل. وبشكل مماثل، أضحى أكثر شيوعاً أيضاً إنتاج النظير ^{28}Mg بواسطة سيكلوترون ذي طاقة متوسطة.

وقد أضحى مفهوماً أن استخدام تفاعل ثانوي في إنتاج نكليد مشع طبي يتطلب دراسة دقيقة لكلٍ من المقطع الفعّال للتفاعل الأولي، والطيف الطاقي للجسيم المشحون المصدر، يضاف إلى ذلك أيضاً بروفيل الامتصاص للجسيم ضمن الوسط المحيط به. ويُعدّ أي مركّب كيميائي أو شكل سبيكة ما ملائماً جداً لأغراض هذا النوع من الإنتاج؛ فعلى سبيل المثال، يستخدم المركّب Li_2CO_3 لإنتاج ^{18}F، كما تستخدم سبيكة Li / Mg لإنتاج ^{28}Mg.

المعالجة الكيميائية والاستخدامات

رغم أن هذا يتعلق فقط بموضوع البيانات النووية بشكل غير مباشر، إلا أنه من الضروري الإشارة باختصار إلى التقنيات والطرق المستخدمة للحصول على النكليدات المشعة المرغوبة بالشكل المناسب بعد تنشيطها داخل مفاعل نووي. وبعد عملية التشعيع، يغدو إجراء معالجة كيميائية شاملة أمراً إلزامياً خصوصاً في حال استخدام عملية الانشطار لأغراض الإنتاج. كذلك، يغدو الطلب على النقاوة أمراً ملحاً جداً وبخاصة فيما يتعلق بمحتوى الشوائب المصدرة لأشعة α. وكمثال على ذلك فصل النظير ^{99}Mo من سبيكة $^{235}U\ Al_3$؛ حيث يستخدم ^{99}Mo المفصول كيميائياً لتحضير منظومة مولد generator system، والتي تتضمن تحميل نشاط ^{99}Mo على عمود Al_2O_3 ومن ثم الإزاحة الدورية لناتج الاضمحلال ^{99m}Tc من خلال عملية الغسيل بمحلول ملحي.

وجدير بالذكر أن المولد ^{99m}Tc / ^{99}Mo يُعدّ المنظومة الأعظم شيوعاً من حيث استخدامها في الطب النووي التشخيصي. وبسبب خواص التصوير المثالية للنظير ^{99m}Tc مع تقنية SPECT، نجد أن حوالي 80% من إجراءات الطب النووي المتبعة في أرجاء العالم كافة يجري تنفيذها باستخدام هذا النظير المشع. والشكل المولد المذكور آنفاً يجعل إتاحية ^{99m}Tc أمراً سهلاً؛ مع العلم أن هذا النظير يتمتع بنشاط إشعاعي عالٍ جداً، وبالإمكان استخدامه مباشرة لوسم جزيئات حيوية. وبالفعل، تمّ تطوير عدة عتيدات kits، لا تتطلب سوى إضافة بسيطة من محلول الملح المُزاح الذي يحتوي على ^{99m}Tc، وذلك بهدف الحصول على أنواع محددة من الصيدلانيات المشعة.

وفيما يتعلق بالبيانات النووية، يتطلب بناء منظومة مولد معرفة جيدة بخواص اضمحلال النظيرين المشعين موضع الاهتمام. وبصورة خاصة، تُعدّ أمراً هاماً معرفة عمري النصف للنظيرين؛ ولو أن متطلبات التدريع تستلزم أيضاً دراية بالأشعة الجسيمية والكهرطيسية سواء المصدرة عن اضمحلال النظيرين المشعين أو تلك المصدرة عن الشوائب في حال وجودها.

ويُستخدم في العلاج العديد من النكليدات المشعة المصدرة لأشعة جسيمية والتي جرى إنتاجها بالمفاعل [حول هذا الموضوع، يمكن الرجوع إلى إسهام آخر للباحث Qaim تمّ نشره في العدد 89 من مجلة Radiochim. Acta]. وتجد بعض هذه النظائر المشعة استخداماً لها في دراسات للتقفي ذات صلة بعمليات صناعية، وبعلم الزراعة الإشعاعي، وبظواهر بيئية محددة. وتُستخدم، على نطاق واسع، النكليدات المشعة المصدرة لأشعة لينة: ^{3}H، و ^{14}C، و ^{125}I في دراسات تتضمن استخدام طرائق في الزجاج.

الوضع الحالي للمقاطع الفعّالة للإنتاج

بشكل عام، يُعدّ الوضع الحالي للمقاطع الفعّالة الخاصة بالتفاعل المحرَّض بالنترونات وضعاً جيداً، وهذا عائد أساساً إلى البرامج ذات الصلة بالطاقة. فالبيانات بشأن الأنواع الثلاثة للعمليات الشائع استخدامها في إنتاج النظائر المشعة الطبية [وهي: (n, γ)، و (انشطار ,n)، و (n, z)] هي في الواقع بيانات تمّ تصنيفها [3 - 6] وتقييمها جيداً باستخدام حسابات النموذج النووي [7 - 9]، وكذلك توثيقها [انظر ما ورد في مقال للباحثين Schwerer و Oblozinsky نُشر في العدد 89 من مجلة Radiochim. Acta]. وقد تمّ أيضاً التحقق من صحة بيانات العديد من التفاعلات عن طريق مقارنة قياسات المردود الإجمالي في طيف انشطار

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

الجدول 1- تفاعلات نووية شائعة الاستخدام من أجل إنتاج بعض النظائر المشعة داخل مفاعل نووي.

النكليد المشع	عمر النصف $T_{1/2}$	نمط الاضمحلال (%)	الطاقة الرئيسة لأشعة γ keV(%)	تفاعل التصنيع	المقطع الفعّال (بارن)*
			تفاعل (n, γ)		
^{24}Na	15.0 h	β^- (100)	1369 (100) 2754 (99.9)	^{23}Na(n,γ)	0.53
^{32}P	14.3 d	β^- (100)		^{31}P(n,γ)	0.18
^{35}S	87.5 d	β^- (100)		^{34}S(n,γ)	0.29
^{42}K	12.4 h	β^- (100)	1525 (18.8)	^{41}K(n,γ)	1.46
^{51}Cr	27.7 d	EC (100)	320 (9.8)	^{50}Cr(n,γ)	15.90
^{64}Cu	12.7 h	β^+ (18); EC (45); β^- (37)		^{63}Cu(n,γ)	4.50
^{75}Se	119.8 d	EC (100)	136 (59.0) 265 (59.2) 401 (11.6)	^{74}Se(n,γ)	46.00
^{99}Mo	66.0 h	β^- (100)	140 (90.7) 740 (12.1)	^{98}Mo(n,γ)	0.13
^{125}Xe	16.9 h	β^+ (0.7); EC (99.3)	188 (54.9) 243 (28.8)	^{124}Xe(n,γ)	165.00
^{131m,g}Te†	30.0 h 25.0 min	IT (22); β^+ (78) β^- (100)	774 (38.1) 150 (68.9)	^{130}Te(n,γ)	0.23
^{153}Sm	46.3 h	β^- (100)	103 (28.3)	^{152}Sm(n,γ)	206.00
^{186}Re	89.2 h	β^- (92.2); EC (7.8)	137 (8.5)	^{185}Re(n,γ)	114.00
			أسر تسلسلي نتروني		
^{32}Si	172.0 a	β^- (100)		^{30}Si(n,γ) ^{31}Si(n,γ) (2.6 h)	0.11; 0.3
^{166}Dy†	81.5 h	β^- (100)	82 (13.0)	^{164}Dy$(n,\gamma)^{165}$Dy(n,γ) (2.4 h)	2700; 3500
^{188}W†	69.0 d	β^- (100)	291 (0.4)	^{186}W$(n,\gamma)^{187}$W(n,γ) (23.7 h)	36; 70
			عملية (انشطار, n)		
^{90}Sr†	28.6 a	β^- (100)		^{235}U(n,f)	Y_{cum}: 5.89%
^{99}Mo†	see above			^{235}U(n,f)	Y_{cum}: 6.14%
^{131}I	8.0 d	β^- (100)	364 (81.2) 637 (7.3)	^{235}U(n,f)	Y_{cum}: 2.84%
			تفاعل (n, z)		
^{3}H	12.3 a	β^- (100)		^{6}Li(n,α)	940
^{14}C	5730 a	β^- (100)		^{14}N(n,p)	1.8
^{32}P	see above			^{32}S(n,p)	0.07
^{35}S	see above			^{35}Cl(n,p)	0.08
^{37}Ar	35.0 d	EC (100)		^{40}Ca(n,α)	0.03
			تفاعلات ثانوية		
^{18}F	109.6 min	β^+ (97); EC (3)		^{6}Li$(n,\alpha)^{3}$H → ^{16}O$(t,p)^{18}$F	
^{28}Mg	20.9 h	β^- (100)	401 (36) 1342 (54)	^{6}Li$(n,\alpha)^{3}$H → ^{26}Mg$(t,p)^{28}$Mg	

* المقاطع الفعّالة للأسر وكذلك المقطع الفعّال لكلٍ من ^{6}Li (n, α) و ^{14}N (n, p) هي من أجل نترونات حرارية. المقاطع الفعّالة الأخرى (n, z) هي متوسطات لقيم طيف انشطار النترونات. حصيلات الانشطار هي حصيلات تراكمية (Y_{cum}). من أجل التفاعلات الثانوية، لم يرد في الأدبيات العلمية سوى حصيلات الإنتاج.

† منتجات اضمحلال ذات أهمية أو فائدة: ^{188}W→^{188}Re; ^{166}Dy→ ^{166}Ho; ^{131m,g}Te→^{131}I; ^{99}Mo →^{99m}Tc; ^{90}Sr → ^{90}Y.

محدد مع تلك التي جرى تكاملها من توابع إثارة (n, x) (وذلك من أجل توزع طيف انشطار محدد).

أما بالنسبة للعمليات الأقل شيوعاً من حيث الاستخدام كعمليتي (n, n'γ) والأسر النتروني المزدوج، فيغدو من الضروري أحياناً إجراء قياسات جديدة أو إجراء تقييم للبيانات المتوفرة وبخاصة عند إظهارها لتناقضات كبيرة.

إنتاج النظائر المشعة بواسطة السيكلوترون

لقد سبق أن نوقش، على نطاق واسع، إنتاج النظائر المشعة بواسطة السيكلوترونات وذلك في العديد من مقالات المراجعة والدراسات العلمية والكتب. وكان ظهور أول تحليل نقدي لمسائل البيانات النووية ذات الصلة من مركز أبحاث يوليش في ألمانيا [10]. وفي القسم التالي من هذا المقال،

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

سيجري التأكيد على مفاهيم جديدة لأبحاث بيانات نووية ذات علاقة بالإنتاج السيكلوتروني للنكليدات المشعة.

السيكلوترونات المستخدمة

تمّ خلال العقدين الماضيين تطوير عدة أنواع من السيكلوترونات والمسرّعات من أجل تغطية الطلب النوعي الخاص بإنتاج النكليدات المشعة؛ ويبيّن الجدول 2 خلاصة لأنواع هذه السيكلوترونات تتضمن شكلاً مستحدثاً لتصنيف سابق صدر بشأنها [11]. وتمثل آلة الجسيمات المفردة بطاقة $E_d \geqslant 4$ MeV، أي دون عتبة انفصام الدوترون (لتجنب خلفية نترونية)، أصغر أنواع هذه المسرّعات؛ وهي من الآلات التي يجري استخدامها على نطاق واسع في أوساط المشافي من أجل إنتاج النظير ^{15}O.

الجدول 2– أنواع المسرّعات المستخدمة روتينياً لإنتاج النظائر المشعة.

التصنيف	الخصائص	الطاقة (MeV)	النكليدات المشعة المصنعة
سوية I	• جسيمات مفردة (d)	< 4	^{15}O
سوية II	جسيمات مفردة (p)	≤ 11	^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, ^{18}F
سوية III	جسيمات مفردة أو ثنائية (p ،d)	≤ 20	^{11}C, ^{13}N, ^{15}O, ^{18}F (^{123}I, ^{67}Ga, ^{111}In)
سوية IV	جسيمات مفردة أو عديدة (^{4}He ،^{3}He ،d ،p)	≤ 40	^{38}K, ^{73}Se, $^{75,77}Br$, ^{123}I, ^{81}Rb (^{81}Kr), ^{67}Ga, ^{111}In, ^{201}Tl, ^{22}Na, ^{57}Co
سوية V	جسيمات مفردة أو عديدة (^{4}He ،^{3}He ،d ،p)	≤ 100	^{28}Mg, ^{72}Se (^{72}As), ^{82}Sr (^{82}Rb), ^{117m}Sn, ^{123}I
سوية VI	جسيمات مفردة (p)	≥ 200	^{26}Al, ^{32}Si, ^{44}Ti, ^{67}Cu, ^{68}Ge (^{68}Ga), ^{82}Sr (^{82}Rb), ^{109}Cd, ^{95m}Tc, etc.

• اقترح أيضاً لهذه السوية مسرّع خطي صغير ذو جسيمات ثنائية (p, d).

والمسرّع الذي يأتي في مرحلة لاحقة يُصنف أيضاً كآلة جسيمات مفردة سلبية الأيون بطاقة $E_p \geqslant 11$ MeV أو 12 MeV والتي تستخدم لإنتاج أربعة مصدرات رئيسة لجسيمات β^+، وهي: ^{11}C، و ^{13}N، و ^{15}O، و ^{18}F؛ ولو أن غياب الحزمة الدوترونية يُعدّ إلى حد ما مضراً بإنتاج ^{15}O، كما أن الطاقة البروتونية المنخفضة نوعاً ما تعطي مردوداً منخفضاً للنظير ^{13}N. والمجموعة اللاحقة من المسرّعات ذات المرتبة الأعلى هي آلات ثنائية الجسيمات بطاقتي $E_p \geqslant 20$ MeV، أو $E_d \geqslant 10$MeV، وهي مناسبة بشكل مثالي لإنتاج النظائر المشعة التي يجري استخدامها في تقنية PET. أما الآلات ذات الطاقة الأعلى فلديها قدرات على إنتاج الكثير من النظائر المشعة الأخرى، وبخاصة عندما يتوفر فيها أيضاً، إلى جانب p و d، النظير ^{3}He وحزم جسيمات α. من جهة ثانية، تغدو الحزمة البروتونية هي محور الاهتمام عند اعتبار طاقات أعلى من 100 MeV.

منتجات السيكلوترون والبيانات النووية اللازمة لإنتاجها

تتفوق منتجات السيكلوترون على منتجات المفاعل بعديد من الفوائد. فالمنتجات الأولى تتميز بنشاط إشعاعي عالٍ وجرعة تشعيع منخفضة، وغالباً ما تكون أكثر ملاءمة للتصوير المقطعي الطبقي الإصداري. ونظراً لأنه، في كثير من الحالات، يمكن بسهولة ربط منتجات السيكلوترون مع جزيئات حيوية محددة لذلك كان استخدامها مفيداً جداً من أجل استقصاء وظائف فيزيولوجية في مناطق محددة من الجسم.

وبسبب وجود تنوع في الجسيمات المشحونة المتاحة وبسبب الطيف الواسع للطاقات المستخدمة تصبح الحاجة إلى البيانات النووية أعظم وأشد إلحاحاً بالنسبة للنظائر المشعة المنتجة بالسيكلوترون منها بالنسبة لتلك التي يجري إنتاجها داخل المفاعل. وفيما يلي نورد معالجة تفصيلية لبعض المجموعات البارزة من النكليدات المشعة.

مُصدرات البوزترون

إن معظم الدراسات المتعلقة بتقنية PET، والمنشورة حتى تاريخه، قد نُفّذت باستخدام أربعة من مصدرات البوزترون القصيرة العمر هي: ^{11}C ($T_{1/2}$ = 20 دقيقة)، و ^{13}N ($T_{1/2}$ = 10 دقائق)، و ^{15}O ($T_{1/2}$ = 2 دقيقة)، و ^{18}F ($T_{1/2}$ = 110 دقيقة). وعموماً، تستخدم النكليدات المشعة الثلاثة الأولى في موقع الإنتاج. من جهة ثانية، يُعدّ ^{18}F مناسباً للنقل إلى مراكز مجاورة تستخدم تقنية PET وغير مجهزة بسيكلوترون. وهناك أيضاً اهتمام كبير بالنظيرين ^{68}Ga ($T_{1/2}$ = 68 دقيقة) و ^{82}Rb ($T_{1/2}$ = 1.3 دقيقة) المتحصل عليهما من نظائر سلفية مولدة generator parent isotopes أطول عمراً. ويبيّن الجدول 3 خلاصة للطرق الروتينية المستخدمة في إنتاج مصدرات β^+ الشائع استخدامها [12، 13].

وعموماً، يجري إنتاج مصدرات β^+ العضوية باستخدام تفاعلات نووية منخفضة الطاقة مثل: (p, n)، (p, α)، (d, n)، (d، α)، إلخ. ويُعدّ السيكلوترون الصغير الحجم مناسباً لأغراض الإنتاج هذه. وجرى قياس توابع الإثارة في عديدٍ من المخابر؛ وتُظهر المقاطع الفعّالة تأرجحاً قوياً يُحتمل عزوه إلى مجموعة السويات المعروفة وغير المترابطة لنواة المنتج. ولأول وهلة،لا يستطيع نمط الحسابات النووية توصيف توابع إثارة كهذه. ولهذا، لم يستخدم سوى إجراءات مواءمة إحصائية في محاولة جرت مؤخراً لتقييم البيانات المتوفرة حالياً عبر برنامج بحث منسق (CRP) تابع للوكالة الدولية للطاقة الذرّية [14]. و يُظهر الشكل 1 خطاً بيانياً موصى به للتفاعل ^{16}O (P, α) ^{13}N مأخوذاً عن [14]. على أية حال، تُبدي الحصيلات المكاملة المحسوبة من توابع الإثارة منحنيات سلسة (غير متعرجة)، بمعنى أنه يجري، من خلال عملية الإنتاج، استبعاد تأثيرات البنية النووية [12].

تُستخدم حالياً، وبشكلٍ روتيني، في مجال الطب النووي التشخيصي عدة صيدلانيات مشعة تصدر β^+ [13]. وفي هذا السياق، يُعدّ ذا أهمية

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

الجدول 3- الطرق الروتينية لإنتاج بعض مصدرات البوزترون الشائع استخدامها [12، 13].

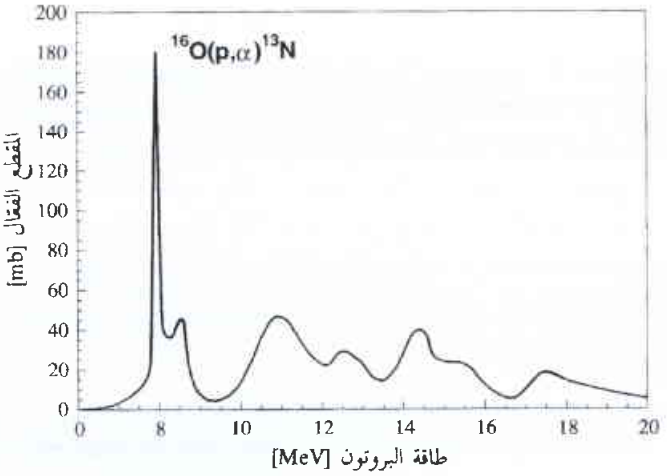
النكليد المشع	عمر النصف $T_{1/2}$	نمط الاضمحلال (%)	الطاقة الرئيسة لأشعة γ keV(%)	بيانات الإنتاج: التفاعل النووي•	المجال الطاقي (MeV)	حصيلة الهدف السميك $MB_q(mCi)/\mu A.h$
^{11}C	20.4 min	β^+ (99.8) EC (0.2)	511 (199.6)	$^{14}N(p,\alpha)$	$13 \rightarrow 3$	3820 (103)
^{13}N	10.0 min	β^+ (100)	511 (200)	$^{16}O(p,\alpha)$	$16 \rightarrow 7$	1665 (45)
^{15}O	2.0 min	β^+ (99.9) EC (0.1)	511 (199.8)	$^{14}N(d,n)$	$8 \rightarrow 0$	2368 (64)
				$^{15}N(p,n)$	$10 \rightarrow 0$	2220 (60)
^{18}F	109.6 min	β^+ (97) EC (3)	511 (194)	$^{18}O(p,n)$	$16 \rightarrow 3$	2960 (80)
				$^{20}Ne(d,\alpha)$	$14 \rightarrow 0$	1110 (30)
^{68}Ge ↓ (generator)	271 d	EC (100)		RbBr(p, spall) $^{69}Ga(p,2n)$	800, 500	0.15 (0.0004)
^{68}Ga	68 min	β^+ (90) EC (10)	511 (180) 1077 (3)			
^{82}Sr ↓ (generator)	25 d	EC (100)		Mo(p, spall)	800	3.7 (0.1)
				$^{85}Rb(p,4n)$	$60 \rightarrow 40$	14.8 (0.4)
^{82}Rb	1.3 min	β^+ (96) EC (4)	511 (192) 776 (13.4)			

• يمكن حالياً الحصول على توابع الإثارة التي جرى تقييمها لجميع التفاعلات المبيّنة هنا (باستثناء عملية التشظي spallation process) من [14]. تتفق عموماً الحصيلات المبيّنة هنا مع تلك المنشورة في [14].

رئيسة المنتج "2 - [^{18}F]fluoro - 2 - deoxy - D - glucose" والذي يُعرف عادة باسم FDG؛ وقد تمّ تطوير اصطناع هذا المركب الصيدلاني المشع في مركز أبحاث يولش بألمانيا [15]، وأضحت تتوفر منه حالياً كميات بسوية الكوري عن طريق استخدام مصطنعات آلية خاصة. و في موقع آخر من العدد الذي نُشر فيه هذا المقال نوقشت التطبيقات السريرية لعدة قفّاءات مستخدمة في تقنية PET (إسهام الباحث Herzog فيمايتعلق بالتصوير الوظيفي المنشور في هذا العدد.

أما بشأن مصدرات β^+ المنتجة من مولدات (نظائر سلفية مولدة) فإنها تجد معظم تطبيقاتها في دراسات PET التي يجري تنفيذها في مراكز غير مجهزة بسيكلوترون.

الشكل 1 - تابع الإثارة للتفاعل $^{16}O(p,\alpha)^{13}N$ البيانات مأخوذة عن [14].



والنظيران السلفيان لأكثر المنظومات شيوعاً من حيث الاستخدام هما ^{68}Ge و ^{82}Sr (انظر الجدول 3)، وهما يمثلان نظائر صعبة الإنتاج إلى حدٍ ما. ورغم أن بيانات المقطع الفعّال لتفاعلي (p, xn) الموائمين المذكورين آنفاً قد تمّ قياسهما وتقييمهما حديثاً [14]، إلا أنه، وبسبب مشاكل استهدافية، تظل عملية التشظي [16، 17] أفضل طريقة مختارة للإنتاج في كلتا الحالتين. هذا، وأضحت معروفة حصيلات الإنتاج للنظيرين المذكورين آنفاً.

إن عدد مصدرات β^+ التي تتمتع بإمكانيات مثيرة هو كبير نسبياً لكن أهميتها النسبية في تغير مستمر؛ وغالباً مايتطلب إنتاجها سيكلوترونات أضخم. وقد ثَبُت، في كثير من الحالات، أن الآلات التي تُسرِّع أربعة أنواع من الجسيمات (p، و d، و ^{3}He، و α) هي آلات شديدة التنوع ومتعددة الاستعمال. ومن الواضح أن التطوير لعملية إنتاج ما (للنظائر المشعة) يشتمل على قدرٍ كبير من العمل البحثي في مجال البيانات النووية.

مصدرات الفوتون

وَجدَ عدد كبير من النكليدات المشعة تطبيقات له في مجال الطب النووي التشخيصي باستخدام إما كاميرات γ أو تقنية SPECT كما جرى في السنوات الأخيرة. ويُعدّ ^{99m}Tc ($T_{1/2}$ = 6.0 ساعة) النكليد المشع الأكثر شيوعاً استخدامه في تقنية SPECT، وهو نظير يجري إنتاجه باستخدام مفاعل نووي. ويبيّن الجدول 4 قائمة لنكليدات مشعة أخرى يمكن استخدامها في تقنية SPECT ويجري إنتاجها بواسطة السيكلوترون؛ ويحتاج جميع هذه النكليدات المشعة في إنتاجها إلى سيكلوترون متوسط الحجم، ولو أنه أمكن أيضاً في بعض الحالات (كما هو الحال بالنسبة لكل من: ^{67}Ga، ^{111}In، ^{123}I) استخدام آلات منخفضة الطاقة قادرة على تحريض تفاعلات (p, n) [18 - 20]. وقد أصبحت معروفة بيانات المقطع الفعّال للتفاعل النووي الخاصة بمعظم العمليات، كما جرى مؤخراً تقييمها باستخدام كل من حسابات النموذج النووي وطرائق المواءمة [21]. وإنه لأمر مدهش حقاً أن تبقى متناقضة تلك البيانات الخاصة بالعملية ^{124}Xe (p, X) الشائع استخدامها لإنتاج ^{123}I، وهو النكليد المشع المستخدم على نطاق واسع في تقنية SPECT.

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

الجدول 4- طرائق روتينية لإنتاج بعض مصدرات الفوتون الشائع استخدامها [10، 13].

النكليد المشع	عمر النصف $T_{1/2}$	نمط الاضمحلال (%)	الطاقة الرئيسة لأشعة γ keV(%)	بيانات الإنتاج: التفاعل النووي*	المجال الطاقي (MeV)	حصيلة الهدف السميك MBq(mCi)/μA h
^{67}Ga	3.26 d	EC (100)	93 (37) 185 (20) (199.6)	^{68}Zn (p, $2n$) ^{67}Zn (p, n)	26 → 18	185 (5)
^{99}Mo ↓ (generator)	2.75 d	β^- (100)	181 (6) 740 (12)	^{235}U (n, f) ^{98}Mo (n, γ)		[a] [b]
^{99m}Tc	6.0 h	EC (100)	141 (87)			
^{111}In	2.8 d	EC (100)	173 (91) 247 (94)	^{112}Cd (p, $2n$) ^{111}Cd (p, n)	25 → 18	166 (4.5)
^{123}I	13.2 h	EC (100)	159 (83)	^{123}Te (p, n) ^{124}Te (p, $2n$) ^{127}I (p, $5n$)^{123}Xe [c] ^{124}Xe (p, x)^{123}Xe [c]	14.5 → 10 26 → 23 65 → 45 29 → 23	137 (3.7) 392 (10.6) 777 (21) [d] 414 (11.2) [d]
^{201}Tl	3.06 d	EC (100)	69 – 82 (X-rays) 166 (10.2)	^{201}Tl (p, $3n$)^{201}Pb [e]	28 → 20	18 (0.5) [f]

* يمكن حالياً الحصول على توابع الإثارة التي جرى تقييمها لجميع التفاعلات المبينة هنا (باستثناء التفاعلات المحرّضة بالنترون) من [21]. تتفق عموماً الحصيلات المبيّنة هنا مع تلك المنشورة في [21].

a: كميات من هذا النظير المشع مقدّرة بوحدة TBq_q[مئات من الكوري (Ci)] يجري إنتاجها في مراكز متطورة جداً.

b: طرائق مستخدمة في مخابر أقل تطوراً.

c: يضمحل ^{123}Xe بواسطة EC (87%) وإصدار β^+ (13%) ليشكل النظير ^{123}I.

d: يُعدّ هذا حصيلة ^{123}I المتوقعة من اضمحلال ^{123}Xe خلال فترة زمنية مثلى تقدر بحوالي 7 ساعات.

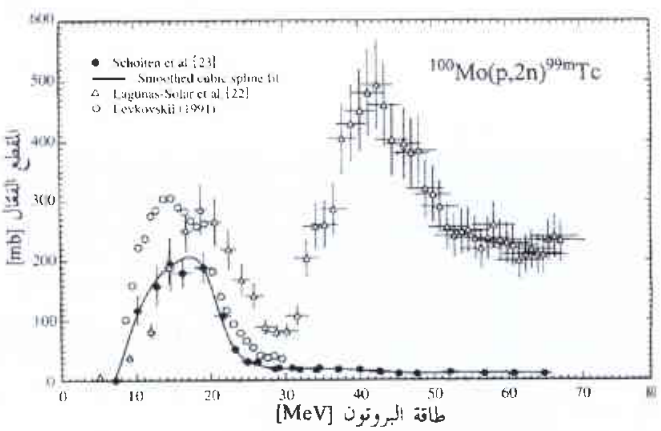
e: يضمحل ^{201}Pb بواسطة EC(100%) ليشكل النظير ^{201}Tl.

f: يُعدّ هذا حصيلة ^{201}Tl المتوقعة من اضمحلال ^{201}Pb خلال فترة زمنية مثلى تقدر بحوالي 32 ساعة.

حول إمكانية الإنتاج بمسرّع للمنظومة ^{99m}Tc / ^{99}Mo

كان هناك بعض التخوف حول إمكانية الحصول على إمدادات مستمرة من النكليد المشع ^{99m}Tc والذي يُعدّ الأكثر شيوعاً واستخداماً في تقنية SPECT. ومع الإغلاق المستمر للمفاعلات الهرمة، تغدو معرّضة للخطر الكميات المعروضة من النظير ^{99}Mo، هو السلف المولد للنظير ^{99m}Tc. لذلك، جرى تكريس بعض الأفكار نحو إمكانية إنتاج ^{99}Mo و ^{99m}Tc بواسطة السيكلوترون. وفي تقرير نشره لاغوناس - سولار Lagunas - Solar وزملاؤهما [22] تطورت المطالبة لتشمل حتى إمكانية الاستعاضة عن المفاعلات جزئياً أو كلياً بسيكلوترونات متوسطة الحجم كطريقة من أجل إنتاج منظومة ^{99m}Tc / ^{99}Mo؛ وكان ادعاؤهم هذا مبنياً على ما وجدوه من ارتفاع ملفت للنظر للمقطع الفعّال الخاص بكلٍ من التفاعلين ^{99}Mo (p,γ) و ^{99m}Tc ^{100}Mo (p, 2n). وفي دراسة أُجريت برعاية من الوكالة الدولية للطاقة الذرّية IAEA وأُنجز معظمها في مركز أبحاث يوليش، تمكن شلتن Scholten وزملاؤه [23] من إجراء بعض القياسات المفتاحية مستخدمين أنواعاً عدة من السيكلوترونات؛ وقد وجد هؤلاء أن المقطع الفعّال للتفاعل ^{99m}Tc ^{98}Mo (p, γ) كان صغيراً إلى درجة يمكن إهماله (0.2mb >) عبر كامل المدى الطاقي المختبر الذي تراوح ما بين 6 إلى 45 MeV. ويبيّن الشكل 2 نتائج القياسات التي أُجريت على النظير ^{100}Mo عالي الإغناء. وتُعزى الذروة التي تُلاحظ في المقطع الفعّال عند حوالي 17 MeV إلى التفاعل ^{99m}Tc ^{100}Mo (p, 2n)؛ وهذا ما عُزي خطأً، من قبل لاغوناس-سولار وزملائهما، إلى العملية ^{98}Mo (p, γ) ^{99m}Tc. وفي العمل البحثي الذي نشره شلتن وزملاؤه [23] لم تُلاحظ الذروة الحادة الثانية عند حوالي 42 MeV والتي أخبر عن وجودها لاغوناس-سولار وزملاؤهما. وقد قادت دراسة شلتن وزملائه إلى الاستنتاج بإمكانية إنتاج النظير ^{99m}Tc بواسطة السيكلوترون بكميات صغيرة ومن أجل الاستخدام المحلي فقط؛ وبأن الكمية المنتجة من ^{99}Mo تُعدّ صغيرة وهي، بدون ريب، ذات نشاط إشعاعي نوعي منخفض. وبناء عليه، لاتوجد بدائل لمولدات ^{99m}Tc / ^{99}Mo المنتجة بواسطة المفاعل. وقد أدّت قياسات نُفذت باستخدام الدوترونات، وأُجريت بالتعاون بين مركزي أبحاث Brussels / Debrecen، إلى استنتاج مشابه نوعاً ما إلى ماسبق ذكره آنفاً.

وفي الوقت الحالي، هدأت الحالة بشأن الخلاف المذكور آنفاً، حيث أمكن استنباط تجهيزات جديدة لإنتاج ^{99}Mo الانشطاري. ومهما يكن من أمر، فإن النتائج التي تمّ الاستشهاد بها أعلاه والمناقشة التي اعتمدت عليها تُظهر أهمية الحصول على قياسات دقيقة للمقطع الفعّال، كما تشير



الشكل 2- تابع الإثارة للتفاعل ^{99m}Tc ^{100}Mo (p, 2n).

الشكل مأخوذ عن [23]. لم تُلاحظ الذروة الحادة عند حوالي 42 MeV، والتي أفاد بها [22]، من قبل مؤلفي [23] الذين استخدموا ^{100}Mo عالي الإغناء كمادة هدف.

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

إلى أن بيانات غير دقيقة وغير معوّل عليها قد تؤدي إلى تفسيرات خاطئة وإلى تناقضات لامبرر لها. ورغم ماسبق ذكره من ملاحظات سلبية بشأن إمكانية إنتاج ^{99m}Tc بواسطة سيكلوترون صغير أو متوسط الحجم، لابد من الإشارة إلى أنه لايمكن الجزم نهائياً بعدم صلاحية المسرّعات لإنتاج منظومة ^{99m}Tc / ^{99}Mo. فمن الممكن - في حال توفر مسرّع بروتوني عالي الطاقة يمكن استغلاله في إنتاج نترونات بطريقة التشظي - استخدام انشطار ^{235}U لإنتاج النظير ^{99}Mo بكميات كبيرة.

بعض الاعتبارات الخاصة الواجب مراعاتها في دراسات البيانات النووية

لابد أن تؤخذ في الحسبان المفاهيم التالية عند القيام بأعمال البحث والتطوير في مجال إنتاج النظائر المشعة بواسطة السيكلوترون.

البحث عن طرق بديلة للإنتاج

يغدو ضرورياً تطوير طريقة بديلة للإنتاج وذلك عائد لواحد أو أكثر من الأسباب التالية:

(i) إمكانية الحصول، في السيكلوترون، على جسيم مُسرَّع مفرد مع تقييد لطاقته.

(ii) الطلب على مردود أعلى ونقاوة أعلى للمنتج.

(iii) الطلب على نشاط إشعاعي نوعي أعلى.

وفي تلك الحالات (المبيّنة في الجدول 5) وفي حالات كثيرة أخرى، قد يتطلب إيجاد طريقة بديلة للإنتاج استخدام نظير هدف عالي الإغناء يتمتع بوفرة طبيعية منخفضة جداً. واستنباط العملية $^{123}I \rightarrow ^{123}Xe$ $^{124}Xe\ (p, x)$ يوضح الطلب المتغير على النوعية الخاصة بالنكليدات المشعة ذات الأهمية الطبية. فالوفرة الطبيعية للنظير ^{124}Xe هي في حدود 0.1% فقط، لذلك كان مكلفاً جداً الحصول على ^{124}Xe عالي الإغناء. وما أصبح في هذه الأيام تقنية شائعة للإنتاج، لم يكن ممكناً تخيله قبل حوالي 20 سنة مضت.

الجدول 5- استنباط طرق بديلة للإنتاج

السبب وراء طريقة بديلة للإنتاج	الإغناء المستخدم (%)	الوفرة الطبيعية للهدف (%)	طريقة بديلة للإنتاج	طريقة شائعة للإنتاج	النكليد المشع
سيكلوترون صغير الحجم مجهز بحزمة p فقط	99	0.37	$^{15}N\ (p, n)$	$^{14}N\ (d, n)$	^{15}O
	98	0.20	$^{18}O\ (p, n)$	$^{20}Ne\ (d, \alpha)$	^{18}F
	96	0.06	$^{38}Ar\ (p, n)$	$^{35}Cl\ (\alpha, n)$	^{38}K
الطلب على النقاوة	99.9	0.10	$^{124}Xe\ (p, x)^{123}Xe \rightarrow$	$^{124}Te\ (p, 2n)$ $^{127}I\ (p, 5n)^{123}Xe \rightarrow$	^{123}I
الطلب على نشاط إشعاعي نوعي عالٍ	99.8	28.60	$^{186}W\ (p, n)$	$^{185}Re\ (n, \gamma)$	^{186}Re

الحاجة لبيانات دقيقة قرب عتبات التفاعل

مع الاستخدام المتزايد للسيكلوترونات ذات الطاقة المنخفضة في برامج إنتاج النظائر المشعة الطبية، تعززت أهمية بيانات المقطع الفعّال قرب عتبات التفاعل. ويعتمد كثير من البيانات القديمة على قياسات لتابع الإثارة كانت فيها طاقة الجسيم الوارد عالية إلى حدٍ ما. ومع تدهور الطاقة في الكدسات عبر مسافات واسعة، تصبح البيانات التجريبية للمقطع الفعّال قرب عتبات التفاعل غير دقيقة. ويمكن هنا للنظرية أن تُقدِّم بعض التوجيه حيث يجري حساب العتبة بشيء من الدقة مقارنة بالمقطع الفعّال الأعظمي. وبالإمكان إعطاء مثال جيد من خلال قياسٍ أُجري مؤخراً على تابع إثارة التفاعل ^{124}I $^{124}Te\ (p, n)$ [24]. وبسبب قلة البيانات المتوفرة عند $E_p \geq 12$ MeV، فقد اعتُبر التفاعل الأخير غير ملائم لإنتاج ^{124}I. لكن قياسات جديدة [24] أظهرت أن عتبة التفاعل المذكور هي أقل بحوالي 2.5 MeV. لذلك يمكن، وبشكلٍ مربح، استخدام العملية المذكورة آنفاً لإنتاج النظير ^{124}I بواسطة سيكلوترون صغير الحجم.

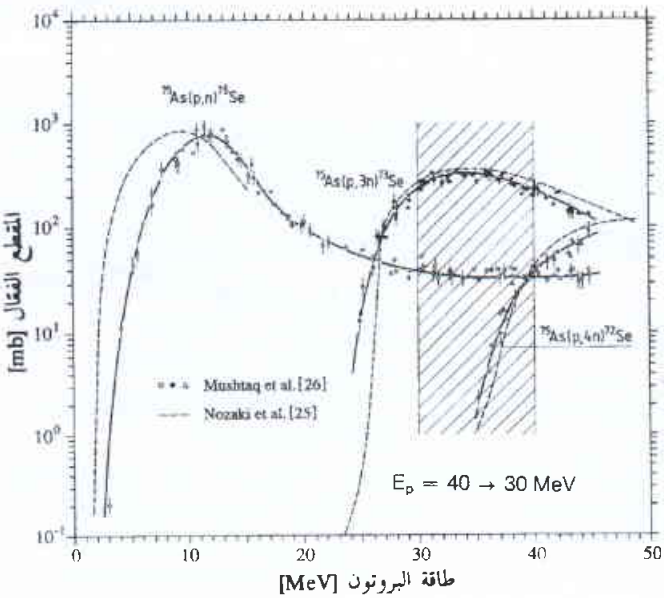
تأثير زيادة طاقة الجسيم الوارد

من المعروف أنه عند زيادة طاقة الجسيم الوارد يزداد عدد القنوات المتنافسة للتفاعل. وتُعدّ التفاعلات المؤدية إلى تشكل شوائب نظيرية هي الأعظم أهمية؛ حيث يمكن إزالة الشوائب غير النظيرية بالفصل الكيميائي. وكمثالٍ على ما ذُكر، نورد البيانات الخاصة بالتفاعلات $^{75}As\ (p, xn)\ ^{75, 73, 72}Se$ [25، 26] التي جرى تبيانها في الشكل 3. ويبدو أن مجال الطاقة $E_p = 40 \rightarrow 30$ MeV هو المجال الأعظم فائدة من أجل إنتاج النظير ^{73}Se ($T_{1/2} = 7.1$ ساعة) المصدر لجسيمات β^+. فعبر مجال للطاقة كهذا يصل مردود النظير ^{73}Se إلى 1400 MBq / μAh كما تصل سوية شائبة $^{72, 75}Se$ إلى <0.2%. ومن الواضح أن تصبح الاحتياجات البيانية تصبح أعظم كلما ارتفعت طاقة القذف. وعند طاقات عالية تحدث عملية التشظية والتي تقود بدورها تقود إلى عددٍ كبير من المنتجات. وتغدو الاحتياجات البيانية عالية كما يغدو الجهد المبذول في المعالجة الكيميائية كبيراً وشاملاً.

شوائب نظيرية

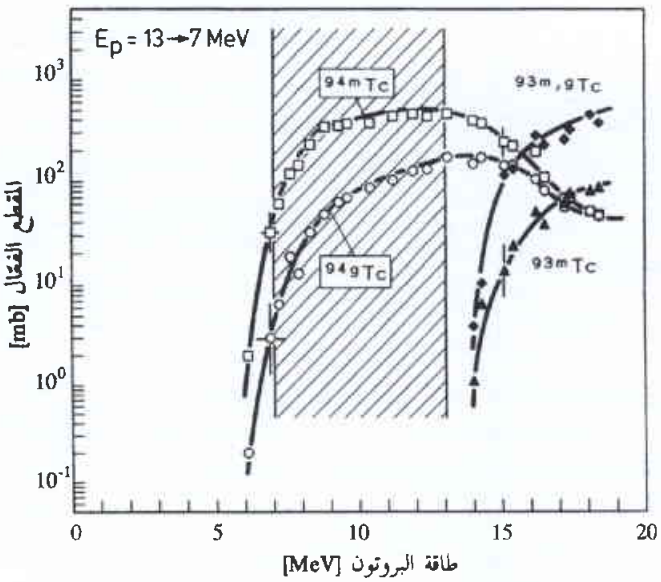
النكليدات المشعة السيكلوترونية التي يجري استخدامها عادة (مصدرات للبوزترون، أو نظائر مشعة تستخدم في تقنية SPECT مثل: ^{123}I، و ^{201}Tl، إلخ.) هي نظائر خالية من أية حالة أيزوميرية أخرى قابلة للقياس. من ناحية أخرى، هناك العديد من النكليدات المشعة التي تتألف من حالتين أيزوميريتين ولها إمكانيات استخدام مفيدة في أعمال بحثية ممتعة. وفي الواقع، لن تكون هناك أية مشكلة عندما تكون إحدى الحالتين الأيزوميريتين قصيرة العمر بحيث تضمحل وتفقد نشاطها الإشعاعي في الوقت الذي يبدأ فيه استخدام الأيزومير الأطول عمراً.

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



الشكل 3- توابع الإثارة لتفاعلات التوليد $^{75}As(p, xn)^{75-x}Se$ التي تصور تأثير ازدياد طاقة القذف. مجال الطاقة الأمثل لإنتاج النظير ^{73}Se هو E_p = 40 ← 30 MeV. الشكل مأخوذ عن [26].

لكننا قد نواجه بعض الصعوبات في تحليل منحنيات الاضمحلال وفي المحافظة على سوية دنيا من جرعة التشعيع إذا كان الأيزومير الأقصر عمراً هو النظير موضع الاهتمام والاستخدام. وفي هذا السياق، ظهر في الآونة الأخيرة اثنان من الأمثلة الممتعة، وهما النظيران $^{94m, g}Tc$ و $^{120m, g}I$. ففي النظير الأول، نجد أن الحالة شبه المستقرة ^{94m}Tc metastable state ($T_{1/2}$ = 53 دقيقة) هي التي تكون موضع الاهتمام، في حين أن الحالة الأساسية ^{94g}Tc ground state ($T_{1/2}$ = 4.9 ساعة) هي التي تمثل النكليد المشع المُشوِّش. أما بالنسبة للنظير الثاني، فتكون الحالة الأساسية ^{120g}I ($T_{1/2}$ = 1.4 ساعة) هي المهمة و تكون الحالة شبه المستقرة $^{120\ m}I$ ($T_{1/2}$ = 53 دقيقة) هي المشوشة. وبالإمكان بطرق مختلفة إنتاج النكليدين المشعين موضع الاهتمام. ومن الأهمية بمكان معرفة النسبة الأيزومرية للمقطع الفعّال في كل حالة. ويبيّن الشكل 4 تابعي الإثارة المقيسين للتفاعلين: $^{93m, g}Tc$ $^{94}Mo(p, 2n)$، و $^{94m, g}Tc$ $^{94}Mo(p, n)$ [27]. وبينما سيكون ممكناً إزالة الشوائب النظيرية $^{93m, g}Tc$ من $^{94m,g}Tc$ بإجراء انتقاء دقيق لمجال طاقة البروتون داخل الهدف فإنه لن يكون ممكناً (حتى عبر مجال أمثل للطاقة قدره E_p = 13 ← 7MeV تكون فيه نسبة ^{94m}Tc / $^{94, g}Tc$ ثابتة عند 0.07) إزالة الـ 7% لشائبة $^{94, g}Tc$. ولم يكن بالمستطاع إحداث تغير في النسبة الأخيرة إلاّ باستخدام تفاعل نووي آخر مثل: ^{93}Nb (^3He, 2n) $^{94m, g}Tc$، أو ^{92}Mo (α, pn) $^{94m, g}Tc$. وفي حالة الزوج الأيزومري $^{120m, g}I$، فقد تمّ استقصاء ثلاثة تفاعلات هي: ^{122}Te (p, 3n) $^{120m, g}I$، و ^{120}Te(p, n) $^{120m, g}I$، و ^{120}Te (d, 2n) $^{120\ m, g}I$. وقد وجد أن سوية الشائبة ^{120m}I في ^{120g}I كانت في حدودها الدنيا عند اتباع العملية ^{120}Te (p, n) [28]. ومن الواضح أن استنباط نظائر جديدة، وبخاصة تلك المحتوية على حالات أيزومرية، يتطلب قدراً كبيراً من العمل البحثي في أسس الكيمياء النووية.



الشكل 4- توابع الإثارة للعمليات ^{94}Mo (p, xn) المؤدية إلى تشكل كل من: ^{94m}Tc، و ^{94g}Tc، و ^{93m}Tc، و $^{93m, g}Tc$. مجال الطاقة الأمثل لإنتاج ^{94m}Tc هو E_p = 13 ← 7 MeV، ولو أنه لايمكن بشكل كامل إزالة الشائبة الأيزومرية ^{94g}Tc. الشكل مأخوذ عن [27].

الوضع الراهن لبيانات المقطع الفعّال وللاختبارات المتكاملة

عند مقارنتها ببيانات إنتاج النكليدات المشعة عبر تفاعلات مُحرَّضة بالترون داخل مفاعل نووي، نجد أن بيانات التفاعلات المحرضة بجسيم مشحون بواسطة السيكلوترونات والمسرّعات لم تحظَ بتقييم ذي قدر كبير من التفصيل. ورغم أن حجم البيانات المتاحة ليس صغيراً [29، 30] إلّا أن الجهد الموظف لم يكن كبيراً من أجل تقييم منهجية البيانات الخاصة بالجسيم المشحون. وتمَّ في الآونة الأخيرة فقط لحظ التفاعلات الأكثر شيوعاً من أجل إنتاج مصدرات β^+ و γ وذلك ضمن إطار برنامج بحث منسق (CRP) قامت به الوكالة الدولية للطاقة الذرّية. وقد وجد من خلال هذا البرنامج أن للنظرية استخداماً محدوداً؛ وبالتالي كان التوكيد الرئيس منصباً على إجراءات المواءمة. وهكذا، أضحت متاحة الآن تلك البيانات المقيَّمة الخاصة بالتفاعلات الأخيرة [14، 21]. ولابد أن يكون اختبار البيانات، عبر قياسات المردود المتكامل وتحت ظروف مُعرّفة جيداً، هو الخطوة اللاحقة؛ ولو أن هذا لم يتحقق حتى تاريخه.

وإلى جانب النكليدات المشعة التشخيصية التي توطدت أركانها جيداً، هناك عدة نكليدات مشعة لاتقليدية، من النوع الذي يستخدم في أعمال البحث، والتي بدأت تكتسب اهتماماً عالمياً متزايداً [31]. ويتطلب تطوير طرق إنتاج للنكليدات المشعة المذكورة آنفاً أبحاثاً مفصلة في مجال البيانات النووية تشتمل على أعمال تجريبية بالإضافة إلى حسابات النموذج النووي.

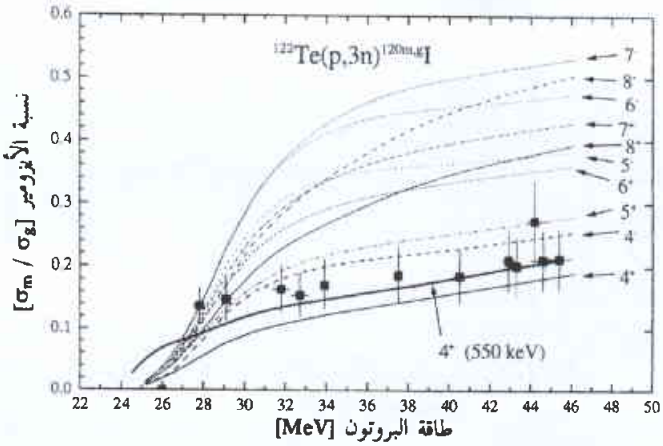
دور حسابات النموذج النووي

لحسابات النموذج النووي أهمية بالغة في برامج إنتاج النظائر المشعة الطبية، وبخاصة من حيث قدرتها على التنبؤ في حال وجود مقاطع فعّالة غير معروفة. وقد تبيّن أن النموذج الإحصائي المستخدم لشكلية هوزر - فشباخ Hauser - Feshbach formalism كان ناجحاً جداً في مجال طاقات حتى غاية 20 MeV. وشاع استخدام نموذج الهجين ما قبل المركّب precompound - hybrid model عند طاقات أعلى من المجال المذكور آنفاً.

وتساهم في إنتاج النكليدات المشعة داخل المفاعل تفاعلات محرّضة بالنترون تصل لغاية 20 MeV. ويمكن بواسطة النظرية الحصول على توصيف جيد نوعاً ما لمعظم المقاطع الفعّالة للتفاعل. أما بالنسبة للمقاطع الفعّالة غير المعروفة فتكون مقدرة النظرية على التنبؤ عالية، خصوصاً عند جمعها مع منظومات معروفة المقطع الفعّال. وفي حالة الإنتاج السيكلوتروني للنكليدات المشعة يساهم عدد كبير لقنوات التفاعل في مجالات مختلفة للكتلة. ومن أجل إعادة تمثيل (أو توليد) مقاطع فعّالة للإنتاج تكون حسابات النموذج النووي ناجحة بشكلٍ جزئي فقط. وعلى سبيل المثال، لايمكن للنظرية أن تساعد على ذلك في المجال الخفيف للكتلة والذي يُعدّ مجالاً بالغ الأهمية لتقنية PET. أما بالنسبة للمجالين المتوسط والثقيل للكتلة، فيمكن جيداً توصيف منتجات التفاعل، وبخاصة (p, xn) و (d, xn)، لغاية طاقات للجسيم الوارد تصل إلى حوالي 50 MeV (انظر إسهام الباحث Shubin في العدد 89 من مجلة Radiochim. Acta). وبصورة خاصة، قد تكون البيانات المحسوبة مفيدة في تعديل عتبات التفاعل حيث أن الكثير من المنحنيات التجريبية تكون خاطئة إلى حدٍ ما قرب هذه العتبات. وفي تفاعلات أخرى - كتفاعلات (p, α)، و (d, pxn)، و (^{3}He, xn)، و (α, xn)، إلخ - قد تحدث انحرافات لابأس بها بين البيانات التجريبية والمحسوبة [32، 33]. وحتى التفاعلين البسيطين (p, xn) و (d, xn) لايتولدان جيداً بواسطة النظرية عند طاقات أعلى من 50 MeV. من جهة ثانية، لابد من التأكيد على أن البيانات المحسوبة قد تكون بقدرٍ كافٍ من الدقة من أجل العلاج بالبروتونات والنترونات (انظر إسهام الباحث Chadwick في العدد 89 من مجلة Radiochim. Acta). وحيث أن الدقة المتوخاة في أعمال إنتاج النظائر تكون أكثر صرامة لذلك توجب إيلاء تركيز أعظم على البيانات التجريبية.

وعلى نقيض المقطع الفعّال الإجمالي لقناة التفاعل، يُعدّ المقطع الفعّال الجزئي (أو بمعنى آخر احتمال تشكيل حالة أيزوميرية) أكثر إلحاحاً وذلك بسبب ضرورة تلقيم معلومات كاملة عن البنية النووية. لذلك، لايمكن للنظرية فقط أن تتنبأ بتوابع الإثارة من أجل تشكيل شوائب أيزوميرية، وتغدو الدراسات التجريبية الداعمة أمراً ضرورياً. وعلى سبيل المثال، نورد الشكل 5 الذي يبيّن النتائج [34] الخاصة بالزوج الأيزوميري $^{120m, g}$I.

وقد تمّ في التفاعل ^{122}Te (p, 3n) $^{120m, g}$I تقدير النسبة $[\sigma_m / \sigma_g]$ بطريقة تجريبية كما تمّ حسابها باستخدام الكود STAPRE. وبينما كان للحالة الأرضية ($T_{1/2}$ = 1.4 ساعة) سبين (2^+)، لم يكن سبين الحالة شبه المستقرة ($T_{1/2}$ = 53 دقيقة) معروفاً بشكلٍ يقيني أو مؤكد. وتوحي



الشكل 5- النسبة الأيزوميرية $[\sigma_m / \sigma_g]$ للمقطع الفعّال الخاصة بالزوج الأيزوميري $^{120m, g}$I في التفاعل ^{122}Te (p ،3n) وذلك كتابع لطاقة البروتون. البيانات التجريبية مبيّنة على شكل رموز والنتائج النظرية على شكل منحنيات. يبدو أن النتائج المحسوبة تعتمد بشدة على طاقة الإثارة للحالة شبه المستقرة، أي على سبينها و زوجيتها. الشكل مأخوذ عن [34].

النتائج المحسوبة لمختلف قيم سبين الحالة شبه المستقرة باحتمال كون سبينها الحقيقي (4^+) أو (-4). وتمّ الحصول على أفضل النتائج بافتراض أن طاقة الحالة شبه المستقرة هي 550 keV وأن سبينها هو (4^+). وباستخدام الفرضيتين الأخيرتين، أمكن أيضاً توليد النسبة $[\sigma_m / \sigma_g]$ في العمليتين النوويتين ^{120}Te (p, n) $^{120m, g}$I، و ^{120}Te (d, 2n) $^{120 m, g}$I. بناءً على ما سبق، و إلى جانب العمل التجريبي الدقيق الذي يتطلبه البحث من أجل استنباط نظير مشع طبي يستخدم في تشكيل حالات أيزوميرية، يتطلب هذا البحث أيضاً دراية مفصّلة ببنية سويات الطاقة وذلك حتى يغدو ممكناً إجراء حسابات نموذج نووي مُعوّل عليها وقادرة على إثبات وتأكيد صحة البيانات المقيسة.

استنتاجات ختامية

تلعب البيانات النووية دوراً هاماً جداً في انتقاء نظير مشع للاستخدام الطبي. وبينما تحدد البنية النووية وبيانات الاضمحلال مواءمة نظير مشع للاستخدام التشخيصي، تحدد بيانات المقطع الفعّال للتفاعل إمكانية إنتاجه بشكلٍ نقي. وتستخدم في أغراض الإنتاج المفاعلات والسيكلوترونات كلاهما. وعموماً، تُعدّ بيانات المقطع الفعّال من أجل الإنتاج بالمفاعلات معروفة جيداً كما يمكن توليدها بشكلٍ مرضٍ بواسطة حسابات نموذج نووي. من ناحية ثانية، يتطلب الإنتاج بواسطة السيكلوترونات قاعدة بيانات ضخمة والتي تُعدّ، إلى حدٍ ما، جيدة بالنسبة لكلٍ من مصدرات β^+ شائعة الاستخدام والنكليدات المشعة المصدرة لفوتون مفرد. لكن إنتاج النكليدات المشعة غير التقليدية يفرض بعضاً من الطلب الملح على قياسات البيانات وعلى تطويرات تقانية وكيميائية إشعاعية. وفي هذا السياق، تكتسب مصدرات β^+ الأطول عمراً أهمية متزايدة. ويتألف العديد من النكليدات المشعة التي هي موضع الاهتمام من اثنتين أو أكثر من الحالات الأيزوميرية. ولكي نصبح قادرين على اختيار العملية التي تعطي أدنى كمية من الشائبة الأيزوميرية، يغدو ضرورياً إجراء قياسات مفصّلة على النسب الأيزوميرية للمقطع الفعّال في جميع القنوات المحتملة

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

للتفاعل. ويمكن لحسابات نموذج نووي أن تولّد البيانات التجريبية المتحصل عليها من التفاعلين (p, xn) و (d, xn) عند تطبيقهما على كتلة متوسطة لنواة الهدف ضمن مدى طاقة قذيفة يتراوح بين العتبة ولغاية حوالي 50 MeV. ولايمكن بواسطة النظرية أن تُعالَجَ بشكلٍ صحيح التفاعلات كافة ضمن المجال الخفيف للكتلة، والتفاعلات غير المألوفة [مثل (p, α)] ضمن مجالات مختلفة للكتلة، وكذلك النسب الأيزوميرية للمقطع الفعّال. وتُعدّ الدراسات التجريبية أمراً إلزامياً في جميع الحالات المذكورة آنفاً.

REFERENCES المراجع

[1] Mani, R. S.: Reactor - produced radionuclides. In: Radionuclides Production, Vol.11, (Helus, F., Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA (1983), pp. 1-45.

[2] Mirzadeh, S., Knapp, Jr., F. F., Alexander, C. W.: Evaluation of neutron inelastic scattering for radioisotope production. In: Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Science and Technology, Gatlinburg, USA, May 1994, (Dickens, J. K., Ed.), American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois, USA (1994), p. 1032.

[3] Mughabghab, S. F., Divadeenam, M., Holden, N. E.: Neutron Cross Sections, Vol. 1. Neutron Resonance Parameters and Thermal Cross Sections. Part A (1981); Mughabghab, S. F.: Part B, Academic Press, New York, USA (1984).

[4] McLane, V., Dunford, C. L., Rose, R. F.: Neutron Cross Sections, Vol.2. Neutron Cross Section Curves. Academic Press, New York, USA (1988).

[5] Calamand, A.: Cross sections for fission neutron spectrum induced reactions. In: Handbook on Nuclear Activation Cross Sections. Technical Reports Series No. 156, IAEA, Vienna (1974), p. 273; for an updated version cf. JEF Report 14 (OECD - NEA, Paris, France, 1994).

[6] Pfennig, G., Klewe-Nebenius, H, Seelmann - Eggebert, W.: Karlsruher Nuklidkarte. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, Karlsruhe (1995).

[7] Evaluated Nuclear Data File (ENDF / B - VI). NNDC, BNL, Upton, USA

[8] Joint European Fission and Fusion File (JEFF). OECD - NEA Data Bank, Paris, France.

[9] Reference Neutron Activation Library, IAEA - TECDOC - , Vienna (2000).

[10] Qaim, S. M.: Nuclear data relevant to cyclotron produced short - lived medical radioisotopes. Radiochim. Acta 30, 147 (1982).

[11] Wolf, A. P., Barclay Jones, W.: Cyclotrons for biomedical radioisotope production. Radiochim. Acta 34, 1 (1983).

[12] Qaim. S. M., Clark, J. C., Crouzel, C., Guillaume, M., Helmeke, H. J., Nebeling, B., Pike, V. W., Stöcklin, G.: PET radionuclide production. In: Radiopharmaceuticals for Positron Emission Tomography. (Stöcklin, G., Pike, V. W., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands (1993), pp. 1 - 42.

[13] Stöcklin, G., Qaim, S. M., Rösch, F.: The impact of radioactivity on medicine. Radiochim. Acta 70 / 71, 249 (1995).

[14] Qaim, S. M., Tarkainyi, F., Takacs, S., Hermanne, A., Nortier, M., Oblozinsky, P., Scholten, B., Shubin, Y. N., Zhuang, Y.: Positron emitters. In: Charged Particle Cross Section Database for Medical Radioisotope Production. IAEA-TECDOC-1211, Vienna (2001), pp.231-277.

[15] Hamacher, K., Coenen, H. H., Stöcklin, G.: Efficient stereospecific synthesis of no - carrier - added 2 -[^{18}F] fluoro - 2 - deoxy - D - glucose using aminopolyether supported nucleophilic substitution. J. Nucl. Med. 27, 235 (1986).

[16] Grant, P. M., Miller, D. A., Gilmore, J. S., O 'Brien, Jr., H. A.: Medium - energy spallation cross sections. I.RbBr irradiation with 800 MeV protons. Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33, 415 (1982).

[17] Phillips, D. R., Peterson, E. J., Taylor, W. A. Jamriska, D. J., Hamilton, V. T., Kitten, J. J., Valdez, F. O., Salazar, L. L., Pitt, L. R., Heaton, R. C., Kolsky, K. L., Mausner, L. F., Kurczak, S., Zhuikov, B. L., Kokhanyuk, V. M., Konyakhin, N. A., Nortier, F. M., van der Walt, T. N., Hanekom, J., Sosnowski, K. M., Carty, J. S.: Production of Sr - 82 for the Cardiogen PET generator: a project of the Department of Energy Virtual Isotope Center. Radiochim. Acta 88,149 (2000).

[18] Tarkanyi, F., Szelecsenyi, F., Kovacs, Z., Sudar, S.: Excitation functions of proton induced nuclear reactions on enriched ^{66}Zn, ^{67}Zn and ^{68}Zn. Production of ^{67}Ga and ^{66}Ga. Radiochim. Acta 50, 19(1990).

[19] Tarkanyi, F., Szelecsenyi, F., Kopecky, P., Molnar, T., Ando, L., Mikecz, P., Toth, Gy., Rydl, A.: Cross sections

of proton induced reactions on enriched ^{111}Cd and ^{112}Cd for the production of ^{111}In for use in nuclear medicine. Appl. Radiat. Isot. 45, 239 (1994).

[20] Scholten, B., Qaim, S. M., Stöcklin, G.: Excitation functions of proton induced nuclear reactions on natural tellurium and enriched ^{123}Te: Production of ^{123}I via the ^{123}Te (p, n) ^{123}I process at a low - energy cyclotron. Appl. Radiat. Isot. 40, 127 (1989).

[21] Hermanne, A., Gul, K., Mustafa, M. G., Nortier, M., Oblizonsky. P., Qaim, S. M., Scholten, B., Shubin, Y. N., Tarkanyi, F., Takacs, S., Zhuang, Y.: Gamma emitters. In: Charged Particle Cross Section Database for Medical Radioisotope Production. IAEA - TECDOC - 1211, Vienna (2001), pp. 151-200.

[22] Lagunas - Solar, M. C., Kiefer, P. M., Carvacho, O. F., Lagunas, C. A., Cha, Y. P.: Cyclotron production of nca ^{99m}Tc and ^{99}Mo. An alternative non - reactor supply source of instant ^{99m}Tc and ^{99}Mo → ^{99m}Tc generators. Appl. Radiat. Isot. 42, 643 (1991).

[23] Scholten, B., Lambrecht, R. M., Cogneau, M., Vera Ruiz, H., Qaim, S. M.: Excitation functions for the cyclotron production of ^{99m}Tc and ^{99}Mo. Appl. Radiat. Isot. 51, 69 (1999).

[24] Scholten, B., Kovacs, Z., Tarkanyi, F., Qaim, S. M.: Excitation functions of ^{124}Te(p,xn)^{124,123}I reactions from 6 to 31 MeV with special reference to the production of ^{124}I at a small cyclotron. Appl. Radiat. Isot. 46, 255 (1995).

[25] Nozaki, T., Itoh, Y., Ogawa, K.: Yield of ^{73}Se for various reactions and its chemical processing. Int. J. Appl. Radiat, Isot. 30, 595(1979).

[26] Mushtaq, A., Qaim, S. M., Stöcklin, G.: Production of ^{73}Se via (p,3n) and (d,4n) reactions on arsenic. Appl. Radiat. Isot. 39, 1085 (1988).

[27] Rösch, F. Qaim, S. M.: Nuclear data relevant to the production of the positron emitting technetium isotope ^{94m}Tc via ^{94}Mo (p,n) - reaction. Radiochim. Acta 62, 115 (1993); Erratum 75, 227 (1996).

[28] Hohn, A., Coenen, H. H., Qaim, S. M.: Excitation functions of ^{124}Te (d,xn)$^{121,\ 120m,g}$I reactions from threshold up to 13.5 MeV: comparative studies on the production of ^{120g}I. Appl. Radiat. Isot. 52, 923 (2000).

[29] Iljinov, A. S., Semenov, V. G., Semenova, M. P., Sobolevsky, N. M., Udovenko, L. V.: Production of radionuclides at intermediate energies. Landolt - Börnstein, New Series, Group I, Vol. 13, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, Subvol. A (1991); Subvol. B (1992); Subvol. C (1993); Subvol. D (1994) (Supplement to I / 13A, B, C).

[30] Semenov, V. G., Semenova, M. P., Sobolevsky, N. M.: Interaction of α - particles with targets in production of radionuclides at intermediate energies. Landolt - Börnstein, New series, Group I, Vol. 13H, Springer - Verlag, Berlin (1996).

[31] 8th Workshop on Targetry and Target Chemistry. (Session on Non - Standard Isotope Production. Organizers: McCarthy, T. J., Qaim, S. M.), St. Louis, USA, June (1999).

[32] Qaim, S. M., Uhl, M., Rösch, F., Szelecsenyi, F.: Excitation functions of (p, α) reactions on ^{64}Ni, ^{78}Kr and ^{86}Sr. Phys. Rev. C 52, 733(1995).

[33] Strohmaier, B., Faβbender, M., Qaim, S. M.: Production cross sections of ground and isomeric states in the reaction systems ^{93}Nb + ^{3}He, ^{92}Mo + α and $^{94,\ 95}$Mo + p. Phys.Rev. C 56, 2654 (1997).

[34] Sudar, S., Hohn, A., Qaim, S. M.: Nuclear model calculations on proton and deuteron induced reactions on ^{122}Te and ^{120}Te with particular reference to the formation of the isomeric states ^{120m,g}I. Appl. Radiat. Isot. 52, 937 (2000).■

لمزيد من المعلومات حول "أثر النشاط الإشعاعي في الطب" يرجى العودة إلى العددين: العدد الخاص 52 (تشرين الثاني–كانون الأول) 1997 والعدد 61 (أيار–حزيران) 1999 من مجلة عالم الذرّة.

☆ ★ ☆

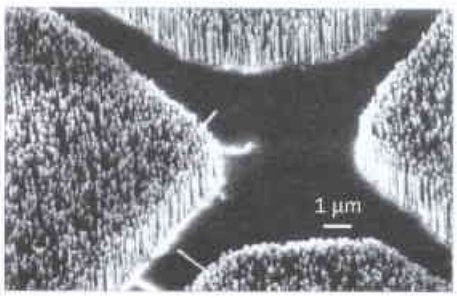
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

أخبار علميّة

1- ليزر نانوي فوق بنفسجي*

طوّر فريق من العلماء الأمريكيين ليزراً بمقياس نانوي يصدر ضوءاً فوق بنفسجي بدرجة الحرارة العادية وبتمليق coaxing شعيرات صغيرة جداً من أكسيد الزنك لكي تنمو فوق ركازة من السفير، أوجد بايدون يانغ Peidon Yang وزملاؤه من جامعة كاليفورنيا في بيركلي منبعاً ضوئياً صغيراً جداً يمكن أن يكون له تطبيقات في الحوسبة الضوئية وتخزين البيانات فائقة الكثافة.

تكمن الليزرات في قلب نظم البيانات الضوئية، مثل مشغلات الأقراص المتراصة CD والأقراص الفيديوية الرقمية DVD حيث تُستخدم لقراءة المعلومات المخزّنة على الأقراص. على أي حال، تتحدد كمية البيانات، التي يمكن تخزينها، بطول موجة الضوء. وقد يسمح استبدال الليزرات فوق البنفسجية ذات الطول الموجي الأقصر بالليزرات الحمراء في مشغلات الأقراص بزيادة في سعة الخزن. ويُعدّ أكسيد الزنك منبعاً واعداً للضوء فوق البنفسجي لكونه نصف ناقل له فرجة طاقية بين عصابتي النقل والتكافؤ.



مصفوفات من بلورات أكسيد الزنك النانوية يمكن أن تصدر حزمة ليزرية عند أطوال موجية فوق بنفسجية.

قام يانغ وزملاؤه بتنمية بلّورات من أكسيد الزنك وذلك بإمرار أكسيد الزنك فوق ركازة سفير ساخنة مغطاة بغشاء رقيق من الذهب. وهنا يسلك الذهب كحفّاز لبلّورات أكسيد الزنك النانويّة، التي شكّلت مصفوفات من بلّورات دقيقة تشبه الشعرة موجهة بدقة يصل طولها 10µm وقطرها إلى بضع مئات من النانومتر. كما وجد فريق بيركلي أيضاً أن رؤوس البلّورات النانوية شكّلت مسدسات مسطحة جيداً، مما يعني أن نهايتي البلّورة تعملان كمرآتين طبيعتين لتجويف ليزري.

وبتبئير الضوء من ليزر نيوديميوم – ياغ Ne-YAG على الأسلاك النانوية، قام يانغ وزملاؤه بتمليق أكسيد الزنك في الضوء الصادر على مجال واسع من الأطوال الموجية. ومع ذلك، عندما ازدادت طاقة حزمة الضخ، نشأت حزمة شديدة من الضوء فوق البنفسجي أحادي اللون (385 nm) وهذا دليل واضح على حدوث إصدار محرّض. ويعتقد الفريق أن النبيطة توحي بطريقة كيميائية بسيطة لإنشاء تجاويف ليزرية صغيرة جداً بدون تنميش البلّورات أو شقّها.■

2- أين اختفت المادة المضادة كلها؟**

تؤكد قياسات ميزونات B أن النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات لا يمكن أن يُفسّر لماذا يتركب الكون من المادة بدلاً من المادة المضادة.

من أكبر الألغاز في علم الفيزياء أن الكون يتكوّن برمّته من المادة، وبالرغم من ذلك فإن كميات متساوية من المادة والمادة المضادة ينبغي أن تكون قد تشكّلت أثناء الانفجار العظيم. ولابُدّ أن تكون جسيمات المادة والمادة المضادة قد أفنت بعضها البعض منذ ذلك الحين، تاركة وراءها الفوتونات فقط، إلاّ أن جسيماً مادياً أو نحو ذلك نجا من هذه العملية بطريقة أو بأخرى ليشكّل الكون كما نعرفه. وفي تجربة بابار Babar في ستانفورد بالولايات المتحدة وتجربة بيلي Belle في اليابان، قام الفيزيائيون مباشرةً ولأول مرة بقياس مقدار لاتناظر المادة – والمادة المضادة الذي سمح به النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات.

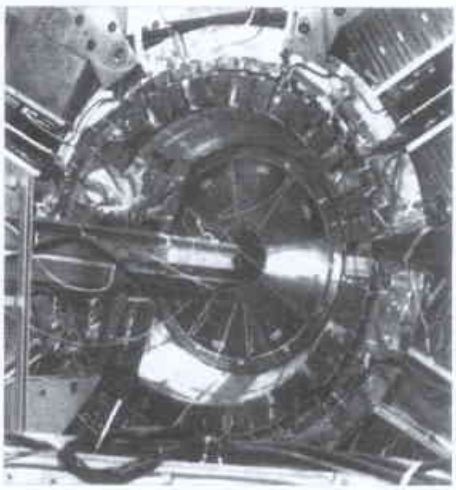
صرّح بول هاريسون P. Harrison من كلية الملكة ماري في لندن، وهو الذي يرأس لجنة توجيه تجربة بابار البريطانية بأن: "النتيجة تُحدّد مباشرة وللمرة الأولى مقدار اللاتناظر الرئيس للمادة والمادة المضادة في الطبيعة". على أي حال، وكما هو متوقع، لم تكن اللاتناظرات التي قاستها التجارب كبيرة بما يكفي لتفسير هيمنة المادة على الكون. ولذلك لابُدّ للعلماء من أن يبحثوا خارج نطاق النموذج المعياري – الذي يمكنه أن يتنبأ بنتائج معظم تجارب فيزياء الجسيمات بدرجة عالية من الدقة – وذلك للتوصّل إلى تفسير ذلك.

ما هو الفرق بين المادة والمادة المضادة في النموذج المعياري؟

هنالك عملية تسمى انتهاك زوجية الشحنة (CP) هي المسؤولة عن الاختلاف بين المادة والمادة المضادة في النموذج المعياري. ويقصد بانتهاك زوجية الشحنة أن قوانين الفيزياء تتغير قليلاً عندما يُستبدل الجسيم المضاد بالجسيم وعندما تُقلَب كل الاتجاهات الثلاثة في الفضاء. تمّ الكشف عن انتهاك CP لأول مرة في الكاؤونات (kaons) عام 1964، وكانت تجربتا بابار وبيلي هما أول تجربتين تكشفان عنه في نوع آخر من الجسيمات – ميزون B. يقول مائياس نيوبرت M. Neubert، وهو متخصص في نظرية الجسيميات لدى جامعة كورنيل بالولايات المتحدة: "إن اكتشاف انتهاك CP في منظومة B عمل رائع، والأهمية الخاصة للنتيجة تكمن في أنه تمّت، لأول مرة، ملاحظة لاتناظر كبير لزوجية الشحنة تنبأ به النموذج المعياري".

* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, July 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.
** نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, August 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



مكشاف بابار

إن انتهاك CP في النموذج المعياري يمكن توضيحه بسهولة كبيرة بدلالة مثلث، حيث يتناسب فيه مقدار الانتهاك طرداً مع مساحة المثلث. يبلغ طول قاعدة هذا "المثلث الواحدي" واحدة طول، لذلك يحتاج الفيزيائيون إلى قياس قيمتي طولين آخرين أو زاويتين لحساب مساحته. وكلما قاسوا قيماً أكثر، كان باستطاعتهم اختبار النموذج بشكل أفضل.

عموماً يتم التعبير عن النتائج التجريبية بـ $\sin 2\beta$ حيث β هي إحدى الزوايا. فإذا لم يوجد لاتناظر، عندئذ سيكون $\sin 2\beta$ صفراً. وفي السادس من تموز ذكر فريق بابار أن $\sin 2\beta = 0.59$، بقضبان خطأ قدرها 0.14 (arxiv.org/abs/hep-ex/0107013). أي هنالك فقط احتمال 3 بالمئة ألف ليكون التأثير ناجماً عن تقلبات إحصائية. وفي 23 تموز ذكرت تجربة بيلي في مختبر KEK في اليابان قيمة $\sin 2\beta = 0.99 \pm 0.14$.

تمّ بناء كلا المصادمين لتشغيلهما "كمصانع B" وكي تنتج أعداداً كبيرة من ميزونات B – وهي جسيمات تحوي كوارك قاع وكوارك تحت مضاد – وميزونات B مضادة. وبهذا العمل المشترك تمّ قياس $\sin 2\beta$ عن طريق كشف اضمحلال جسيمات B إلى جسيمات J/ψ وكاؤونات حيادية. ويقصد بانتهاك CP أن ميزونات B، بالنسبة لهذه القناة الخاصة، تضمحل بشكلٍ أبطأ قليلاً من جسيماتها المضادة.

لم يتنبأ النموذج المعياري فعلياً بقيمة $\sin 2\beta$. فضلاً عن ذلك، على غرار شحنة الإلكترون وكتلته، ينبغي أولاً قياس واحدٍ من حوالي 17 بارامتراً في التجارب قبل تضمينها في النموذج "شخصياً". على أي حال، إن نتائج بابار وبيلي تتوافق مع القيمة 0.72 التي اقترحتها تجارب أخرى والاحصاءات المعتمدة على النموذج.

إن انتهاك CP يمكن أن يوضح ذاته بثلاث طرق مختلفة. ففي العملية غير المباشرة التي لوحظت أولاً في الكاؤونات الحيادية في عام 1964، يسمح ميكانيك الكم بتغيير الجسيمات إلى جسيماتها المضادة وإرجاعها إلى ما كانت عليه بعملية تسمى "الخلط". على أي حال، يكون المعدّلان مختلفين. في انتهاك CP المباشر، الذي لُوحظ أيضاً في الكاؤونات، تضمحل الجسيمات والجسيمات المضادة بصورة فعلية بطرق مختلفة قليلاً. ومع ذلك، لم يكن الفيزيائيون حتى الآن قادرين على إنجاز الحسابات المعقّدة اللازمة لتحويل هذه النتائج التجريبية إلى قياس لاتناظر المادة – والمادة المضادة.

إن نمط انتهاك CP الذي لُوحظ في تجربتي بابار وبيلي ناجم عن تداخل الاضمحلالات بخلط أو بدون خلط. وبينما يتطلب الأمر إلى حدٍ كبير قياس هذا الشكل من الانتهاك – الميزونات B فقط تنجو لمدة 10^{-12} ثانية – فإنه من الأفضل ربط النتائج باللاتناظر الأساسي للمادة والمادة المضادة.

ما وراء النموذج المعياري

يتمثل التحدي الكبير القادم لكلا الفريقين بقياس انتهاك CP في اضمحلال ميزون B إلى جسيمات تدعى بيونات pions. وهذا قد يقيس زاوية أخرى، α، في المثلث الواحدي لاختبار الانسجام الداخلي للنموذج المعياري.

يقول هاريسون: "إذا حالفنا الحظ، ربما نجد عيباً في النموذج المعياري، طالما أن هيمنة المادة في الكون توحي وبقوة إلى وجود أشكال أخرى من انتهاك CP في الطبيعة، لم تشتمل عليها النظرية".

وفي عام 1967 أوضح أندريه ساخروف A. Sakharov أنه بالإضافة إلى انتهاك CP، ينبغي تلبية معيارين لكي تهيمن المادة على الكون: فالكون لايمكن أن يكون في حالة توازن حراري، وهناك ينبغي وجود عمليات محددة يمكن أن تغيّر "العدد الباريوني". على أي حال، لم تُلاحظ التفاعلات التي تغيّر العدد الباريوني، بالرغم من أن توسعات محدّدة للنموذج المعياري تسمح بها.

يضيف هاريسون قائلاً: "إن نظرية كيفية تشكّل لاتناظر المادة والمادة المضادة في الكون يمكن أن تكون بحاجة إلى تعديل، لكننا سنفوز بأية طريقة بسبب وجود شيء ما لانفهمه تماماً يتعلق بالكون، وبالتالي هنالك أمر جديد ينبغي اكتشافه".

في الواقع تدخل معظم توسّعات النموذج المعياري بارامترات أخرى تنتهك تناظر CP. يقول مائياس نيوبرت: "إنه لغزٌ، حتى أن هذه الآثار لم تُرَ في مجموعات البيانات الكبيرة التي تمّ جمعها في مصانع B في كورنيل، وKEK وفيرميلاب". وهنالك لغز آخر، بحسب قوله، يتمثل بحقيقة عدم ملاحظة انتهاك CP في تأثرات قوية، حيث ينبغي أن يكون التأثير أكبر منه برتبة المقادير في الاضمحلالات الضعيفة.

"ونحن متأكدون من أن النموذج المعياري سيفشل إلى حدّ ما وفوجئنا بحقيقة عدم ملاحظة هذا الفشل عند المستوى الحالي من الدقة التجريبية. وسيقوم الباحثون في الفيزياء الجديدة في مصانع B بإكمال بحوث مباشرة في الفيزياء الجديدة في التجارب عند حدّ الطاقة".■

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

3- مغنطيس مصنوع من الكربون*

تقول الحكمة التقليدية أن المواد المغنطيسية ينبغي أن تحوي بعض الذرات المعدنية، لذلك فإن اكتشاف نوع من الكربون الصرف الذي يكون مغنطيسياً بدرجة الحرارة العادية رهن بالدعوة للمناقشة.

لعبت المغانط دوراً مهماً في الحضارة منذ الأزمان الأولى، فالاسكندنافيون أبحروا بسفنهم مستخدمين قطعة من حجر مغنطيسي لها شكل السمكة توضع على دعامة عائمة كبوصلة. أما اليوم، فبدءاً من توليد الكهرباء، وانتهاء بالأدوات الصغيرة في المطبخ، هذا إذا لم نذكر السيارة والسماعة والحواسيب الحضنية، تُعدّ المغانط مقومات أساسية في حياتنا اليومية. والمواد التقليدية المستخدمة لصنع المغانط تتضمن الحديد وأكاسيد الحديد (الحجر المغنطيسي والفرّيت).

لكن العلماء أيضاً اهتموا بتطوير مغانط من مواد جزيئية تكون فيها الذرّات الأساسية غير معدنية. ومثل هذه المغانط الخالية من المعدن قد تكون عوازل كهربائية (بحيث تقلل من فَقْد الطاقة في بعض التطبيقات) وبالتالي قد تكون أرخص وأخف من نظيراتها من المغانط المعدنية، ومع أنه لم يتم حتى الآن سوى اكتشاف حفنة ضئيلة من المغانط الخالية من المعادن فإن خواصها المغنطيسية لاتتحقق إلا بدرجات حرارة منخفضة جداً. وفي مجلة Nature تقدم ماكاروفا Makarova وزملاؤها [1] وصفاً للتمغنط التلقائي في المادة الكربونية الصرفة للكربون C_{60} البوليميري، الذي يصبح مغنطيسياً عند درجات الحرارة العادية وفي درجات أعلى منها (حتى 500 كلفن).

تفقد جميع المغانط خاصتها المغنطيسية فوق درجة حرارة حرجة معينة، ولتكن T_c على سبيل الاختصار، والتي تعرف أيضاً في حالة المغانط الحديدية بدرجة حرارة كوري. وتحت T_c تترتب العزوم المغنطيسية، أو "سبينات" الإلكترونات في ترتيب المادة بطريقة ما بحيث يحدث التمغنط الصرف. وبالنسبة لبعض المواد، ولاسيما المغانط الحديدية كالحديد، يقوم الترتيب المغنطيسي برصف جميع العزوم بالتوازي مع بعضها البعض. غير أن هذه هي أبسط بنية مغنطيسية بالنسبة لمغنطيس، ويحتمل أن يكون هنالك أيضاً عدد من البُنى الأكثر تعقيداً.

إن أول مغنطيس حديدي جزيئي [2,3] وهو عبارة عن مادة تعتمد مغنطيسيتها على خواص جزيئاتها المكونة لها بدلاً من ذرّاتها - تمّ الإعلان عنه في عام 1972. وبعد ذلك تبعه في عام 1986 اكتشاف المغنطيسية الحديدية التي تتضمن إلكترونات -p في مادة قوامها عضوي تحوي الحديد [4]. تُعدّ هذه خطوة مهمة للأمام لأن المغنطيسية في المركبات الخالية من المعادن ينبغي أن تتضمن إلكترونات من المدارات الذرية -p، وقبل عشرين عاماً كان يعتبر الترتيب المغنطيسي في المنظومات التي تعتمد بشكلٍ إفرادي على إلكترونات -p مستحيلاً. وقد اكتشف أول مغنطيس عضوي خالٍ من المعادن قبل عشر سنوات [5]. وأصبح أحد مشتقات الترونيل نتروكسيد مرتباً مغنطيسياً عند درجة حرارة 0.65 كلفن، وهي T_c منخفضة جداً.

يُعدّ البكمنسترفلّورين، أو الفلّرين اختصاراً،شكلاً متآصلاً للكربون مثل الغرافيت أو الألماس. وهو يتألف من 60 ذرة كربون تشكّل جزيئاً شبه كروي، ليس له عزم مغنطيسي ذاتي في الشروط العادية. وفيما يتعلق بوجود عزم مغنطيسي، ينبغي نقل إلكترون إلى C_{60} من جزيءٍ مانح. وفي الوقت ذاته عندما أعلن عن اكتشاف أول مغنطيس عضوي، أعلِن كذلك عن المغنطيسية الحديدية في ملح نقل الشحنة [7] قوامه الفلّرين $TDAEC_{60}$، والذي له درجة حرارة كوري قدرها 16 كلفن. وهنالك مثال آخر [8] عن مغنطيس حديدي قوامه الفلّرين تمّ اكتشافه في مشتق للفلّرين مطعّم بالكوبالتوسين، درجة حرارته T_c قدرها 19 كلفن. في هذه الحالة، يكون فقط لجزيئات الفلّرين سبينات مغنطيسية وبالتالي تكون مسؤولة بمفردها عن المغنطيسية التي تمت ملاحظتها. ويُعدّ الترتيب الاتجاهي حرجاً فيما يتعلق بإنجاز المغنطيسية الحديدية في مشتقات الفلّرين [9].

وعلى الرغم من الجهود الكثيرة التي قدّمها العلماء، إلاّ أنهم فشلوا حتى الآن في ملاحظة الترتيب المغنطيسي عند درجة الحرارة العادية وما فوق في مركب عضوي خالٍ من المعادن. وكانت أعلى درجة حرارة ترتيب عرفت حتى الآن فيما يتعلق بمغنطيس عضوي 36 كلفن بالنسبة لجذر حر قوامه الكبريت [10]. ويمكن لدرجة الحرارة هذه تحت ضغط 16 كيلوبار [11] أن ترتفع إلى 65 كلفن وهي تقع بعيدة جداً عن درجة الحرارة العادية 300 K. وعلى مدى سنوات كان هنالك العديد من التقارير عن ملاحظات حول التمغنط التلقائي الضعيف فوق درجة الحرارة العادية في مركبات عضوية معالجة بالحرارة. وفي واقع كل حالة، كان من الصعب تحديد خاصة ذاتية، أو حتى إعادة توليد المغنطيسية التي تمت ملاحظتها [12]. ولم يتم إطلاقاً بطريقة منهجية معالجة إمكانية احتمال تجاوز بعض السلوك المغنطيسي المهم لتلك الملاحظات.

وهذا ما فعلته بالضبط ماكاروفا وزملاؤها [1] حتى الآن. فبعد ملاحظتهم للسلوك المغنطيسي غير المتوقّع في عينة من C_{60} تمت بلمرتها بضغوط ودرجات حرارة عالية، ركّزوا على خواصّها المغنطيسية. وبقدر كل حد معقول، استثنوا إمكانية الشوائب كونها تمثل منشأ المغنطيسية الملحوظة، وأثبتوا أيضاً قابلية إعادة توليد الأثر. إن المعالجة بالضغط العالي وبدرجة الحرارة العالية يمكن أن تحوّل C_{60} من الحالة البلّورية للجزيئات المعزولة، المرتبطة مع بعضها البعض بقوى فاندرفالس الضعيفة، إلى أطوار بوليميرية ترتبط فيها الجزيئات مع بعضها البعض تشاركياً. ويمكن أن يتشكّل بوليمير أحادي البعد واحد وثنائي وثلاثي الأبعاد وذلك بتعديل شروط المعالجة.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol.413, 18 October 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

في هذه الدارسة، أعدت ماكاروفا [1] طوراً ثنائي البعد معيّن الوجوه، يشبه إلى حد كبير الغرافيت عالي التوجيه والمعالج بالحرارة، لكن له طبقات من جزيئات C_{60} مترابطة تشاركياً بدلاً من الغرافيت. وفي هذا الطور فقط المعيّن الوجوه يُلاحظ تمغنط ضعيف جداً - ربما كانوا متفائلين جداً بتسميتها بالمغنطيسية الحديدية. يبدو مظهر السلوك المغنطيسي حساساً جداً لشروط الضغط والحرارة التي يتم بموجبها تحضير العيّنات . يمكن أن يحدث التمغنط التلقائي ليختفي بتسخين العيّنة إلى 700 كلفن لعدة ساعات. ويبدو، بالتالي أن المغنطيسية التي تمت ملاحظتها تكون أصيلة بالنسبة إلى العيّنات، مع أن الغريزة يمكن أن تدفع المرء للتفكير باتجاه آخر.

وبصرف النظر عن الحقائق التجريبية، أتوقع أن تكون النتائج التي ذكرتها ماكاروفا وزملاؤها مشتملة على المزيج الصحيح من المقوّمات لكي تكون موضع مناقشة. وثمة تساؤلات مهمة لاتزال مطروحة وتتطلب اهتماماً مناسباً. وأهم هذه التساؤلات وهو الأكثر وضوحاً أيضاً: أين هي العزوم المغنطيسية؟ يتوقع الباحثون إمكانية أن تنشأ العزوم من العيوب التي تسببها روابط الفلّرين المحطّمة، أو أنه وبصورة تناوبية، تتطلب بعض الروابط التشاركية إلكتروناً واحداً، وسيكون الإلكترون الثاني مسؤولاً عن الترتيب المغنطيسي. هنالك سؤال آخر يتعلق بالترتيب المغنطيسي ذاته، فالتمغنط التلقائي ضعيف جداً، أضعف بمئة مرة من التمغنط المتوقع من التراصف المغنطيسي الحديدي لعزم مغنطيسي واحد في كل جزيء من C_{60}.

وإذا ما تأكدت هذه النتيجة، فإنها ستمثل تقدماً مفاجئاً في مجال مغنطيسية المواد الخالية من المعادن. ويمكننا أن نتوقّع، وسنرحّب، بمناقشة واضحة وقوية تساعد في حث الأبحاث على فهم سلوك هذا المغنطيس الكربوني الغريب.

المراجع REFERENCES

[1] Makarova, T. L. et al. Nature 413, 716-718 (2001).

[2] Wickmann, H. H. J. Chem. Phys. 56, 976-982 (1972).

[3] DeFotis, G. C., Palacio, F., O'Connors, C. J., Bhatia, S. N. & Carlin R. L. J. Am. Chem. Soc. 99, 8314-8315 (1977).

[4] Miller, J. S. et al. J. Chem. Soc. Chem. Commun. 1026-1028 (1986).

[5] Tamura, M. et al. Chem Phys. Lett. 186, 401-404 (1991).

[6] Allemand P.M. et al. Science 253, 301-303 (1991).

[7] Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F & Smalley, R. E. Nature 318, 162-163 (1985).

[8] Mrzel, A. et al Chem Phys. Lett 298, 329-334 (1998).

[9] Narymbetov, B. et al. Nature 407, 883-885 (2000).

[10] Palacio F. et al. Phys Rev Lett 79, 2336-2339 (1997).

[11] Mito, M. et al. Polhedron 20, 1509-1512 (2001).

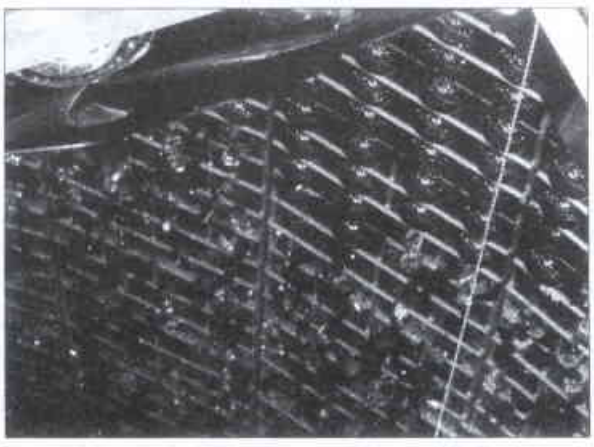
[12] Miller, J. S. Adv. Mater. 4, 435-438 (1992).■

4- تعطّل كاشف النترينو الياباني بفعل موجة صدم★

في صبيحة يوم 12 تشرين الثاني عندما كان الخزان مليئاً حتى ثلاثة أرباعه ، سمع الفنيون هديراً استمر نصف دقيقة أو أكثر في غرفة المراقبة في مرصد سوبر- كاميوكاند الذي بلغت كلفته 100 مليون دولار. وعندما توقف كانت جميع المحسّات الكاشفة للضوء تحت الماء التي تمّ توليفها على نحو رائع قد انفجرت، وتوقف المرصد مشلول الحركة. ولن تستطيع هذه المنشأة العودة إلى العمل بكامل طاقتها قبل عام 2007، وقد تكلف الإصلاحات مبالغ تراوح بين 15 - 25 مليون دولار، غير أن العلماء والمسؤولين الحكوميين أعلنوا عن استئناف بعض التجارب خلال سنة.

يقول يوغو توتسوكا Y. Totsuka، وهو أستاذ في معهد أبحاث الإشعاع الكوني التابع لجامعة طوكيو ومدير المرصد المذكور الذي يقع على مسافة 230 كم غرب طوكيو في عمق أحد المناجم : " سنقوم بإعادة بناء الكاشف، وليس هنالك أية مشكلة في ذلك" ، لكن هنري سوبل H. Sobel من جامعة كاليفورنيا، وهو فيزيائي وناطق رسمي عن الجانب الأمريكي في هذا العمل المشترك، يقول أنه من الممكن تصوّر احتمال عدم إعادة بنائه.

وضع المختبر الموجود تحت الأرض الخطوط الأساسية في العالم عام 1998 عندما قدم دليلاً مقنعاً بأن النترينوات لها كتلة. وهذا الاكتشاف الذي يعتقد الكثير من الفيزيائيين بأنه يستحق جائزة نوبل جاء معاكساً لتنبؤات نظرية دامت عقوداً من الزمن. وتؤكد المعطيات بشدة على أن نوعاً محدداً من النترينو الذي منشؤه الغلاف الجوي "يختفي" بالتحول أو الاهتزاز إلى نوع آخر من النترينو بحيث لايمكن للكاشف رؤيته. وبموجب



منظر لمكشاف النترينو سوبر- كاميوكاند التُقطت صورته بعد حادث 12 تشرين الثاني وتظهر عدة صفوف من الأنابيب المضاعفة الضوئية الكاملة في أعلى الخزان وفي الأسفل أنابيب محطمة.

★ نُشر هذا الخبر في مجلة *Science*, VOL 294, 23 November 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

قوانين الميكانيك الكمومي ، فإن الجسيمات التي لها كتلة هي فقط التي تستطيع الاهتزاز.

لايمكن كشف النترينوات مباشرة، ولذلك يحوي مرصد سوبر- كاميوكاند 50 000 طن من الماء عالي النقاوة في خزان قطره 39 متراً وارتفاعه 41 متراً مبطن بـ 11.146 أنبوباً مضاعفاً ضوئياً. وهذه الأنابيب تقوم بمراقبة توهج مميز يعرف باسم إشعاع سيرنكوف الذي ينتج عن التفاعل المتبادل النادر بين النترينوات والجسيمات الذرية في الماء.

في شهر تموز توقفت عمليات الرصد من أجل أعمال الصيانة ، وقام العمال بنزح الخزان للمرة الأولى منذ إنجاز المنشأة في عام 1996 من أجل استبدال حوالي 100 أنبوب محترق. وقع الحادث عندما كانت تجري إعادة تعبئة الخزان استعداداً لاستئناف التجارب في شهر كانون الأول. وقد وصل الماء إلى الصف الحادي والأربعين من أصل 51 صفاً من الأنابيب عندما حدث الانفجار الداخلي الذي دمّر جميع الأنابيب والبالغ عددها 7000 أنبوب حيث غاصت في الماء.

والآن يتحتم على المسؤولين تحديد سبب الحادث ، مع أن النظرية الأكثر ترجيحاً هي أن أنبوباً على أرض الخزان انفجر فانطلقت موجة صدم تضخمت في الماء لتحدث تفاعلاً متسلسلاً من الانفجارات الداخلية. وقد أدت الصدمة أيضاً بشكل واضح إلى تصدّع الخزان. يقول توتسوكا أنه من الممكن أن يكون الأنبوب قد تضرر نتيجة ضغط أحدثه العمال الذين كانوا يقفون على وسادة ستيروفوم تقع في أعلى الأنابيب أثناء الإصلاحات، أو من المحتمل أن يكون أحد الأنابيب المستبدلة معيباً . على أي حال، يشير أيضاً إلى أن ثمة نسخة أصغر من المنشأة الحالية تعمل منذ مدة أكثر من عشر سنوات بدون أن تواجه مثل هذه المشكلات .

وفي الوقت الذي تستمر فيه عمليات التحرّي عن الحادث ، يخطط العلماء الآن لكيفية تسوية الوضع مباشرة. وتستعد للمساعدة في ذلك الجهات الحكومية الراعية للمنشأة المتمثلة بوزارة التربية والثقافة والرياضة والعلوم والتقانة. يقول الوزير أوسكا تواياما A. Toyama :"نحن لانريد أن نقدّم الدّعم المادي فحسب، بل نريد أن نقدم أي نوع من الدعم يمكن أن يعيد المنشأة ويجدّدها بحيث يمكنها استئناف عمليات المراقبة بأسرع وقت ممكن ".

ويأتي استئناف تجربة K2K في المرتبة الأولى، حيث سيقوم أحد المسرّعات في منظمة أبحاث مسرّعات الطاقة العالية KEK في تسوكوبا بإطلاق تيار من النترينوات على مسافة 250 كم إلى الخزّان تحت سطح الأرض. وتعتبر النتائج المستخلصة من هذه التجربة التي يطلق عليها اسم تجربة خط القاعدة الطويل، أكثر وثوقية لأن العلماء سيعرفون بدقة عدد النترينوات المصوّبة عند الكاشف بدلاً من تخمينها بالاعتماد على النظرية. ونوّه فيزيائيو KEK في الآونة الأخيرة أن النتائج تبيّن أن احتمال انعدام الاهتزاز أقل من 3%. ويأملون استئناف هذه التجربة قبل إغلاق المسرّع خلال مدة تتراوح بين سنتين وثلاث سنوات.

يقول توتسوكا أنه من المحتمل أيضاً استئناف التجارب خلال سنة بالنصف المتبقي من الأنابيب وبعدها تُضاف البقية عند تصنيعها ، وهذه العملية قد تستغرق بضع سنوات. ويشير قائلاً : " هذا يعطينا حساسية أقل ، ولكن سنبقى قادرين على البحث عن النترينوات الجوية بالإضافة إلى تشغيل تجربة K2K". ومع ذلك ، ربما لاتكون للمنشأة حساسية الكشف عن معظم النترينوات الشمسية.

وبحلول عام 2007 سيتحقق الهدف الطويل الأمد كاملاً عندما يتم تحديد جدول زمني لتشغيل منشأة المسرع البروتوني اليابانية عالية الشدة المخطّط لها والتي تبلغ كلفتها 2.7 بليون دولار. يُعدّ المسرع البروتوني ، وهو مشروع مشترك بين KEK ومعهد أبحاث الطاقة الذرية الياباني (JAERI)، قيد الإنشاء في حرم JAERI في توكاي Tokai ، في ولاية إيباراكي Ibaraki. وتم تصميم هذا المسرع لإطلاق نترينوات بمقدار عشرين ضعفاً مما هو في سوبر- كاميوكاند كما هو الحال في تجربة K2K، مما يسمح للباحثين بالحصول على تفاصيل إضافية عن كيفية اهتزاز النترينوات وتحرّي خصائص النترينو الأخرى. يقول جون ليرند J. Learned، وهو مشترك في سوبر- كاميوكاند ، في جامعة هاواي، في مانوا: " لقد قمنا بصعوبة بحك سطح النترينوات المعروفة".

إن الدعم لإعادة بناء سوبر- كاميوكاند يفوق قدرات المشتركين. يقول جون باكال J. Bahcall، وهو خبير متخصص في النترينو في معهد الدراسات العليا في برنستون ، في نيوجرسي : " لقد قدّم سوبر- كاميوكاند بعضاً من أهم النتائج في الفيزياء والفلك في السنوات العشر الماضية ولديه الإمكانية للاستمرار في تقديم مساهمات كبيرة إذا ماعاد بكامل استطاعته. ولو كانت لدي المهارات اللازمة لكنت قد ذهبت إلى اليابان من أجل المساعدة في عمليات إصلاحه".

اتخذت وزارة الثقافة موقفاً داعماً ينطوي على تشجيع مماثل ، ويقول أكيرا يوشيكاوا A. Yoshikawa، رئيس قسم معهد الأبحاث التابع للوزارة :" إن الوزير يدرك أهمية هذه المنشأة". ويأمل هنري سوبل أن يلتقي بالمسؤولين في قسم الطاقة الذي يمول حصة الجانب الأمريكي، لمعرفة مقدار الدعم الذي يمكن أن تقدمه.■

5- ما الذي حدث بـ B و C و S ؟★

حلّت نظرية BCS لغز الناقلية الفائقة. يُلقي هذا الخبر الضوء على تاريخها.

اكتشف الفيزيائي هايك كاميرلينغ أونّز H. K. Onnes في عام 1911 أن الزئبق يفقد كل مقاومته للتيار الكهربائي لدى تبريده إلى الدرجة 4.2 K بواسطة الهليوم السائل. وهكذا اكتشف أونّز الناقلية الفائقة – وهي ظاهرة حيّرت الفيزيائيين النظريين طوال فترة تزيد على 40 عاماً. وأخيراً، وفي عام 1957 حل المشكلة فيزيائيان شابان كانا يعملان مع أحد العلماء الذين حصلوا على جائزة نوبل. وتمضي أربعة عقود بعد ذلك وتبقى نظرية BCS – وهي الأحرف الأولى من أسماء باردين Barden

★ نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, January 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وكوبر Cooper وشريفر Schrieffer- كإحدى المنجزات المتميزة في الفيزياء النظرية.

مع حلول عام 1957 كان جون باردين اسماً كبيراً في الفيزياء. وكان قد تقاسم في السنة السابقة جائزة نوبل مع وولتر براتين W. Brattain و ويليام شوكلي W. Shockley على اختراعهم الترانزستور. . ولد باردين عام 1908 – وهي السنة التي ميّع فيها أونّز غاز الهليوم لأول مرة، وهو العمل الرائع الذي نال عليه جائزة نوبل – وحصل على درجة الدكتوراة PhD في الفيزياء النظرية تحت إشراف يوجين ويغنر E. Wigner في برنستون.

إن الخاصة الرئيسية المميزة التي يتمتع بها الناقل الفائق هي درجة حرارة التحوّل التي تختفي المقاومة دونها، وبما كشف عنه المجربون في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي أن هذه الدرجة تتناسب عكساً مع الجذر التربيعي للكتلة الذرّية. وهذا ما جعل باردين – وهربرت فروليتش H. Frolish، من جامعة ليفربول في المملكة المتحدة وبصورة مستقلة، أن يستنتجوا أن الناقلية الفائقة سببها التآثر بين الإلكترونات في المعدن واهتزازات البلّورة ("الفونونات" phonons). وعلى الرغم من متابعة باردين – وهو في جامعة إيلينوي حالياً – ونظريين آخرين كثيرين العمل في المسألة، فقد بقيت النظرية المجهرية للناقلية الفائقة لغزاً يحتاج إلى تفسير.

لقاء باردين بكل من كوبر وشريفر

بعد أن تخرّج جون روبرت شريفر من معهد ماسّتشوسيتس للتقانة (MIT) في عام 1953 عاد إلى مسقط رأسه في ولاية إيلينوي للحصول على درجة الدكتوراة .PhD. وعندما شارف على حل مسألة أطروحته، أعطاه باردين قائمة فيها عشر مسائل. كانت الناقلية الفائقة في ذيل تلك القائمة، لكن شريفر اختارها غير هيّاب ولا وجِل.

تصوّر باردين أنه أيضاً بحاجة إلى نظريّ مِمَّن كانت نظرية الحقل الكمومي مألوفة لديه، وهي التي كانت ماتزال جديدة في ذلك الحين، فاتصل مع الحائز على جائزة نوبل تشِن نِنغ يانغ Chen N. Yang في برنستون. رشّح يانغ نظرياً شاباً يدعى ليون كوبر، الذي وصل إيلينوي في شهر أيلول من عام 1955.

تشارك كوبر مع باردين في المكتب في حين استقرّ شريفر، بحكم كونه خريجاً، فيما كان يعرف بمعهد الدراسات المؤخرة Institute for Retarded Studies (سمي كذلك بسبب الاقتران بين الإلكترونات التي تعتمد على الكمونات المؤخرة)، لقد كانت الناقلية الفائقة مسألة شديدة الصعوبة، ويتذكر كوبر كيف كان هو وشريفر يواسي كل منهما الآخر:"بوب يقول: ما أظن بأنني سأنجز أطروحتي أبداً، وأنا أقول ما أظن أنني سأحصل على عمل أبداً".

رجال نظرية BCS (من اليسار) جون باردين، ليون كوبر وروبير شريفر عام 1961.

أحبَّ باردين أن يعمل مع تجريبيين عن كثب، ولخّص لكوبر وشريفر المعالم الأساسية التي ينبغي أن تحتوي عليها نظرية الناقلية الفائقة: ينبغي أن تحتوي حالة النقل الفائق على كل من المركبة العادية (أي مركبة النقل غير الفائق) ومركبة النقل الفائق، وينبغي أن تكون كل الإلكترونات، التي هي في حالة النقل الفائق، في حالة كمومية وحيدة، وينبغي أن تكون هناك فرجة طاقة بين حالة النقل الفائق الأساسية والحالات المثارة الواقعة في الأسفل.

كان أول تقدّم كبير تمَّ تحقيقه جاء على يد كوبر. فقد بيّن في أيلول من عام 1956 بأن الإلكترونات تُشكّل أزواجاً دائماً – وهذا ما يُعرف الآن باسم أزواج كوبر – إذا كان يوجد كمون جذبي. وليس مهماً إذا كان هذا الكمون ضعيفاً جداً. لم يكن كوبر يبحث عن أزواج أثناء حساباته، ولكنها هي التي استُبعِدت "سقطت" dropped out من الحسابات. وقد اتضح في الحال أن التآثر مع الفونونات سمح للإلكترونات أن يجذب بعضها بعضاً بالرغم من التنافر الكولوني المتبادل فيما بينها.

حصل التقدّم الحاسم الثاني في أوائل 1957 عندما كتب شريفر التابع الموجي الذي يصف المنظومة: الإلكترونات التي لها اندفاع وسبين معيّنان "فوق up" ترتبط دائماً مع إلكترونات ذات اندفاع وسبين معاكسين. فالإلكترونات المفردة تخضع لإحصاء فِرمي ومبدأ الاستبعاد، الذي يعني أنه لايمكن لإلكترونين متماثلين أن يشغلا الحالة الكمومية ذاتها. وعلى كل حال، فإن بعض الأزواج في تابع شيفر الموجي تخضع لإحصاء بوز – ويمكّنها هذا الإحصاء من أن تتكاثف في الحالة الكمومية ذاتها، كما تتطلب الناقلية الفائقة – في حين تخضع أزواج أخرى لإحصاء فِرمي. وحقيقة كون الأزواج الأخيرة لاتستطيع أن تتكاثف في الحالة الأساسية تؤدي إلى فرجة الطاقة.

استخدم باردين بعد ذلك النظرية حديثة الولادة ليتنبأ بقيمتين لكميتين كانتا قد قيستا حديثاً وهما: الحقل المغنطيسي الحرج الذي تتخرب فوقه الناقلية الفائقة ومعدّلات استرخاء السبين النووي. ولقد اتفقت النظرية والتجربة على كلا التقديرين.

في يوم 18 شباط من عام 1957 .وصلت مكتب مجلة Physical Review ورقة علمية قصيرة تحمل عنوان "نظرية مجهرية للناقلية الفائقة" كتبها باردين وكوبر وشريفر. كما ان باردين رتّب الأمور لكوبر وشريفر كي يُقدما النظرية الجديدة في لقاء الجمعية الفيزيائية الأمريكية في فيلادلفيا في شهر آذار التالي. ذهب شريفر أولاً إلى فيلادلفيا ثم تبعه كوبر على طائرة لاحقة ومعه الشرائح ولكن شريفر أُصيب بارتباك وتشويش في ميني وكان على كوبر أن يُقدّم كلتا المحاضرتين. ورغم أن النظرية ووجهت في البدء ببعض الرفض لكن الدليل التجريبي قدّم، بشكل خاص، أول قياس مباشر لفرجة الطاقة في عام 1960.

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

الحياة بعد BCS

في الوقت الذي ظهرت فيه ورقة علمية مؤلفة من 30 صفحة عن النظرية في مجلة Physical Review في كانون الأول، كان كوبر في جامعة ولاية أوهايو وكان شريفر في جامعة برمنغهام في المملكة المتحدة. ولقد تقاسم الثلاثة جائزة نوبل للفيزياء في عام 1972. ويبقى باردين، الذي توفي عام 1991، الشخص الوحيد الذي حاز على جائزتي نوبل للفيزياء - رغم أنه كان يقول في أغلب الأوقات بأنه لم يحرز سوى ثلث الجائزة الواحدة. يشغل شريفر الآن منصب عالم رئيس في المختبر الوطني للحقل المغنطيسي العالي في فلوريدا.

غيّر كوبر مجالات اهتمامه كلّياً وهو الآن مدير لبرنامج علم الدماغ متعدّد المناهج المعرفية في جامعة براون. يقول كوبر بأنه انتقل إلى علم الأعصاب لأنه أُعطي معلومات خاطئة "misinformed" - مثل دور هَمْفري بوغارْت في مسرحية كازابلانكا. فقد ظّن مخطئاً بأنه توجد صلات تقنية بين المنظومات متعدّدة الإلكترونات والمنظومات متعدّدة العصبونات. ويبقى كوبر مقتنعاً بأن توسيع نظرية BCS سيحلّ لغز الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية، رغم أن بعض الآليات، غير آليّة تبادل الفونونات، قد تكون مسؤولة عن ربط الأزواج بعضها مع بعض.

إن مساهمته الكبرى في علم الأعصاب كانت نظرية بائِنْستوك - كوبر - مونرو Bienenstock - Cooper - Monro theory. ولكن ماهي أهمية نظرية BCM؟ يجيب كوبر ليست بقدر أهمية نظرية BCS. ولكن كان عليك أن لاتسألني، عليك أن تسأل الذين ينافسونني." ■

6- الجسيمات المنساقة إلى الانعراج*

تُبيّن التجربة أنه يمكن جعل الإلكترونات تنعرج بواسطة أمواج الضوء بعد انقضاء ما يقرب من سبعين عاماً بواسطة اقتراح ذلك لأول مرة. تلقي هذه النتيجة الضوء على القواعد المتبادلة بين المادة والضوء.

مثنوية موجة جسيم هي مفهوم تستطيع كل الجسيمات بموجبه أن تسلك سلوك أمواج والعكس بالعكس. إن هذه الفكرة التي تدعو للتحدي والتصدي العقلاني والفكري، وهي واحدة من تنبؤات النظرية الكمومية الرئيسية، جرى اختبارها بطريقة جديدة على يد هِزْمان بيتلان H. Batelaan وزملائه، في تجربة وردت في مجلة Nature [1].

إن الجدل حول صفات الجسيمات مقابل الخصائص الموجية للضوء أقدم بكثير من النظرية الكمومية. كان نيوتن من المدافعين والمتحمسين الأوائل للطبيعة الجسيمية للضوء. لكنه حصل في العقود الأولى من القرن العشرين أن اتجهت هذه المناقشة إلى مستوٍ جديد ساقها إليه ميكانيك الكم فأُدخلت المادة كشكل آخر من أشكال الطاقة تخضع إلى التجزئة موجة - جسيم.

ماذا يعني قولنا أن المادة تسلك سلوك موجة؟ نحن نعلم أن للأمواج تموجات، ولكن نظراً لكون الذرّات والإلكترونات صغيرة جداً، فلو كانت أمواجاً لكانت تموجاتها دقيقة جداً. إن قدّ التموجات الكمومية لإلكترون في ذرة هو أقل من أنغستروم بصورة نموذجية، أو جزء واحد من عشرة بلايين جزء من المتر. لكننا لانحتاج إلى رؤية التموجات للكشف عن الأمواج. فالدليل المقبول للسلوك الشبيه بسلوك الموجة هو ظاهرة الانعراج.

إن إراءة الانعراج سهلة من أجل الضوء. فنموذج الألوان الذي تراه في قوس قزح عندما تنظر إلى سطح قرص متراصّ تسببه أمواج الضوء المنعرجة على العصائب المعدنية اللامعة والمتباعدة بانتظام والتي تُشكّل الخطوط. يمكن رؤية هذا الأثر لأن طول موجة الضوء، وإن يكن صغيراً، فهو كبير بما يكفي لمقارنته بالتباعدات بين الخطوط المتجاورة.

عندما يسقط الضوء القادم من مصباح كهربائي أو من الشمس على قرص متراصّ، فإن كل مركبة من مركبات الضوء "الأبيض" تنحرف في اتجاه تتحكم فيه نسبة طولها الموجي إلى التباعد بين الخطوط على القرص. وعلى وجه التحديد، فمن أجل ضوء طوله الموجي λ يرد بزاوية 90° على شبكة ذات تباعد بين الخطوط قدرة d، يحدث الانعراج عند زاوية تعطيها العلاقة $\sin\Theta = \lambda/d,\ 2\lambda/d,\ 3\lambda/d$ وهكذا. والأمواج الضوئية المبعثرة من كل الخطوط تُضاف إلى بعضها بصورة مترابطة عند هذه الزوايا الخاصة فقط. إن الأطوال الموجية للضوء المرئي دقيقة (400-700 نانومتر فقط) ولكن إذا كان التباعد بين خطوط الشبكة d صغيراً بالقدر الكافي، فإن فصْل الألوان (بسبب الزاوية Θ) يُكشف بسهولة.

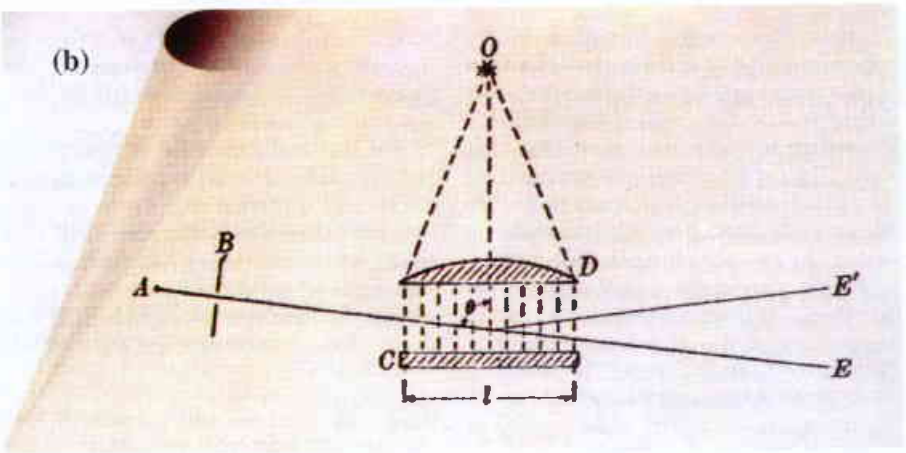
إن المثنوية موجة - جسيم في ميكانيك الكم تعني أنه ينبغي أن يكون بمقدورنا أن ننجز الملاحظة ذاتها كما وُصِفت في الفقرة السابقة، عندما تُستبدل الجسيمات بأمواج الضوء والضوء بالشبيكة المادية. فكّر كيف تجعل ذلك القرص المتراص خارج حزمة الضوء للحظة ما. لاتدعِ الهلع يُصيبك إذا لم تصل إلى حل، فمجموعة بيتلان قدّمته لك.

استخدم بيتلان وزملاؤه طريقة كان قد اقترحها في الأصل فيزيائيان لامعان هما بول ديراك P. Dirac و ب. ل. كابيتزا P.L. Kapitza، في ورقة علمية تقليدية [2] كتبت في عام 1933. حصل كل من ديراك وكابيتزا مؤخراً على جائزة نوبل ولكن ليس على هذا العمل. كانت تلك الورقة العلمية الوحيدة التي كتباها معاً، ويبدو أنها أمر فريد لافت للنظر. لم تكتب هذه الورقة لتحل الجدل الدائر حول الموجة - الجسيم، وذلك لأن هذا الأمر قد بُتّ فيه في أوائل الثلاثينيات من القرن العشرين بالعديد من التجارب لصالح....، كلٍ من الجسيمات والأمواج، كما تتنبأ النظرية الكمومية. ورغم ذلك فقد كتبا أن انعراج الإلكترونات بواسطة الضوء سيكون تجربة شيقة وممتعة جداً.

إن الشكل في ورقة كابيتزا - ديراك يكشف الحيلة من أجل تشكيل شبيكة منتظمة لإشعاع ضوئي (الشكل 1). فكّر كابيتزا وديراك أنه

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 413, 13 September 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1 – صنع ضوء من المادة، (a) انعراج الضوء على نماذج قوس قزح على سطح قرص متراص. (b) رسم مأخوذ من ورقة كابيتزا وديراك عام 1933 [2] التي تصف طريقة مقترحة لانعراج الإلكترونات (من الطريق AE إلى AE′) على موجة ضوئية مستقرة بواسطة منبع ضوئي O، وعدسة مجمّعة D، ومرآة C. يستخدم بيتلان وزملاؤه [1] هندسة مماثلة في تجربتهما.

مرئي تقريباً لأنه مصنوع من شيء ما له نفس الخصائص الضوئية التي للهواء المحيط به تقريباً. وفي تلك الحالة فإن الضوء سيمر مستقيماً من خلاله ولن ينعرج أبداً. وهذا ما جعل تجربة كابيتزا – ديراك الفكرية تبقى بدون اختبار عدة عقود.

لقد تحسّن الوضع عقب اختراع الليزر. إن ليزرات الثنائيات (الديودات) من أنصاف النواقل من نوع الليزر المستمر، كالديودات التي تقرأ الأقراص المتراصة، ماتزال ضعيفة طاقياً وغير قادرة على تبيان أثر كابيتزا – ديراك بالنسبة للإلكترونات الحرة، بيد أنها يمكن أن تستخدم لانعراج حزم الذرّات إذا كان طولها الموجي قريب من خط انتقال ذرّي (كالخطوط الطيفية التي تحصل عليها من ذرات الزئبق المتفلور). لذا فإن انعراج أمواج المادة بواسطة أمواج مستقرة ضوئية كان أول عرض له باستخدام حزمة من ذرات معتدلة تمرّ من خلال موجة مستقرة ضوئية من ليزر مستمر [3]. أكّد غولد Goild و روف Ruff وبريتشارد Pritchard في تجربتهم هذه صيغة كابيتزا – ديراك، وبعملهم هذا ساعدوا على بعث الاهتمام في صنف من فيزياء الجسيم – الموجة يعرف اليوم باسم البصريات الذرّية atom optics. لقد أدّت تقنيات البصريات الذرية إلى متكثف بوز – أينشتاين الذرّي atomic Bose - Einstein condensate، والليزرات الذرّية وإلى تطويرات في الطباعة الحجرية الذرية ذات الكتابة المباشرة.

بإمكان موجة ضوئية مستقرة أن تتمتع بخصائص صحيحة. فموجة ضوئية مستقرة هي مجرد حركة تشبه موجة تهتز لكنها لاتنتقل، كما تفعل اهتزازات خيط الكمان المهتز. إن للموجة المستقرة الضوئية حقلاً كهربائياً مهتزاً صَنَعته حزمتان ضوئيتان منتشرتان باتجاهين متعاكسين ومتراكبتان. اقترح كابيتزا وديراك أنه يمكن تشكيل موجة ضوء مستقرة من إشعاع ينتج عن ذرات الزئبق في مصباح قوسي يتفلور معطياً حزماً ضوئية ذات أطوال موجية حادة وشديدة. إذا استخدمتَ قرصاً متراصاً لتجعل الضوء ينعرج على مصباح متفلور فإنه سيكون باستطاعتك أن ترى خطوط الانعراج التي كان يفكر فيها كابيتزا وديراك، لأن معظم مصابيح الفلورة تولّد ضوءاً من ذرّات الزئبق.

إن الحزمة الإلكترونية التي تسلك فيها الإلكترونات مسارات متوازية (موجّهة) ولها سرعات متماثلة ستنعرج على موجة مستقرة عند زوايا تعطيها الصيغ المماثلة للصيغ التي تصف انعراج الضوء على شبكة – أي عند زاوية تتحدد بنسبة طول موجة الإلكترون إلى دور الموجة المستقرة. (إن دور شبيكة الإنعراج الضوئية يساوي نصف الطول الموجي الضوئي، لأنه توجد قمتا شدة لكل دورة في الموجة المستقرة). إن طول موجة دوبروي الكمومية للإلكترون، حسب ما تمليه النظرية الكمومية، يتناسب عكساً مع اندفاعه p، وفق العلاقة $\lambda_{دوبروي}=h/p$ حيث h هو ثابت بلانك. وعليه فإن زاوية الانحراف لحزمة إلكترونية ترد بزاوية 90° ينبغي أن تكون مضاعفات صحيحة من $2h(\lambda p)$ حيث λ هو الطول الموجي للضوء. وهذا يبلغ جزءاً واحداً من مائة جزء من الدرجة أو نحو ذلك من أجل شبكة انعراج الضوء الأخضر ومن أجل إلكترون بطاقة 380 إلكترون فولط، كما في تجربة بيتلان.

لكن هناك معضلة: فالقوة التي يؤثر بها الإشعاع الضوئي على الإلكترون الحرّ ضعيفة جداً. وبعبارة أخرى، إذا رجعنا إلى تجربتنا الأصلية التي استخدمنا فيها القرص المتراص، فالأمر كما لو أن القرص كان غير

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

إن قوة التبعثر على الإلكترونات الحرة التي يسببها ضوء الليزر أصغر بأكثر من بليون مرة من قوة الليزر الذرّي المولّف بدقة وعناية، لذا فإنه ينبغي أن يكون الضوء أكثر شدة كي يُحدث أي أثر. إن الليزر المستمر لايمكن جعله قوياً بما يكفي، بينما يمكن لليزر النبضي أن يسدّ هذه الفجوة بسهولة. كان أثر الضوء على الإلكترونات الحرّة قد لُوحظ لأول مرة [4] باستخدام ليزرات نبضية ضخمة في الستينيات من القرن العشرين، وتمت دراسته بالتفصيل في الثمانينيات منه، بعضها بواسطة بعض التجارب التي تستخدم أمواجاً مستقرة [5]. لم تستخدم هذه التجارب إلكترونات موجّهة بصورة كافية لترى القمم الإفرادية عند زوايا مختلفة والتي هي الصفة (الدمغة) المميزة لانعراج الإلكترونات على موجة مستقرة. كان على الاختبار التجريبي الكامل لهذه الفكرة أن ينتظر حتىالآن، أي 40 سنة بعد اختراع الليزر وحوالي 70 سنة منذ أن نشرت ورقة كابيتزا - ديراك.

لقد نُفّذت تجربة بيتلان وزملائه بشكلٍ جيد وتعتبر سلسلة القمم الإلكترونية عند زوايا تبعثر مختلفة على اتفاق بديع مع نظرية كابيتزا - ديراك. وهناك سؤال كبير، هو إلى أين يقودنا هذا التقدم في الفيزياء. تقترح مجموعة بيتلان استعماله كأداة طيفية، أو استخدام القمم المتعددة لبناء مقاييس تداخل الإلكترونات. وتستحق هذه الأفكار المتابعة. فهي تنتمي إلى مجال ضيق من البحث الفيزيائي المكرّس للتداول في الظواهر الكمومية باستخدام السيطرة الرائعة التي نمتلكها الآن على حقول الليزر. إن الحوسبة الكمومية، والضوء البطيء، والليزرات الذرّية ومواضيع أخرى مشابهة تنتمي إلى هذا المجال الجديد للتحكّم الكمومي. تساعد تجربة بيتلان على ربط هذه التحسينات بأسس النظرية الكمومية.

المراجع REFERENCES

[1] Freimund, D. L., Afiatooni, K. & Batelaan, H. Nature 413, 142-143 (2001).

[2] Kapitza, P.L. & Dirac. P.A.M. Proc. Camb. Philos. Soc.29, 297-300 (1933).

[3] Gould, P. L., Ruff, G. E. & Pritchard, D. E. Phys. Rev. Lett. 56, 827-830 (1986).

[4] Bartell, L. S., Roskos, R. R. & Thompson, H. B. Phys. Rev. 166, 1494-1504 (1968).

[5] Bucksbaum, P. H., Schumacher, D.W. & Bashkansky, M. Phys. Rev. Lett. 61, 1182-1185 (1988).■

7- الأتوفيزياء التجريبية تبلغ سن الرشد★

طوّر الفيزيائيون كاميرا الأتوثانية التي تستطيع أن تكشف ديناميات الإلكترون

بلغ أمد النبضات المتاحة الأكثر قصراً من الليزرات، خلال الثمانينيات من القرن الماضي، حدّاً من القصر بشكل مثير - إذ بدأ في بداية العقد من النانوثانية (10^{-9} ثانية) وانتهى في نهاية العقد إلى الفمتوثانية (10^{-15} ثانية). ومن ناحية ثانية، فقد بُرهن أنه من الصعب جداً توليد نبضات أقصر من هذه النبضات نظراً لأن أمد النبضة الليزرية لايمكن أن تكون أقصر من دور اهتزاز الحقل الكهرطيسي. وكنتيجة لذلك، لايمكن لنبضة الليزر المرئي أن تتجاوز عتبة الفمتوثانية. وبالفعل، فإن أقصر النبضات التي تمّ توليدها بواسطة ليزر يعمل في حدود 800 نانومتر تبلغ حوالي 5-4 فمتوثانية.

يمكن استخدام أمثال نبضات الفمتوثانية هذه في تجارب المطيافية الجزيئية ذات الفصل الزمني من أجل مراقبة الديناميات الجزيئية بميّز زمني غير مسبوق. على كل حال ، لايمكن ملاحظة الإلكترونات المرتبطة بشكل محكم في الذرة بصورة مباشرة بسبب أن معظم الديناميات المناسبة تحصل في مقياس زمن من رتبة الأتوثانية (10^{-18} ثانية). يتطلب أمد أمثال النبضة الفائقة القصر استخدام مصادر مترابطة من الإشعاع في المجال فوق البنفسجي وأشعة- X. (انظر المقال المنشور في مجلة Physics World عدد أيلول 2001 تحت عنوان من الفمتوكيمياء إلى الأتوفيزياء).

استخدمت أولُ مقاربة حقيقية لتجاوز هذه القيود "التوليد التوافقي العالي الرتبة". يتم في هذه العملية الحصول على تواترات أعلى وذلك بتبئير حزمة شديدة من نبضات الفمتوثانية على غاز ذرّي. وبكلام مبسّط، تمتص الذرة عدداً من الفوتونات ومن ثَمَّ تُصدر فوتوناً مفرداً له طاقة أعلى، وبالتالي له طول موجة أقصر بكثير. ويكون الخرج من الغاز سلسلة "توافقيات" تواتراتها من مضاعفات فردية لتواتر الليزر المسوق. ويمكن للتوافقيات الحاصلة بهذه الطريقة أن يكون طولها الموجي من رتبة عدة نانومترات، بالرغم من أن عدد الفوتونات في كل نبضة توافقية قليل إلى حدٍّ ما، لكن أمد التوافقيات هو في نظام الأتوثانية.

بيّنت الدراسات النظرية التي قام بها أولاً فيليب أنطوان P. Antoine وماسييج لوينشتاين M. Lewenstein عام 1996 في هيئة الطاقة الذرّية الفرنسية في ساكلي، وآن لهويلّر A. L'Huiller من معهد لوند للتقانة في

عند الخط السريع - ميشيل هنتشل (على اليسار) و رايبهارد كينبرغر في تجربة مطيافية الأتوثانية.

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, January 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

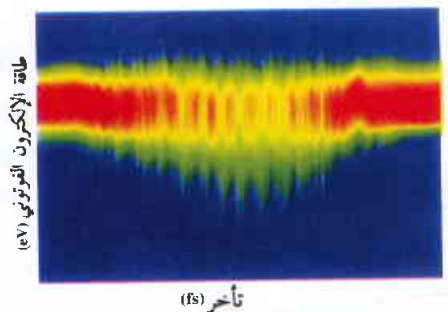
السويد أن التوافقيات المختلفة غالباً ما تكون متشابكة في الطور، وهذا يعني أن مجموعة من التوافقيات المتجاورة تستطيع أن تتداخل بشكل بنّاء مرتين أثناء كل اهتزاز للحقل الليزري. ويمكنها بهذه الطريقة أن تُولّد سلسلة من النبضات تدوم كل واحدة منها أقل من الفمتوثانية ومفصولة زمنياً عن النبضات المجاورة بدور الليزر.

منذ ثلاث سنوات قدّم نيكتاريوس بابادوجيانس N. Papadogiannis ومعاونوه في مؤسسة البحوث والتقانة هيلاس (FORTH) في جزيرة كريت الإثبات الأول غير المباشر بأن من الممكن استخدام هذه الطريقة لتوليد سلسلة من نبضات الأتوثانية (انظر المقال المنشور في مجلة Physics World عدد شباط عام 2000 تحت عنوان "ظهور علم الأتوثانية التجريبي". أما الإثبات المباشر فقد جاء في العام الماضي عندما قاس بيير أغوستيني P. Agostini في صقلية ومعاونوه في معهد الفيزياء الذرّية والجزيئية في أمستردام سلسلة من نبضات الـ 250 أتوثانية (مجلة Science عام 2001 P. Paul وزملاؤه).

يبدو حتى ذلك الحين أن استخدام التوليد التوافقي مصدر واعدٌ جداً من أجل نبضات الأتوثانية. ومع ذلك يبقى هنالك قيدان رئيسيان، الأول هو أنه من المرغوب فيه من أجل تطبيقات المطيافية ذات الفصل الزمني أن يكون هنالك نبضة أتوثانية واحدة معزولة بدل سلسلة من النبضات. والثاني أن شدة هذه السلاسل من نبضات الأتوثانية في الوقت الحاضر صغيرة إلى حدٍّ كبير بحيث لايمكن استخدامها مباشرة في المطيافية.

في عام 1997 اقترح كين كولاندر K. Kulander وزملاؤه من مختبر لورانس ليفرمور وباسكال ساليرز P. Salieres وزملاؤه في ساكلي، وهنري كابتين H. Kapteyn ومارغريت مورنان M. Murnane، في جامعة متشغان أنه إذا كانت نبضات الليزر الأصلية أقل من 10 فمتوثانية، فإن التوافقيات الفردية الحاصلة ستكون أقل من فمتوثانية واحدة. ولمّا كانت نبضة الضوء المرئي تحتوي على عدّة دورات قليلة فقط من نبضة الليزر فإن من الصعب أن يكون هنالك الوقت الكافي لتشكّل التوافقيات. وبدلاً عن ذلك، ستتولّد نبضة أشعة X- ليّنة تدوم عدّة مئات من الأتوثانية.

حقّق الآن فيرينس كراوتز F. Krauze من الجامعة التقنية في فيينا ومعاونوه من معهد ستياسي للعلوم الجزيئية في كندا وجامعة بيليفلد في



الشكل 1– طاقة الإلكترون الفوتوني 4p الصادر من غاز الكريبتون كتابع للتأخير بين نبضة أشعة X- الليّنة والنبضة الضوئية.

ألمانيا أول قياس لمطيافية الأتوثانية ذات الفصل الزمني. لقد درسوا في هذه التجربة تأيّن غاز الكربتون وطيف الطاقة الحركية للإلكترونات الفوتونية الناتجة وذلك بتشعيع الذرّات بنبضة أشعة X- تدوم 150±650 أتوثانية ونبضة ضوء تحت الأحمر في آن معاً (م. هنتشل وزملاؤه مجلة Nature 414 عام 2001).

وَلّد الباحثون أشعة X- الليّنة المعزولة بتبئير نبضة ليزر تدوم 5 فمتوثانية على عينة من غاز الكربتون ثم أجروا ترشيح الإشعاع الخارج. وقاموا بعد ذلك وفي وقت متزامن بتشعيع العيّنة بنبضة أشعة X- مفردة ونبضة أشعة مرئية حاوية دورات قليلة من الحقل الليزري. أيّنت نبضة أشعة- X إلكترونات 4p في ذرات الكريبتون، وبتعريض هذه الإلكترونات الفوتونية في الوقت نفسه إلى حقلي ليزر، استطاع كراوتز ومعاونوه أن يتحكموا بطاقتها. وما حصل بشكل مبسط، هو أن الطاقة النهائية للإلكترونات الفوتونية تعتمد على طور الحقل. وبتغيير التأخر النسبي بين الليزر ونبضة أشعة- X الليّنة، استطاع الباحثون تعديل العرض الطيفي (انظر الشكل 1).

هذا أول مثال عن مطيافية الأتوثانية ذات الفصل الزمني: استطاع كراوتز ومعاونوه أن يضبطوا اللحظة التي تمّ فيها تأيين الإلكترونات خلال 150 أتوثانية. وفي الوقت نفسه، استطاعوا، بفحص التعديل بعناية، تعيين الحد الأعلى الموثوق لدوام نبضة أشعة X-. وبلا شك فإن دوام أشعة X- يقع في حدود مقياس الأتوثانية.

لاشك بأن هذه النتائج الأخيرة قد فتحت الباب إلى حقل جديد من بحوث الليزر - فيزياء الأتوثانية. وبالرغم من أن عواقب هذه الإنجازات يصعب التكهن بها، فإن من الصعب أيضاً المغالاة في تقديرها.■

8- رؤية جديدة للعبور النفقي المغنطيسي★

تدعم التجارب الأخيرة فكرة أن العيوب البلورية يمكن أن تكون مسؤولة عن العبور النفقي الكمومي للعزوم المغنطيسية في المغانط الجزيئية عند درجات الحرارة المنخفضة

إن العزم المغنطيسي لقضيب مغنطيسي نموذجي لايعكس الاتجاه بصورة تلقائية. على أية حال، يمكن للتموجات الحرارية أن تقلب عزم جسيم مغنطيسي بمقدار لايتجاوز بضعة نانومترات. ويمكن تبريد الجسيم إلى مايقارب درجة الصفر المطلق من أجل تخميد هذه العملية، لكن ربما يظل العزم يبحث عن طريقة للقيام بعملية القلب بواسطة العبور النفقي الكمومي. لقد كان العبور النفقي الكمومي للمغنطة الموضوع الأساسي لأبحاث استمرت عقوداً من الزمن. مع ذلك وحتى بضع سنوات مضت كان هنالك دليل ظرفي لهذه الظاهرة. وهذا ناجم عن صعوبة تحديد خصائص معظم المنظومات ذات الجسيمات المغنطيسية الصغيرة -

★ نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, January 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

فالجسيمات لها أشكال وحجوم وخصائص أخرى متنوعة مما يجعل من الصعب مقارنة المعطيات مع النظرية.

لقد تمّ إحراز تقدم فعلي إلى حدٍّ ما منذ بضع سنوات من خلال الأبحاث على المغانط وحيدة الجزيء عالية السبين. وبأبعاد تقارب النانومتر تتكون هذه المغانط عادة من قلب مغنطيسي محاط بمعقّدات عضوية. وعندما تتبلور في شبيكة منتظمة فإن الأيونات العضوية تبقي المغانط المجاورة على انفصال بحيث لاتتأثر إلا بشكلٍ ضعيف. من الناحية المثالية تكون جميع الجزيئات متماثلة بسبب بنائها الكيميائي مما يعني إمكانية تحديد خصائصها بدقة وإمكانية تحليل أية معطيات من الناحية الكمية (انظر "المغانط، والجزيئات، والميكانيك الكمومي" مجلة Physics World March 1999).

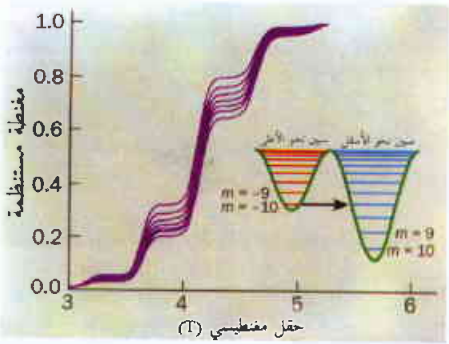
ومن بين هذه الجزيئات التي تمت دراستها بشكل معمّق أستات المنغنيز 12-(Mn_{12}). وضمن كل جزيء تكون سبينات ثمانية أيونات Mn^{3+} (في كل منها S = 2) متضادة التوازي مع سبينات أربع أيونات Mn^{4+} (في كل منها S = 3/2) معطية لـ Mn_{12} سبيناً كلياً قدره S = 10. أو للتعبير عن ذلك بطريقة أخرى، يكون العزم المغنطيسي لـ Mn_{12} أكبر بعشرين مرة من العزم المغنطيسي للإلكترون. كما أن سبينه أيضاً يميل إلى أن يشير إما إلى التوازي أو التوازي المضاد لمحور بلّوري محدد، المحور Z. بمعنى آخر، يمتلك Mn_{12} "حاجزاً لامتناحياً" كبيراً.

يمكن نمذجة المنظومة ككمون بئر مزدوج، حيث يتطابق أحد البئرين مع الحالة التي يشير فيها السبين "إلى الأعلى" بينما يتطابق الآخر مع السبين الذي يشير "إلى الأسفل" (انظر الشكل المُدرج في الشكل 1). سويات الطاقة في كلا البئرين تتطابق مع 2S + 1 = 21 وهي القيم المسموحة للعدد الكمومي المغنطيسي، m. فتطبيق حقل مغنطيسي على طول المحور Z يغطي الكمون، بحيث يميل السبين لأن يشير إلى أعلى بدلاً من أسفل.

في عام 1995 اكتشفتْ وزملائي ظاهرة جديدة تدعى العبور النفقي للتمغنط التجاوبي في هذه المادة. وفي درجات حرارة تحت 3K، أوجدنا خطوات (درجات) في حلقات البطاء لـ Mn_{12} (كتلك المبينة في الشكل 1) كلما أدى الحقل المغنطيسي الخارجي إلى ترتيب السويات الطاقية في البئرين المتعاكسين، مما يسمح للسبينات بالعبور النفقي بين البئرين. والعبور النفقي يدفع الجزيئات ذات السبينات المتجهة نحو الأسفل إلى البدء بالتوجه نحو الأعلى.

ومع أنه كان واضحاً أن العبور النفقي كان يحدث في هذه المادة، فلم يكن السبب في ذلك مفهوماً. وطالما أن اللاتناحي الذاتي للجزيئات وللحقل المغنطيسي معاً يشيران على طول المحور Z، فإن المركبة Z للسبين هي كمية مصونة، أي أن m هو عدد كمومي جيد وأن العبور النفقي بين حالات m المختلفة غير مسموح به.

ولابد من إضافة شيء آخر للسماح بالعبور النفقي - الشيء الذي يشير في اتجاه مختلف عن Z. وهذا يمكن أن يكون حقلاً مغنطيسياً عرضانياً ناجماً عن سبينات نووية أو تأثرات ثنائية القطب مع الجزيئات المجاورة. إلا أن هذه الآثار ثبت أنها ضعيفة جداً بحيث تحول دون اعتبار معدلات العبور النفقي الملحوظة. يمكن أيضاً تحريض العبور النفقي بنوع



الشكل 1- يمكن للاندفاع المغنطيسي لمغانط وحيدة الجزيء القيام بالعبور النفقي من حالات السبين "نحو الأسفل" إلى حالات السبين "نحو الأعلى" عندما يقوم حقل خارجي بحمل سويات طاقية على الجهتين المتقابلتين للحاجز الكموني على التجاوب، كما هو موضح في الشكل المُدرج. تَعرض مغنطة عينة من Mn_{12} الدرجات كلما حمل حقلٌ مغنطيسي المنظومة على مثل هذا التجاوب.

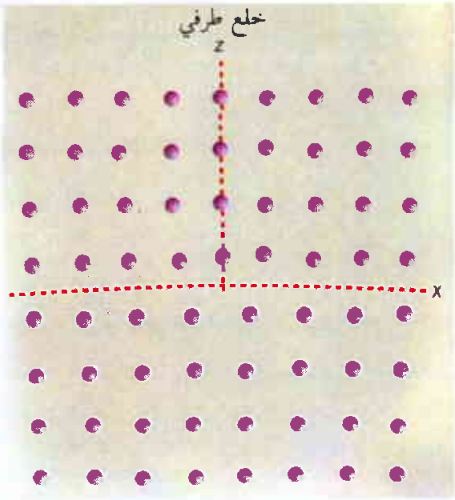
آخر من اللاتناحي يجعل للسبين تفضيلاً آخر ولنقل اتجاه x بدلاً من اتجاه y (مع أنه يفضل وبشدة أن يكون متراصفاً على طول Z). لكن Mn_{12} هو جزيء عالي التناظر وهذه الآثار تبدو مع ذلك ضعيفة.

أشار يوجين شودنوفسكي E. Chudnovsky من كلية ليمان في نيويورك ودمتري غارانين D.Garanin من جامعة ماينز Mainz في ألمانية إلى آلية جديدة لإحداث العبور النفقي في عيوب Mn_{12} (Phys. Rev. Lett. 2001, 87). إن وصم كلمة "عيب" نابع من اسمه بحد ذاته إذ أنه يتضمن أمراً خاطئاً. ومع ذلك يمكن أن تكون العيوب مصدراً للظواهر الفيزيائية الغنية والمتنوعة. يفترض شودنوفسكي وغارانين أن العيوب في Mn_{12} تحدث تشوّهات في السطح x-y الذي يمكن أن يحرّض العبور النفقي. وفي الوقت الذي كان فيه البحث لايزال في مرحلة ماقبل الطباعة، اكتشفت أربعة فرق تجريبية دليلاً على دعم فكرة أن العيوب هي المسؤولة عن العبور النفقي في هذه المنظومة.

درس شودنوفسكي وغارانين نوعاً محدداً من العيوب يدعى الخلع الطرفي edge dislocation يدخل فيه مستوى بلّوري إضافي عند نقطة ما في البلورة (انظر الشكل 2). ولاتؤثر التشوهات التي أحدثها مثل هذا الخلع في كل جزيئات Mn_{12} بصورة متساوية. تتشوه تلك الجزيئات الموجودة قرب الخلع بصورة أكبر ويمكن أن تحدث عبوراً نفقياً بشكل أسرع. ومع أنه كان يُعتقد بصورة مسبقة أن الجزيئات متماثلة، فإن عمليات الخلع تغيّر الحالة. وبدلاً من ذلك هنالك توزيعٌ كبيرٌ لمعدلات العبور النفقي.

تقدم هذه الفكرة تفسيراً جديداً تماماً لدرجات التجاوب المبينة في التجارب السابقة. فليس لكل سبين جزيئي الفرصة ذاتها للعبور النفقي عند تجاوب معين مثل كل سبين آخر كما كان يُعتقد من قبل. في الحالة الجديدة تمثل كل درجة تجاوبية عبوراً نفقياً لمجموعة مختلفة من الجزيئات. في الدرجة الأولى يكون الحاجز عالياً وتستطيع فقط الجزيئات الأقرب إلى الخلع (أي أسرع جزء من توزيع معدلات العبور النفقي) أن تقلب اتجاه سبيناتها . وفي الدرجة التالية يكون الحاجز أخفض إلى حدّ ما ويستطيع جزء آخر من التوزيع القيام بالعبور النفقي وهكذا .. وبالتالي تقدم لنا كل درجة معلومات حول جزء مختلف من التوزيع.

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



الشكل 2– خلع طرفي في بلورة يحدث تشوّهات تستطيع أن تؤدي إلى عبور نفقي في جزيئات Mn_{12}. تحقق الجزيئات الأقرب إلى الخلع أعلى معدلات للعبور النفقي.

تتنبأ النظرية بأن المرء ينبغي أن يكون قادراً على أخذ المعطيات من كل درجة من الدرجات وجمعها مع بعضها لتشكيل منحنٍ أملس يعكس التوزيع الأساسي لمعدلات العبور النفقي. وهذا ما فعله بدقة فريق ميريام ساراشيك Myriam Sarachik في سيتي كوليج في نيويورك (K M Mertes et al. Phys. Rev. Lett. 2001, 87). قاس الباحثون ذُرى الدرجات كتابع لمعدّل كنس الحقل المغنطيسي، وباتباع إجراءات شودنوفسكي وغارانين ، كانوا قادرين على إنشاء منحن أملس من المعطيات – وهذه النتيجة تتوافق مع حالة العبور النفقي الذي يقوده الخلع. وبالمقابل وجدوا أنه لايمكن إنشاء منحن أملس إذا افترض المرء أن العبور النفقي يقوده فقط حقل مغنطيسي عرضاني.

وفي غضون ذلك، قام بيث باركس B. Parks في جامعة Colgate في هاملتون بنيويورك، وكذلك بصورة مستقلة، تعاون بين الباحثين في جامعة ولاية فلوريدا وجامعة ولاية مونتانا بقياس عمليات فصل الطاقة بين سويات m المختلفة. وجد كلا الفريقين أن خطوطهم الطيفية لـ Mn_{12} كانت أعرض من المَيْز التجريبي. وهذا يقتضي ضمناً أن ارتفاع حاجز الطاقة يتباين قليلاً من جزيء إلى آخر – وهذا التأثير يمكن توضيحه بدلالة عمليات الخلع.

وثمة اختبار آخر لنظرية شودنوفسكي وغارانين أجراه فريق جافير تيجادا Javier Tejada في جامعة برشلونة، إذ حرّض الباحثون عمليات الخلع في بلورة Mn_{12} بتبريدها بسرعة في النتروجين السائل ومن ثم تسخينها بسرعة إلى درجة الحرارة العادية مرة أخرى. ووجدوا بعد هذه المعالجة أن معدل العبور النفقي في العيّنة ازداد بشكل واضح. وبإحداث انخلاعات أخرى فإن المعالجة الحرارية تزيد من عدد الجزيئات التي تشوّهت ومن ثم تستطيع أن تقوم بالعبور النفقي بشكل أسرع.

والسؤال الذي يُطرح هنا هو: هل تعدّ قصة العبور النفقي برمتها في المغانط الجزيئية عيوباً؟ والجواب بالتأكيد لا. ففي بعض المغانط الجزيئية تكون آلية العبور النفقي مفهومة جيداً وليس للعيوب سوى دور ثانوي في ذلك. حتى في Mn_{12} لابُدّ للسبينات النووية وحقول ثنائي القطب من أن تقوم بدور ما في ذلك. ومما هو جلي أنه إذا أردنا في يوم من الأيام استخدام مثل هذه المغانط الصغيرة جداً لتخزين البيانات، لابد من أخذ العيوب بالحسبان.■

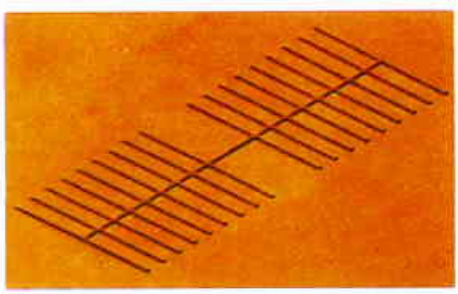
9– بلّورات فيغنر التقليدية تستمر في الحركة*

ثمة نبيطة مكروإلكترونية حديثة وجديدة تَعِد بإحداث ثورة في فهمنا للبلّورات الإلكترونية التي تتشكل عندما تتبرد السوائل الإلكترونية منخفضة الكثافة إلى مايقارب درجة الصفر المطلق.

لقد قادت الخواص غير العادية للمنظومات متعددة الإلكترون إلى عدد من الاكتشافات المذهلة في فيزياء المادة الكثيفة خلال القرن الماضي بما فيها الناقلية الفائقة وأثر هول الكمومي الكسري. وتعدّ هاتان الظاهرتان كموميتين بصورة أساسية بالطبيعة وتحدثان عندما يكون طول موجة دوبروي لإلكترون فرد قابلاً للمقارنة بالفصل الإلكتروني البيني، مع التأثرات إلكترون- إلكترون التي تقوم بدور أساسي في تحديد حالة المنظومة.

لكن في الطرف المقابل، أي عند حدّ الكثافة المنخفضة، فقد يتوقع المرء أن تسلك المنظومة الإلكترونية سلوك المائع التقليدي. وفي درجات حرارة منخفضة سيتصلّب مثل هذا المائع متحولاً إلى ما يُعرَف ببلّورة فيغنر Wigner crystal، كما تنبأ بها يوجين فيغنر E. Wigner في عام 1934. تُشكّل الإلكترونات في جسم صلب فيغنر بنية فضائية دورية بحيث تنخفض الطاقة الناجمة عن التنافر الكولوني المتبادل.

وحتى الآن لم تلاحظ بلّورات فيغنر إلا في منظومتين تجريبيتين: إلكترونات فوق سطح الهليوم السائل ، وإلكترونات عند السطح البيني للبنى المتغايرة نصف الناقلة. وفي كلا الحالين يمكن للإلكترونات أن تتحرك في بُعدين فقط. قام حالياً مايك لي M. Lea لدى جامعة رويال هولوي في لندن وزملاؤه بتصنيع بلّورة فيغنر ببعدين في منظومة



الشكل 1– الإلكترونات تتبلور على سطح الهليوم السائل الذي يملأ هذه القنوات المكروية.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, January 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

ثالثة – قناة مكروية شعرية مملوءة بالهليوم السائل (P. Glasson وآخرون. Phys. Rev. Lett. 2001 87 176802). ويمكن أن تؤدي النبيطة المذكورة، التي تم تصنيعها في معهد نيلز بور في كوبنهاغن، إلى تطبيقات في الإلكترونيات المكروية (الشكل1).

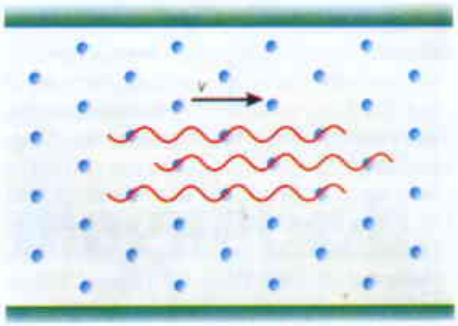
تتمتع أجسام فيغنر الصلبة، التي تمت ملاحظتها في أنصاف النواقل وعلى الهليوم السائل، بخواص مميزة بسبب التراكيز المختلفة للإلكترونات في كل منظومة. وعلى السطح البيني لبنية نصف ناقل متغايرة هنالك تركيز عالٍ نسبياً بصورة نموذجية يبلغ تقريباً 10^{16} إلكتروناً في المترالمربع الواحد. ولتصنيع بلّورة نحتاج لضغط التابع الموجي المستوى الداخلي لكل إلكترون، بتطبيق حقل مغنطيسي قوي على سبيل المثال متعامد مع السطح البيني. وتبقى بلّورات فيغنر المستحصل عليها بهذه الطريقة أجساماً كمومية ذاتياً. ومن المهم أيضاً الإشارة إلى السطح البيني لبنية نصف ناقلة متغايرة ليست خالية من العيوب، كالذرات التي تكون في غير موضعها. علاوة على ذلك، هنالك أيضاً كمون متأرجح بسبب قلّة المانحين المشحونين بشحنة موجبة.

يمكن أن يكون أيضاً لقدر ضئيل جداً من عدم الانتظام في السطح البيني تأثير مهم في الخواص الماكروسكوبية لجسم صلب فيغنر. على سبيل المثال، إذا كان إلكترونٌ واحدٌ فقط متموضعاً عند عيب، يمكنه أن يربط البلّورة بكاملها، عندئذ يقوم حقل كهربائي صغير مطبق بمجرد تشويه جسم صلب فيغنر المثبت هذا بدلاً من توليد تيار كهربائي. وهكذا فإن تبلور فيغنر يجبر الإلكترونات الموجودة عند السطح البيني على أن تصبح عازلة. في الواقع هذه هي المرة الأولى التي يلاحظ فيها التحوّل إلى طور بلّورة فيغنر في البُنى المتغايرة نصف الناقلة.

لُوحِظت بلّورة فيغنر فوق الهليوم السائل لأول مرة في مختبرات بل عام 1969. بالمقابل مع البلّورات المتشكّلة في البنى نصف الناقلة، تمثّل الإلكترونات فوق الهليوم السائل نظاماً تقليدياً صرفاً، بتراكيز نموذجية بمعدّل 10^{12} إلكترون في المتر المربع. ومع ذلك ليست بلّورات فيغنر هذه بسيطة كما يبدو. وعلى الرغم من التجارب الكثيرة، يبقى هنالك عدد من التساؤلات الهامة التي لم يُردّ عليها: هل التحول الطوري من مائع إلى بلورة فيغنر هو تحوّل من المرتبة الأولى أو الثانية، وهل يوجد طور مائع لامتناح يعرف بالطور السداسي؟

إن التطور في فهم النظام الإلكتروني التقليدي أخذ بالتعقيد لاسيما من حيث حقيقة أن بلّورة فيغنر التقليدية هي جسم من الصعب التعامل معه تجريبياً. فالإلكترونات تطفو فوق سطح الهليوم بمقدار 10 nm ويمكن فقدانها بسهولة نتيجة اهتزاز خارجي. وينبغي بذل عناية خاصة من أجل ضمان ثبات سطح الهليوم تحت 0.5 K، وهي درجة حرارة الانصهار النموذجية لجسم صلب فيغنر، وينبغي بذل هذه العناية أيضاً عند سوق البلّورة بحقل كهربائي مطبق.

وبصرف النظر عن هذه الصعوبات، تمثل الإلكترونات الموجودة على الهليوم منظومة واعدة إلى حدٍّ كبير للإلكترونيات المكروية. في الواقع بيّن كيمتوشي كونو K. Kono وزملاؤه في جامعة طوكيو أن لهذا المائع ناقلية أعلى من أي ناقل عادي معروف. أضف إلى ذلك، أن فِل بلاتسمان P. Platzman من مختبرات بل ومارك دايكمان M. Dykman من جامعة ميشغان قد اقترحا استخدام بلّورات فيغنر لبناء الحواسيب الكمومية – وهي نبائط يمكن أن تتجاوز في أدائها الحواسيب العادية في مهام محددة (انظر مجلة Science 1999 284 1967).



الشكل 2– عندما تنزاح بلّورة فيغنر (الزرقاء) في القناة المكروية المملوءة بالهليوم السائل، فإنها تولد موجة سطحية (حمراء) بطول موجي يتلاءم مع الفصل الإلكتروني. إن قوة الاحتكاك التي تمارسها البلورات هي تابع لاخطي لسرعة الانزياح، v ، للبلّورة. يحدث الاحتكاك الأقصى عندما تتساوى سرعة الانزياح وسرعة الطور للموجة.

تُمثّل آخر نبيطة إلكترونية مكروية طوّرها فريق رويال هولوي Royal Holloway تقدماً كبيراً في مجال مناولة بلّورات فيغنر التقليدية، إذ تتألف من قناة مكروية شعرية قطرها حوالي 10 μ m مملوءة بالهليوم السائل. تستطيع القناة أن تحتفظ بعدد كبير من الإلكترونات عبرها، لكن مازال الوقت باكراً جداً لكي يمكن اعتبار المنظومة سلك بلّورة فيغنر.

وجد لي Lea وزملاؤه أن حركة بلّورة فيغنر في القناة المكروية تقدّم العديد من الخصائص المشوّقة: أولاً، أثبتوا خاصة اللاثبوتية لنقل بلّورة فيغنر من منطقة خطية (أومية) عند فولطية مسوّقة صغيرة جداً. ثانياً، بيّنوا أيضاً أن ناقلية بلّورة فيغنر هي أقل بشكلٍ بارز منها في الطور السائل. وأخيراً، وجدوا أن استجابة البلّورة تصبح لاخطية بشدة عندما تزداد الفولطية المسوّقة، وأن الناقلية تتناقص عندما تزداد سرعة الانزحال، v ، للبلّورة على طول القناة.

تمارس الإلكترونات ضغطاً كهراكدياً على سطح الهليوم السائل وبالتالي تولّد أمواجاً عندما تتحرك أشبه ماتكون بالسفن على الماء. وفي درجات الحرارة المنخفضة يؤدي إصدار هذه الأمواج إلى مقاومة كهربائية. علاوة على ذلك، إن تشكّل بلّورة فيغنر يزيد بشكل جوهري من إصدار الأمواج التي لها طول موجي يتلاءم مع دور الشبيكة الإلكترونية (انظر الشكل 2). تزداد المقاومة بطريقة تجاوبية وتصل إلى حدّها الأقصى عندما تتساوى سرعة انزياح بلّورة فيغنر مع سرعة الطور للموجة الشعرية المنبعثة.

إن الاقتران اللاخطي مع سطح الهليوم يحطم أخيراً بنية بلّورة فيغنر عند فولطية مسوّقة عالية إلى حدٍّ كافٍ. يُشير لي وزملاؤه إلى أن البلّورة تصبح منزوعة الإلكترونات في وسط القناة، تاركة عصابة مشحونة تنزاح مع السرعة التجاوبية ، v1 ، وأن حواف البلّورة الأصلية تتحرك بسرعة عالية. وعندما تزداد الفولطية المسوّقة، فإن هذه الحواف السريعة الحركة تنمو بتجميع الإلكترونات التي تفترق عن الجزء المركزي الأبطأ من البلورة. وثمة تحقيقات أخرى ضرورية لتوضيح تفاصيل مثل هذا النقل الإلكتروني غير العادي.

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

لقد ألقى البحث، الذي أُجري في رويال هولوي، ضوءاً جديداً على الدينامية اللاخطية لبلّورات فيغنر، ويمثل حجر الأساس في مجال تطوير الإلكترونيات على سطوح قرّية. ويمكن لهذه النبيطة ذات القناة المكروية الحديثة أن تقوم بدور ثوري في هذا المجال كالدور الذي قام به تصنيع الترانزستور بالنسبة لأنصاف النواقل.■

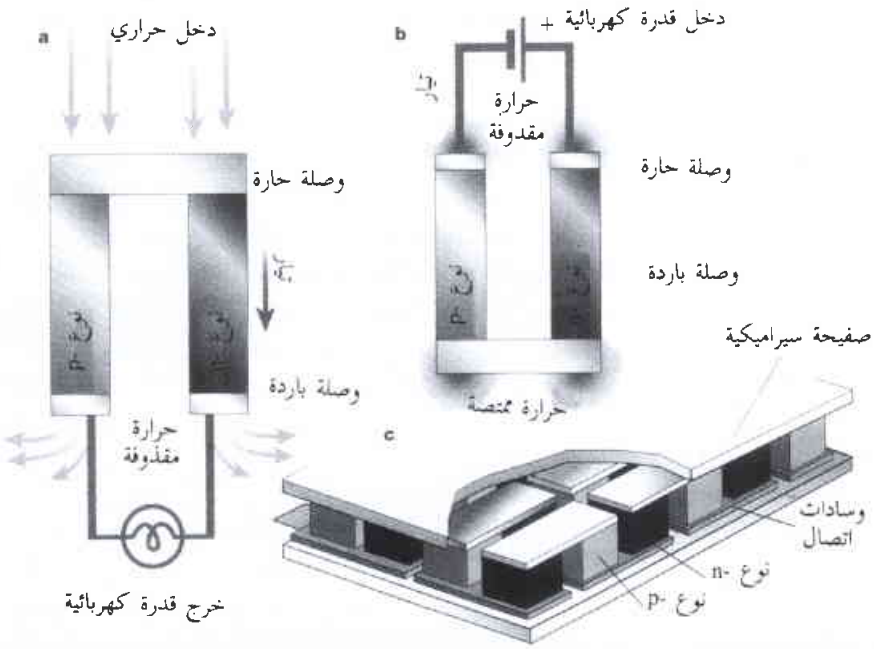
10- أنصاف النواقل تصبح باردة★

في عقد الخمسينيات من القرن العشرين، كانت هنالك آمال بأن تحلّ المزدوجات الحرارية نصف الناقلة محل المُبرِّدات الميكانيكية، تماماً كما حصل عندما حلّت الترانزستورات نصف الناقلة محل الأنابيب الخلائية. ولاشك بأن مواد جديدة قد تجعل من ذلك هدفاً قريب التحقيق.

لاشيء يُحرّض النعاس مثل محاضرة في علم التحريك الحراري (الترموديناميك)، ولهذا فإننا سنتخطّى خوض هذا الموضوع؛ لكننا لا نستطيع أن نتخطى ما ورد في الصفحة 597 من العدد الأخير لمجلة Nature (Vol.413, 11 Oct., 2001)، حيث قدّم فنكات سوبرامانيان Venkatasubramanian وزملاؤه [1] وصفاً لنبائط مزدوجات حرارية رقيقة الغشاء صنعت من مواد جديدة بحيث يمكنها أن تجعل جميع البرّادات ومولّدات القدرة في العالم شيئاً من تراث الماضي. يبدو هذا الأمر جيداً للغاية بحيث يصعب تصديقه. حسناً، قد تكون النتيجة برّادات نزهة على الأقل.

تُعدّ المزدوجات الحرارية المعتمدة على أسلاك معدنية رخيصة، يُعوّل عليها وتستخدم على نطاق واسع لقياس درجة الحرارة. والمزدوجة الحرارية دارة كهربائية بسيطة متشكّلة من ناقلين غير متماثلين متصلين مع بعضهما من إحدى نهايتي كل منهما بحيث تولّد الوصلة فولطية عندما تكون الوصلة والنهايتان السائبتان في درجتي حرارة متباينتين. لكن المزدوجات الحرارية يمكنها أن تفعل أكثر من مجرّد توليد الفولطية. إنها تستطيع أن تعمل كمحركات حرارية تُحوّل الحرارة إلى طاقة كهربائية (مفعول سيبك Seebeck effect) أو تُحوّل الطاقة الكهربائية إلى تبريد (مفعول بلتييه Peltier effect؛ الشكل 1). ويمكن للنبائط الكهرحرارية المعتمدة على هذين المفعولين أن تُشكّل جيلاً جديداً من المولدات والبرّادات غير الميكانيكية فيما لو كانت فقط ذات كفاءة أكبر.

تبيّن، عقب تطوير أنصاف النواقل في الخمسينيات، أن استبدال أنصاف النواقل بالأسلاك المعدنية يُحسّن كفاءة المزدوجات الحرارية بأكثر من مرتبة واحدة من المقادير. إنه تحسّن كبير، إلاّ أن التقانة الكهرحرارية العادية تبقى مكلفة جداً وتستهلك الكثير من الطاقة الكهربائية لاستبدال الضاغط في برّاد المطبخ. لكن النبائط الكهرحرارية من أنصاف النواقل هي نبائط جسم صلب لتحويل الطاقة ذات بنية قوية، ومتحملة، واعتبرت لأمد طويل التقانة المختارة لتزويد القدرة من أجل مهمات الفضاء السحيق التي شملت، مسابر مركبتي الفضاء فوياجر I Voyager I و فوياجر II Voyager II إلى الكواكب الخارجية، ومؤخراً مهمة كاسيني Cassini إلى كوكب زحل. وهي أيضاً نبائط ملائمة بصورة جيدة لبيئات نائية وقاسية على سطح الأرض (كبعض خطوط أنابيب النفط)، كما أنها



الشكل 1- أحلام كهرحرارية تتحوّل إلى حقيقة. المزدوجات الحرارية دارات كهربائية بسيطة تُستخدم لقياس درجات الحرارة بسبب الفولطية المتولّدة عن فروق درجات الحرارة عند الوصلات المتشكّلة من سلكين غير متماثلين أو من نوعين مختلفين من أنصاف النواقل. ويمكن أيضاً استخدام هذه المزدوجات الحرارية لتوليد: (a) قدرة كهربائية، أو (b) تبريد. وتحدّد كفاءة تحويل الطاقة على الخواص الكهرحرارية (هنا أنصاف النواقل من النوع n- والنوع p-) أكثر من اعتمادها على التصميم الهندسي. (c) يمكن لأحدث طراز من المنظومات الكهرحرارية أن يحوي لغاية عدة آلاف من المزدوجات الحرارية المفردة. ومن الممكن تكييف الخصائص الكهربائية والحرارية لتناسب استخدامات محدّدة، وذلك إما بتعديل عدد المزدوجات الحرارية ضمن السلسلة أو بإجراء تغيير في العوامل الهندسية. وتمثل المواد الكهرحرارية الجديدة التي استنبطها فنكات سوبرامانيان وزملاؤه [1] خطوة رئيسة نحو مزيد من الاستخدام الواسع للتقانة الكهرحرارية بحيث يتعدى مجال الاستخدامات المحدودة حالياً.

★ نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol. 413, 11 October 2001. ترجمة هيئة التحرير هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

ملائمة لعملية تبريد من المستوى البسيط في تطبيقات عسكرية وفضائية (كما هو الحال في تبريد كواشف الأشعة تحت الحمراء).

لقد أدى خفض التكلفة، خلال السنوات العشر الماضية، إلى إدخال برّادات كهرحرارية (بلتييه) كسلع أو منتجات للمستهلك، مثل سلاّت النزهة الخالية من الثلج (كما تحققت استفادة جيدة من ولاعة السجائر في السيارات). ومقاعد المركبات المكيفة (تبريد أو تسخين) كذلك، أضحت ساعات اليد التي تستمد طاقتها كلّياً من حرارة المعصم متوفرة رغم أسعارها الباهظة. لكن الانطلاق إلى ماهو أبعد من مثل هذه الأسواق الملائمة يتطلب أداء أفضل. والمعضلة هنا لا تكمن في التفاصيل الهندسية إنها في العلم - وبخاصة علم المواد الكهرحرارية.

المعضلة هي أن المواد النشطة ذاتها، "ساقا" نصف الناقل من النوع n و النوع p المبيّتان في الشكل 1، تُحدّد الكفاءة. فالإلكترونات تحمل التيارات المتدفقة في نصف الناقل من النوع n، في حين تُحمَل التيارات في نصف الناقل من النوع p بواسطة "ثقوب" موجبة الشحنة. وللنوعين مقاومة كهربائية لابُدّ من التغلب عليها كي تقوم المزدوجة الحرارية بعملها. وكل ساق نصف الناقل تنقل الحرارة مباشرة عبر النبيطة التي تحدّ من فارق درجة الحرارة الذي تتمكن النبيطة من الوصول إليه (من أجل التبريد) أو المحافظة عليه (من أجل توليد القدرة). وهذه الخسارات تقلّل من قدرة أي من الساقين على إنتاج أي من الفولطية المفيدة أو التبريد، وذلك تبعاً للاستخدام المطلوب.

ويقاس المدى الذي يمكن أن تصل إليه كفاءة المادة في مزدوجة حرارية ذات تصميم هندسي ملائم بوساطة مجموعة من خواص المادة تعرف باسم "عدد الاستحقاق الكهرحراري وهو غير ذي بعد" يكتب عادة بالرمز ZT. ويُعد ZT مصطلحاً مختزلاً للكفاءة. ويتمتع ZT بميّزة، أنه يمكن قياسه على ساق مفردة دون الحاجة إلى تصنيع نبيطة كاملة. ويمكن لـ ZT أن يساوي الصفر، وهذا يعني عدم وجود تحويل للطاقة. وعندما يزداد ZT نحو اللانهاية، تدنو النبيطة الكهرحرارية مقاربة حدّ كارنو المعتاد للكفاءة، الذي يطبق على المحرّكات الحرارية كافةً (بما فيها محركات الجسم الصلب).

ولكل مادة عدد استحقاق يكون عادةً ذا قيمة صغيرة جداً. ولربما كان ضرورياً أن يُخصص مصطلح "المادة الكهرحرارية" للمواد التي لها قيمة $ZT > 0.5$ وهي نادرة كفايةلأن تكون ذات أهمية. ولحقبة تقارب 40 سنة بقيت قيمة ZT لأفضل المواد المعروفة بين حوالي 0.75 و 1.0؛ ولهذا السبب بالذات تُعدّ أبحاث فنكات سوبرامانيان وزملائه ذات أهمية بالغة، إذ أخبروا عن قيمة لـ ZT قدرها 2.4 في أفلام رقيقة لأنصاف نواقل Bi_2Te_3/Sb_2Te_3. ويبدو أن هذه المواد تحقق قيماً عالية لـ ZT؛ بفضل بنيتها غير العادية- شبيكة فائقة متشكّلة بطبقات متناوبة من أنصاف النواقل. وكان الرقم القياسي السابق لـ: ZT، قد تم بلوغه عند درجة حرارة الغرفة بواسطة سبيكة جرمية نصف ناقلة تعتمد على Bi_2Te_3 و Sb_2Te_3. ويبدو أن بنية الشبيكة الفائقة تعزز نقل الإلكترونات الحاملة للتيار (والثقوب)، في حين أنها تثبط نقل الفونونات الحاملة للحرارة (اهتزازات مكممة للشبيكة البلّورية)؛ وكلا التأثيرين يرفعان قيمة ZT.

في أواخر الخمسينيات، عندما بدأ ظهور الحقبة الحديثة للعلم الكهرحراري وتقانته، بدا أنه من الممكن أن تقترب كفاءة الكهرحراريات من كفاءة البرّادات الميكانيكية ومولّدات القدرة؛ ومع حلول السبعينيات، وبسبب عدم إحراز تقدم، كانت هناك قلة تدعم هذا الاحتمال. وقد بلغ الأمر إلى حدّ التخمين بأن قيمة قدرها 1 لـ ZT تمثل نوعاً من حاجز كهرحراري؛ ومن المؤكّد أن ذلك شكّل حدّاً تجريبياً كاد أن يوقف البحث والتطور. لكن رودولف بوسر Rudolph Buser، الذي كان مشاركاً مع مديرية البصريات الكهربائية الليلية التابعة للجيش الأمريكي، أهاب بالعلماء، في أوائل التسعينيات، أن يعاودوا البحث في مجال الكهرحراريات. وسرعان ما أعقب ذلك تبني برنامج في العلوم الأساسية لزيادة قيمة ZT، وذلك بدعم أساسي من "مكتب البحرية الأمريكي لبحوث البحرية ووكالة مشاريع البحوث المتقدمة في المجال العسكري. وفي أواخر التسعينيات، تمّ تحقيق بعض النجاح إلاّ أنه حتى تلك الفترة كان من الواجب أن تكون متفائلاً كي تُصدّق بأن الحاجز المذكور آنفاً تمّ كسره [2].

ومع نتائج فنكات سوبرامانيان وزملائه [1]، غدا حتى المراقبون المشككون وغير المتحمسين منهم، متشجعين بشكل مأمون؛ وأصبحت خواص المواد، عند قياسها بعدد الاستحقاق ZT، أفضل من الحالة الراهنة بما يعادل 2.5 ضعفاً، وتم إثباتها بأكثر من طريقة، وباتت ناجعة عند درجة حرارة الغرفة. ومع أنه كان هنالك متسع من الوقت، لكن أي حدس حول وجود عائق كهرحراري عدد استحقاقه $ZT = 1$ يبدو أنه أصبح لاغياً بالتأكيد.

هل حان الوقت كي تستبدل برادك ذا الطراز القديم؟ لم يحن هذا الوقت بعد. فرغم الآمال الواعدة لهذه النتائج الجديدة، تبقى الكفاءة (المقدّرة من ZT) أقل بشكل محسوس من تلك الخاصة بالبرادات التقليدية. ولا يوجد ما يفيد بإمكانية حل المشاكل الهندسية المختلفة أو تلك التي تتعلق بالتكاليف.

من جهة ثانية، قد تكون هذه النتيجة على قدر كافٍ من الجودة لتوسع كبير في مجال التطبيقات العملية. فمعروف أن للمصنعين العصريين قدرة جيدة على خفض التكاليف، كما لايوجد سبب يوحي بالاعتقاد بأن هذا يمثّل الكلمة الأخيرة حول ما يتعلق بالكفاءة. ومعظم الفيزيائيين يتذكرون عندما كان الحدّ الأعلى لدرجات حرارة الانتقال إلى الناقلية الفائقة ثابتاً إلى حدّ ما عند حوالي 32K (-250°C)، في حين يقع الرقم القياسي الحالي عند 164K (-109°C) وهذا لا يزال رقماً بارداً؛ لكن القليل بينهم من سيراهن الآن ضد انتقاله نحو الأعلى. والتجريبيون، بالذات، مغرمون بإثبات أن النظريين على خطأ.

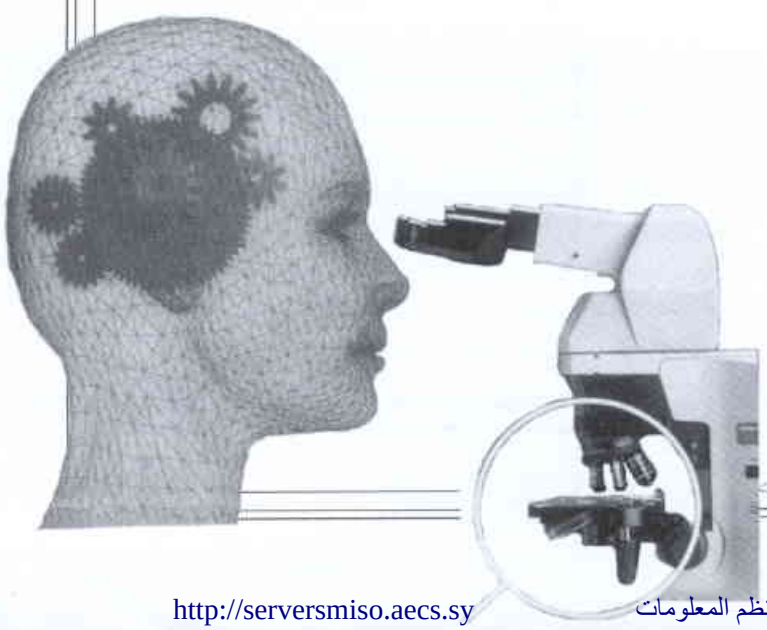
المراجع REFERNCES

[1] Venkatasubramanian, R., Siivola, E., Colpitts, T. & O'Quinn, B. Nature 413, 597-602 (2001).

[2] Dubois, L. H. 18th International Conference on Thermoelectrics 1-4 (IEEE, Piscataway, New Jersey, 1999).■

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

ورقات البحوث



محطة مناخية محمولة مع نظام مراقبة الإشعاع النووي باستخدام المعالج التحكمي المكروي "BASIC-8052" ★

د. علي المحمد – سامر أغابي – محمد شفيق ويس.
قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب. 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

تمّ تصميم وبناء محطة مناخية محمولة قادرة على قياس مختلف العوامل الجوية (وبخاصةٍ حرارة الوسط المحيط، الرطوبة النسبية، الضغط الجوي، سرعة واتجاه الرياح). فقد جرى تحويل المقادير الفيزيائية إلى إشارات كهربائية باستخدام محسّات مناسبة. وبعد ذلك تمّت معالجة هذه الإشارات وتحويلها إلى قيم رقمية يمكن تخزينها ضمن وحدات ذاكرة مناسبة. تمّ أيضاً بناء نظام إنذار خاص بالإشعاع النووي، على اللوحة الأم للنظام، وذلك لمراقبة مستويات إصدار الإشعاع النووي. يتألف النظام من ثلاثة أجزاء رئيسة: لوحة التحكم، لوحة تحصيل المعطيات، ولوحة تكييف الإشارات. ويتم التحكم بكامل النظام باستخدام المعالج التحكمي المكروي "BASIC-8052".

الكلمات المفتاحية: محطة مناخية، نظام مراقبة إشعاعي، معالج تحكمي مكروي، محددات مناخية.

مقدمة

يلعب علم قياس العوامل المناخية دوراً هاماً على الصعيد الوطني والدولي، وذلك لأن معظم نواحي حياتنا يتعلق بشكل مباشر أو غير مباشر بالوسط المحيط. وعليه قامت معظم الدول بإنشاء مؤسسات رصد العوامل المناخية الوطنية الخاصة بها منذ أمدٍ طويل [1]. قديماً، كانت معظم محطات القياس المناخي ميكانيكية ويدوية التشغيل وكان يتم إدخال القيم المقيسة ضمن سجلات مكتوبة بخط اليد قبل نقلها إلى ملفات الحاسوب من أجل عمليات التحليل اللاحقة. لكن معظم هذه المحطات قد تمّ تطويرها وأصبحت آلية التشغيل وذلك بفضل التطور السريع في الإلكترونيات الرقمية [2].

تمّ تصميم النظام الموصّف هنا لتخفيض كلفة التجهيزات المادية المستخدمة ونفقة الصيانة. إضافة إلى ذلك، إن هذا النظام بسيطٌ في بنيته المنطقية ويمكن استخدامه بشكل واسع ضمن العديد من مجالات تحصيل المعطيات والتحكم ونظم التجهيزات الذكية. وذلك يرجع بشكل أساسي إلى استخدام المعالج التحكمي المكروي "BASIC-8052" الذي يحتوي على مترجم لغة "BASIC" مدمج ضمنه. وبهذه الحالة، فإن لغة الـ "BASIC"، التي تُعدّ لغة برمجة بسيطة نسبياً، يمكن التعامل معها بفعالية مما يوفر مرونة أكبر في عملية أتمتة أداء المحطة بطريقة بسيطة نسبياً. إحدى الميزات الهامة للنظام هي إمكانية تركيبه وتشغيله في مناطق منعزلة بعيدة عن شبكة الكهرباء العامة. ولتحقيق هذه الميزة تمّ تزويد المحطة بوحدة شمسية فوتوفولطية (نوع – SM 50-18A2) من إنتاج شركة "SIEMENS" لتأمين التغذية الكهربائية لها. فولطية الدارة المفتوحة V_{OC}، وتيار الدارة المقصورة I_{SC}، والاستطاعة الأعظمية P_{max} لهذه الوحدة هي 21.5 V، 3.1 A، 50 W_p على الترتيب. كما تمّ تصميم نظام تغذية مساعد في حالة انقطاع التيار الكهربائي.

يتم القياس المباشر للعديد من العوامل المناخية باستخدام محسّات مناسبة (على سبيل المثال: الحرارة، الضغط، الرطوبة). تُقاس العيّنات الفيزيائية ضمن فترات زمنية محددة وتُحوَّل إشارات الخرج الناتجة إلى قيم رقمية باستخدام مبدل تمثيلي/رقمي "A/D converter" أو مبدلات فولطية إلى تواتر "V/F converter". هذه القيم تتم معالجتها لاحقاً وتُخزن ضمن ذاكرة ولوج عشوائي RAM مناسبة.

تمّ تصميم قناة الإشعاع، التي تقوم بقياس كثافة الإشعاع النووي، لتعطي إنذاراً صوتياً عندما تتجاوز القيمة المقيسة مستوى معيناً يحدده المستثمر.

مكونات الحاسوب والبرمجية للنظام

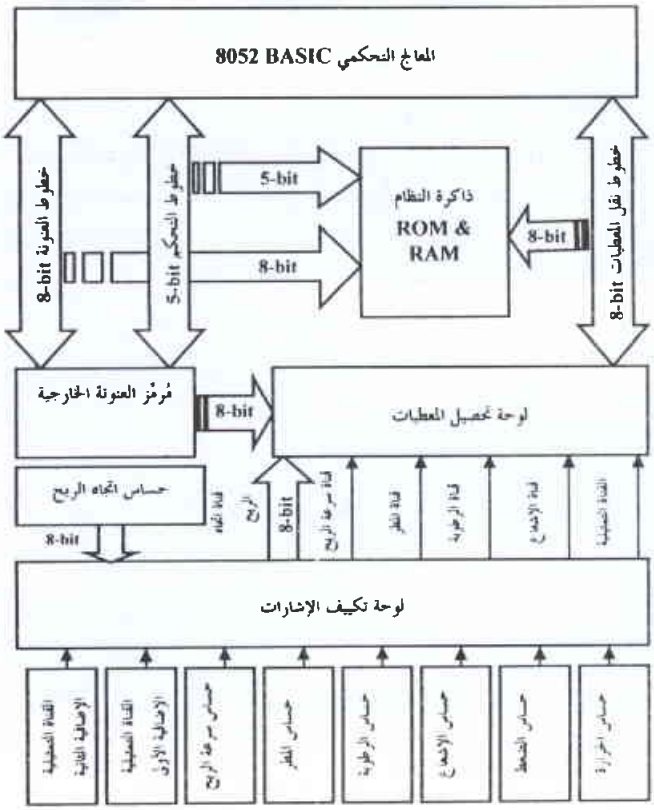
يبيّن الشكل 1 المخطط الصندوقي العام للمحطة المصمّمة. يتألف النظام من جزء رئيس يمثله المعالج التحكمي المكروي ومن العديد من الأجزاء الثانوية التي تقوم بأداء وظائف مثل تحصيل المعطيات وتخزينها وإظهار الخرج. إن التفصيلات التقنية لهذه الأجزاء موضحة فيما يلي:

لوحة التحكم

تُعدّ هذه اللوحة قلب المحطة إذ أنها تحتوي على المعالج التحكمي المكروي "8052AH-BASIC"، وذاكرة ولوج عشوائي RAM بسعة 32 kbytes وذاكرة قراءة فقط قابلة للمحي ضوئياً EPROM بسعة 24 kbytes. يشرف المعالج التحكمي المكروي على كامل عمل المحطة من أتمتة لعمليات القياس والتخزين وذلك من أجل عدد كبير من العيّنات. يحتوي المعالج على ثلاثة عدادات/ مؤقتات قابلة للبرمجة (T_0 خاص

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Meteorological Applications* 2001.

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



الشكل 1 – المخطط الصندوقي العام للمحطة المناخية.

بساعة الزمن الحقيقي، T_1 خاص بحساب زمن أخذ العيّنات، و T_2 من أجل عمليات التزامن الخاصة بالتخاطب مع الحاسوب عبر الوصلة التسلسلية RS232). كما يحتوي على خطي مقاطعة (INT_0, INT_1)، وخطي تخاطب تسلسلي، وخط خرج نبضات معدلة العرض PWM، وخط خاص لإرسال المعطيات إلى طابعة تسلسلية خارجية. تواتر العمل للمعالج التحكمي هو (11.0592 MHz).

لوحة التحكم قادرة على قيادة ثماني لوحات تحصيل معطيات في الوقت نفسه مع إمكانية مراقبة المقادير المقيسة مباشرة على شاشة الحاسوب.

لوحة تحصيل المعطيات

يوضح الشكل 2 المخطط الصندوقي للوحة تحصيل المعطيات التي تحتوي على تسع قنوات دخل مقسمة كما يلي:

– أربعة مداخل رقمية (الإشعاع، سرعة الريح، الساقط المطري والرطوبة).

– أربعة مداخل تمثيلية (حرارة الوسط المحيط، الضغط الجوي، وقناتان احتياطيتان للاستخدام المستقبلي).

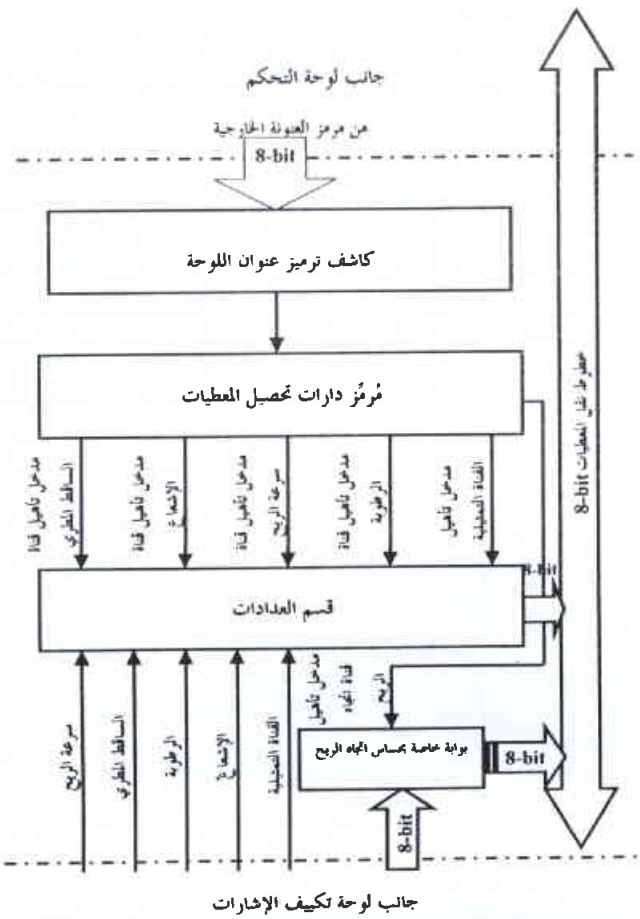
– قناة خاصة مؤلفة من ثماني خانات تستخدم لاستقبال إشارات خرج من محسّ اتجاه الريح.

تتألف اللوحة بشكل أساسي من الدارتين الإلكترونيتين 82C54 و 82C55 إضافة إلى كاشف ترميز عنوان اللوحة ومرمِّز دارة تحصيل المعطيات.

تحتوي الدارة 82C55 على ثلاث بوابات دخل/ خرج لكلٍ منها ثماني خانات. هذه البوابات يمكن برمجتها كمداخل أو مخارج تبعاً للتطبيق المرغوب. في هذا المشروع، تمّت برمجة البوابتين A و C كبوابتي خرج في حين تمّت برمجة البوابة B كبوابة دخل. وقد تمّ ذلك ضمن البرنامج التحكمي بكتابة كلمة تحكم مناسبة ضمن سجل التحكم الخاص بالدارة 82C55. جرى استخدام خطوط هذه البوابات، لإنجاز العديد من المهام الإضافية. فعلى سبيل المثال استُخدمت خطوط البوابة A كمداخل انتخاب ضمن ناخب المحطة، واستُخدمت خطوط البوابة C من أجل عملية الفحص الذاتي للمحطة وإصدار إشارة الإنذار "AC-ALARM" في حالة انقطاع التيار الكهربائي. تمّ استخدام خطوط البوابة B لاستقبال إشارات محسّ اتجاه الريح الثمان.

ومن ناحية ثانية تتألف دارة العدادات/ مؤقتات "82C54" من ثلاثة عدادات/ مؤقتات قابلة للبرمجة وفقاً لستة أنماط مختلفة لعدادات أو مؤقتات وذلك حسب الحاجة [3].

تُستخدم دارة كشف ترميز العنونة في هذه اللوحة لتحديد عنوانها في خريطة الذاكرة للنظام، ويُستخدم مُرمِّز دارة تحصيل العيّنات لانتخاب العنوان المناسب لكل قناة إشارة من اللوحة.



الشكل 2 – المخطط الصندوقي للوحة تحصيل المعطيات.

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

لوحة تكييف الإشارات

يوضح الشكل 3 المخطط الصندوقي للوحة تكييف الإشارات. المهام الأساسية لهذه اللوحة تتمثل أولاً بمعالجة المعاملات المناخية المقيسة بمختلف المحسّات، وثانياً تحويل هذه المقادير إلى قيم رقمية يمكن نقلها مباشرة إلى وحدة تحصيل المعطيات ليصار إلى معالجتها هناك.

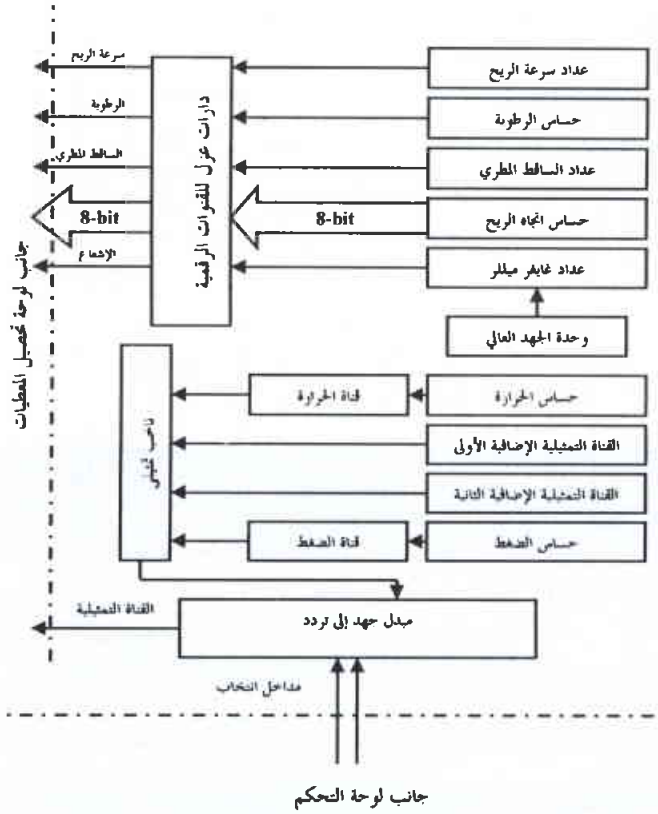
تحتوي الدارة الكاملة لهذه اللوحة على العديد من العناصر الإلكترونية التي تمّ تجميعها لإنجاز مجال واسع من المهام مثل الترشيح والحماية من الضجيج (باستخدام دارات العزل TLC271).

إضافة إلى ذلك، تحتوي اللوحة على مضخم قياس (AD620) يستخدم لتضخيم إشارة خرج محسّ الضغط، وعلى ناخب تمثيلي (AH5010) لمزامنة عملية دخول القنوات التمثيلية على مبدل الفولطية/ تواتر (LM331). يسمح استخدام المبدل V/F بتبديل القيم التمثيلية مباشرة إلى مكافئاتها التواترية.

من المفيد الإشارة هنا إلى أنّ جميع العناصر المختارة في هذا التصميم كانت من نوعية CMOS وذلك لتقليل استهلاك الطاقة وزيادة سرعة العمليات. إضافة إلى ذلك إنّ جميع المضخمات المستخدمة هنا كانت عالية الدقة، منخفضة الاستهلاك للطاقة ومُعوَّضة حرارياً.

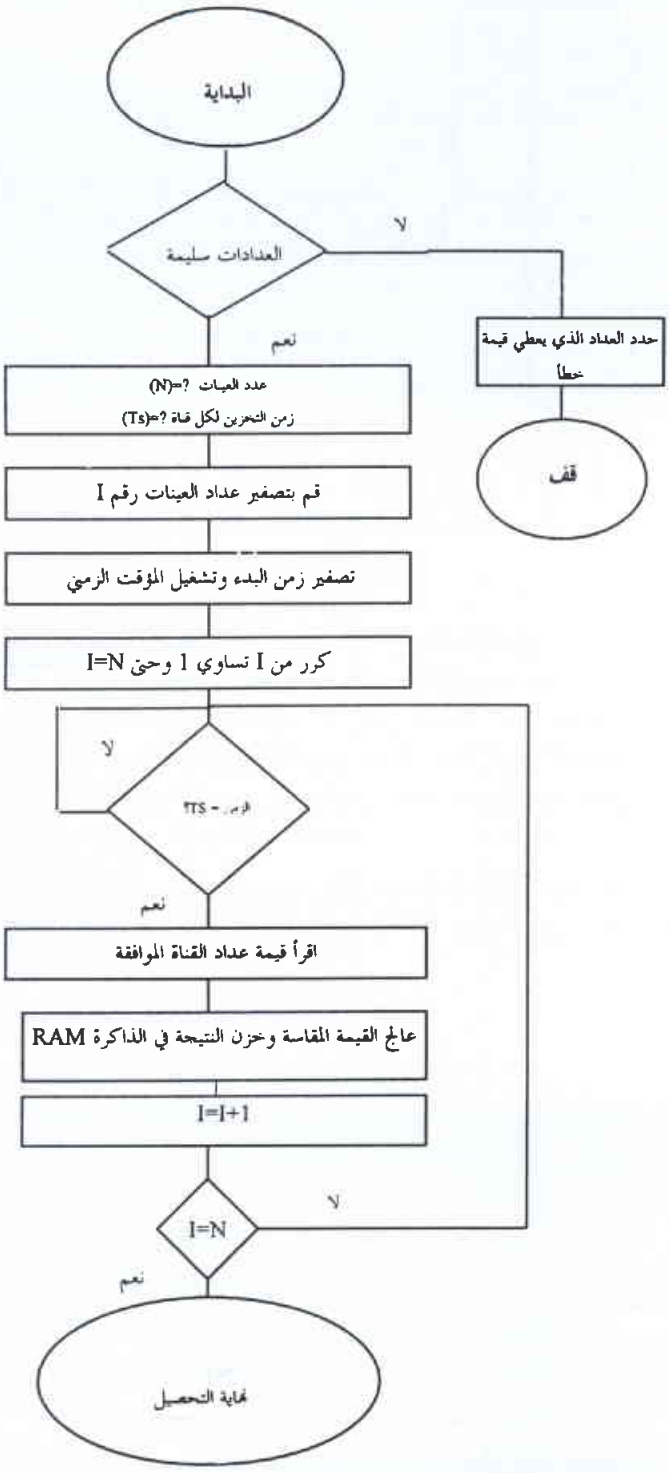
توصيف البرمجيات

تمّ تصميم برنامج تحكم مكتوب بلغة BASIC-8052 وخُزّن في ذاكرة الـ EPROM ذات السعة 24 kbytes. لقد تمّ تطوير البرنامج بحيث يكون سلس الاستخدام وليقدم الكمّ الأقصى من المعلومات بالمقدار



الشكل 3- المخطط الصندوقي للوحة تكييف الإشارات

الأدنى من التعقيد. يُظهر الشكل 4 المخطط الانسيابي لكامل البرنامج الذي يتألف من سلسلة من البرامج الجزئية التي تتحكم بكامل عمليات النظام وتعالج المقادير الفيزيائية المقيسة، كما تقوم بإظهار النتائج النهائية لهذه المقادير. يمكن تقسيم البرنامج إلى 7 برامج جزئية أساسية تمّ توضيحها في الجدول 1.



الشكل 4 – المخطط الانسيابي لبرنامج التحكم.

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

الجدول 1 – البرامج الجزئية الخاصة ببرنامج التحكم.

اسم البرنامج الجزئي	الوظيفة
التأهيل الأولي (Initialization)	– إعطاء القيم الأولية لمعاملات المحطة (زمن وتاريخ بدء القياس، معاملات معايرة المحسّات). – عنونة جميع عدادات القنوات والبوابات (كلمة التحكم للدارة 82C54 والدارة 82C55).
التاريخ والزمن	تفعيل المؤقتات وكذلك حساب زمن وتاريخ القياس وفقاً لساعة الزمن الحقيقي الخاصة بالمعالج.
لائحة الخيارات (MENU)	الجزء الأساسي من البرنامج حيث يمكن بواسطته استدعاء وتنفيذ الوظائف التالية: 1 – ضبط التاريخ والزمن. 2 – بدء قياس جديد. 3 – إظهار النتائج المخزنة. 4 – الخروج من البرنامج.
إدخال المعاملات	حساب أزمنة التخزين وأخذ العيّنات بالإضافة إلى الزمن الكلي للقياس. 1 – زمن أخذ العيّنات: هو الفترة الزمنية بين أخذ عيّنتين منفصلتين من إشارة ما. ويمكن اختيار هذا الزمن ضمن المجال (ثانية واحدة – 5 ثوانٍ) وفقاً للدقة المطلوبة. 2 – زمن التخزين: يتم خلال هذا الزمن مراكمة قيم العيّنات ضمن مؤكم خاص ويتم عدّ العيّنات ضمن عداد عينات خاص. يتم في نهاية هذا الزمن حساب قيمة الوسطي للعيّنات المقيسة ثم يتم تخزين هذه القيمة ضمن موقع الذاكرة المناسب. 3 – زمن القياس الكلي.
تحصيل المعطيات	تؤخذ هنا قيمة واحدة في نهاية كل زمن أخذ العيّنات لكل قناة. ثم يتم إنجاز عمليات ترشيح وتعويض وحساب للوسطي في نهاية كل زمن تخزين وذلك لزيادة الدقة وإنقاص آثار اللاخطية والجرف الحراري ولإزالة أثر أية عملية قياس خاطئة للإشارات المناخية خلال فترة زمن التخزين الفعلي.
التخزين	يتم تخزين وسطي قيم العيّنات المقيسة من أجل كل قناة في موقع الذاكرة المناسب وذلك في نهاية كل زمن تخزين.
الإظهار	يتم إظهار القيم المخزنة ضمن ذاكرة الولوج العشوائي RAM على شاشة حاسوب محمول وذلك عبر الوصلة التسلسلية RS232.

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

آلية تشغيل المحطة

تعتمد المحطة بشكل جوهري على المعالج التحكمي المكروي BASIC-52. لهذا المعالج العديد من المزايا كالسرعة العالية والوثوقية والمرونة وبساطة البرمجة [4]. كما يتمتع بمترجم BASIC داخلي (للتحويل من لغة BASIC إلى لغة الآلة) وذلك لتسهيل برمجة تشغيل كامل المحطة بطريقة سهلة وفعالة. إضافة إلى ذلك، إن استخدام العدادات المبرمجة وبوابات الدخل/ خرج يعطي المزيد من المرونة في استخدام هذا التصميم في العديد من التطبيقات الصناعية. ولإضفاء المزيد من المرونة على عملية كتابة البرنامج من خلال المستثمر فقد تمت إضافة دارتي EPROM خارجيتين (جذاذتان 27HCT128) بسعة تخزين مقدارها 24 kbytes. كما تمّ تركيب ذاكرة RAM (MT5C2568) بسعة 32 kbytes لتخزين المعطيات المحصلة. علاوة على ذلك، فقد كان من الضروري إضافة بطارية داخلية صغيرة الحجم قابلة لإعادة الشحن (3.6 V-Alkaline) لضمان الاحتفاظ بالمعلومات المخزنة ضمن الذاكرة RAM في حال انقطاع التيار الكهربائي.

المحسّات

تمّ قياس الضغط الجوي باستخدام محسّ ضغط من النمط الجسري (KPY43A 0-1.6 bar) ويتألف من أربع مقاومات كهرضغطية. حساسية هذا المحسّ كانت 0.028 mV/mb. وقد استُخدم مضخم قياس خاص (AD620) للتعامل مع خرج هذا المحسّ [5]. لزيادة دقة القياس، تمّت تغذية المحسّ بواسطة منبع تيار ثابت يستخدم دارة فولطية مرجعية دقيقة ومعوضة حرارياً بشكل جيد (LM399) [6].

تمّ أيضاً تعويض الأثر الحراري على قياسات الضغط جزئياً باستخدام مقاومة تتعلق قيمتها بدرجة الحرارة الموجودة ضمن جسم هذا المحسّ. وكذلك عولجت لاخطية محسّ الضغط باستخدام برمجيات مناسبة وذلك للحصول على المعادلة النهائية للضغط الجوي P:

$$P|_{mbar} = 1E\text{-}5 * f^2 + 0.0523 * f|_{Hz} + 394.07$$

حيث f هو التواتر المكافىء للخرج التمثيلي للمضخم (AD620).

تمّ قياس درجة حرارة الوسط المحيط باستخدام محسّ خطي نصف ناقل (نوع LM335) له مجال عمل 40°C- إلى 100°C مزود بمنبع تيار دقيق (LM334) وذلك للحصول على حساسية مقدارها (10 mV/ °C).

درجة الحرارة T تُعطى بالمعادلة:

$$T|_{°C} = (Vout|_{mV}/10)\text{-}273$$

حيث V_{out} هي فولطية خرج المحسّ.

في كلا المحسّين السابقين يتم تحويل إشارة الخرج التمثيلية إلى قيمة رقمية موافقة باستخدام مبدل خطي للفولطية إلى تواتر V/F (نوع LM331) بمجال عمل (10V/10kHz) للحصول على دقة مقدارها (1mV/Hz). استُخدم ناخب سريع (AH5010) لنقل إشارة خرج كل من القناتين التمثيليتين على التتالي إلى مدخل المبدل V/F الذي يُطبّق تواتر خرجه على مرحلة تضخيم نهائية قبل إدخاله إلى لوحة تحصيل المعطيات.

قيست الرطوبة النسبية (RH) باستخدام محسّ وسعي من نوع (PHILIPS) ذي حساسية (0.6 pF/RH%). تغير إشارة الخرج تواتر هزاز متعدد (نوع LM555) وذلك بتوافق مع تغير الرطوبة النسبية. وتمّت معالجة اللاخطية هنا أيضاً بواسطة برمجيات مناسبة باستخدام النقطة التصميمية للمحسّ المقابلة لـ (C = 200 pF ± 20% at RH = 76%) وذلك لحساب ثوابت معادلة الرطوبة النسبية كتابع للتواتر. ولتغطية كامل مجال الرطوبة النسبية 0% إلى 100%، والذي يقابل مجال تواتر 6100-8000 Hz، كان لا بد من تطبيق المعادلة التالية:

$$RH|_{\%} = (252300/f|_{Hz})\text{-}315$$

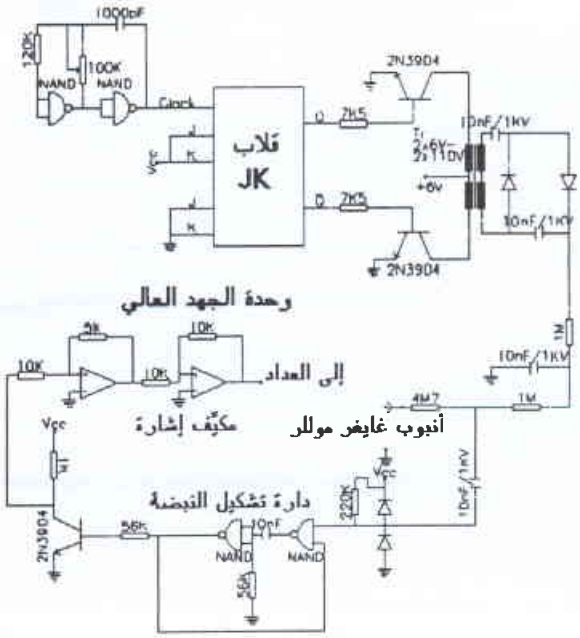
أما بالنسبة لقياس سرعة واتجاه الريح فقد تمّ استخدام مبدل ثلاثي الأكواب مع مؤشر اتجاه محلّي الصنع. إنّ الدارة الإلكترونية لمبدل سرعة الريح مزودة بمحسّ ضوئي يصدر نبضة واحدة من أجل كل دورة للمبدل. منطقة عمل محسّ اتجاه الريح كانت ضمن المجال (1-30 m/s) وبحساسية 1 m/s في حين تتكون الدارة الإلكترونية لمؤشر اتجاه الريح من ثمانية محسّات ضوئية مثبتة على قاعدة وفقاً للاتجاهات الجغرافية الرئيسة (الشمال والغرب والجنوب والشرق) وللاتجاهات الفرعية (شمال غرب، شمال شرق، جنوب غرب، جنوب شرق). يقوم السهم المصمم بدقة، والذي يتصل بقرص تقطيع، بتحسس اتجاه الريح السائد وبتفعيل واحد أو اثنين متجاورين من المحسّات الثمانية وذلك لتغطية مجال عمل مقداره 16 اتجاهاً ضمن الـ 360°.

وأخيراً، تمّ قياس الساقط المطري باستخدام محسّ أرجوحة (Tipping Bucket) محلّي الصنع ذي خرج رقمي ويعطي دقة مقدارها 0.25 mm مقابل كل تأرجح لأرجوحة المحسّ مع إمكانية زيادة الحساسية باستخدام براغي معايرة خاصة وفقاً للدقة المرجوّة.

لقياس الإشعاع النووي للوسط المحيط، تمّ تصميم دارة مراقبة إشعاع خاصة بهذه المحطة. استُخدم أنبوب غايغر ميللر في هذه الدارة من أجل قياس الشدّة الإشعاعية. في هذه الحالة، يكون عدد نبضات خرج الدارة مكافئاً لكمية الإشعاع الساقط. تُشكّل هذه النبضات بعد ذلك باستخدام قادح شميدت ودارات تكييف إشارة لاحقة لتصبح ملائمة لمدخل العداد (82C54). يبيّن الشكل 5 المخطط الصندوقي للعناصر الأساسية لقناة الإشعاع. ويبيّن الشكل 6 الدارة الإلكترونية التفصيلية لهذه القناة [7].

الشكل 5 – الرسم البياني للقيم المقيسة.

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



الشكل 6 – المخطط الصندوقي لقناة الإشعاع.

ونظراً لأهمية مراقبة الإشعاع، فقد تمَّ اتخاذ العديد من الإجراءات الأساسية لذلك. فعلى سبيل المثال، تتم مقاطعة عمل البرنامج الأساسي مباشرةً عند اكتشاف أي إشعاع في الجو، ويتم إصدار إنذار صوتي للدلالة على ذلك.

الأداء

تمَّ إنجاز العديد من الاختبارات التجريبية للتأكد من أداء المحطة مع التركيز على التكرارية، والدقة والمرونة في القياسات، لذلك فقد تمّت مقارنة قياسات المحطة مع قياسات محطة معيارية نمساوية الصنع METOS (نوع MET93V2). إضافة إلى ذلك قورنت قياسات درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضغط الجوي وسرعة الريح مع قياسات المقاييس الرقمية المعيارية التالية ذات الـ 3 خانات:

(أ) مقياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية LUTRON Ht-3001 ذو المجال الحراري (0-60°C) ومجال الرطوبة النسبية (10-95%).

(ب) مقياس سرعة الريح LUTRON AM-4202 ذو المجال (0.2-40 m/s).

(ت) مقياس التخلية Hastings Model 760 الخاص بقياس الضغط ذو المجال (0-1000 mb).

أظهرت النتائج المأخوذة من كلتا المحطتين ومن المقاييس الرقمية توافقاً جيداً نسبياً بانحراف معياري لا يزيد عن 1-3% من أجل درجة الحرارة وسرعة الريح، وبحدود 3-5% من أجل قياسات الضغط والرطوبة. الدقة الجيدة التي حصلنا عليها في نتائج قياسات الحرارة وسرعة الريح تعود بشكل أساسي إلى السلوك الخطي والحساسية العالية للمحسّات المستخدمة. في حين تعود الدقة القليلة الملاحظة في قياسات الرطوبة (±3% ضمن المجال 10-70% و ±4% ضمن المجال 70-100%) وفي قياسات الضغط (±4%) بشكل رئيس إلى آثار اللاخطية والجرف الحراري لهذه المحسّات التي لم يكن بالإمكان تجنبها.

في الحقيقة، لحساب القيم الفيزيائية مباشرة من مكافئاتها التواترية ولتقليل آثار اللاخطية والجرف الحراري الخاصة بمحسّات الضغط والرطوبة، لتحسين دقة القياس أيضاً فقد تمَّ استخراج معادلتين رياضيتين من النتائج التجريبية لقياسات الضغط والرطوبة. إن استخراج هاتين المعادلتين يمكن اعتباره خطوة أساسية من أجل عمليات الحساب اللاحقة التي سيقوم البرنامج التحكمي بإجرائها.

يبيّن الشكل 7 مثالاً عن القياسات المسجلة بواسطة كلتا المحطتين لدرجة الحرارة، والضغط، والرطوبة، وسرعة واتجاه الريح في مدينة دمشق منطقة المزة (على خط طول 36 درجة شرقاً وخط عرض 33 درجة شمالاً وعلى ارتفاع 730 m عن سطح البحر). تبيّن القياسات وسطي المحددات الفيزيائية المأخوذة وفق زمن تحصيل مقداره 5 ثوانٍ، وزمن تخزين مقداره دقيقتان وزمن قياس كلي مقداره ساعتان. كل نقطة هي عبارة عن الوسطي لـ 24 قياساً متتالياً وذلك لتحسين تكرارية القياسات. المنحنيات البيانية للحرارة واتجاه الريح تُظهر استقراراً معقولاً، في حين يُلاحظ بعض التغيرات في قياسات سرعة الريح نظراً للهبوب غير المنتظم للريح خلال فترة القياس. إضافة إلى ذلك، يظهر المزيد من الاضطرابات في القيم المقيسة للضغط الجوي والرطوبة المبيّنة ضمن منحنياتها وذلك بسبب بعض مظاهر اللاخطية لمحسّاتها الكهرضغطية والوسعية على الترتيب.

برنامج التحكم

لقد تمَّ تصميم وكتابة البرنامج بأسلوب شديد البساطة والفعالية بحيث يعطي المستثمر مزيداً من المرونة في تغيير أزمنة التخزين وأخذ العيّنات لكل قناة في بداية كل عملية قياس. يقوم البرنامج بحساب زمن العمل التقديري الكلي قبل البدء بإجراء القياسات والحسابات، وذلك لتجنب عملية الكتابة مرة ثانية فوق القيم المخزنة سلفاً في ذاكرة تخزين النتائج RAM. كما يتم إظهار قيم زمن العمل الكلي التقديري للقياس وأزمنة أخذ العيّنات وزمن التحصيل عند بداية تنفيذ البرنامج. في هذه الحالة، يمكن للمستثمر أن يقوم بتخزين النتائج الموجودة في الـ RAM على أداة خاصة (مثلاً على حاسوب محمول) قبل نهاية زمن العمل التقديري الكلي للقياس وبذلك لن يُفقد أي جزء من القيم المقيسة. إضافة إلى ذلك، تتم عملية تأهيل أولي وفحص ذاتي لكل العدادات فور بدء تشغيل البرنامج، ومن ثم تظهر لائحة الخيارات ويصبح النظام جاهزاً لتنفيذ خيارات المستثمر.

إذا ما تمَّ اختيار خيار "بدء قياس جديد" من لائحة الخيارات فإن جميع عمليات القياس والحساب والتخزين تُنفَّذ تباعاً.

وحدة التغذية

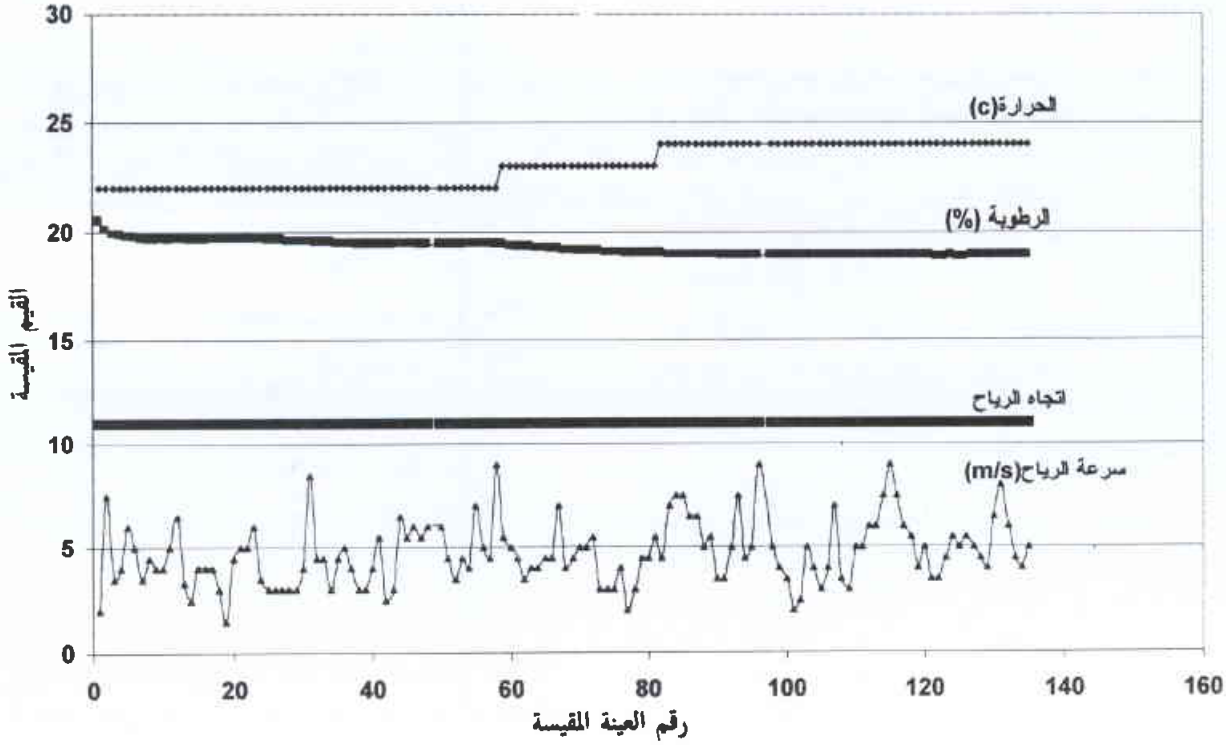
لتأمين التغذية الكهربائية المناسبة للمحطة، فقد تمَّ تأمين خيارين للتشغيل:

– التشغيل المباشر من الشبكة العامة AC- 220V.

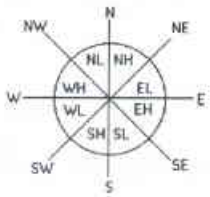
– التشغيل من بطارية 12V يمكن إعادة شحنها باستخدام لوحة خلايا فوتوفولطية PV (SM 50-18A2). يتم توصيل اللوحة PV مع وحدة تحكم

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

النتائج التجريبية



- A -



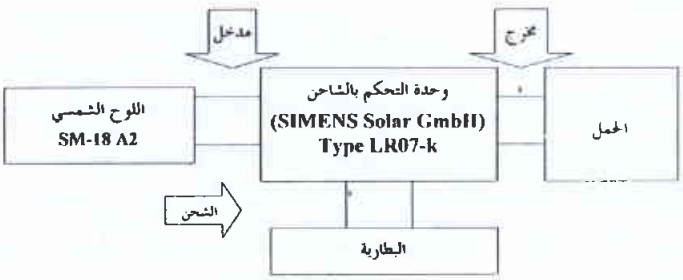
ضمن مخطط اتجاه الريح:

0:NW	1:WH	2:W	3:WL
4:SW	5:SH	6:S	7:SL
8:SE	9:EH	10:E	11:EL
12:WE	13:NH	14:N	15:NL

- B -

الشكل 7 – الدارة الإلكترونية التفصيلية لقناة الإشعاع.

وسيطرة (SIEMENS Solar GmbH Type LR07_k) وكذلك مع بطاريات تخزين كما هو موضح في الشكل 8. تُحمى اللوحة من التضليل الجزئي بواسطة مقومات إلكترونية لتمرير التيار. تمّ استخدام مبدل (DC-DC) نوع (PM862) لتأمين الفولطيات (+15 V, -15 V) من فولطية البطارية (+12 V).



الشكل 8 – المخطط الصندوقي لنظام التغذية باستخدام الخلايا الفوتوفولطية (PV).

الاستنتاج

أظهر التشغيل الكامل للمحطة لمدة تزيد عن 12 شهراً أداءً جيداً ومرناً بدون أعطال جدية أو كبيرة. إضافة لذلك، فإنّ القيم المقيسة المسجلة تُعدّ قيماً دقيقة نوعاً ما لكون الأخطاء الناتجة عن القياسات الرقمية صغيرة مقارنة بالقيم المقيسة بالطرائق اليدوية التقليدية. وأكثر من ذلك، تمكّننا المحطة من التعامل مع كميات كبيرة من المعطيات وبمعدلات تحصيل عالية. يمكن تلخيص ميزات هذه المحطة على النحو التالي:

- بساطة الدارات الإلكترونية وبساطة برنامج التحكم.
- الدقة العالية في قياس المحددات الفيزيائية.
- استهلاك الطاقة المنخفض نتيجة لاستخدام الدارات الإلكترونية المصنّعة بتقنية (CMOS).
- إمكانية مراقبة وقياس الإشعاع النووي.
- إمكانية التشغيل التلقائي للمحطة بعيداً عن الشبكة العامة نظراً لوجود ميزة التغذية بالطاقة الشمسية بواسطة الألواح الفوتوفولطية ضمنها.
- يمكن للمحطة أن تعمل لمدة 60 يوماً وذلك وفقاً لزمن التخزين المُختار.

مساوىء التشغيل كانت قليلة، ويتعلق مجملها بلاخطية المحسّات المستخدمة كمحسّ الرطوبة والضغط الجوي.

المراجع

REFERENCES

[1] Kind, D. & Quinn, T. (1995). Metrology: Quo Vadis? IEEE Transactions on Instrumentation and measurement., 44: 85-89.

[2] Tu, G., Malik, O. P., Liu, P. & Bu, Z. (1991). 8096-Single ship microcomputer based system. Proceedings of IEEE Western Canada Conference on Computer, Power and Communications Systems in a Rural Environment., May 29-30, Regina, Saskatchewan, Canada., 26-29.

[3] Intel (1989). Microprocessors and Peripherals Handbook. Intel Corporation., 6: 64-109.

[4] Intel (1989). MCS BASIC-52 User's Manual. Swindon Press LTD., 215 pp.

[5] Analog Devices (1988). Linear Products Databook. Analog Devices Corporation., 4: 49-60.

[6] National Semiconductor (1993). Data Acquisition Databook. National Semiconductor Corporation., 4: 83-91.

[7] IAEA (1985). Nuclear Electronics Laboratory Manual. IAEA publications., 163-166.■

☆ ★ ☆

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

النمذجة الرياضيّة للّيزر CO_2 النبضي الهجين*

د. بشار عبد الغني – مصطفى حمادي
قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب. 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تمّ تبني نموذج تيلر– لانداو Teller-Landau لدرجات الحرارة الست، الذي يصف ديناميكية إصدار نمط وحيد لليزر TEA-CO_2. استُخدم هذا النموذج لوصف آلية الحصول على نبضات خرج عالية الاستطاعة نسبياً من ليزر CO_2 الهجين TE-TEA أو CW-TEA المؤلف من قطاعي الضغط العالي والضغط المنخفض. يسمح النموذج الرياضي المقترح بدراسة آلية تحديد الهزاز TEA بنمط طولي وحيد انطلاقاً من العرض الضيق لعُصابة الكسب في قطاع الضغط المنخفض، كما يسمح النموذج بدراسة تأثير وسائط الدخل الليزري على وسائط نبضة الخرج الليزري الناعمة. إضافة إلى ذلك، نوقشت الحلول العددية لجملة معادلات المعدّل التفاضلية غير الخطية للنموذج المقترح. تصف هذه الحلول شدة الحقل الإشعاعي وانعكاس الإسكان وعمليات انتقال الطاقة. أبدت القيم المحسوبة لِقمّة الاستطاعة العظمى وطاقة النبضة الكلية وعرض النبضة ..إلخ توافقاً جيداً مع القيم المقيسة تجريبياً.

الكلمات المفتاحية: نمذجة، ليزر CO_2، هجين.

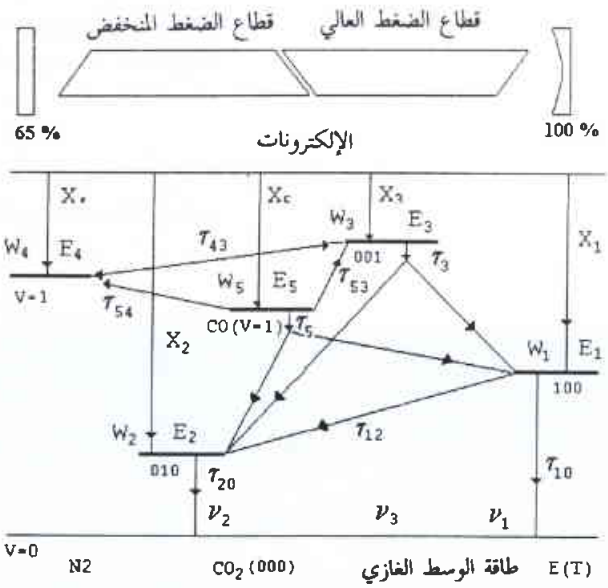
مقدمة

يُعدّ عرض عُصابة الكسب لليزر TEA-CO_2 كبيراً (~3GHz) بالمقارنة مع تباعد الأنماط الطولية والذي يبلغ 71 MHz تقريباً من أجل طول مجاوب ليزري قدره 210 cm [1–3]. نتيجة لذلك، تُبدي نبضة الخرج لليزر CO_2، الناتجة عن انفراغ مستعرض (TEA) بضغط عالٍ قدره 1جو، إمكانية تعديل (أو تكييف) زمني temporal modulation كبيرة جداً ناتجة عن الفرق الصغير في تواترات أنماط التجويف المختلفة، ويعود تعديل هذا النمط إلى عملية التوسيع الضغطي للانتقال الليزري. تظهر عادة عملية التعديل المذكورة في المجال 10-100 MHz، مما يُتيح استخدام الليزرات الهجينة في عدد من التطبيقات المختلفة. ونتيجة لوجود عدة أنماط (تواترات) محورية في نبضة الخرج فإن عملية كشف نبضات ليزر CO_2 تكون معقدة.

توجد متطلبات عدة عند استخدام الليزر في التطبيقات المختلفة منها: إمكانية اختيار دقيق للتواتر، نبضة خرج ناعمة، عرض عُصابة ضيق نسبياً ونبضة خرج عالية الاستطاعة نسبياً. تُستخدم هذه التطبيقات في رادار الأشعة تحت الحمراء، وتحديد المدى، ودراسة علم المواد وفي التأثيرات الضوئية غير الخطية في الغازات والبلّورات ...إلخ.

تُستخدم تشكيلة الليزر الهجين، والذي يدخل فيه قطاع الانفراغ TEA وقطاع الضغط المنخفض نسبياً TE أو CW ضمن تجويف ليزري واحد، على نطاق واسع للحصول على نمط طولي وحيد في ليزر TEA-CO_2 (انظر الشكل 1a). وبسبب العرض الضيق لعُصابة الكسب في قطاع الضغط المنخفض، يتم اختيار التواتر الوحيد بالقرب من خط المركز عند قدح القطاع TEA. يمكن للقطاع TEA أن يهتز بأنماط طولية متعددة، حيث يتم نشوء كل نمط منها عند معدّل الإصدار التلقائي نفسه تقريباً.

لقد دُرست تقنية التشغيل بنمط وحيد لليزر CO_2 الهجين باعتماد نموذج ثلاث سويات طاقية [4,1]. قام مؤلفو هذه الأعمال بتبسيط العمليات الفيزيائية التي تحدث في المزيج الغازي باستخدام البنية ذات CO_2, N_2, He السويات الأربع والتي تصف التطور الزمني لكثافة الإسكان في السوية الليزرية العليا والدنيا والحالة المثارة للآزوت. النتائج التجريبية الواردة في [1] هي 140 mJ/cm^3 كقيمة عظمى لطاقة النبضة مع ذروة للاستطاعة تبلغ 300 kW، في حين أظهرت القيم النظرية في [1] 70 mJ/cm^3 كقمة



الشكل 1– (a) المخطط التجريبي لتوزع ليزر CO_2 الهجين. **(b)** مخطط السويات الطاقية الاهتزازية للمزيج CO_2- N_2- CO

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Optics & Laser Technology*, 2001.

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

للطاقة العظمى و 150 kW لذروة الاستطاعة العظمى. هذه النتائج العددية لا تتوافق مع المعطيات التجريبية، ويعود ذلك إلى بساطة النموذج الفيزيائي المستخدم في وصف ديناميكية ليزر CO_2.

تمَّ في هذا العمل استخدام وتعديل نموذج تيلر-لانداو (نموذج درجات الحرارة الست) الذي يصف العمليات الفيزيائية المختلفة في المزيج الغازي الفعّال CO_2, N_2, He في قطاعي الضغط العالي والمنخفض لليزر CO_2 الهجين (انظر مخطط السويات الطاقية المختلفة في الشكل 1b).

النموذج الرياضي

تصف المعادلات التالية تغير كثافة الطاقة المختزنة كتابع للزمن في النمط التناظري ونمط الانحناء والنمط غير المتناظر لجزيئة CO_2 في قطاعي الضغط العالي والمنخفض (i = 1,2) على التوالي [7,6,5]:

$$\frac{dE_1}{dt} = N_e(t)N_{CO_2}W_1 fX_1(T) + cW\Delta NW_1(U_1(t)+K_iU_2(t))/h + (\frac{W_1}{W_3})\frac{E_3-E_3(T,T_1,T_2)}{\tau_3(T,T_1,T_2)} - \frac{E_1-E_1(T)}{\tau_{10}(T)} - \frac{E_1-E_1(T_2)}{\tau_{12}(T_2)} + (\frac{W_1}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_1,T_2)}{\tau_5(T,T_1,T_2)} \quad (1)$$

$$\frac{dE_2}{dt} = N_e(t)N_{CO_2}W_2 fX_2(T) + (\frac{W_2}{W_3})\frac{E_3-E_3(T,T_1,T_2)}{\tau_3(T,T_1,T_2)} - \frac{E_2-E_2(T)}{\tau_{20}(T)} + \frac{E_1-E_1(T_2)}{\tau_{12}(T_2)} + (\frac{W_2}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_1,T_2)}{\tau_5(T,T_1,T_2)} \quad (2)$$

$$\frac{dE_3}{dt} = N_e(t)N_{CO_2}W_3 fX_3(T) - cW\Delta NW_3(U_1(t) + K_iU_2(t))/h - \frac{E_3-E_3(T,T_1,T_2)}{\tau_3(T,T_1,T_2)} + \frac{E_4-E_4(T_3)}{\tau_{43}(T)} + (\frac{W_3}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_3)}{\tau_{53}(T,T_3)} \quad (3)$$

يُعطى تغير كثافة الطاقة المختزنة في واحدة الحجوم لجزيئات الآزوت مع الزمن في قطاعي الضغط العالي والمنخفض بالمعادلة التالية:

$$\frac{dE_4}{dt} = N_e(t)N_{N_2}W_4X_4(T) - \frac{E_4-E_4(T_3)}{\tau_{43}(T)} + (\frac{W_4}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_4)}{\tau_{54}(T,T_4)} \quad (4)$$

يُعطى تغير كثافة الطاقة المختزنة في واحدة الحجوم لجزيئات CO_2 مع الزمن في قطاعي الضغط العالي والمنخفض بالمعادلة التالية:

$$\frac{dE_5}{dt} = N_e(t)(1-f)N_{CO_2}W_5X_5(T) - \frac{E_5-E_5(T,T_3)}{\tau_{53}(T,T_3)} - \frac{E_5-E_5(T,T_1,T_2)}{\tau_5(T,T_1,T_2)} - \frac{E_5-E_5(T,T_4)}{\tau_{54}(T,T_4)} \quad (5)$$

تصف المعادلة التالية التغير الزمني لكثافة الطاقة المختزنة في المزيج الغازي:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{E_1-E_1(T)}{\tau_{10}(T)} + \frac{E_2-E_2(T)}{\tau_{20}(T)} + (1-\frac{W_1}{W_3}-\frac{W_2}{W_3})\frac{E_3-E_3(T,T_1,T_2)}{\tau_3(T,T_1,T_2)} + (1-\frac{W_4}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_4)}{\tau_{54}(T,T_4)} - (1-\frac{W_3}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_3)}{\tau_{53}(T,T_3)} + (1-\frac{W_1}{W_5}-\frac{W_2}{W_5})\frac{E_5-E_5(T,T_1,T_2)}{\tau_5(T,T_1,T_2)} \quad (6)$$

تُحدّد درجة حرارة المزيج الغازي ($T_V \approx T_R \approx T_{gas}$) في القطاع TEA والليزر الهجين بالمعادلة السابقة أيضاً. المعادلات (1)-(6) هي معادلات تيلر-لانداو (نموذج درجات الحرارة الست).

لنعتبر نمطين اهتزازيين من الحزمة الليزرية شدتاهما I_2, I_1. يؤخذ النمط الأول بحيث يقع في مركز خط الإصدار، في حين يكون المقطع العرضي للنمط الثاني أقل بمقدار المعاملين $K_1 = 0.94$، $K_2 = 0.067$ في كلا القطاعين [8,4]. لذلك يُعطى التغير الزمني لكثافتي شدة الحقل في التجويف الليزري في قطاعي الضغط العالي والمنخفض على التوالي بالمعادلتين التاليتين [7,6]:

$$\frac{dU_1}{dt} = -\frac{U_1}{\tau_c} + c\nu U_1 W\Delta N_h + c\nu U_1 W\Delta N_\ell + \nu hP(J_1)N_{001h}S + \nu hN_{001\ell}P(J)S \quad (7)$$

$$\frac{dU_2}{dt} = -\frac{U_2}{\tau_c} + c\nu U_2 K_1 W\Delta N_h + c\nu U_2 K_2 W\Delta N_\ell + \nu hK_1P(J_1)N_{001h}S + \nu hK_2N_{001\ell}P(J)S \quad (8)$$

تعطي العلاقة التالية شدة الحزمة الليزرية بشكل مستقل في القطاع TEA والليزر الهجين على التوالي:

$$I_i = U_i c \ (i = 1,2)$$

حيث أن 1-f معامل التفكك لجزيئات CO_2، و $\Delta N_h, \Delta N_l, N_{001h}$ كثافتا الإسكان المعكوس في السويتين الليزريتين العليا والدنيا في قطاعي الضغط العالي والمنخفض لليزر الهجين. كافة الثوابت والوسائط الفيزيائية في المعادلات (1)-(8) تُعطى بالتفصيل في [7,6,5].

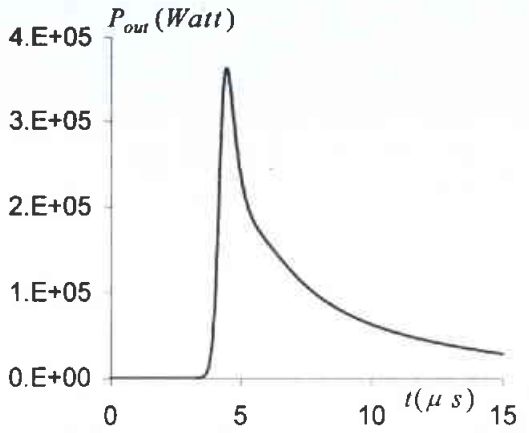
أخيراً توصف عملية الضخ الكهربائي في القطاع TEA بالتابع التجريبي التالي:

$$N_e(t) = N_0[1\text{-}EXP(-t)]EXP(-2t)$$

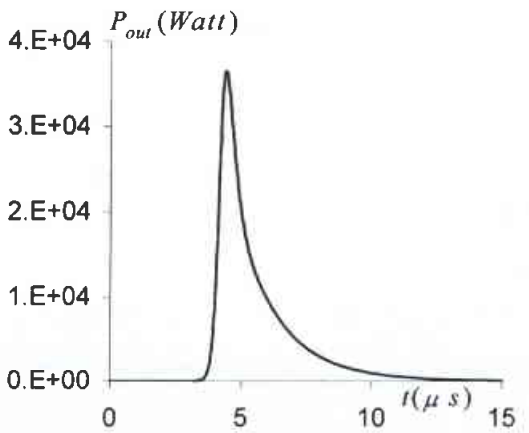
حيث أن $N_0 = 7 \times 10^{13} (e/cm^3)$ في القطاع TEA (في حالة الليزر الهجين TE-TEA) و $N_0 = 11.13 \times 10^{13} (e/cm^3)$ (في حالة الليزر الهجين CW-TEA). عموماً، يمكن تقدير قيمة كثافة الإلكترونات باستخدام شدة تيار الانفراغ، أو التوتر، والسعة، والحجم الفعّال للنمط الأساسي TEM_{00}. تمّ حساب النتائج في هذا العمل عند الخط P(20)-10.6 μm في قطاعي الضغط العالي والمنخفض.

الحلول العددية لمعادلات المعدّل

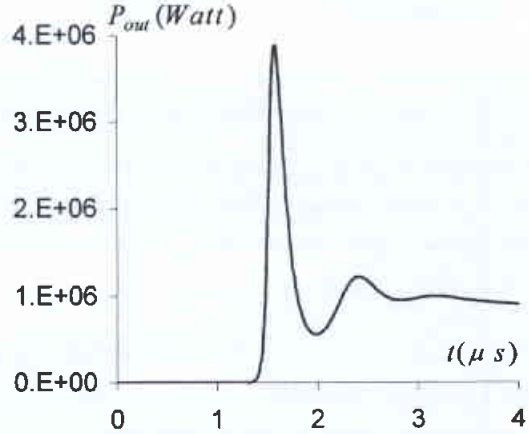
تمثل معادلات المعدّل (1)-(8) جملة معادلات تفاضلية عادية غير خطية. تصف هذه المعادلات ديناميكية الإصدار في كلا قطاعي الليزر وشدة الإصدار الليزري في الليزرين TE-TEA و CW-TEA. طوّر



الشكل 2 – النبضة الأصلية لقطاع الضغط العالي 760 Torr (ونسبة ضغط 1:1:8).



الشكل 3 – نبضة الليزر الهجين TE-TEA عند ضغطٍ عالٍ 760 Torr وضغطٍ منخفض 17.8 Torr (ونسبة ضغط 1:1:8).



الشكل 4 – شكل النبضة الأصلية لليزر TEA عند ضغط كلّي 720 Torr ونسبة ضغط 1:2:3.

برنامجٌ بلغة فورتران باستخدام طريقة رونغ – غوتا لحل جملة هذه المعادلات. أُجريت عملية التكامل باعتبار الخطأ المعياري $\varepsilon \leqslant 10^{-4}$. يسمح البرنامج المكتوب في هذا العمل بدراسة تأثير وسائط الدخل الليزري على خرج نبضة ليزر CO_2 الهجين المختزلة.

اعتُمدت في حالة ليزر TE-TEA الأبعاد الهندسية L = 170 cm, F = 0.118, F_1 = 0.141, R_{out} = 0.90. في حين اعتمدت في حالة الليزر CW-TEA الوسائط الهندسية L = 210 cm, F = 0:286, F_1 = 0.476, R_{out} = 0.65 من أجل معامل تفكك 1-f = 0.8 وعند الشروط البدائية التالية لمعادلات المعدّل [6,5]:

$$E_i(t=0) = W_i N_i \frac{1}{EXP(W_i / kT) - 1} \quad (i = 1,2,..,5)$$

$$U_m(t=0) = 10^{-9} \quad (erg/cm^3) \quad (m = 1,2)$$

$$T(t=0) = 300\ K$$

نتائج الحسابات والمناقشة

حالة ليزر CO_2 TE-TEA الهجين

يُظهر الشكل 2 نبضة الليزر الأصلية في حالة القطاع ذي الضغط العالي (TEA) من أجل ضغط كلي 760 Torr ونسب ضغط في المزيج الغازي CO_2:N_2:He = 1:1:8. تُعطى مميّزات النبضة المذكورة كما في الجدول 1.

حيث كانت شدة الحقل الكهربائي المطبّق إلى التركيز الكلي للجزيئات E/N = 6.54 10^{-16} V. cm^2. هذا يعني أن الفولطية العالية المطبقة يساوي تقريباً 40 kV، حيث أن طول كل قطب يساوي 24 cm وتفصل القطبين مسافة 2.5 cm [9,2].

يبيّن الشكل 3 نبضة ليزر CO_2 الهجين المختزلة والتي تُعطى مميّزاتها في الجدول 1.

يُلاحظ من الشكلين 2, 3 والجدول 1 أن الاستطاعة العظمى لقمة نبضة خرج الليزر الهجين تساوي 10% تقريباً من قيمة الاستطاعة

الجدول 1

	$I_v^{max}(erg/cm^2 s)$	$P_{out}^{max}(kW)$	$E_{out}(mJ/cm^3)$	$\tau_{del}(\mu s)$	عرض النبضة (ns)
TEA	9.86 10^{13}	363	100.1	3.49	277
هجين	0.99 10^{13}	36.5	18.4	3.12	194

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

الجدول 2

	$I_v^{max}(erg/cm^2 s)$	$P_{out}^{max}(kW)$	$E_{out}(mJ/cm^3)$	$\tau_{del}(\mu s)$	عرض النبضة (ns)
TEA	$2.58\ 10^{14}$	3890	2700	1.385	167
هجين	$1.99\ 10^{13}$	301	123	1.385	130
المعطيات التجريبية [1]	-	300	140	0.9	80

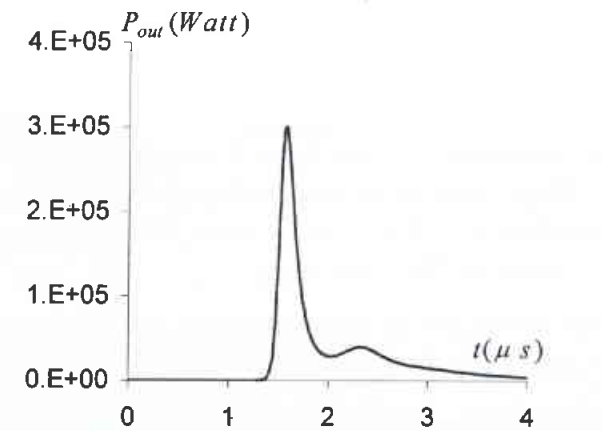
العظمى لقمة النبضة الأصلية لليزر TEA مع زمن التأخير نفسه. ويكون عرض نبضة الليزر الهجين المختزلة يساوي 77% تقريباً من عرض النبضة الأصلية لليزر TEA النبضي (نبضة خرج الليزر لقطاع الضغط العالي تؤثر كبذرة لبناء شدة الحقل في التجويف الليزري لقطاع الضغط المنخفض).

يُستخدم هذا النوع من الليزرات في التطبيقات المتغايرة (heterodyne). وتكمن الفكرة الأساسية في عمل هذا الليزر بضبط الضغط في القطاع TE بحيث يكون عرض عُصابة الكسب (FWHM) في درجة حرارة الغرفة) مساوياً لتواتر الفصل بين الأنماط المحورية بعد ضبط طول التجويف. وباختيار الضغط سيكون هنالك بشكل اعتيادي نمط محوري واحد لخط مُعطى هو المفضل بغض النظر عن التغيرات الناتجة عن الحرف الحراري [10].

إذا كانت الأنماط المحورية متناظرة بالنسبة لخط المركز، يمكن أن يحدث الاهتزاز بتواترين، وهذا يحصل فقط عند مجال صغير لطول التجويف الليزري. ويمكن وصف ذلك رياضياً بالمعادلتين 7 و 8. تكمن أهمية استخدام الليزر TE-TEA الهجين من وجهة النظر التجريبية المحضة بالتخلص من جملة التبريد الضرورية في الليزر CO_2 المستمر، وإمكانية استخدام مجموعة الفولطية العالية نفسها التي تستخدم في قطاع الضغط العالي.

حالة ليزر CO_2 CW-TEA الهجين

يظهر الشكل 4 النبضة الأصلية لليزر قطاع الضغط العالي (TEA) من أجل ضغط كلي 720 Torr ونسب للضغط في المزيج الغازي CO_2:N_2:He = 1:2:3. تُعطى مميّزات هذه النبضة في الجدول 2، حيث كانت نسبة شدة الحقل الكهربائي المطبّق إلى التركيز الكلي لجزيئات المزيج الغازي E/N = 8.12 X 10^{-16} V. cm^2. هذا يعني أن الفولطية العالية المطبّقة تساوي تقريباً 64 kV، حيث أن طول كل قطب يساوي 60 cm وتفصل القطبين مسافة 3.4 cm [1].



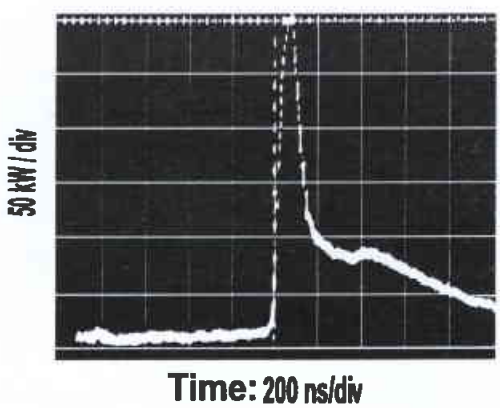
الشكل 5 – نبضة الليزر الهجين CW-TEA عند ضغط كلي عالٍ 720 Torr وضغط منخفض 10 Torr بنسبة ضغط 1:3:18.

يبيّن الشكلان 5 ، 6 شكل نبضة خرج الليزر الهجين المحسوبة والمقيسة تجريبياً على التوالي وبالشروط الفيزيائية والهندسية نفسها. يمكن أن نلاحظ من الشكلين 5 ، 6 والجدول 2 أن القيمة المحسوبة العظمى لاستطاعة قمة النبضة المختزلة والطاقة الكلية في النبضة هي بتوافق جيد مع المعطيات التجريبية عند تشغيل قطاعي الضغط العالي والمنخفض معاً [11,4,1].

يمكن أن نلاحظ أيضاً أن القيمة العظمى لشدة أو استطاعة النبضة المختزلة لليزر CO_2 الهجين يمكن أن تبلغ 8-10% من قيمة الشدة العظمى لنبضة ليزر CO_2 الأصلية. الاختلاف في قيمة عرض نبضة الكسب المعدّلة وزمن تأخيرها يمكن أن يعزى إلى نواقص النموذج.

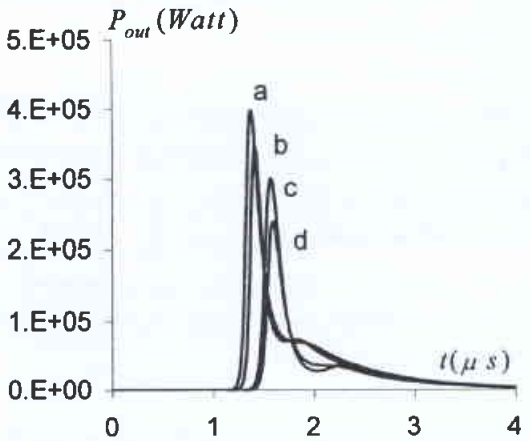
يُلاحظ من الشكل 7 أن أفضل قيمة لنسب الضغط في المزيج الغازي بين القيم المستخدمة من أجل الحصول على استطاعة أفضل عند ضغط كلي يساوي 720 Torr هي النسبة 1:1:3.

تتولد في المجاوب ضياعات كثيرة نتيجة إدخال القطاع CW بداخل التجويف الليزري، لذلك فإن الضياعات بالدورة الواحدة round trip تتغير في مجال واسع، وبالتالي من الممكن تأكيد أن التشغيل يحصل عند مراتب الأنماط العرضية الأدنى وذلك باعتبار أن الضياعات العالية المرتبة تخضع لها أنماط المراتب العليا (تُعدّ هذه الضياعات عملياً ذات فائدة كبيرة) وذلك نتيجة إدخال قطاع الضغط المنخفض بداخل التجويف الليزري [13,12,3,1].



الشكل 6 – نبضة ليزر CO_2 الهجين CW-TEA التجريبية عند ضغط عالٍ 720 Torr بنسبة ضغط 1:2:3 وضغط منخفض 10 Torr بنسبة 1:3:18 [1].

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



الشكل 7 – علاقة الاستطاعة المحسوبة لليزر الهجين بالزمن عند نسب الضغوط التالية: a:1:1:3, b:2:1:6, c:1:2:3, d: 1:1:4.

لقد تمحورت محاولة اختيار الأنماط الطولية على حقيقة أن الضياعات الحاصلة في التجويف الليزري تتغير بشكل سريع بتغير التواتر، ولهذا يكون تطور نمط واحد أسرع من تطور الأنماط الأخرى خلال تطور النبضة pulse development.

يكون لقطاع الضغط المنخفض ذي الكسب المنخفض أيضاً في الليزر الهجين تأثيران على نشوء النبضة بوساطة القطاع العالي الضغط (TEA).

أولاً: يُعدّ تزايد كسب التجويف في الدورة الواحدة خلال عُصابة تواتر ضيقة مقابلة توسع دوبلر لخط الإصدار، ويكون هذا العرض حسب المعطيات التجريبية مساوياً 60 MHz في حين يكون التباعد عند الأنماط الطولية مساوياً 71 MHz تقريباً من أجل طول للمجاوب يبلغ 210 cm، لذلك سيحدث تزايد إضافي في الكسب لنمط طولي وحيد.

ثانياً: إذا تمّ تشغيل ليزر قطاع الضغط المنخفض فوق العتبة ستتواجد عند ذلك سوية إضافية من الإشعاع في التجويف قبل تشغيل قطاع الضغط العالي. لقد اعتُبر وجود الإشعاع المذكور في البرنامج الحاسوبي الذي أُعد في هذا العمل لوصف آلية عمل ليزر CO_2 الهجين. عندما يُثار قطاع الضغط المنخفض، يكون الظهور المبكر للنبضة مسؤولاً عن عوز تكرار النمط، لذلك يتطور نمط واحد بداخل عُصابة الكسب الضيقة بشكل أسرع من الأنماط الأخرى وبالتالي يستنزف انعكاس الإسكان المعكوس قبل أن تصل الأنماط الأخرى إلى السويات المطلوبة.

الخاتمة

طوّر في هذا العمل نموذج رياضي يمكّن من التنبؤ بالمميّزات المختلفة لنبضة ليزر CO_2 الهجين. يعتمد التقريب المقترح على استخدام نموذج تيلر–لانداو لدرجات الحرارة الست، الذي يصف ديناميكية الإصدار في كلا قطاعي الضغط العالي والمنخفض. ويمكن باستخدام مفهوم الليزر الهجين الحصول على انتقاء تواتر جيد دون إدخال ضياعات إضافية في ليزر TEA CO_2. نذكر أن للّيزر الهجين تطبيقات في حقول التقانة والعلوم الأساسية المختلفة. على سبيل المثال دراسة تبعثر طومسون، دراسات علم المواد، قياس طاقة أطياف تفاعل الاندماج، القطع والتشكيل، الكيمياء الضوئية، كمنبع تصادم لقياس درجة الحرارة أو كمنبع ضخ لليزر D_2O 385 μm المستخدم كمنبع تصادم لإثارة الأمواج الكهربائية الساكنة في البلازما [12,1].

نذكر أخيراً أن التركيب الهجين لايقتصر على ليزر CO_2. يمكن الحصول على التشغيل بتواتر وحيد في كل الانتقالات باستخدام غازات أخرى ومزيج غازي مختلف، إضافة إلى ذلك يمكن توليف التواتر على كامل عرض عُصابة الكسب الليزري.

المراجع REFERENCES

[1] Gondhalekar A., Heckenberg N.R., and Holzhhauer E. The mechanism of single frequency operation of hybrid-CO_2 laser. IEEE Journal of Quantum Electronics, QE-11 (1975), 103-108.

[2] Dallas N. Barr. Hybrid TE-TEA CO_2 laser. Optical society of America 1981, Vol.20(9), 1500-1502.

[3] Gondhalekar A., Holzhhauer E. and Heckenberg N.R. Single longitudinal mode operation of high-pressure pulsed CO_2 laser. Physics letters, V46A number 3, November (1973), 229-230.

[4] Heckenberg N. R. Single longitudinal mode operation of pulsed CO_2 lasers. July 1975. IPP-IV/83.

[5] Soukeih M., Abdul Ghani B., Hammadi M. Mathematical modeling of CO_2 TEA laser. Optical & laser technology 30 (1998) 451-457.

[6] Soukeih M., Abdul Ghani B., Hammadi M. Mathematical modeling of TE CO_2 laser with SF_6 as a saturable absorber. Optical & laser technology 31(1999), 601-611.

[7] Smith K. and Thomson R.M. Computer Modeling of gas laser N.Y. Plenum Press 1978.

[8] Koichi Sasaki. Self mode locking of a hybrid CO_2 laser with two transversely excited atmosphere sections. Jpn. J. Appl. Phys.35 (1996) (5A):2692-3.

[9] Gilbert. J., Lachambre. L., Rheault F., and Fortin R. Dynamics of the CO_2 atmospheric pressure laser with transverse pulse excitation, Canadian journal of physics 1972, Vol. 50. 2523-2535.

[10] Tatsuya Shinozaki, Akira Suda, Keigo Nagasaki, and Hideo Tashiro. Wideband tuning of a high-pressure CO_2 laser by means of intracavity active frequency shift Jpn. J Appl. Phys. Vol. 36 (1997) pp 7202-7206.

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

[11] Lee N. and Aggarwal R. L. Single longitudinal mode TEA CO_2 laser with tilted intracavity Etalon. Optical society of America 1977, Vol. 16(10), 2620-2621.

[12] Koichi TEA CO_2 laser for long pulse operation with feedback stabilization. Japanese Journal of Applied Physics, Vol.29, No 8 August 1990 pp.1459-1465.

[13] Koichi Sasaki, Hirotaka OHNO, Takaharu Fujii and Takashige Tsukishima. Two-frequency operation of a hybrid TEA CO_2 laser and its application to two-frequency pulse injection locking. Japanese Journal of Applied Physics, Vol.29, No. 12 August 1990 pp. L2226-L2228.■

☆ ★ ☆

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

دراسة مصدر عينات سيراميك أثرية من موقع مار تقلا (عين منين/سورية) بطريقة الفَلْورة بأشعة X باستخدام نظير مشع*

د. إلياس حنا بكرجي - جهاد قرجوه
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية
د. إبراهيم عثمان
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

طبقت طريقة الفلورة بأشعة X باستخدام نظير مشع لتحليل 35 قطعة من عينات خزفية أثرية من موقع مار تقلا - عين منين في سورية. شُعِّعت العينات باستخدام المنبع المشع ^{109}Cd، وقيست لمدة 1000 ثانية. استخدمت تراكيز العناصر (As, Ca, Fe, Ga, Nb, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Y, Zn, Zr) في برنامج إحصائي Statistica حيث طبقت كل من طريقة التجمع العنقودي وطريقة تحليل المركبات الأساسية. العينات المدروسة كانت قد صنفت سابقاً ولكن ليس بشكل كاف ومكتمل عن طريق الشكل والنموذج . بينت الدراسة بأن المادة الأساسية raw material لمعظم العينات 94% يمكن اعتبارها مأخوذة من مصدرين مختلفين.

الكلمات المفتاحية: الفلورة بأشعة X، سيراميك، مار تقلا، تحليل متعدد المتغيرات

المقدمة

اهتم علماء الآثار، لسنوات عديدة، بدراسة مصدر العينات الفخارية، حيث أنها وسيلة أساسية لاستخلاص معلومات تاريخية. اعتمدت دراسة المواقع الأثرية في سورية بشكل أساسي على تصنيف العينات وفقاً لشكلها الخارجي بغية استخلاص معلومات حول احتمال وجود علاقات بين الشعوب، فالمعروف أن الشعوب التي أنتجت هذه البضائع، لم تكن تعيش بمعزل عن بعضها. إن تصنيف العينات وفقاً لخصائصها المتعلقة بالشكل الخارجي ولزخرفتها، هو إحدى التقنيات المتبعة لوضع هذه العينات ضمن مجموعات متمايزة.

طبقت طرائق تحليلية حديثة، بغية دراسة مصدر العينات، واعتمدت هذه الطرائق على التركيب العنصري لهذه العينات. ونذكر منها طريقة التحليل بالتنشيط النتروني [1-3]، والبلازما المتولدة تحريضياً [4]، والفلورة بأشعة X (XRF) [5-7]. طبقت في هذه الدراسة طريقة الفلورة بأشعة X باستخدام نظير مشع بهدف تحديد التركيب العنصري لعينات موقع مار تقلا في مدينة عين منين الواقعة على بعد 20 كم شمال شرق مدينة دمشق. قسمت العينات الـ 35 التي حللت إلى أربعة أنواع مختلفة وفقاً لشكلها الخارجي والزخرفي؛ وهي تعود للحضارة الرومانية، والبيزنطية والإسلامية، وذلك خلال الحقبة الزمنية الممتدة من القرن الثالث قبل الميلاد حتى القرن الحادي عشر بعد الميلاد.

التجربة

تحضير العينات

نُظِّفت العينات بكشط الطبقة السطحية، ثم طُحنت لمدة 10- 15 دقيقة بمطحنة أغات، وبعد ذلك جُففت عند الدرجة 150°C لمدة 24 ساعة.

التجهيزات والقياسات

حُلِّلت عينات البودرة المضغوطة على شكل أقراص، ولا ضرورة هنا لأخذ عينات متساوية الوزن حيث أن القيمة النسبية للقياسات هي المطلوبة فقط باستخدام طريقة الفلورة بأشعة X . شععت العينات بالمنبع المشع ^{109}Cd وقيست لمدة 1000 ثانية. حُللت كل عينة ثلاث مرات وأخذ وسطي القيم الناتجة. استخدم لجمع الطيف كاشف Si(Li) بمقدرة فصل 180 eV عند القمة 5.9 keV للمنغنيز. وكان النظام مربوطاً بحاسب (Pentium 400) متضمن كرت محلل متعدد الأقنية. جرى تحليل الطيف وحساب تراكيز العناصر، باستخدام برنامج منظومة التحليل بأشعة X quantitative X-ray analysis system (QXAS) من الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA).

استُخدمت العينات العيارية: Soil-7(IAEA), SL-1(IAEA), GSR-3(China) لحساب الدقة، وأظهرت تكرارية التحليل أن الانحراف المعياري النسبي (RSD) أقل من 5% لأي عنصر محلَّل.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Nuclear Science and Techniques*, May 2001.

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

النتائج والمناقشة

يبين الجدول 1 القيمة الوسطى والصغرى والعظمى، والانحراف المعياري لتراكيز العناصر المقيسة في الـ 35 عينة المحلَّلة. كما هو واضح من الجدول 1 فإن 13 عنصراً موجوداً في أكثر العينات كانت قد حُدِّدت. ويظهر بوضوح من هذا الجدول وجود اختلاف كبير في تراكيز العناصر. بهدف تحديد أدق لمصدر العينات، تم ربط التركيب للعينات بطرائق إحصائية مختلفة [8-10]، واستخدمت في هذه الدراسة طريقة التحليل العنقودي، والتحليل بطريقة المركبات الأساسية كطرائق إحصائية متعددة المتغيرات multimate statistical methods. وقبل إخضاع المعطيات للطرائق الإحصائية، يجب أخذ بعض المعايير بعين الاعتبار. فمن الضروري إدخال العينات التي تحوي على أقل قيم مفقودة من تراكيز العناصر في جملة المعطيات data set، كما أنه من الضروري مراعاة الدقة التي قيست بها هذه العناصر. وبالاعتماد على هذه المعايير، استبعدت العناصر As, Ga, Mn ولم تدخل في التحليل الإحصائي، حيث أن قيم تراكيزها لم تكن موجودة في أكثر من 50% من العينات المحلَّلة.

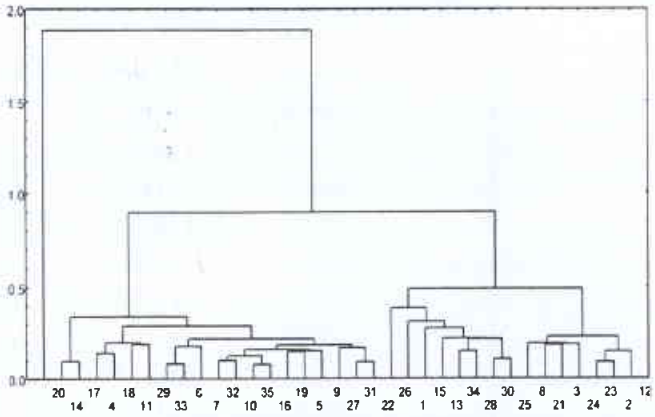
أضف إلى ذلك أنه بالرغم من كون قيم الانحراف المعياري النسبي للقيم المقيسة لعنصر الرصاص بحدود 5%، فإن قيم التراكيز لهذا العنصر لم تدخل في مجموعة المعطيات للتحليل الإحصائي، وذلك لأن التغيرات في قيم التراكيز لهذا العنصر كانت كبيرة جداً، ويعود ذلك ربما لهجرة الرصاص من سطح العجينة الغضارية إلى داخلها، ولهذا السبب وجدنا أن إدخال عنصر الرصاص في التحليل العنقودي والتحليل بالمركبات الأساسية يمكن أن يؤدي إلى الخطأ في دراسة العينات.

استخدم برنامج Statistica في عملية التحليل المتعدد المتغيرات، وتم تحويل التركيز العنصري للعينات قبل إخضاعها للتحليل الإحصائي، على أساس اللوغاريتم العشري لخفض تأثير الفروق في التراكيز.

يستخدم التحليل العنقودي، الذي يضع العينات في مجموعات متمايزة، كتقصٍّ أولي للمعطيات، وتعرض النتائج على شكل مخطط

الجدول 1– الوسطي و القيمة الصغرى و القيمة العظمى، والانحراف المعياري لتراكيز العناصر في عينات السيراميك من الموقع الأثري مار تقلا/ عين منين.

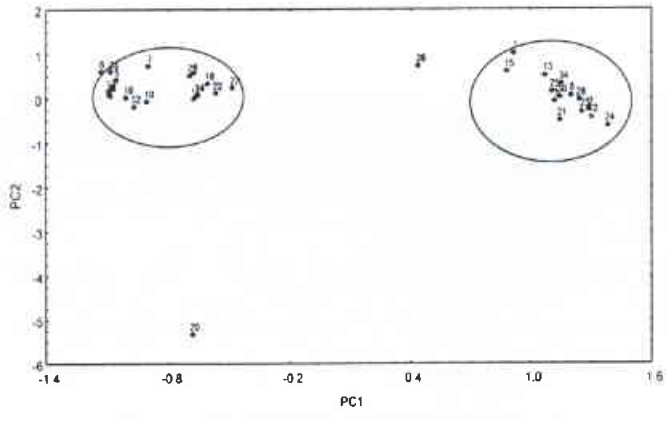
العنصر	الوسطي	قيمة صغرى	قيمة عظمى	إنحراف معياري
As	14.20	12.0	29.9	4.09
Ca	10.41	0.65	27.5	7.87
Fe	3.439	0.27	7.10	1.12
Ga	20.87	19.0	28.5	2.64
Mn	315.9	115	715	191
Nb	22.97	4.0	48.6	17.8
Pb	82.11	10.0	656	160
Rb	41.99	3.60	59.5	10.0
Sr	265.7	90.9	455	104
Ti	0.614	0.30	1.20	0.32
Y	25.84	5.0	54.3	15.6
Zn	112.1	28.7	183	33.6
Zr	322.8	54.8	703	247



الشكل 1– التوزع العنقودي الناتج من التركيب الكيميائي للعيّنات المدروسة. محور السينات يمثل العيّنات، ومحور العينات يمثل التباعد بين العيّنات.

يظهر مرتبة ومستوى التجمع وكذلك الفروق بين العينات منفردة. يوضح الشكل 1 الذي يمثل التجمع العنقودي المحصول عليه باستخدام الربط الفردي كقاعدة تجمع وفقاً للمسافة الإقليدية Euclidean distance، أن هناك ثلاث مجموعات. المجموعة الأولى تحوي 7 عينات (12، 2، 23، 24، 3، 21، 8)، وتتضمن المجموعة الثانية 8 عينات (25، 30، 28، 34، 13، 15، 1، 26). أما الثالثة فتتضمن العينات المتبقية باستثناء العينة رقم 20.

لايمكن الجزم، من الشكل 1، إذا كان يمكن اعتبار المجموعتين الأولى والثانية مجموعة واحدة أو مجموعتين منفصلتين. وبهدف التأكد، أخضعت العينات لطريقة التحليل بالمركبات الأساسية (PCA). حملنا نتائج الربط على المركب الأول والثاني(PC1, PC2)، وهذان المركبان كافيان في حالتنا حيث أنهما يمثلان 91.1% من التغير الكلي (انظر الجدول 2). نلاحظ من الشكل 2 أن عينات المجموعتين الأولى والثانية تجمعت في مجموعة واحدة، باستثناء العينة 26. يتبين أيضاً أن العينة 20 منفصلة بشكل واضح عن بقية العينات. بناء على هذه النتائج يمكن اعتبار هاتين العينتين خارج مجال العينات المدروسة أو أنهما من مصادر مختلفة.



الشكل 2– توزع العينات الناتج من التحليل بالمركبات الأساسية (PC1, PC2) من معطيات التركيب الكيميائي.

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

الجدول 2- عامل التحميل لتسعة عناصر، تحليل المركبات الأساسية.

العناصر	العامل-1	العامل-2
Ca	-.857*	.331
Fe	.269	.900*
Nb	.963*	.188
Rb	.244	.899*
Sr	-.820*	.493
Ti	.972*	.119
Y	.942*	.305
Zn	-.401	.811*
Zr	.964*	.187
التغير مفسراً بالعوامل%	60.1	31.0

ملاحظة: الحمولة المعلمة بـ * > 0.700

أخيراً فإن هذه النتائج تؤدي إلى تأكيد استخدام مصدرين غضارين مختلفين في تصنيع عينات سيراميك مار تقلا. إن التحليل الدوري للغضار المحلي سيؤكد إذا كان هذان المصدران محليين أم لا.

الخاتمة

إن الربط بين XRF والتحليل الإحصائي هو طريقة مساعدة لعلماء الآثار السوريين الذين لا يزالون يعتمدون في التصنيف على الشكل الخارجي، و هو صعب جداً في حال وجود كسر فخارية. في هذا العمل، وبالاعتماد على التحليل العنقودي والتحليل بالمركبات الأساسية لتركيز 13 عنصراً تم قياسها بشكل كمّي بطريقة الفلورة بأشعة X مع استخدام نظير مشع، أمكن تقسيم غالبية العينات من الكسر الفخارية الـ 35 إلى مجوعتين تتباينان من حيث قيم تراكيز العناصر المحللة.

المراجع REFERENCES

[1] Pike H H M, Fulford M G. Archaeometry, 1983, 25: 77

[2] Kuleff I, Djingova R. J Radioanal Nucl Chem, 1986, 99: 345

[3] Kilikoglou V, grimanis A P. J Radioanal Nucl Chem, 1990, 141:347

[4] Kilikoglou V, Bassidakos Y, doonan R C, Stratis J. J Radioanal Nucl Chem, 1997, 216: 87

[5] Punyyadeen C, Pillay A E, Jacobson L, White G. X-ray spectrometry, 1997, 26: 249

[6] Pio S, Prat P, Zucchiatti A, Lucarelle F, Mando P A, Varaldo C. Nucl Inst Meth, 1996, B 117:311

[7] Yu K N, Miao J M. X-ray spectrometry, 1996, 25: 281

[8] Vaz J E, LaBrecque J J, Cruxent J M. Fresenius J Anal Chem, 1979, 358: 529

[9] De Sena E, Landsberger S, pena J T, swisseman S. J Radioanal Nucl Chem, 1995, 196: 223

[10] Mirti P, Casoli A. Annali di Chimica, 1995, 85: 519.■

☆ ★ ☆

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

تشكيل مركب خشب - بلاستيك من أنواع أشجار سورية بالتحريض بأشعة غاما★

د. الياس حنا بكرجي - نعمان سلمان
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية.
هارون القصيري
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

حضرت مركبات خشب - بلاستيك Wood-plastic composites (WPC) من خمسة أنواع من الخشب السوري ذي المواصفات الرديئة نسبياً. واستخدم لهذه الغاية ثلاثة مونومرات هي الأكريلاميد (AM) بوتيل ميتا أكريلات (BMA) و الستيرين (ST)، واستخدم الميتانول كعامل مضخم (swelling solvent). حرضت عملية البلمرة الإشعاعية عند عدة جرعات إشعاعية 10, 20 و 30 kGy ومعدل جرعة 3.5 kGy/h بواسطة المنبع المشع ^{60}Co. قيست بعض الخواص الفيزيائية لمركب خشب-بلاستيك المتشكل، وبشكل رئيسي الحمولة البوليميرية (Polymer loading) وتحمل الضغط (Compression strength). وجد أن الحمولة البوليميرية تتناقص بشكل تقريبي مع ازدياد كثافة الخشب المستعمل.

الكلمات المفتاحية: مونومر، مركبات، تشعيع، بوليميرات، خشب.

مدخل

يستعمل الخشب بشكل واسع في البناء وفي الصناعة ولكنه سريع التخرّب والتأثر بالعوامل البيئية، وكذلك فإنه حساس جداً عند تعرضه للحشرات والعفن [1]. وتتعرض الصناعة المتعلقة بالأخشاب في سورية لكثير من المشاكل بسبب العوز للأخشاب ذات النوعية الجيدة كمادة أولية من أنواع الأشجار المتوفرة.

يمكن تحسين مواصفات الخشب الرديء المتوفر بكثرة بواسطة إدخال بوليمير داخل الخشب لتغيير خواصه [2-6]. قدمت التجارب التي أدت إلى إنتاج مركب خشب-بلاستيك حلولاً فيما يتعلق بمشاكل حفظ الخشب [7].

يمكن لمركبات خشب-بلاستيك أن تحل محل أنواع الخشب الغالي المستخدمة في البناء. يشرب الخشب بشكل عام بالمونومرات، تحت الفراغ وذلك قبل التشعيع الذي يحرض على البلمرة للمونومر. تتضمن هذه الورقة نتائج دراستنا حول تحضير مركب خشب-بلاستيك من أنواع خشب متوفرة تجارياً في سورية وذلك بواسطة البلمرة الإشعاعية.

العمل التجريبي

اختيرت خمسة أنواع من الخشب السوري لهذا العمل وهي الحور (Populus alba) ($d = 340\ kg/m^3$)، السرو، (Cupressus sempervirens) ($d = 460\ kg/m^3$)، الصفصاف (Salix alba) ($d = 490\ kg/m^3$)، الكينا (Eucalyptus rostrata) ($d = 560\ kg/m^3$)، وأخيراً خشب الجوز (Juglans regia) ($d = 580\ kg/m^3$). صقلت عينات الخشب بأبعاد (0.6 x 1 x 10 cm) بشكل منتظم بورق زجاج وجففت بفرن عند الدرجة 70 °C تحت خلاء 6.7 kPa. لمدة 24 ساعة، للتخلص من الماء الحر. لم تعالج المونومرات الثلاثة الأكريلاميد (AM)، بوتيل ميتا أكريلات (BMA) و الستيرين (ST)، وإنما استخدمت كما استلمت من شركة E. Merck. تركت عينات الخشب مغموسة بشكل كامل لمدة 24 ساعة تحت خلاء 6.7 kPa. في محلول المونومر مع الميتانول بتراكيز مختلفة للمونومر (10-90%). يعمل الميتانول، المستخدم كعامل مضخم، على تضخيم السلّولوز لركيزة الخشب وذلك لتسهيل عملية دخول المونومر [8]. أخرجت العينات المغمورة ومسحت بشكل حذر بقطعة قماش للتخلص من المحلول الزائد ومن ثم وضعت في أكياس من البولي إتيلين، وشععت بجرعات مختلفة (10, 20, 30 kGy) في خلية غاما (^{60}Co) الموجودة في هيئة الطاقة الذرية السورية، وذلك عند معدل جرعة 3.5 kGy/h. جففت العينات المشعة حتى الوصول إلى وزن ثابت وذلك في فرن عند درجة الحرارة 80 °C وخلاء 6.7 kPa. وذلك للتخلص من المونومر غير المتبلمر ومن الميتانول. حددت الحمولة البوليميرية (PL) من زيادة وزن العينات بعد تشعيعها وتجفيفها كما يلي:

$$PL\ \% = \frac{Wt_{WPC} - Wt_{Wood}}{Wt_{Wood}} \times 100 \qquad (1)$$

حيث Wt_{Wood} و Wt_{WPC} هما وزن الخشب غير المعالج و وزن مركب خشب-بلاستيك على الترتيب.

قيست قوة تحمل الضغط (CS) للمركب الناتج باستخدام جهاز INSTRON (model 1011, UK). القياسات كانت بالنسبة إلى عينات الخشب غير المعالج أي:

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Radiation Physics and Chemistry*, 2000.

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

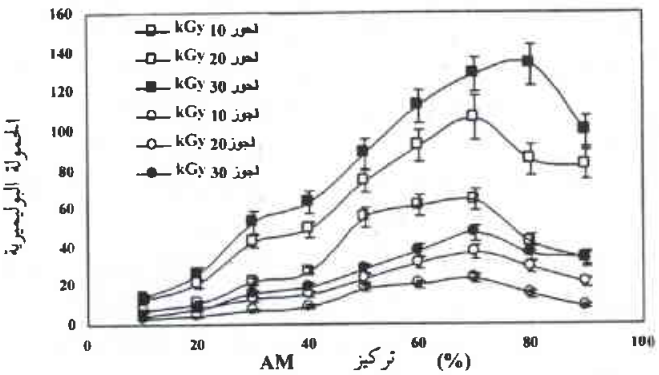
$$C_f = \frac{CS_{WPC}}{CS_{Wood}} \qquad (2)$$

حيث C_f هي عامل قوة تحمل الضغط و CS_{WPC} قوة تحمل الضغط للمركب خشب-بلاستيك و CS_{Wood} قوة تحمل الضغط للخشب غير المعالج.

نتائج ومناقشة

تأثير جرعة التشعيع على الحمولة البوليميرية لـ WPC

لتقصي دور الجرعة الإشعاعية على الحمولة البوليميرية وإيجاد الجرعة الإشعاعية المثلى، اخترنا نوعين من الخشب المستخدم في هذه الدراسة هما خشب الحور وخشب الجوز لأن لهما أصغر كثافة ($d = 340\ kg/cm^3$) وأعلى كثافة ($d = 580\ kg/cm^3$) على الترتيب. شُععت عينات الخشب عند الجرعات 10, 20 و 30 kGy باستخدام مونوميري الـ AM و الـ ST المنحلين بالميتانول بتراكيز مختلفة. كما تظهر المعطيات في الشكل 1، فإن الحمولة البوليميرية تزداد مع ازدياد الجرعة الإشعاعية وتصل إلى قيمتها العظمى عند الجرعة 30 kGy في كلا نوعي الخشب والمونوميرات. أعلى قيمة للحمولة البوليميرية، عند هذه الجرعة، كانت 133% و 47% عند التركيز 70% و 80% للأكريلاميد لنوعي الخشب المستخدم. كانت

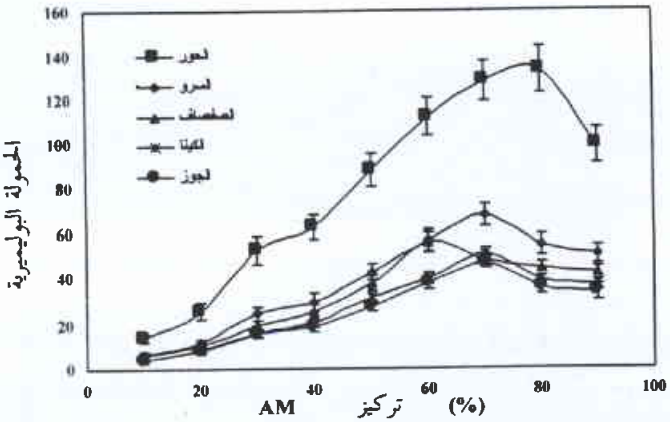


الشكل 1- الحمولة البوليميرية في خشب الحور والجوز كتابع للجرعة الإشعاعية، باستخدام مونومير الأكريلاميد.

النتيجة مشابهة مع مونومير الستيرين حيث ازدادت الحمولة البوليميرية PL مع الجرعة الإشعاعية ووصلت إلى قيمة عظمى 54% عند تركيز 90% للستيرين وذلك مع خشب الحور وعند قيمة عظمى 18% عند تركيز 60% للستيرين وذلك مع خشب الجوز عند الجرعة الإشعاعية 30 kGy. والقيم الموجودة على الشكل هي وسطي قيمتين لعينتين.

تأثير المونومير على الحمولة البوليميرية

يبين الشكل 2 الحمولة البوليميرية (PL) للأكريلاميد في أنواع الخشب الخمسة. تظهر النتائج أن خشب الحور ($d = 340\ kg/cm^3$) يعطي أعلى حمولة بوليميرية (PL = 133%) بين أنواع الخشب الخمسة وذلك عند تركيز 80% للأكريلاميد. كما تظهر النتائج أن الحمولة البوليميرية PL تتناقص مع ازدياد كثافة الخشب. إن ترتيب قيم الحمولة البوليميرية،



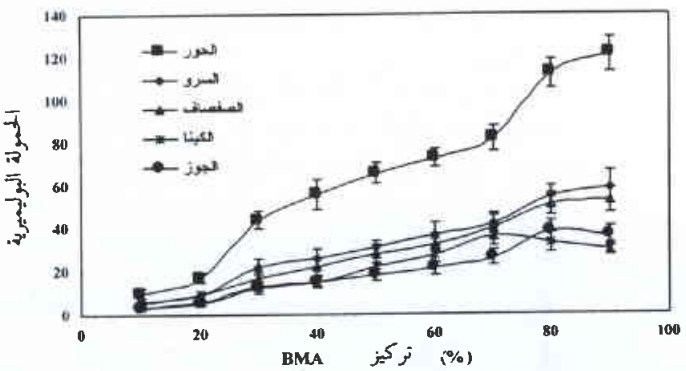
الشكل 2- الحمولة البوليميرية في أنواع الخشب المستخدمة، باستخدام مونومير الأكريلاميد عند الجرعة 30 kGy.

من الأعلى إلى الأخفض، للأكريلاميد مع أنواع الخشب الخمسة المستخدمة هو:

حور > سرو > صفصاف > كينا > جوز

حصلنا على أعلى حمولة بوليميرية مع مونومير BMA وهي (PL = 121%) مع خشب الحور أيضاً عند تركيز 90% لـ BMA في الميتانول. يظهر الشكل 3 أن الحمولة البوليميرية في هذا النظام تزداد مع ازدياد تركيز المونومير في الميتانول، وتصل إلى قيمة عظمى عند تركيز 90% لـ BMA وذلك من أجل جميع أنواع الخشب المستخدم باستثناء خشب الجوز وخشب الكينا حيث أعلى حمولة بوليميرية كانت عند تركيز 80% و 70% لمونومير BMA على الترتيب.

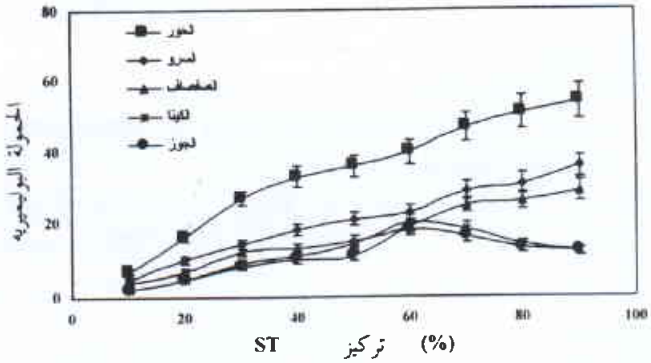
ترتيب القيم العظمى للحمولة البوليميرية التي حصلنا عليها مع مونومير الـ BMA مع أنواع الخشب الخمسة كان مشابهاً لما حصلنا عليه مع الـ AM.



الشكل 3- الحمولة البوليميرية في أنواع الخشب المستخدمة، باستخدام مونومير بوتيل ميتا أكريلات عند الجرعة 30 kGy.

يظهر الشكل 4 مردود الحمولة البوليميرية لمونومير الستيرين كتابع لتركيزه في الميتانول وذلك في أنواع الخشب المستخدمة، وتظهر المعطيات بأن الستيرين يعطي أقل مردود حمولة بوليميرية من بين المونوميرات الثلاثة المستخدمة. أعلى قيمة للحمولة البوليميرية لمونومير الستيرين كانت مع

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

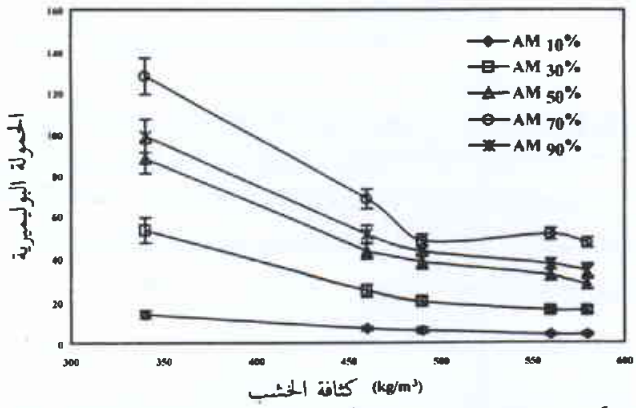


الشكل 4– الحمولة البوليميرية في أنواع الخشب المستخدمة، باستخدام مونومير الستيرين عند الجرعة 30 kGy.

خشب الحور عند تركيز 90% للستيرين في الميتانول. إن القيمة العظمى للحمولة البوليميرية في خشب السرو والصفصاف كانت أيضاً عند تركيز 90% للستيرين، بينما كانت القيمة العظمى للحمولة البوليميرية في خشب الكينا وخشب الجوز عند تركيز 60% للستيرين. وكما في حال مونوميري الأكريلاميد وبوتيل ميتا أكريلات فإن الحمولة البوليميرية تتناقص مع تركيز الخشب. يرسم الشكل 5 معطيات الحمولة البوليميرية مقابل كثافة الخشب عند تراكيز مختلفة للـ AM. تبين أن تسرب أو دخول السائل إلى الخشب يتعلق بالبنية وكذلك التركيب الكيميائي للخشب [9]. ويبدو أيضاً أن هناك استيعاباً أكبر للمونومير كلما نقصت كثافة الخشب. من المهم، أخيراً، التنويه إلى أن الستيرين هو الأرخص من بين المونومرات الثلاثة المستخدمة.

تأثيرالمونومير على تحمل الضغط

تحسين تحمل الضغط للمركب خشب–بلاستيك في أنواع الخشب الخمسة المستخدمة مبين في الجدول 1. إن المونومير في مركب خشب–بلاستيك يؤخر انطباق خلايا الجدار عند التعرض لقوة ضاغطة [1]. تظهر المعطيات بأن مونومير الـ AM زاد من قيمة CS 110% مقارنة مع 52 و 10% من أجل BMA و ST على الترتيب وذلك من أجل خشب الحور. إن مركبات خشب–بلاستيك المحتوية على AM تظهر زيادة في CS (حوالي 35%) في جميع أنواع الخشب، ما عدا خشب الكينا وخشب الجوز، بينما يظهر خشب الحور الحاوي على BMA تحسناً في قيمة CS. زيادة تحمل الضغط مفيدة جداً من أجل بعض حالات البناء، من جهة ثانية فإن مركبات WPC مقاومة أكثر، بشكل عام، للماء من الأخشاب المصنوعة منها هذه المركبات.



الشكل 5– الحمولة البوليميرية كتابع لكثافة الخشب لأنواع الخشب المستخدمة بتراكيز مختلفة للأكريلاميد في الميتانول (v/v).

خلاصة

درسنا في هذا العمل إمكانية تحسين مواصفات خمسة أنواع من أخشاب أشجار تنمو محلياً وذلك بعد تشكيل مركبات خشب–بلاستيك. من معطيات الحمولة البوليميرية الناتجة في أنواع الخشب الخمسة المستخدمة تبين أن الحمولة البوليميرية تزداد مع ازدياد الجرعة الإشعاعية للجرعات المستخدمة 10 و 20 و 30 kGy، وأن الحمولة البوليميرية تتناقص مع ازدياد كثافة الخشب. كما بينت هذه الدراسة، أن تحمل الضغط، في أنواع الخشب المستخدمة، تحسنت عند تشكل مركبات خشب–بلاستيك مقارنة مع الأخشاب غير المعالجة.

الجدول 1– عامل تحمل الضغط (C_f) لأنواع مختلفة من الخشب السوري عند الحمولة البوليميرية الأعلى للمونومرات المختلفة المستعملة.

المونومير / أنواع الخشب	AM		BMA		ST	
	PL	C_f	PL	C_f	PL	C_f
الحور	133	2.10	121	1.52	54	1.15
السرو	68	1.71	59	1.20	36	1.09
الصفصاف	56	1.38	53	1.15	29	1.07
الكينا	47	1.33	36	1.11	20	1.06
الجوز	51	1.30	38	1.12	18	1.04

المراجع

REFERENCES

[1] Sheikh N. and Afshar Turomi F. (1993) Radiation induced polymerization of vinyl monomers and their application for preparation of wood-plastic composites. Radiat. Phys. Chem. 42, 179.

[2] Czvikovszky T. (1992) Radiation processing of wood-plastic composites. In Radiation Processing of Polymers, Singh A and Silverman J (eds.), Hanser, Munich, pp 121-148.

[3] Iya V.K. and Majali A.B. (1978) Development of radiation processed wood- polymer composites based on tropical hardwood. Radiat. Phys. Chem. 12, 107.

[4] Karpov V.L. and Malincky Y.M. (1961) Radiation makes better wood. Nucleonis.19, 88

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

[5] Kent J.A., Winston A., Boyle W.R., Loos W. and Ayres J.E. (1965) Preparation of wood-plastic combinations using gamma radiation to induce polymerization. USAEC Reports, ORO 658.

[6] Sia J.F. and Mayer J.A. (1966) Comparision of the properties of heat and radiation cured WPC. Forest Products Journal. 16, 47.

[7] Czvikovszky T. (1968) Wood-plastic combination. Atomic Energy Review, VI, No. 3, 99 pp. IAEA, Vienna.

[8] Dworjany P.A. and Garnett J.L. (1989) The role of multifunctional acrylates in radiation grafting and curing reactions. Radiat. Phys. Chem. 33, 429.

[9] Lunda A.E. (1966) Preservative penetration variations in Hickory. Forest Products Journal. 16, 28.■

☆ ★ ☆

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

تطور أبعاد وحجم الخصى، وعلاقتها بالعمر، ووزن الجسم وحجم الآباء في حملان ذكور العواس النامية*

د. سليمان سلهب
قسم الإنتاج الحيواني - كلية الزراعة - جامعة دمشق
د. معتز زرقاوي، د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية
محمد فاضل وردة
إدارة دراسات الثروة الحيوانية - المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة - دمشق
رياض قاسم
مركز الكريم لتربية الأغنام وتحسين المراعي - السلمية

ملخص

استُخدم 96 من حملان ذكور العواس، بعمر 2–3 أشهر، نشأت وربيت تحت نظام شبه مكثف لقياس تطور طول الخصية، وعرضها، ومحيطها وحجمها، وعلاقتها مع تطور نمو الجسم. تمَّ التحري عن تأثيرات حجم الآباء، وعمر ووزن جسم الحملان، وخط الإنتاج (حليب أو لحم)، ونوع الولادة ووزن الجسم عند الولادة و الفطام، على تطور مؤشرات الخصية الأربعة وذلك من مرحلة الفطام عند عمر شهرين إلى 17 شهراً. لم تلاحظ فروق معنوية بين قياسات الخصية اليمنى واليسرى. حدثت أعلى زيادة في مؤشرات الخصية بين عمر 7 إلى 10 أشهر عند وزن جسم حي قدره 34.6 كغ. أثَّر فقط حجم الآباء، وعمر ووزن الجسم على نمو الخصى ($P < 0.05$). ارتبطت قياسات الخصى ($P < 0.01$) كل واحدة منها بالأخرى ($r = 0.68$-0.97). وقد تزايدت بصورة خطية وكان ارتباطها مع وزن الجسم أعلى من العمر.

الكلمات المفتاحية: قياسات الخصية، وزن الجسم، أغنام العواس.

مقدمة

يُعَد العواس ذو الإلية ثلاثي الغرض من أهم سلالات الأغنام في الشرق الأوسط. تُربى أغنام العواس بشكل كبير في سورية (13 مليون)، العراق (6 مليون)، الأردن (1.7 مليون)، المملكة العربية السعودية (1.6 مليون)، لبنان (0.25 مليون)، الكويت (0.04 مليون)، [1] وفي تركيا (1 مليون) [2]. إن ميّزاتها المرغوبة، مثل شهرة لحمها وحليبها، وقدرتها الفائقة على التأقلم مع نظم بيئية مختلفة، ومقاومتها العالية للأمراض، وتحملها لدرجات الحرارة الشديدة، وقدرتها على السير لمسافات طويلة طلباً للكلأ، وتميّزها الكبير بالقطيع، وتحملها لظروف التغذية والإدارة المختلفة، شجعت المربين في الدول العربية [3] وغير العربية، مثل قبرص [4]، وأستراليا [5]، لتربية أغنام العواس.

يمكن أن يتم انتخاب الخصوبة للأغنام من خلال انتخاب المعايير المرتبطة في الحملان الذكور الفتية مثل حجم الخصية [6]. يُعدّ تحليل قياس تطور الخصى ذا أهمية كبيرة بسبب ارتباطه الكبير بالنشاط التناسلي [7]. بما أن المعطيات المتعلقة بتطور الخصى بعد الفطام في العواس السوري محدودة، أُجريت التجربة الحالية لقياس تطور مؤشرات خصية متعددة، والعوامل المؤثرة فيها، وعلاقة مؤشرات الخصية مع نمو الجسم عند الحملان الذكور النامية.

المواد والطرائق

أُجريت هذه الدراسة في مركز مرج الكريم لتربية الأغنام وتحسين المراعي قرب السلمية التي تقع شرق مدينة حماة، سورية. منذ عام 1973، ينفذ كل من المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) ووزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في سورية برنامج انتخاب لتحسين أغنام العواس. تمَّ تأسيس خطي إنتاج من أغنام العواس المحسنة، الأول للحليب والآخر للحم.

استُخدم ما مجموعه 96 حملاً ذكراً من العواس، بعمر 2–3 أشهر، بمتوسط وزن جسم حي إجمالي قدره 19.6 كغ وبانحراف معياري يبلغ 4.2 كغ. أتى ما مجموعه 64 حملاً (46 حملاً فردية الولادة و 18 حملاً توأمية الولادة) من خط الحليب و 32 حملاً (18 حملاً فردية الولادة و 14 حملاً توأمية الولادة) من خط اللحم.

قُدِّم للحملان 500 غ من الأعلاف المركزة المحتوية على الشعير (65%)، ونخالة القمح (15%)، وكسبة بذرة قطن (18%)، ومعادن وفيتامينات (2%). إضافة لذلك، كان يسمح للحيوانات بالرعي على مرعى جيد النوعية، يحتوي على الأتريبلكس والشعير. كما قُدِّم الماء وتبن القمح بشكل حر.

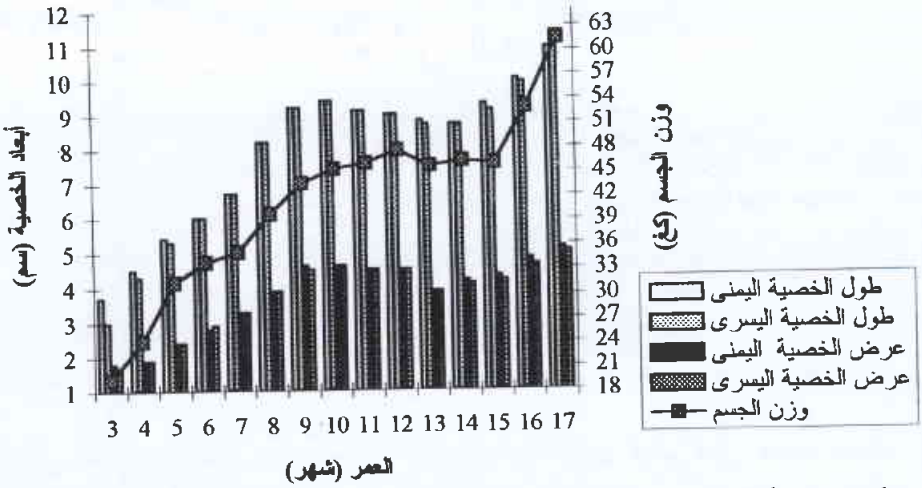
* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Small Ruminant Research*,40 2001.

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

النتائج والمناقشة

لم تلاحظ فروق معنوية بين متوسطات الخصية اليسرى واليمنى، وبين الولادات الفردية والولادات التوأمية، أو بين خط الحليب وخط اللحم لأي مؤشر من مؤشرات الخصية المدروسة خلال فترة التقصي. تأثرت قياسات الخصية معنوياً ($P < 0.01$) بحجم الآباء، وعمر الحملان، ووزن جسم الحملان عند القياس.

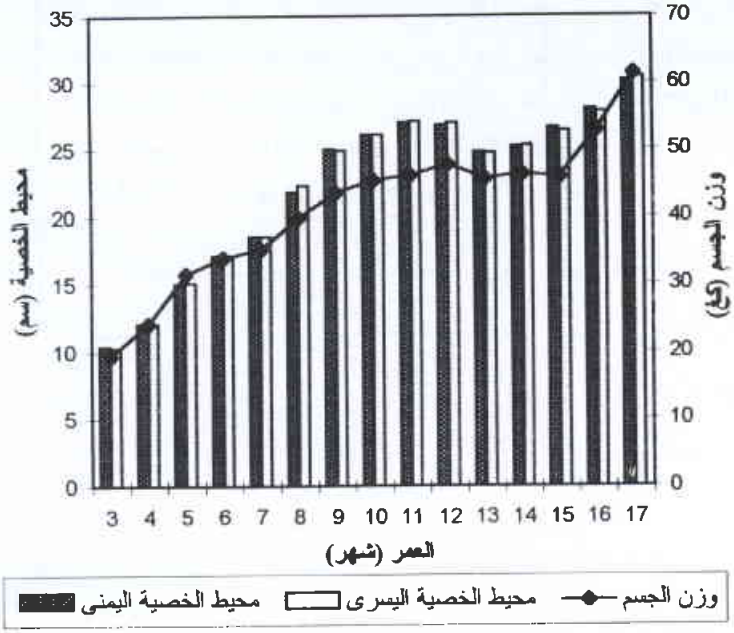
تعرض الأشكال 1-3 تطور طول الخصية، وعرضها، ومحيطها، وحجمها بالنسبة إلى وزن الجسم. كان هناك تزايد تدريجي وخطي



الشكل 1- تطور أبعاد الخصى ووزن الجسم عند حملان ذكور العواس من عمر 3 إلى 17 شهراً.

عندما كان عمر الحيوانات 3 أشهر، قيس طول الخصى، وعرضها، ومحيطها، وحجمها وأوزان الجسم مرة كل أسبوعين لمدة 14 شهراً. أحضرت كل خصية إلى الجزء الظهري من الصفن وقيس محيطها بشريط قماشي مرن. كما استُخدمت دالة القياس Caliper لقياس طول وعرض كل خصية بعد دفع كل منهما باتجاه الصفن. قُيّم حجم الخصى بحجم الماء المزاح.

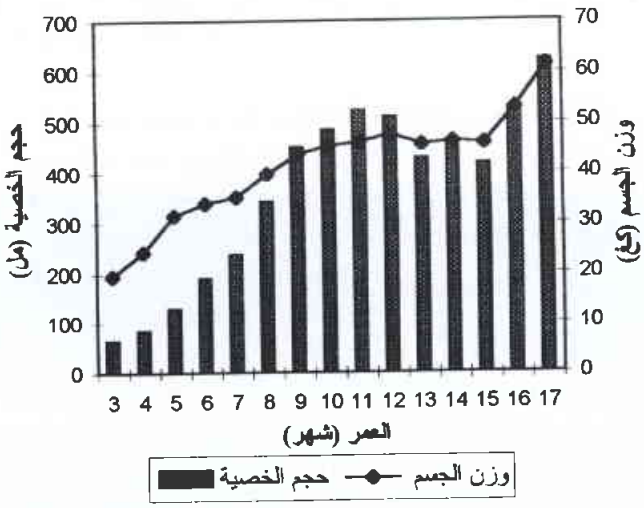
أُخضعت المتوسطات والانحرافات المعيارية للمؤشرات المدروسة كافة إلى التحليل بالحاسوب وتحليل التباين باستخدام النموذج الخطي العام. تضمن النموذج العوامل التالية كمصادر التباين: حجم الأب (الوزن عند التلقيح)، وحجم الأم (الوزن عند الولادة)، وعمر الحملان، ووزن الحملان عند الميلاد وعند الفطام وعند كل قياس، ونوع الولادة وخط الإنتاج. حُللت الخصى اليمنى والخصى اليسرى بشكل مستقل. قُدّرت معاملات الارتباط والتقدير بين قياسات الخصى وكل من عمر الكبش ووزن الجسم. حُسبت معادلات الانحدار بين العوامل المذكورة أعلاه.



الشكل 2- تطور محيط الخصية ووزن الجسم عند حملان ذكور العواس من عمر 3 إلى 17

في حجم الخصى من عمر 3 إلى 17 شهراً. من ناحية ثانية، وكنتيجة لفقدان في وزن الجسم خلال أشهر الشتاء (عندما كان عمر الحيوانات 13 إلى 15 شهراً) لوحظ انخفاض بسيط في كل قياسات الخصية المدروسة. عوضت الزيادة السريعة في وزن الجسم عند عمر 16 و 17 شهراً الانخفاض السابق في الوزن واستجابت مؤشرات الخصية تبعاً لذلك. كانت الزيادة في طول الخصية ، وعرضها ومحيطها بين 3 و 17 شهراً من العمر تشابه نسبياً (300-330%) تطور وزن الجسم (330%). ولكن الزيادة في حجم الخصية كانت أعلى بثلاثة أضعاف (1008%) من نمو وزن الجسم أو مؤشرات الخصية الثلاثة الأخرى.

أظهرت نتائج تحليل الارتباط بين قياسات الخصية والعوامل المؤثرة على تطور الخصية أن وزن جسم حملان العواس النامية كان أكثر ارتباطاً مع قياسات الخصية المختلفة من العمر (الجدول 1). وكما هو متوقع، كانت



الشكل 3- تطور حجم الخصية ووزن الجسم عند حملان ذكور العواس من عمر 3 إلى 17 شهراً.

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

الجدول 1– معاملات الارتباط بين قياسات الخصى والعوامل المؤثرة في حملان العواس النامية.

القياسات	*المعاملات بين القياسات				
	2	3	4	5	6
العمر	0.79	0.81	0.78	0.51	0.79
وزن الجسم	–	0.91	0.90	0.61	0.88
محيط الخصية	–	–	0.97	0.68	0.95
طول الخصية	–	–	–	0.67	0.93
عرض الخصية	–	–	–	–	0.68
حجم الخصية	–	–	–	–	–

*المعاملات كافة معنوية إحصائياً ($P < 0.01$)

القياسات المختلفة للخصى مرتبطة إيجابياً ومعنوياً ($P < 0.01$) مع بعضها البعض (الجدول 1).

يعرض الجدول 2 معادلات الانحدار بين قياسات الخصية، العمر والوزن مع تقديرات معامل التحديد. تؤكد كل الصفات المسجلة وجود علاقات خطية بين قياسات الخصية ووزن الجسم عند ثبات العمر.

إن منحى تطور الخصية الملاحظ في هذه الدراسة كان يشابه ذلك الذي وصفه [8] عند حملان العواس في العراق، ومن قِبَل [9] عند الحملان الليبية ذات الإلية.

أعلى نمو في كل قياسات الخصية (الأشكال 1–3) بدأ عند عمر 7 أشهر عندما وزنت الحملان بالمتوسط 34.6 كغ واستمرت حتى عمر 9 أشهر عند وزن 42.2 كغ. تشابه هذه النتائج تلك المعلن عنها من قِبَل [10] الذين وجدوا أن أعلى معدل لنمو الخصى كان بين عمر 7 إلى 10 أشهر وعند وزن تراوح بين 28–34 كغ، و 33–38 كغ، على التوالي. ولكن في دراسات أخرى، أقر أن أعلى نمو حدث بعمر أبكر، عند 3–7 أشهر في الأغنام الليبية ذات الإلية [9] وبعمر 4 إلى 5 أشهر في حملان العواس اللبنانية [11]. يشير النمو السريع للخصى إلى بدء مرحلة انقسام الخلايا الجرثومية ونشاط تكوّن النطاف ووصول الحملان الذكور إلى سن البلوغ في هذه المرحلة [12].

ارتبط عمر ووزن الجسم الحي عند حملان ذكور العواس إيجابياً مع قياسات الخصية الأربعة ($r = 0.51\text{-}0.91$، $P < 0.01$، الجدول 1). ومن ناحية ثانية، كان لوزن الجسم علاقة ارتباط أكبر مع قياسات الخصية مقارنة مع العمر. كانت أعلى معاملات ارتباط محسوبة تلك التي في محيط الخصية ($r = 0.81\text{-}0.91$). وبصورة مشابهة، أورد كل من [13] و [14] علاقات ارتباط عالية المعنوية، ولكن بقيم أقل، بين وزن الجسم ومؤشرات الخصية.

ارتبطت مؤشرات الخصية إيجابياً مع بعضها البعض ($r = 0.61 - 0.97$, $P < 0.01$). يمكن أن يؤمن قياس محيط الخصية تقديراً مفيداً للدلالة على نمو الخصية نظراً لأن علاقات الارتباط بينه وبين قياسات الخصية الأخرى كانت الأعلى. توافقت هذه النتائج مع ما وجده [15] و [13].

تصف معادلات الانحدار المعروضة في الجدول 2 العلاقة بين أبعاد الخصى (سم) أو الحجم (مل) والعمر (شهر) إضافة إلى وزن الجسم الحي (كغ) للحملان الذكور. يبّنت هذه المعادلات أن لقياسات الخصى علاقة إيجابية مع وزن الجسم وعمر الحملان الذكور. تتوافق هذه النتائج مع ما وجده [16] و [8].

استنتاجات

تقودنا نتائج هذه الدراسة إلى الافتراض أن مرحلة البلوغ الجنسي عند ذكور حملان العواس في القطعان المحسنة، بالاعتماد على الزيادة الحادة في أبعاد الخصية، بدأت بعمر يقارب 7 أشهر وبمتوسط وزن جسم حي قدره 34.6 كغ. ومع ذلك، يتطلب الأمر إجراء دراسات لاحقة حول هرمون التيستوسترون ونشاط تكوّن النطاف لتأكيد النتائج الحالية.

الجدول 2– علاقات التقدير (R^2) ومعادلات الانحدار لتطور الخصى والمتغيرات المؤثرة في حملان العواس النامية.

المؤشر	معادلات الانحدار	R^2
محيط الخصية	$Y = 2.27 + 1.1$ العمر $+ 0.77 \pm 0.03$ وزن الجسم	0.90*
طول الخصية	$Y = -0.41 + 0.26$ العمر $+ 0.33 \pm 0.2$ وزن الجسم	0.87*
عرض الخصية	$Y = 0.71 + 0.053$ العمر $+ 0.16 \pm 0.03$ وزن الجسم	0.45*
حجم الخصية	$Y = -167.0 + 21.8$ العمر $+ 7.57 \pm 0.6$ وزن الجسم	0.85*

*$P < 0.01$

المراجع

REFERENCES

[1] Tleimat, F. 1996. Encyclopedia of Arab sheep breeds. Department of Studies of Animal Wealth, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands. ACSAD/AS/P155, Damascus Syria.

[2] Pekel, E., Gursoy, O., Ozcan, L. and Torun, O. 1994. Breeding strategies of Turkish Awassi sheep. In: Strategies for the Development of Fat- Tail Sheep in the Near East. EAPP Publication No. 68, pp 32-36.

[3] ACSAD, 1996. The Technical Annual Report. Department of Studies of Animal Wealth, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands. ACSAD/AS/AR 24, Damascus, Syria.

[4] Constantinou, A. and Mavrogenis, A.P. 1987. Environmental breed and heterosis effects on lamb

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

mortality and weights of crossbreed sheep. In: Proceedings of ICAPAZ. Damascus, pp 705-715.

[5] Lightfoot, J. 1988. The Awassi fat tail sheep. J.Agric. Western Australia 29:107-119.

[6] Land, R.B. and Carr, W.R. 1975. Testes growth and plasma LH concentration following hemicastration and its relationship with female prolificacy in sheep. J. Reprod. Fert. 41: 495-501.

[7] El-Wishy, A.B. and El-Sawaf, S.A. 1971. Development of sexual activity in male Damascus goats. Indian Journal of Animal Sciences 41:350-56.

[8] Ghannam, S.A.M., Medhat, M.N. and El-Tawil, A. 1977. Puberty in Awassi ram lambs. 11. Development of the testes, epididymis and seminal vesicles. Z. Tierzuchtg Zuchtgsbiol 94: 235-241.

[9] Madani, M.O.K., Rahal, M.S., Zawia, M.T. and Eluwhaishi B.A. 1989. Puberty and early sexual development in Libyan fat- tailed ram lambs. Bri. Vet. J. 145: 276-288.

[10] Haboby, A.A., Alkass, A.E. and Ishak, M.A. 1994.- Growth pattern of some sexual organs during pubertal period of docked Awassi and Hamadani rams. IPA, J. Agric. Res. 4:76-85.

[11] Barr, A.M. 1969. The post noted development of the testes and epididymis in the Awassi rams under Lebanese environment. Megon Ser. Sci. : 30: 1-17.

[12] Salisbury, G.W., Van Demark, N.L. and Lodge, J.R. 1978. Physiology of reproduction and artificial insemination of cattle. W.H. Freemen and Company, San Francisco, U.S.A.

[13] Foster, R.A., Ladds, P.W., Hoffmann, D. and Briggs, G.O. 1989. The relationship of scrotal circumference to testicular weight in rams. Aust. Vet. J. 66: 20-22.

[14] Alkass, J.E., Juma, K.H. and Raweh, A.M. 1987. Testis characters and sperm reserve of horned-Vs. Polled- Sired Awassi Yearling rams. Zanco-Vol 5 (supplement) 7-14.

[15] Celis, G., Rodiguez, R.O.L and Quintal, F.J. 1987. Correlation of scrotal circumference and some body measurements with testis weight in Pelibuey rams.

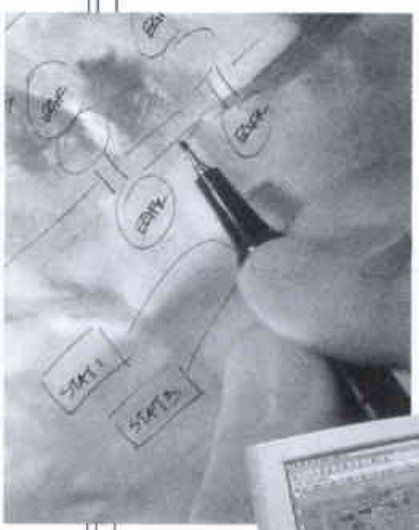
An. Breeding. Abst. 62(5): Abst. 217. P.27.

[16] Mukosa- Mugerwa, E. and Azaz, Z. 1992. Relationship of testicular growth and size to age, body weight and onset of puberty in Menz ram lambs. Theriogenology, 38: 979-988.

☆ ★ ☆

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

التقارير العلمية



تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الري على نمو وتشكل العقد الجذرية وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات السيسبان Sesbania aculeata Pers، وعلى نمو نبات عباد الشمس Helianthus annuus L باستخدام تقانة ^{15}N ★

د. فواز كردعلي، فريد العين
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

دُرس تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الري (1.1 - 33 ديسي سيمنز/ م) على تشكل العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في نبات السيسبان. درس هذا التأثير أيضاً على نمو نبات عباد الشمس الذي استعمل، إضافة إلى ذلك، كنبات مرجعي لقياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات السيسبان وفق طريقة التخفيف النظيري للآزوت ^{15}N.

أدى ري النوعين النباتيين بمياه مالحة ذات ناقلية كهربائية أكثر من 4 ديسي سيمنز/ م إلى انخفاض في النمو، وكان التأثير في نبات السيسبان أكثر منه في نبات عباد الشمس. ازدادت النسبة المئوية للآزوت الجوي المثبت في نباتات السيسبان المروية بمياه ناقليتها الكهربائية 4 ديسي سيمنز/ م مقارنة بالشاهد. أما في معاملات الري الأكثر ناقلية (حتى 12 ديسي سيمنز/ م) فقد كان التأثير سلبياً. بينت هذه النتائج إمكانية ري السيسبان وعباد الشمس المزروعين في تربة مالحة بمياه مالحة ذات ناقلية كهربائية مقدارها 8 و 12 ديسي سيمنز/ م على التالي، أو يمكن ري النوعين النباتيين بمياه ذات تراكيز متزايدة من الملوحة خلال فترة النمو.

الكلمات المفتاحية: السيسبان، عباد الشمس، ملوحة، تثبيت الآزوت الجوي.

مقدمة

تنتشر الأراضي الملحية في سورية، رئيسياً، في حوض الفرات، وتتراكم الأملاح في تلك المواضع نتيجة لشدة بخر الماء ولسوء الصرف، ويسبب ذلك خروج مساحات كبيرة من الأراضي الزراعية من الاستثمار.

إن كل نبات هو نتاج الظروف التي ينمو فيها، ويُعتبر مقياساً للوسط الذي يعيش فيه. فبعض الأنواع النباتية تستطيع أن تتحمل درجة من الملوحة أعلى مما تتحملها أنواع أخرى. وتمتلك النباتات تبايناً وراثياً واسعاً، حيث يبدي أكثر من 100 نوع منها بعضاً من المقاومة الطبيعية للملوحة. لذلك فإن من أجدى الطرق وأنجعها - حالياً - أن تستثمر الأراضي الملحية المستبعدة من الزراعة بوضعها الراهن، وذلك بزراعتها بنباتات متحملة للملوحة ذات فوائد اقتصادية وبيئية واجتماعية هامة، وريها بالمياه الجوفية المالحة، وتدعى هذه الطريقة "الزراعة الحيوية - المالحة" (Bio-Saline Agriculture).

تتصف بعض النباتات البقولية - منها السيسبان - بقدرتها على النمو في ترب ملحية، فقد استعمل هذا النوع في إعادة الغطاء النباتي إلى مساحات كبيرة من الأراضي المتأثرة بالملوحة. إضافة إلى ذلك، تستطيع نباتات أخرى النمو في بيئات مالحة وتستخدم في استثمار هذه الأراضي لأهداف اقتصادية وغذائية (عباد الشمس، اللفت الزيتي..).

بالرغم من النجاح الأولي لزراعة نبات السيسبان في الأراضي المتأثرة بالملوحة في حوض الفرات الأدنى في سوريا، هنالك حاجة لدراسة تأثير استخدام مياه متعددة درجة الملوحة في ري هذا النوع النباتي، إضافة إلى أنواع أخرى، عسى أن تؤثر سلباً على أدائها. لذلك هدف هذا البحث إلى دراسة تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الري على تشكل العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في نبات السيسبان المزروع في تربة مالحة، وذلك في تجربة أصص. كما درس هذا التأثير أيضاً على نمو طراز من نبات عباد الشمس والذي استعمل، إضافة إلى ذلك، كنبات مرجعي لقياس كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات السزبانيا وفق طريقة التخفيف النظيري للآزوت ^{15}N.

المواد والطرائق

زرعت بذور نبات السيسبان والطراز الوراثي (G-342) من نبات عباد الشمس. في أصص سعتها عشرون كيلو غراماً، مملوءة بتربة مالحة جمعت من حوض الفرات الأدنى في دير الزور. بلغ عدد الأصص أربعة وعشرون أصيصاً لكل نوع نباتي، وضعت في ظروف مناخية طبيعية، بحيث احتوى كل أصيص نباتين. أضيف إلى كل أصيص ما يقابل 20 كغ N/ هكتار من سماد كبريتات الأمونيوم الموسوم $(^{15}NH_4)_2SO_4$ بنسبة إغناء مقدارها 9.7037% فوق الحد الطبيعي. وتم تنظيم عملية ري الأصص جميعاً مع الحفاظ على عدم انخفاض رطوبة التربة عن حدود 60% من السعة الحقلية خلال التجربة.

رويت جميع النباتات، خلال الخمسة عشرة يوماً الأولى، بمياه عادية غير مالحة. ثم رويت، بعد ذلك، بتراكيز مختلفة من مياه مالحة، بعد أن تم

★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

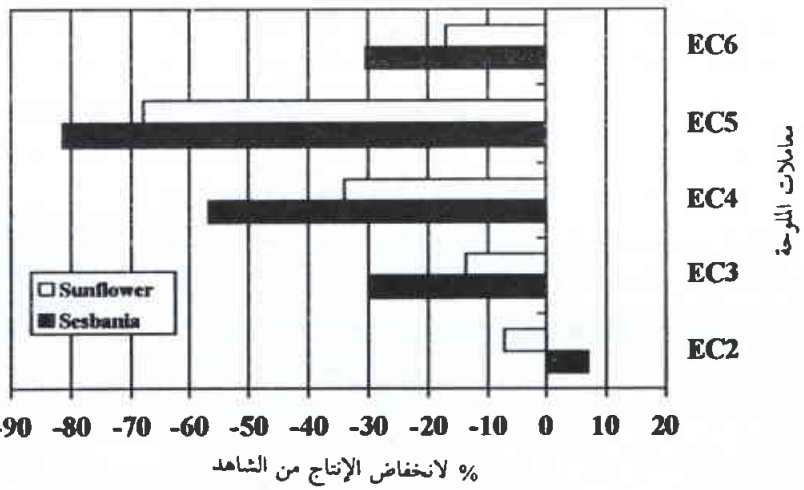
تحضيرها بمزج مياه جوفية مالحة جلبت من منطقة حوض الفرات الأدنى (ناقليتها الكهربائية 33 ديسي سيمنز/ م) مع مياه مالحة (ناقليتها الكهربائية 1.1 ديسي سيمنز/ م). تم الحصول، بنتيجة المزج هذا، على مستويات مختلفة من ملوحة مياه الري والتي بلغت ناقليتها الكهربائية 4.03، و8.03، و12.3 ديسي سيمنز/ م. وبالنتيجة، استعملت ست معاملات اختلفت، عن بعضها البعض، بمستوى الملوحة في مياه الري، وهي: 1.1 و 4.03 و 8.03 و 12.3 و33 ديسي سيمنز/ م، أما في المعاملة السادسة، فقد رويت النباتات بتراكيز متزايدة من ملوحة مياه الري (بدءاً من 1.1 وحتى 33 ديسي سيمنز/ م) بفاصل زمني مقداره خمسة عشر يوماً بين التركيز والآخر. وتم ترميز المعاملات الست السابقة بالرموز التالية: EC1 و EC2 وEC3 و EC4وEC5وEC6 على التوالي.

حصدت النباتات بعد 90 يوماً من الإنبات، وجرى تقدير الوزن الجاف للأجزاء الهوائية وللجذور في نباتي السيسبان وعباد الشمس. وتم تقدير عدد العقد الجذرية المتشكلة على الجذور الجانبية والرئيسة لنبات السيسبان. كما تم تقدير الآزوت الكلي في النباتات والنسب المئوية وكميات الآزوت المثبتة والممتصة من التربة ومن السماد.

النتائج والمناقشة

تأثير مياه الري المالحة على إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي في نباتي السيسبان وعباد الشمس النامين في تربة مالحة:

تبين من هذه الدراسة عدم وجود تأثير معنوي لمياه الري المنخفضة الملوحة (EC2) على إنتاج المادة الجافة للنوعين المدروسين مقارنة بالشاهد (EC1). في حين سبب ري النباتات بمستويات ملوحة أعلى (EC3 و EC4وEC5) انخفاضاً معنوياً في إنتاج المادة الجافة، وكان التأثير أكثر حدة في نبات السيسبان منه في نبات عباد الشمس. أما في المعاملة (EC6) فقد كانت نسبة انخفاض إنتاج المادة الجافة تماثل القيمة المتحصل عليها جراء ري النباتات بمياه مالحة ذات ناقلية كهربائية مقدارها 8 ديسي سيمنز/ م (الشكل 1). من ناحية أخرى، كانت كميات الآزوت الكلي في النوعين المدروسين منسجمة مع إنتاج المادة الجافة.



الشكل 1– تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الري في النسب المئوية لانخفاض إنتاج المادة الجافة من إنتاج الشاهد EC1 (1.1 ديسي سيمنز/ م) في نباتي السيسبان وعباد الشمس. (EC2 4.03، EC3 8.03، EC4 12.3، EC5 33، وEC6 من 1.1 وحتى 33 ديسي سيمنز/ م).

تأثير مياه الري المالحة على العقد الجذرية وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نبات السيسبان المزروع في تربة مالحة:

استطاعت سلالات الريزوبيا المستوطنة في التربة تشكيل عقد على جذور نبات السيسبان في معاملات الملوحة كافة، ما عدا النباتات التي رويت بمياه جوفية مالحة ذات ناقلية كهربائية 33 ديسي سيمنز/ م (EC5)، حيث لوحظ تثبيط كامل لتشكل العقد الجذرية.

كان تأثير الملوحة في مياه الري على كميات الآزوت المثبت أكثر حدة منه على النسب المئوية للآزوت المثبت في نبات السيسبان، فقد بلغت النسب المئوية للآزوت الجوي المثبت 42 و61 و44 و38 و1 و 51% في المعاملات EC1 و EC2 و EC3 و EC4و EC5 و EC6 على التوالي، في حين كانت الكميات المثبتة 303 و 511 و 247 و 131 و 1 و 274 مع N/ أصيص، بالترتيب السابق ذاته.

أدى ري نباتات السيسبان بمياه منخفضة الملوحة (4 ديسي سيمنز/م)، على نحو غير متوقع، إلى زيادة كفاءة تثبيت الآزوت الجوي (Ndfa%) بمعدل 45%، وإلى زيادة في كمية الآزوت المثبت بمعدل 68%، مقارنة بالشاهد. وقد ترافق ذلك مع وجود أثر إيجابي ولكنه غير معنوي في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي، مقارنة بالشاهد.

لم يسبب ري نبات السيسبان بمياه مالحة ذات ناقلية كهربائية مقدرها 8 ديسي سيمنز/ م انخفاضاً معنوياً في نسبة وكمية الآزوت المثبت، مقارنة بالشاهد المروي بمياه عادية. أما زيادة مستوى الملوحة في مياه الري إلى 12 ديسي سيمنز/ م، فإن الانخفاض في نسبة وكمية الآزوت المثبت كان معنوياً، في حين سبب الري بمياه جوفية عالية الملوحة (33 ديسي سيمنز/ م) تثبيطاً كاملاً في تشكل العقد الجذرية وفي كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. أما عند ري النباتات بتراكيز متزايدة من الملوحة، بدءاً من مياه معتدلة الملوحة وانتهاءً بمياه عالية الملوحة (من 1.1 وحتى 33 ديسي سيمنز/ م، المعاملة EC6) فإن الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي لم تنخفض معنوياً بالمقارنة مع الشاهد.

لهذه الدراسة أهمية تطبيقية في إدارة الأراضي والمياه المالحة من حيث استخدام المياه المالحة في ري النباتات. فقد بينت النتائج إمكانية ري نباتات السيسبان وعباد الشمس، المزروعة في تربة مالحة، بمياه مالحة ذات ناقلية كهربائية مقدارها 8 ديسي سيمنز/ م بالنسبة للنوع الأول، و 12 ديسي سيمنز/ م بالنسبة للنوع الثاني، أو يمكن ري النوعين النباتيين بمياه ذات تراكيز متزايدة من الملوحة خلال فترة النمو. وبالتالي استثمار الأراضي والمياه المالحة بمحاصيل ذات قيمة اقتصادية.

من المفيد إجراء دراسات حقلية طويلة المدى تتعلق بدراسة تأثير الري بمياه مالحة على خواص التربة بهدف وضع استراتيجية مناسبة لاستخدام المياه المالحة في الري بهدف ديمومة استثمار الأراضي الملحية والمياه الجوفية المالحة في الإنتاج الزراعي.

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

توزع النظير ^{137}Cs في العينات الإسمنتية بعد التصلب وأثر الغسل*

د. صلاح الدين تكريتي، أحمد فارس علي
قسم تكنولوجيا الإشعاع وقسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تمت دراسة توزع النظير ^{137}Cs في العينات الإسمنتية المصنعة بشكل أسطواني ومكعب، بصورة تماثل الواقع الحقيقي لحفظ النفايات المشعة المثبتة بالإسمنت بعد معالجتها في محطات المعالجة. سجل تعداد النشاط الإشعاعي (γ-^{137}Cs) للطبقات المنزوعة من العينة لمعرفة التوزع قبل وبعد الغسل. أظهرت النتائج أن توزع النظير المشع المدروس غير متجانس ضمن عدة طبقات اعتباراً من السطح، غير أن التجانس يأخذ مكانة في أغلب الطبقات داخل العينة المدروسة وصولاً إلى السطح السفلي للعينة الذي أظهر تغيراً طفيفاً في توزع النظير المشع. أما بالنسبة للعينات المغسولة فقد أظهر توزع النظير المشع سلوكاً مغايراً لما لوحظ في العينات المدروسة قبل الغسل.

الكلمات المفتاحية: البيئة، النفايات المشعة، التوزع النظيري، الغسل، الانتشار.

مقدمة

يتزايد الاهتمام حالياً بمتطلبات حماية البيئة من الملوثات بصفة عامة وبكل ما يتعلق بموضوع النفايات المشعة بصفة خاصة في أعقاب حادثة تشرنوبل عام 1986، وما صاحبها من انتشار للعديد من النظائر المشعة عبر الحدود الإقليمية بين الدول المجاورة وما سبب ذلك من أضرار وقلق المختصين والحكومات والجماهير على السواء.

تأخذ دراسة النفايات المشعة أهمية خاصة أثناء إنشاء المحطات النووية وذلك بإعداد مخططات مسبقة للتخلص من النفايات. واعتمدت عدة طرائق لمعالجة النفايات المشعة منها: استخلاص عدد من النظائر المشعة التي يمكن استخدامها من جديد أو مزج النفايات السائلة مع الإسمنت ووضعها في حاويات خاصة. تأخذ جميع الافتراضات السابقة لانتشار المواد المشعة حالة التوزع المتجانس للنظائر المشعة ضمن مواد تثبيتها، ولم تدرس حالات عدم التجانس وكذلك دور العيوب المتشكلة في مواد التثبيت (الإسمنت). وهكذا فهدف البحث هو محاولة إيضاح توزع النظير المشع ^{137}Cs ضمن العينة الإسمنتية ووضع تصور فيزيائي ورياضي لإمكانية تفسير توزع هذا النظير أثناء تصلب العينة الإسمنتية وماذا يطرأ على التوزع بعد الغسل بالماء لفترة زمنية طويلة.

المراحل العملية

صُنعت العينات الإسمنتية على شكلين هندسيين مختلفين: الشكل الأول أسطواني بطول 5.5 cm وقطر القاعدة 4 cm. والشكل الثاني مكعب طول ضلعه 4 cm، باستخدام قوالب بلاستكية صنعت خصيصاً لهذا البحث، بحيث يكون الوجه العلوي للقالب البلاستيكي مفتوحاً على الهواء للمساعدة في خروج الماء أثناء التجفيف. مزجت كمية من الإسمنت البورتلاندي الجاف مع كمية من الماء الحاوي على النظير المشع ^{137}Cs، بحيث تكون نسبة الماء إلى الأسمنت 3/1. وبعد صب العجينة الإسمنتية في القوالب البلاستيكية، تركت العجينة في القالب لمدة ثلاثة أيام للتماسك وبعدها تم نزع القالب وتركت العينات لتجف في الهواء العادي لمدة أسبوعين. كان تركيز السيزيوم في العينات الأسطوانية 1000 Bq أما بالنسبة للعينات المكعبة فإن تركيز السيزيوم فيها 9663 Bq. وضعت العينات الخاضعة لعملية الغسل في حوضين يحتويان على مياه بئر دير الحجر في المركز الثاني للهيئة بحجم مقداره 2 لتر لكل حوض. يحتوي الحوض الأول على العينة المكعبة والثاني على العينة الأسطوانية.

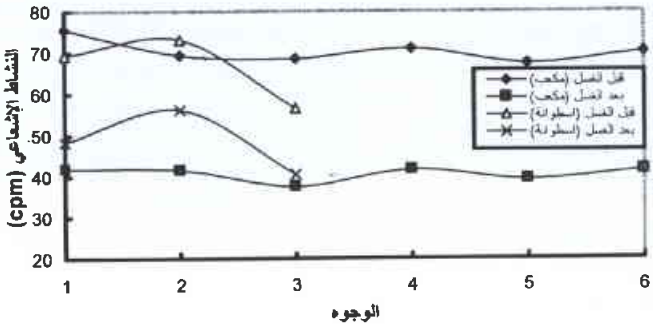
تم قياس توزع النشاط الإشعاعي للعينات المدروسة قبل وبعد الغسل بقشط 1 mm من العينة يدوياً وبدءاً من السطح العلوي المكشوف للهواء. استمرت عملية القشط شاقولياً نحو الأسفل حتى الوصول إلى السطح السفلي، الذي يمثل عمق العينة (40 mm) للمكعب و (55 mm) للأسطوانة. وقد استخدمت مطيافية غاما لقياس النشاط الإشعاعي للعينات. تحتوي المطيافية على بلّورة Ge(HP) عالية النقاوة وبكفاءة قياس، efficiency، مقدارها 20% ومربوطة مع محلل الأقنية وعداد زمني. وقد تم ضبط نافذة القياس على قمة طيف غاما للنظير ^{137}Cs مقداره 662 keV.

* تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم تكنولوجيا الإشعاع وقسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

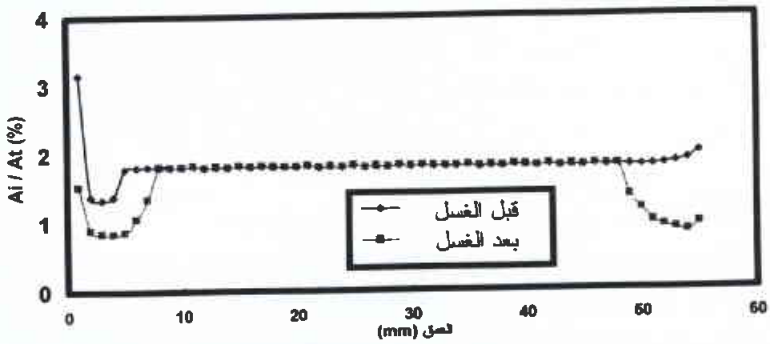
النتائج

تم قياس النشاط الإشعاعي مقدراً بـ (cps) لكافة سطوح العينات المحضرة (المكعبة والأسطوانية) قبل وبعد الغسل كما هو موضح في الشكل 1. فوجد أن سطوح المكعب كافة متماثلة في النشاط الإشعاعي، قبل الغسل، ما عدا السطح العلوي الملامس للهواء أثناء التجفيف وكذلك الحال بالنسبة إلى الأسطوانة. أما العينات المغسولة فقد أظهرت النتائج انخفاضاً ملحوظاً في النشاط الإشعاعي (cps)، الأمر الذي دعا إلى قياس النشاط الإشعاعي لمياه الغسيل. بينما كان النشاط الإشعاعي لسطوح العينات المغسولة منسجماً مع ما لوحظ لحالة ما قبل الغسل.



الشكل 1 – تغيرات النشاط الإشعاعي لسطوح العينات الإسمنتية المدروسة.

سجلت تغيرات توزع النظير ^{137}Cs قبل وبعد الغسل، العينة الأسطوانية في الشكل 2 والعينة المكعبة في الشكل 3، كنسبة مئوية للنشاط الإشعاعي في الطبقة المقشوطة لسماكة 1 mm من العينة على النشاط الإشعاعي الكلي للعينة، $(A_i/A_t,\%)$، كتابع للعمق (mm). فقد لوحظ من خلال الأشكال وجود تركيز إشعاعي كبير على السطح متميزاً عن باقي مناطق التوزع الداخلية، كما وجد اختلاف طفيف في قيمة التوزع في نهاية العينة المدروسة أيضاً، بينما لوحظ توزع متجانس في الوسط. أما الشكل الرابع فيمثل النسبة المئوية للنشاط الإشعاعي لمياه الغسيل $(A_d/A_t,\%)$، حيث A_d تمثل النشاط الإشعاعي للماء في يوم القياس وA_t تمثل النشاط الإشعاعي الكلي للعينة، والتي تعتبر المكمل للنشاط الإشعاعي المفقود من العينات (المكعبة والأسطوانية) أثناء الغسل.



الشكل 2 – توزع النظير ^{137}Cs في العينة الأسطوانية قبل وبعد الغسيل.

تحليل النتائج والمناقشة

يمكن تفسير هذه التغيرات في النشاط الإشعاعي (سطح – وسط – أسفل) بفكرة ارتحال جزيئات الماء في الإسمنت من الأسفل والوسط نحو السطح أثناء التصلب. إذ أن هجرة جزيئات الماء هذه تترافق مع سحب بعض ذرات النظير المشع مؤدية إلى زيادة في تركيز العنصر المشع عند السطح أو المحلول. أما التغيرات الملاحظة في الطبقات السفلية فيمكن تفسيرها من خلال ظاهرة الثقالة التي يمكن أن تلعب دور الساحب للنظير المشع، خاصة وأنه من العناصر الثقيلة، ولكن بحدود قليلة جداً. وعندما تمت مقارنة النشاط الإشعاعي للسطوح المغلقة بدلالة العمق، فقد وجد أن قيمة التوزع تبقى قريبة من قيمة التجانس. تم تمثيل توزع النظير قبل الغسل بالعلاقة الرياضية التالية:

$$F(x)=\frac{\alpha}{\beta(x_h-x)^2+1}+\gamma \qquad (1)$$

حيث يمثل F(x) تابع توزع النظير المشع بدلالة العمق x، ويمثل x_h العمق عندما تكون قيمة التوزع متجانسة. أما α و β و γ فهي عوامل عشوائية حيث α وγ دون أبعاد وβ تعطى بـ mm^{-2}.

الجدول التالي يبين العوامل العشوائية التي استخرجت من تطبيق العلاقة السابقة على القيم التجريبية.

العينة	α	β(mm^{-2})	γ	دقة التحليل الرياضي
الأسطوانية	42	128	0.95	85.4%
المكعبة	27	94	0.84	79.5%

تم الاعتماد على تشكيل عدد المواقع الفراغية التي تساعد على الهجرة في تفسير تغيرات توزع النظير المشع بعد الغسل (القيم التجريبية في الشكلين 3، 4). فإذا كان عدد المواقع في الشبكة الناتجة بعد الغسل N وأن هناك n ذرة من ^{137}Cs. تستطيع الوصول إلى N، فإن النسبة n/N تمثل عدد ذرات ^{137}Cs المحتمل وجودها في الموقع المدروس (الطبقة)، وتعطى علاقة الاحتمالية كما يلي:

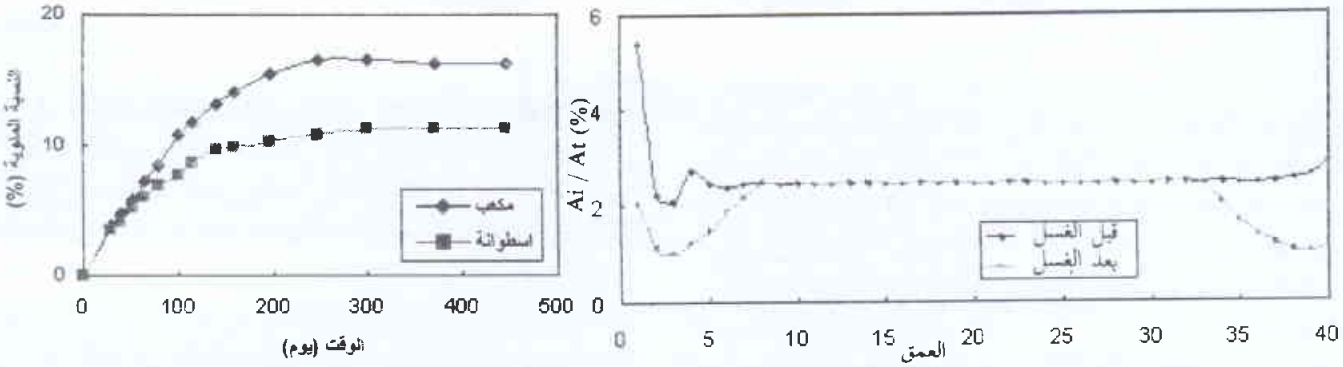
$$Pm=C_n^m\left(\frac{1}{N}\right)^m\left(1-\frac{1}{N}\right)^{n-m} \qquad (2)$$

وباعتبار أن m تمثل عدد ذرات ^{137}Cs التي لها نفس الموقع في الطبقة i، فإن الحد الأول من الطرف الثاني للمعادلة السابقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$C_n^m=\frac{n!}{\{m!\,(n-m)!\,\}} \qquad (3)$$

وبما أن قياس النشاط الإشعاعي للطبقة المنزوعة يعني وجود ^{137}Cs في الطبقة المذكورة، أي زيادة تركيز ^{137}Cs المهاجرة من الأعماق نحو الطبقة المنزوعة. وبالتالي فإن النشاط الإشعاعي للطبقة يعطى بالعلاقة التالية:

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



الشكل 3 – توزع النظير ^{137}Cs في العينة المكعبة قبل وبعد الغسيل.

الشكل 4 – تغيرات النشاط الإشعاعي لمياه الغسل.

$$A_i = \rho \, Pm \, \lambda \frac{n}{N} + A_h \qquad (4)$$

حيث ρ تمثل معامل احتمالية وجود m ذرة من ^{137}Cs في نفس الموقع وλ معامل التفكك الإشعاعي، حيث أن الفعالية الإشعاعية تساوي حاصل جداء معامل التفكك الإشعاعي بعدد الذرات المتفككة، بينما تمثل A_h قيمة متوسطة للنشاط الإشعاعي ابتداءً من الطبقة العاشرة وحتى الطبقات القريبة من النهاية (أي قيمة التوزع المتجانس). ولدى التحقق من القيم التجريبية (fitting) بتطبيق المعادلة الأخيرة، تبين أن دقة المقارنة متوسطة (حوالي 75%)، أي يمكن تفسير النتائج وفق علاقات الاحتمال السابقة.

تزداد قيمة النشاط الإشعاعي المقيس في مياه الحوض بسرعة في بداية الزمن (أيام) حتى تصل إلى قيمة متوسطة لا تلبث أن تزداد ببطء شديد. ولدى مقارنة معدل هجرة ^{137}Cs في العينات المكعبة والأسطوانية تبين أن ذرات ^{137}Cs تهجر بمعدل أكبر في حالة العينة المكعبة منها في حالة العينة الأسطوانية.■

تعديل الكود EXTERMINATOR-2 واستثماره على الحاسب الشخصي★

د. محمد البرهوم، سلمان محمد، ياسر كاملة
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

لقد تمَّ تعديل الكود EXTERMINATOR-2 لتسهيل استعماله، فقد استبدلت شاشة الحاسب بملف خارجي تتم كتابة معطيات الدخل فيه بدلاً من إدخالها للكود من شاشة الحاسب.

تسمح نسخة الكود المعدّلة هذه بإدخال تعليمات استخدام الكود في ملف الدخل وبالتالي توفير الوقت اللازم لاستشارة دليل الاستعمال. يمكن إدخال السطور الفارغة وسطور التعليق في ملف الدخل في أي مكان دون التسبب في أية إشكاليات في قراءة ملف الدخل من قبل الكود.

أضيفت إلى الكود خدمات الرسم والمعالجة الأوتوماتيكية لملف خرج الكود، بعد تعديله برمجياً وتمكيننا من تشغيله على حواسيبنا الشخصية.

الكلمات المفتاحية: كود، تعديل، برنامج جزئي، تعليمات.

توصيف وتشغيل الكود EXTERMINATOR-2

يعمل الكود حسب المخطط الصندوقي الموضح في الشكل 1، حيث يُعبر كل اسم وارد في صناديق المخطط عن برنامج جزئي يقوم بتنفيذ مهمة معينة ضمن الكود الذي يقوم كلياً بحل معادلة الانتشار ببعدين في الهندستين الأسطوانية والديكارتية. لم تعمل نسخة الكود EXTERMINATOR-2 هذا المترجمة باستخدام المترجم LAHEY

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

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

4.1 على حواسيبنا إلا بعد إجراء الكثير من التعديلات داخل البرامج الجزئية المؤلفة للكود.

ملف دخل الكود EXTERMINATOR -2 المعدّل

يمكن إجمال التعديلات الحاصلة على الكود فيما يخص ملف الدخل بما يلي:

- البطاقة رقم (2) قسمت إلى ثلاثة أجزاء وتقرأ من ثلاثة سطور متتالية كل منها يحتوي على 12 معلومة بدلاً من تواجد 36 معلومة على سطر واحد.

في هذا الوضع يمكن للمستثمر أن يضع معلومته أينما يشاء على السطر ولا يشترط إلاّ المحافظة على الترتيب الأساسي للمعلومات على السطر.

- قسمت البطاقة رقم (3) إلى بطاقات مختلفة مشابهة وهكذا بالنسبة لغالبية البطاقات التي يتألف منها دخل الكود.

أما البطاقات التي لم تقسّم فقد تمّ تحريرها من الانتساق الثابت وأصبحت بانتساق حر (بطاقة رقم 8 مثلاً).

يمكن تلخيص فوائد الوضع الجديد لملف الدخل بما يلي:

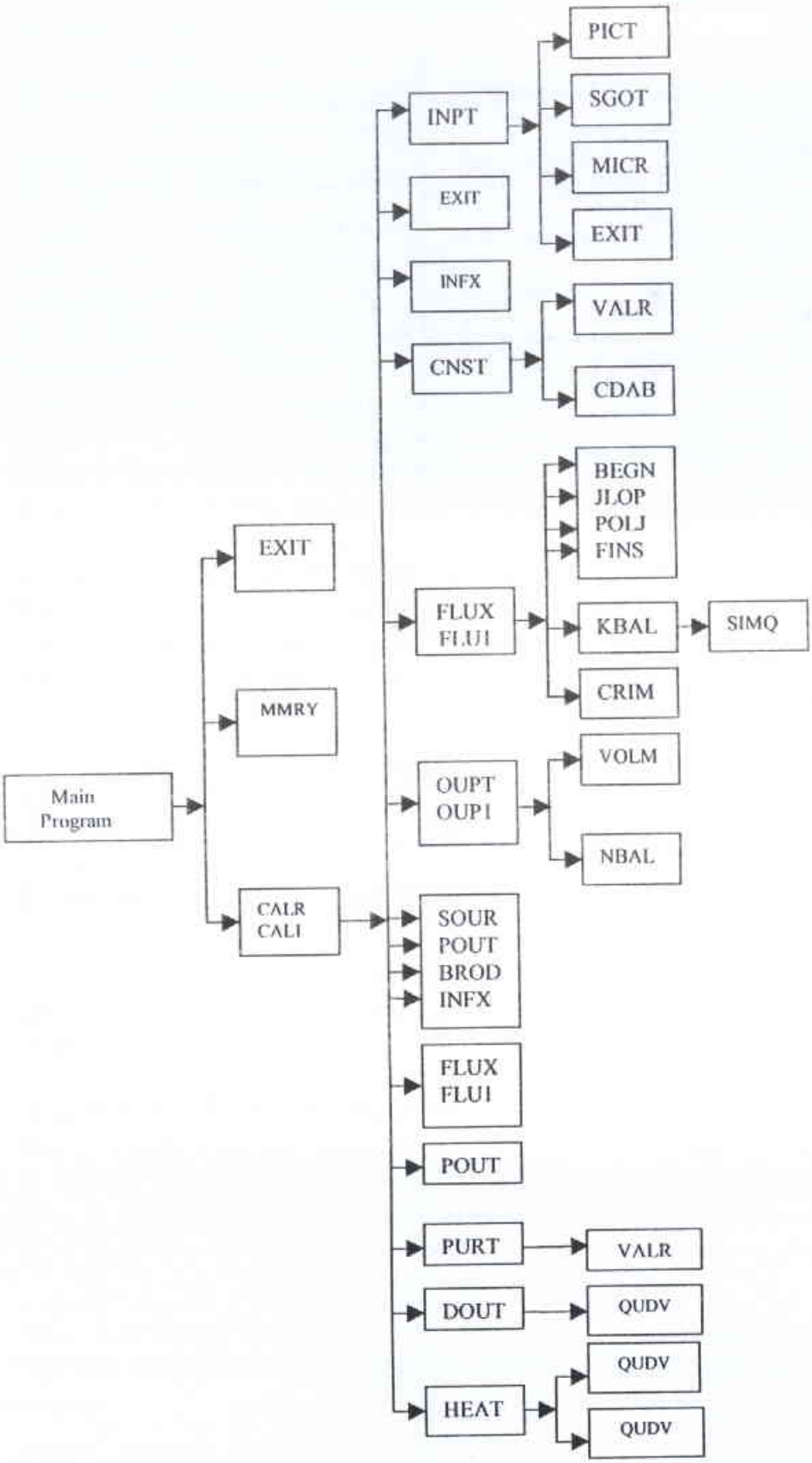
-التحرر من ضرورة الكتابة المنسقة على الشاشة والتي تحمل المساوىء التالية:

أ - لا يظهر موضع المؤشر على الشاشة مما يجعل الكتابة في موقع معين صعبة جداً ويضطر المستثمر إلى عد المواضع مع التقدم في إدخال المعطيات مما يتسبب في أخطاء كتابة يصعب تجنبها.

ب - عند حصول خطأ على الشاشة يترجم إلى خطأ قراءة عند الكود مما يسبب في توقف الكود عن العمل وعودة المستثمر إل كتابة (إدخال) جميع المعطيات على (من) الشاشة من جديد.

إن محتوى البندين أ وب يبين سبب كون استخدام الكود بسهولة ولا اضطرار لإعادة كتابة جميع المعطيات وإنما تصحح المعلومة الخاطئة فقط.

- إذا ما أضيفت إلى الكود (كما فعلنا) نتائج أعمال أخرى [3] من الخدمات أمكن



الشكل 1 – مخطط صندوقي لعمل البرنامج الرئيسي في الكود EXTERMINATOR-2.

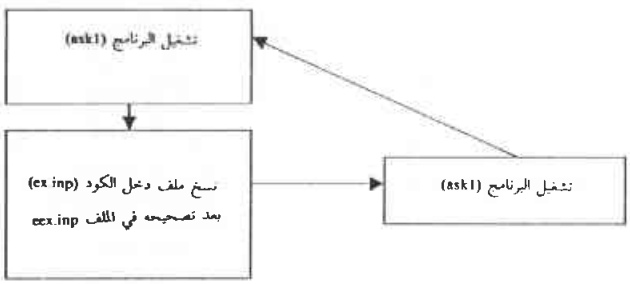
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

كتابة ما نشاء من التعليقات والإيضاحات على ملف الدخل دون أن يتسبب هذا بأخطاء قراءة في الكود (يمكن مثلاً إضافة دليل استعمال الكود مباشرة إلى ملف الدخل وبالتالي وضع الخيارات أمام المستثمر مباشرة دون الحاجة إلى استشارة دليل الكود المطبوع).

ملف الخرج الجديد وخدمات الرسم المضافة إلى الكود

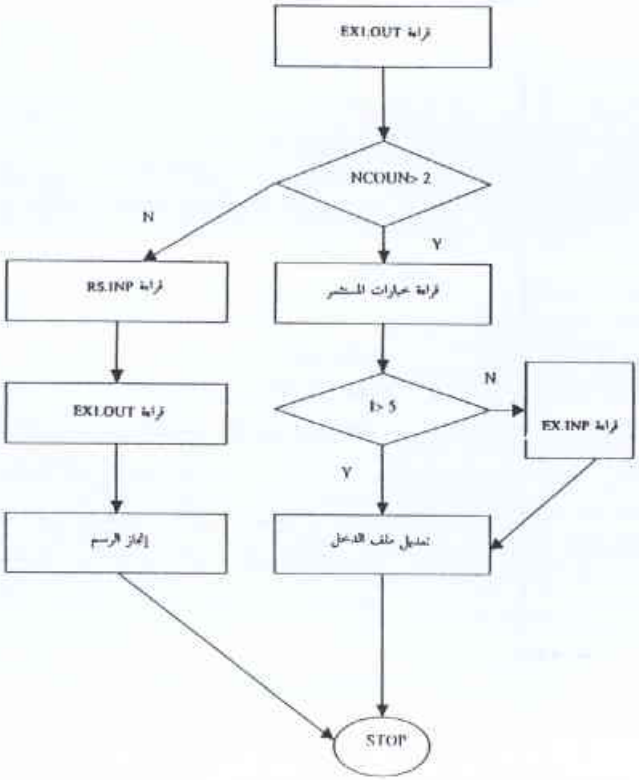
لم يكن الكود EXTERMINATOR-2 ملف خرج يلجأ إليه المستثمر لمعرفة نتائج حساباته التي اختارها في ملف الدخل (الآن وعلى الشاشة سابقاً) بل كان يتلقى هذه المعلومات على الشاشة مباشرة وهذا يحول دون إمكانية الإمعان بها وتحليلها بروية ناهيك عن الجدول دون إمكانية رسمها.

لقد تمّ تشكيل ملف خرج (EX.OUT) يجمع النتائج ويمكن للمستثمر، بعد تعديل الكود، أن يقوم بإظهار نتائج حساب توزع التدفق لأية مجموعة نترونية ولأي عمود أو سطر من الشبكة الممثلة للمسألة. للتوصل إلى هذه الخدمة المريحة في إظهار المعطيات تمت كتابة برنامج بلغة الفورتران (ask1.for) وتمت ترجمته بالمترجم Microsoft 5.1 نظراً لعدم وجود نسخة من الكود EXTERMINATOR-2 عاملة على هذا المترجم وبالتالي لا يمكن ضمه إلى الكود. لذلك تطلب الأمر إنشاء ملف تجميعي للتشغيل يعمل حسب المخطط الموضح في الشكل (2)، أما البرنامج فيقوم بالتفاعل مع الكود حسب المخطط الصندوقي الموضح في الشكل (3).



الشكل 2- المخطط الصندوقي للملف التجميعي (w.bat) مشغل برنامج الرسم (ask1.for).

يبين الشكل (3) مخططاً عاماً لكيفية تفاعل وتخاطب البرنامج مع الكود، إلا أنه في الواقع توجد ملفات أخرى تدخل في عملية إنجاز الرسم غير موضحة في الشكل، كما أن هناك آليات معقدة لتحويل خيارات المستثمر إلى معطيات في ملف دخل الكود EXTERMINATOR-2 ومن ثم تشغيل الكود بالخيارات الجديدة (التي قد لا تكون موجودة في



الشكل 3- مخطط تفاعل البرنامج ask1.for مع الكود EXTERMINATOR-2 ومع الملفات الأخرى.

ملف دخل الكود قبل معرفة خيارات المستثمر في الرسم) ومعالجة خرج الكود للحصول على المعطيات اللازمة للتمثيل ومن ثم تمثيلها فعلياً على الشاشة.

النتائج

يتضح مما سلف أن مجمل العمل في هذه الدراسة تمخض عن تحويل كود قديم نسبياً صعب الاستعمال ولكنه يؤدي المهمة العلمية الموكلة إليه بشكل جيد إلى كود مزود بكافة التسهيلات التي تؤمّن سهولة في الاستعمال وسرعة ووضوحاً في إظهار النتائج على شاشة الحاسب مباشرة دون الحاجة إلى معالجة المعطيات الخرجية للكود والتي تقوم برامج خدمات الرسم بمعالجتها بشكل أوتوماتيكي موفرة الجهد والوقت على المستثمر.

يمكن إظهار توزع التدفق النتروني لأية مجموعة نترونية ولأي عمود أو سطر من الشبكة الممثلة للمسألة والمتواجدة في ملف خرج الكود، كما يمكن إظهار كيفية تقارب معامل التكاثر النتروني إلى القيمة النهائية إضافة إلى خيار إظهار هذين المقدارين معاً (في تشغيل واحد للكود).

المراجع REFERENCES

[1] EXTERMINATOR-2 A FORTRAN IV Code for Solving Multi-group Neutron Diffusion Equations in two Dimensions. T. B. Fowler, M. L. Tobias,D. R. Vondy. Oak Ridge National Laboratory, U. S. Atomic Energy Commission. Aprile 1967.

[2] الكود الفطن سيركو - 1 كود المفاعل وحيد البعد والمعتمد على حل معادلة الانتشار، د. محمد البرهوم، المهندس علي عيد، السيد سلمان مخمد. تقرير عن دراسة علمية حاسوبية - قسم الفيزياء - هـ ط ذ س - ف/ت د ع 218 - نيسان 1998.

[3] تطوير الكود الهدروحراري HYDMIN بما يلائم حالة المفاعل MNSR المستقرة. تقرير عن دراسة علمية حاسوبية - قسم الفيزياء - هـ ط ذ س - ف/ ت د ع 360 - كانون الأول 2000.■

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

إعداد نظام استعلام مناخي*

د. عماد خضير، محمد موفق نصري
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

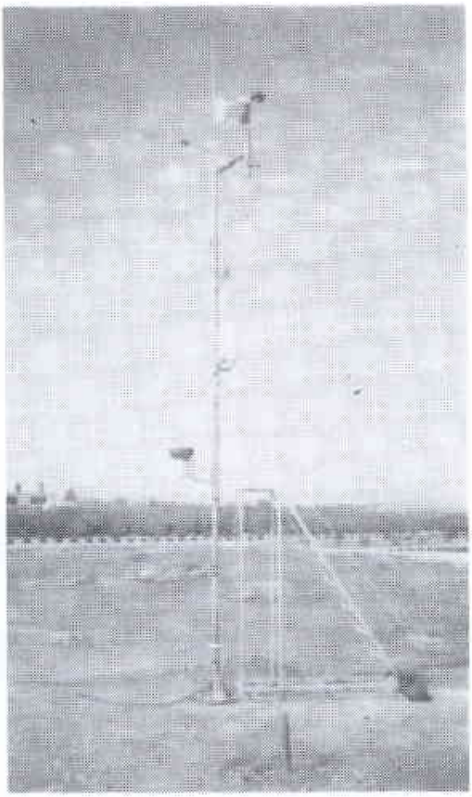
رُكبت محطة مناخية مؤتمتة في المركز الثاني لهيئة الطاقة الذرّية في منطقة دير الحجر، جنوب شرق مدينة دمشق في نهاية العام 2000. وتقوم ستة محسّات مناخية وزراعية بتسجيل قياسات درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية ومقدار الهطول المطري وصافي الإشعاع وسرعة الرياح واتجاهها. وبُرمجت وحدة تحصيل البيانات لتسجيل قراءات ساعية ويومية وشهرية بالإضافة لإمكانية مراقبة بعض العناصر المناخية كاتجاه الرياح وسرعتها في الزمن الحقيقي. وتتصل وحدة التحصيل بواسطة مودمين وكابل اتصال طوله 300 m وبسرعة نقل معطيات وقدرها 9600 bps بحاسب التحكم الذي يقوم بالتخزين النهائي للسجلات والمحطات المناخية. أيضاً، يقوم الحاسب بفرز حسابات يومية وشهرية للقيم الحدية والمتوسطات وتقدير المجاميع.

أعد نظام استعلام مناخي متطور ومتوافق مع بروتوكول اتصالات الإنترنيت بغية تسهيل استرجاع البيانات المناخية اللحظية والتاريخية بصورة جداول أو مخططات بيانية (ستاتية أو دينامية) عبر "خدمة المعلومات" على الشبكة الحاسوبية وذلك تبعاً لمتطلبات المستثمر من حيث المدى الزمني (يومياً أو أسبوعياً أو شهرياً أو سنوياً أو من التسجيلات التاريخية).

الكلمات المفتاحية: برج رصد جوي، محسّات، زمن حقيقي، شبكة محلّية، نظام استعلام، الإشعاع الصافي، المناخ، الطقس.

مقدمة

يعتمد تلوث البيئة بملوثات خارجية، كتسرب عنصر مشع من مدخنة مفاعل بحث أو طاقة، على عوامل تصف طبيعة الظروف المناخية السائدة خلال حادثة التسرب وبعدها. حيث تقوم الرياح بنقل ونثر الملوثات بينما تقوم الأمطار بغسل هذه الملوثات من الهواء وترسيبها على سطح الأرض. وتتطلب معظم الكودات الحاسوبية التي تقوم بنمذجة مختلف سيناريوهات حوادث التسرب توفر المعطيات عن عدد من العوامل المناخية، كسرعة واتجاه الرياح وتصنيف الاستقرار الجوي ومعدل الهطول المطري والرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء. وقد تربط أنظمة الطوارىء النووية للمنشآت النووية الكبيرة كمفاعل بحث من النمط الأول أو محطة توليد طاقة نووية بأنظمة مناخية بشكل مباشر on-line بغية التقدير السريع لمستوى التضرر الإشعاعي ومناطقه عند حدوث تسرب إشعاعي. ومن جهة أخرى، تدخل المعاملات المناخية كعوامل مؤثرة غير متحكم بها في تجارب الإنتاج الزراعي (النباتي والحيواني) والتقانة الحيوية، الأمر الذي يستوجب توفر سجلات مناخية خلال فترة التجارب عند تحليل تباين نتائج التجارب بواسطة اختبارات إحصائية مناسبة كاختبار تحليل التباين /ANOVA/ مثلاً.



الرسم التوضيحي 1- منظر عام للمحطة المناخية المؤتمتة المركبة في المركز الثاني لهيئة الطاقة الذرّية السورية.

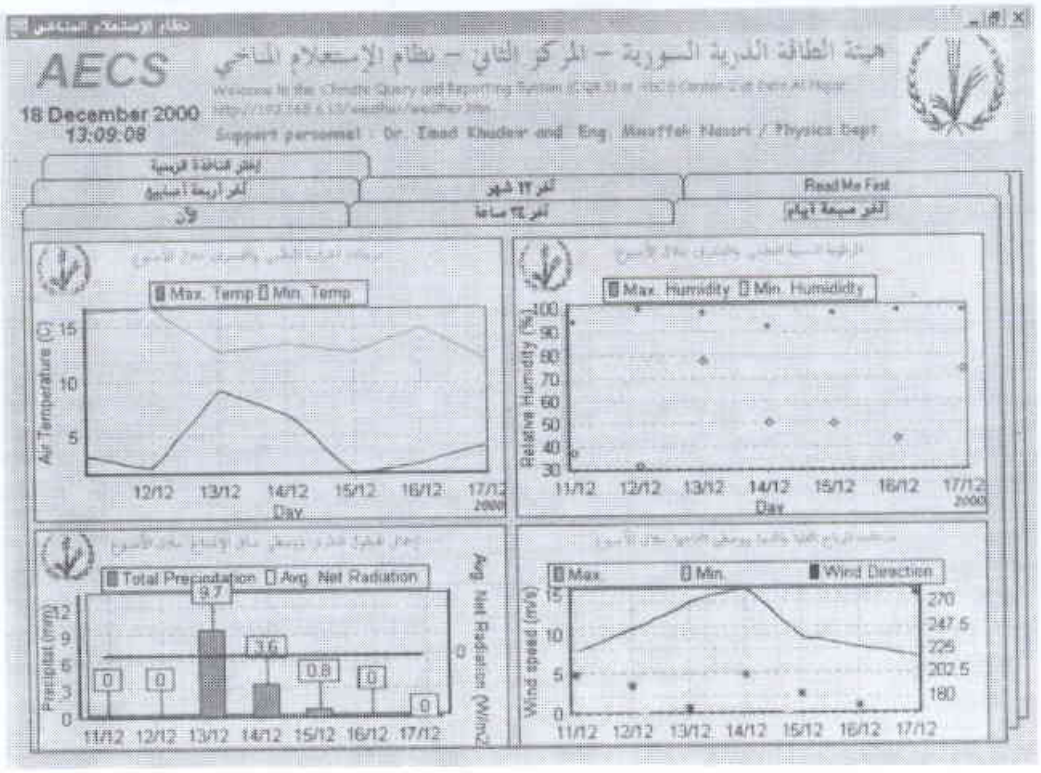
محطة مناخية مؤتمتة

رُكّبت في المركز الثاني لهيئة الطاقة الذرّية في منطقة دير الحجر N 36° 28' و E 33° 21' وعلى ارتفاع 617 m عن سطح البحر محطة مناخية مؤتمتة لقياسات ساعية لستة عناصر مناخية وهي: درجة حرارة الهواء air temperature T (C°) ومعدل الرطوبة النسبية relative humidity H (%) ومعدل الهطول المطري precipitation P(mm) وسرعة الرياح واتجاهها wind speed (m/s & direction degrees) & والإشعاع الصافي net radiation Q (W/m^2).

وقد جرى ربط وحدة تحصيل القياسات المناخية بصورة مباشرة on-line، بواسطة كابل اتصال من النوع UPT-Cat.5 بطول يقارب 300 m وبسرعة نقل معطيات قدرها 9600 bps بالحاسب الشخصي المتحكم ويتم بصورة مؤتمتة بعد خمس دقائق من تمام الساعة من كل يوم تحصيل السجلات المناخية المقيسة

* تقرير مختصر عن عمل تقني أنجز في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

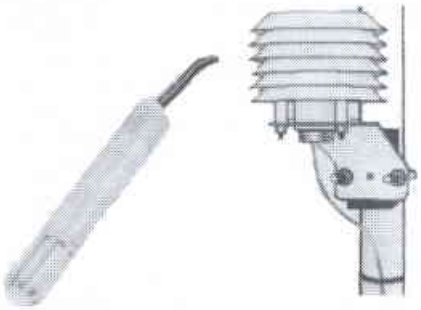
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية



الرسم التوضيحي 2- الواجهة الافتتاحية لنظام الاستعلام المناخي CQRS المعدّ على شبكة الحواسب في المركز الثاني.

خلال الساعة الماضية. ويتم فرز قيم حدية (عظمى وصغرى) يومية، خمس دقائق بعد منتصف كل ليلة، لدرجات الحرارة والرطوبة وسرع الرياح وإيجاد مجاميع الهطولات اليومية والشهرية والسنوية. ونبين فيما يلي رسوم توضيحية للمحسّات المركبة على صار المحطة المناخية.

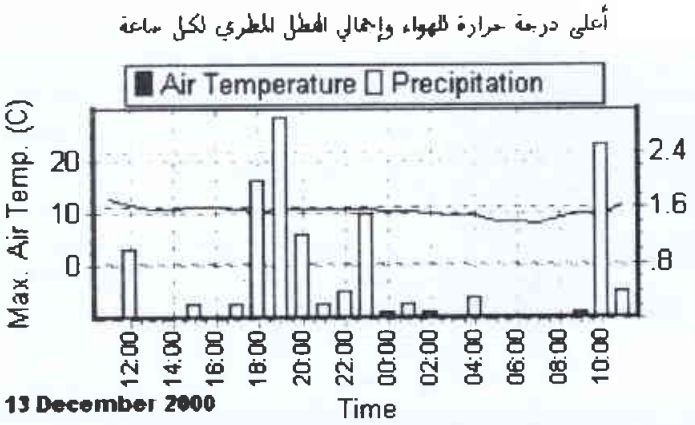
محسّ تسجيل الإشعاع الصافي



محسّ تسجيل درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية

نظام الاستعلام المناخي

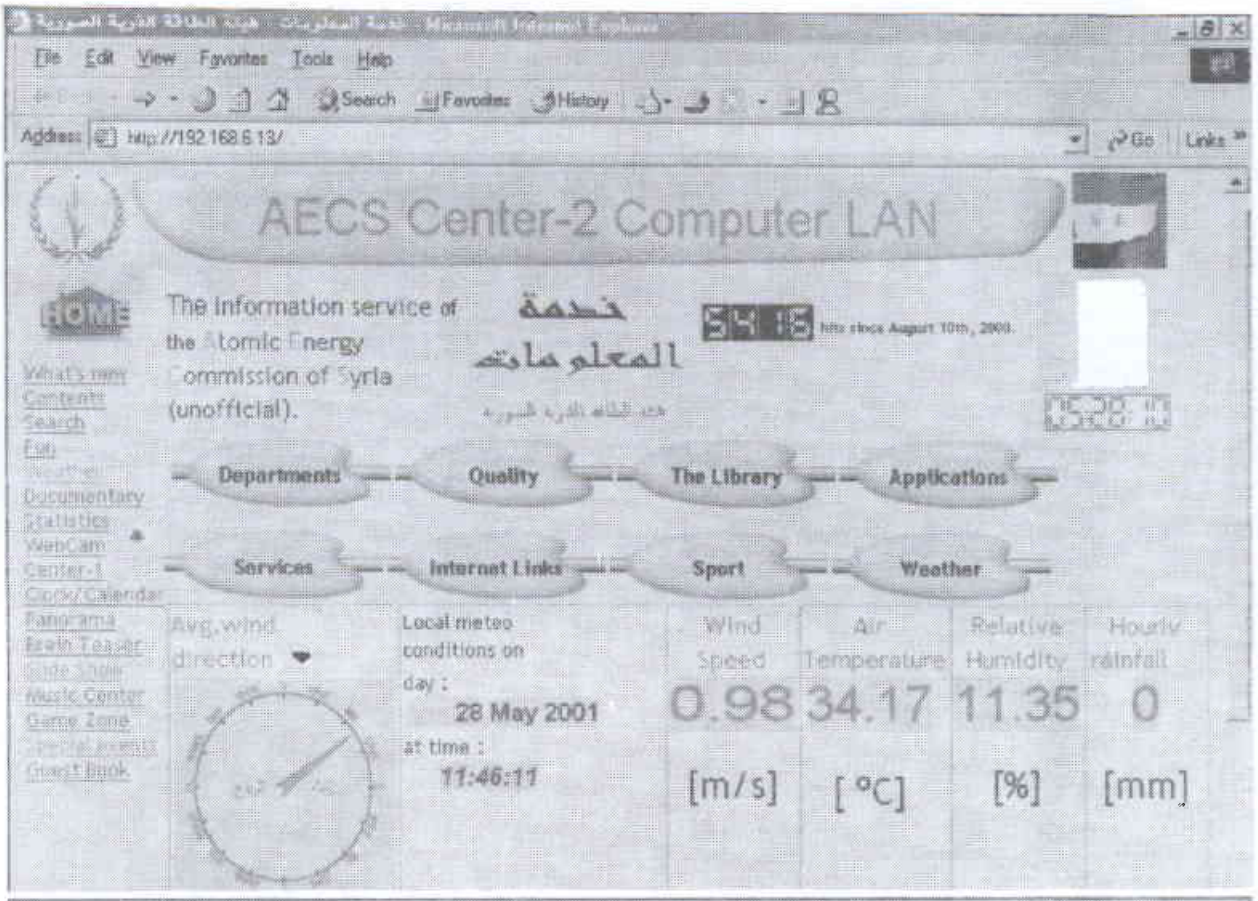
أُعد نظام الاستعلام المناخي Climate Query/Repoting System- CQRS وفق برمجية مرئية RTDN-Real Time Display Monitor متوافقة مع Delphi تسمح للمستثمر بالاطلاع على السجلات والمخططات البيانية (الديناميكية) للعناصر المناخية المقيسة آنفة الذكر

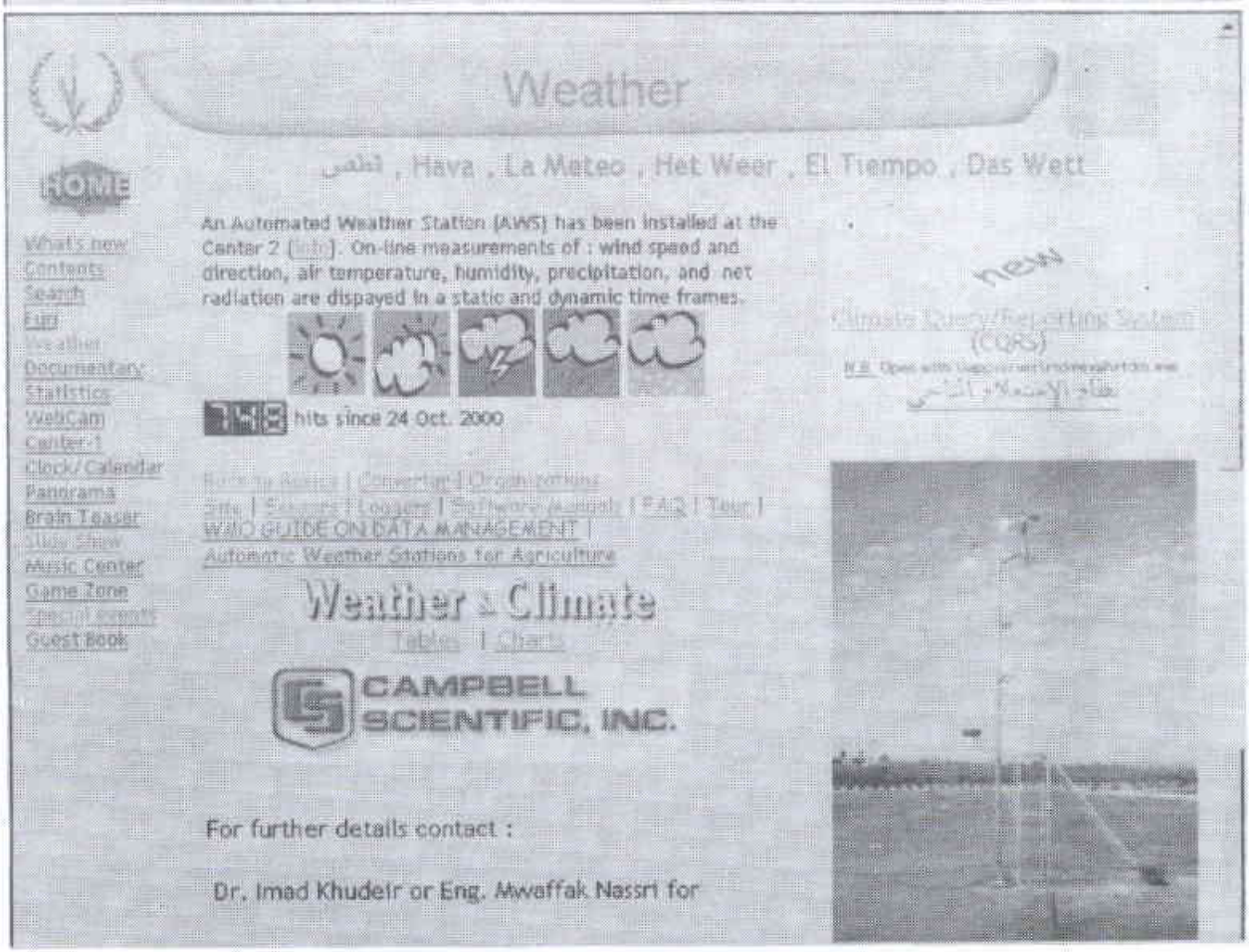


الرسم التوضيحي 3- مخطط 24 ساعة للهطولات المطرية وأعلى درجة حرارة.

محسّ تسجيل سرعة واتجاه الرياح

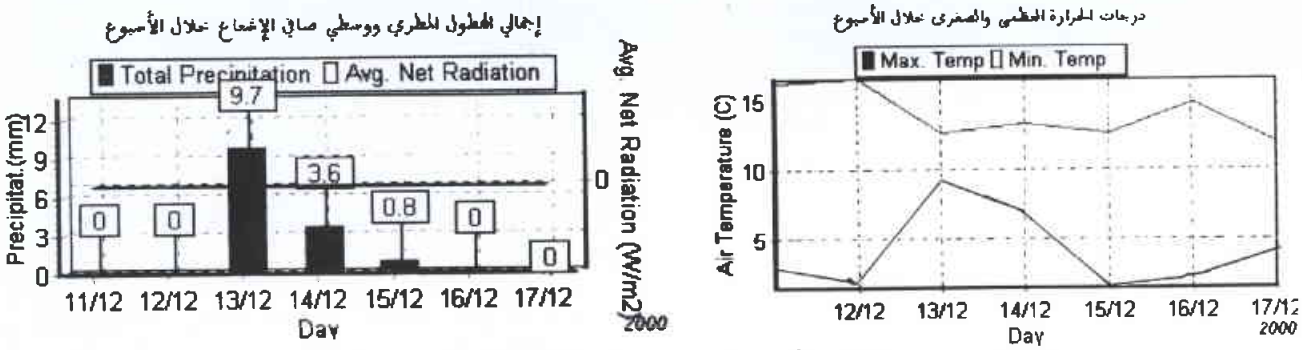
محسّ تسجيل الهطل المطري


File Edit View Favorites Tools Help
Search Favorites History
Address http://192.168.6.13/
AECS Center-2 Computer LAN
The information service of the Atomic Energy Commission of Syria (unofficial).
خدمة المعلومات
hits since August 10th, 2000.
HOME
What's new
Contents
Search
Departments
Quality
The Library
Applications
Services
Internet Links
Sport
Weather
Avg.wind direction
Local meteo conditions on day :
28 May 2001
at time :
11:46:11
Wind Speed
0.98
[m/s]
Air Temperature
34.17
[°C]
Relative Humidity
11.35
[%]
Hourly rainfall
0
[mm]


Weather
Hava , La Meteo , Het Weer , El Tiempo , Das Wett
HOME
What's new
Contents
Search
Fun
Weather
Documentary
Statistics
WebCam
Center-1
Clock/Calendar
Panorama
Brain Teaser
Slide Show
Music Center
Game Zone
Special Events
Guest Book
An Automated Weather Station (AWS) has been installed at the Center 2 (Info). On-line measurements of : wind speed and direction, air temperature, humidity, precipitation, and net radiation are dispayed in a static and dynamic time frames.
hits since 24 Oct. 2000
WMO GUIDE ON DATA MANAGEMENT
Automatic Weather Stations for Agriculture
Weather & Climate
Tables | Charts
CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.
For further details contact :
Dr. Imad Khudeir or Eng. Mwaffak Nassri for

الجدول 1- التسجيلات المناخية الحدية والمجموعية والمتوسطات لأيام الأسبوع الثاني من شهر كانون الأول لعام 2000.

Date	Year	Max. Temp (C)	Min. Temp (C)	Max. Hum (%)	Min. Hum (%)	Max. Spd (m/s)	Min. Spd (m/s)	Avg. Net Rad (W/m2)	Tot. Precip. (mm)	Wind spd (m/s)	Vec1 Dir (degrees)	Vec2 Dir
10 12	2000	16.24	3.164	94.8	37.25	7.74	0	29.87	0	2	200.8	55.7
11 12	2000	16.61	2.091	99.7	31.49	10.39	0	39.54	0	3.349	189.1	45.42
12 12	2000	12.67	9.16	97.7	77.9	14.21	.784	15.77	9.7	5.066	168.2	13.88
13 12	2000	13.37	6.984	92.6	50.65	15.78	.686	28.84	3.6	5.478	200.6	31.95
14 12	2000	12.7	1.556	97.7	50.02	9.6	0	44.02	.8	2.665	182.2	42.96
15 12	2000	14.87	2.531	98.9	43.32	8.33	0	47.36	0	3.379	171.3	21.91
16 12	2000	12.03	4.269	98.8	74	7.25	0	24.84	0	2.006	279.5	62.48
17 12	2000	16.81	4.236	97	46.12	3.528	0	37.61	0	1.108	296.2	63.76



الرسم التوضيحي 4- المخططات الأسبوعية للعناصر المناخية المقيسة في الأسبوع الثاني من ك1 لعام 2000.

وذلك ضمن مدى زمني يختاره المستثمر. كما ويقوم النظام بإخراج جداول قياسات مناخية ومخططات بيانية ستاتيكية بصورة ساعية ويومية وشهرية. ويبين الرسم التوضيحي 2 الواجهة الإفتتاحية للنظام والذي يمكن طلبه من خلال الصفحة المناخية لخدمة المعلومات على الشبكة الحاسوبية في المركز الثاني. وعلى سبيل المثال، يبين الجدول 1 التسجيلات المناخية الحدية والمجموعية والمتوسطات لأيام الأسبوع الثاني من شهر كانون الأول لعام 2000. أما بالنسبة للمخططات البيانية، فيبين الرسم التوضيحي 3 تسجيلات 24-h لأعلى درجة حرارة للهواء وإجمالي الهطول لكل ساعة بين يومي 12-2000/12/13. ويبين الرسم التوضيحي 4 المخططات البيانية للقياسات المناخية الحدية المسجلة في أسبوع.

المراجع REFERENCES

[1] Sensors' Instruction Manuals, Campbell Scientific,Inc. 1997.

[2] Standard for determining meteorological information at nuclear power sites, Ammerican Nuclear Society, ANSI/ ANS-2.5-1984.

[3] CR10x Datalogger: Overview and instruction manual. Campbell Scientific, Inc. 1998.

[4] Atmospheric stability evaluation based on net radiation for applications in dose estimation, Bulletin of radiation protection, Jul-Dec 1991, V. 14(3-4). P27-30.

[5] Meteorological reports for ICARDA experiment stations in syria and Lebanon, 1991/1992.■

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

إزاحة الكادميوم من حمض الفسفور بواسطة الاستخلاص سائل – سائل بمذيب الـ TOPO في الكيروسين*

د. سعد الدين خرفان
مكتب التعدين المائي – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

يوجد الكادميوم في جميع أنواع الفسفات بتراكيز تتراوح بين 1 - 90 ppm. وأثناء هضم صخر الفسفات بواسطة حمض الكبريت المرَكّز ينتقل بين 70-80% وزناً من الكادميوم إلى حمض الفسفور بينما يتخلف 20-30% وزناً في الفسفوجيبسوم الصلب. ومن حمض الفسفور ينتقل الكادميوم إلى الأسمدة الفسفاتية. وقد تسبب وجود 1 ملغ/ لتر من الكادميوم في الماء في حدوث مرض العظام عرف باليابانية باسم itai-itai. وتسعى معظم القوانين البيئية إلى تخفيض نسبة الكادميوم في الأسمدة الفسفاتية باستمرار.

وقد أجريت عدة بحوث لتخفيض نسبة الكادميوم في حمض الفسفور. واستخدم بعض هذه البحوث المبادلات الأيونية. كما استخدم بعضها الآخر مذيبات قلوية مثل ثلاثي أكتيل الأمين TOA. واستخدم كثير من البحوث مذيبات فسفوعضوية معروفة مثل Cyanex 302.

درست هذه الورقة استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور بواسطة المذيبات الفسفوعضوية حيث جرب الـ TBP والـ D2EHPA والـ TOPO في الكيروسين. وقد وجد أن المذيب الأفضل هو الـ TOPO في الكيروسين. وتبين أن الاستخلاص يزداد بشكل كبير بزيادة تركيز أيون الكلور Cl^- ويتناقص بشكل طفيف مع زيادة درجة الحرارة كما أنه يزداد مع زيادة تركيز المذيب. وقد وجد أن زيادة تركيز الكادميوم تؤدي إلى نقص الاستخلاص مع بقاء تركيز الكلور ثابتاً. وكذلك فإن استخلاص الكادميوم يزداد بزيادة تركيز حمضي أكسيد الفسفور وبقاء تركيز الكلور ثابتاً.

الكلمات المفتاحية: كادميوم، استخلاص، حمض الفسفور، توبو.

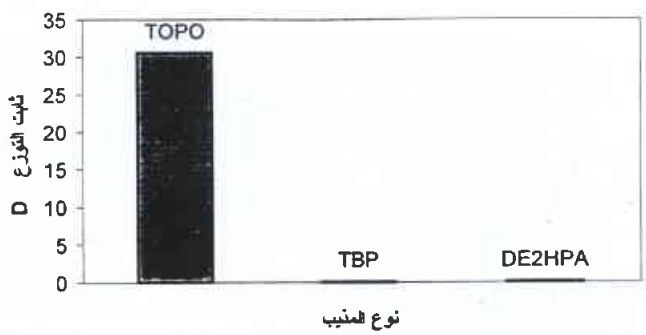
مقدمة

يوجد الكادميوم في جميع أنواع الفسفات ولكن بتراكيز مختلفة. حيث يتراوح تركيزه بين 1 إلى 90 ppm. وهو مسؤول عن مرض يصيب العظام سمي باليابانية itai-itai. وقد تسبب وجود 1 ملغ/ لتر من الكادميوم في الماء حدوث هذا المرض. ويتعزز هذا التأثير إذا ترافق وجوده مع الزنك والنحاس حيث يزداد إلى عدة أمثال. وأثناء تصنيع حمض الفسفور بالطريقة الرطبة ينتقل معظم الكادميوم من الفسفات إلى الحمض ومنه بعد ذلك إلى الأسمدة الفسفاتية. ويتبقى بحدود 20% منه تقريباً في الفسفوجيبسوم. وتختلف نسبة التوزع بين الحمض والفسفوجيبسوم بحسب شروط التشغيل في مفاعل حمض الفسفور وبحسب الطريقة المستخدمة وبحسب طبيعة الفسفات الخام. وقد وجد أن زيادة مركبات الكلور تؤدي إلى زيادة انتقاله إلى الحمض. وفي حمأة حمض فسفور بتركيز 30% P_2O_5 وزناً وجدت تراكيز مرتفعة من الكادميوم. وتنص معظم القوانين البيئية على أن لا يتجاوز الحد الأعلى للكادميوم 20 ppm في الأسمدة الفسفاتية، إذ أن الكادميوم في السماد ينحل بالماء ومن ثم يتنقل إلى الغذاء.

النتائج والمناقشة

اختيار المذيب الفسفوعضوي المناسب

أجريت تجربة لاستخلاص الكادميوم بواسطة المذيبات الفسفوعضوية الأكثر شيوعاً مثل TBPو TOPO و DEHPA في الكيروسين. مُثّلَتْ النتائج في الشكل 1 الذي يُظهر أن المذيب TOPO هو الأقوى لاستخلاص الكادميوم من حمض الفسفور بوجود أيون الكلور.



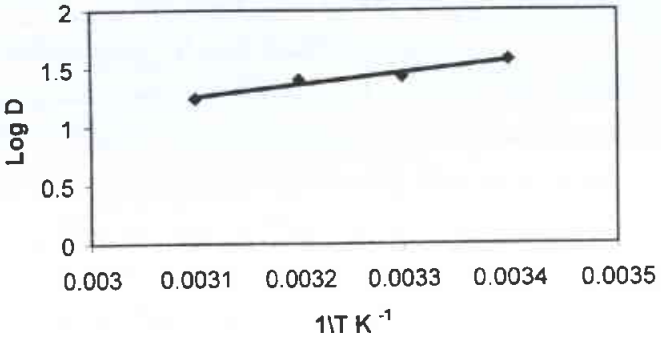
الشكل 1– تأثير نوع المذيب على ثابت التوزع D.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أجريت في مكتب التعدين المائي – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

تأثير درجة الحرارة على استخلاص الكادميوم

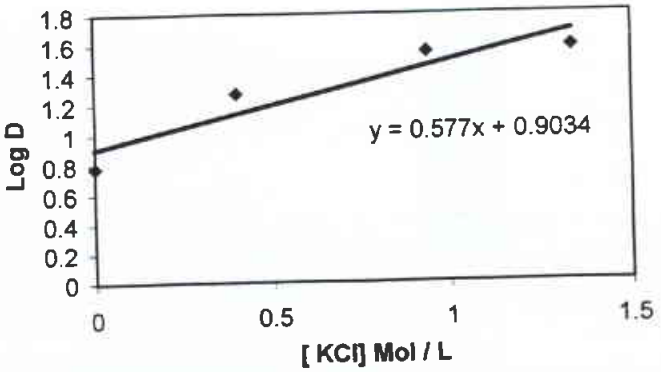
أجريت تجربة على حمض فسفور محضر مخبرياً واستخدمت درجات حرارة مختلفة (20 و30 و35 و 46 °م). مُثِّلَتْ النتائج من هذه التجربة في الشكل 2 على شكل لوغاريتم ثابت التوزع Log D بدلالة مقلوب درجة الحرارة بالكلفن 1/T. ومن الشكل يتبين أن العلاقة هي على شكل خط مستقيم ميله E/R = 0.6306- ويمكن من هذه العلاقة حساب طاقة التنشيط E = -5.24 J/mol. ومن هذه العلاقة نستنتج أن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر سلبياً على استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور ضمن هذه الشروط.



الشكل 2- تأثير درجة الحرارة على ثابت التوزع D.

تاثير تركيز أيون الكلور على استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور

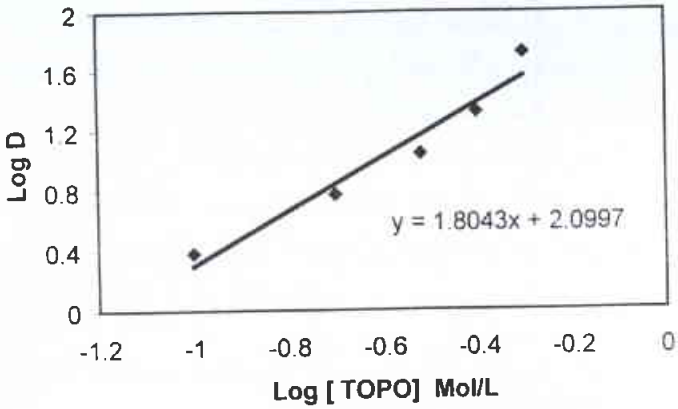
أجريت تجربة على استخلاص الكادميوم من حمض فسفور محضر مخبرياً وغُيِّرَ تركيز الكلور في الحمض من 0 إلى 100 غ/ لتر. مُثِّلَتْ النتائج في الشكل 3 على شكل لوغاريتم ثابت التوزع Log D بدلالة تركيز أيون الكلور على شكل Log [Cl-] مول/ لتر. ونجد من الشكل أن العلاقة هي على شكل خط مستقيم وأن ميل هذا الخط = 0.58. ومنه نستنتج أن استخلاص الكادميوم من وسط حمض الفسفور يتم بشكل أفضل بوجود وسط كلوري. ويعود السبب إلى تشكيل أيون الكلور لمعقدات مع الكادميوم قابلة للاستخلاص كما تبين لباحثين آخرين [2، 5].



الشكل 3- تأثير تركيز KCl على ثابت التوزع D.

تأثير تركيز المذيب TOPO في الكيروسين على استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور

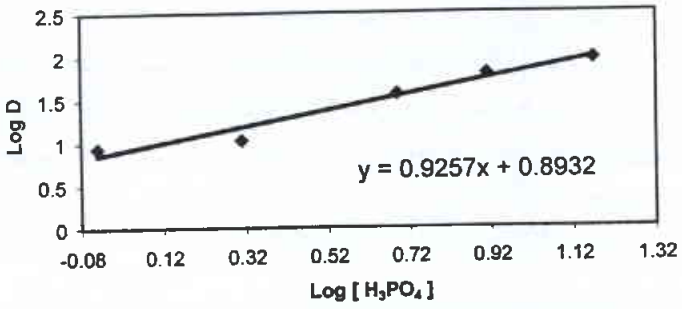
أجريت تجربة على استخلاص الكادميوم من حمض فسفور مخبري واستخدم مذيب الـ TOPO بتراكيز 0.5 و0.4 و0.3 و0.2 و0.1 مول/ لتر في الكيروسين. مُثِّلَتْ النتائج في الشكل 4 على شكل لوغاريتم ثابت التوزع Log D مقابل الـ [TOPO] مول/ لتر. والمنحني الناتج عبارة عن خط مستقيم ميله = 1.8. ومن هذا الخط يتبين أن زيادة تركيز الـ TOPO في الكيروسين تؤثر إيجابياً على استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور السوري. كما تبين أن جزيئين من المذيب TOPO يشتركان في تفاعل الإذابة.



الشكل 4- تأثير تركيز المذيب TOPO على ثابت التوزع D.

تأثير تركيز P_2O_5 على استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور

أجريت تجربة لمعرفة تأثير حمض الفسفور على استخلاص الكادميوم منه حيث غيرت تراكيز P_2O_5 من 14% وزناً إلى 50% وزناً. وقد مُثِّلَتْ هذه النتائج على شكل Log D بدلالة Log $[H_3PO_4]$ في منحن على الشكل 5. الناتج عبارة عن خط مستقيم ميله 0.9. ومنه نجد أن زيادة تركيز حمض الفسفور يؤدي إلى تشكيل معقدات مع الكادميوم تزيد من فرص تفاعله مع المذيب TOPO وبالتالي تزيد من استخلاصه.



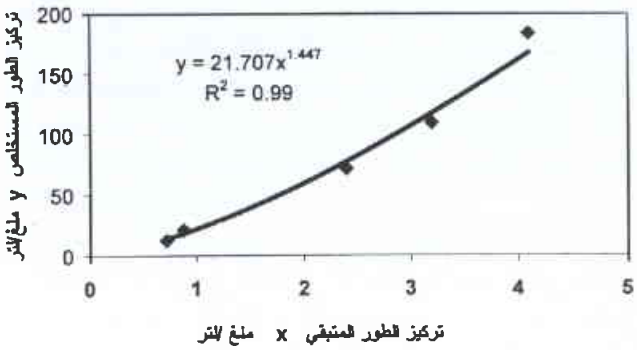
الشكل 5- تأثير التركيز المولي لحمض الفسفور على ثابت التوزع D.

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

منحني الاستخلاص ثابت الحرارة Isotherm

أجريت عدة تجارب لحساب منحني الاستخلاص عند درجة حرارة ثابتة 20 °م. مُثِّلَتْ النتائج في الشكل 6. ويبين المنحني الناتج منحني الاستخلاص ثابت الحرارة (20 °م) عند هذه الشروط. ويمكن وضع هذه العلاقة على الشكل الأنسب التالي:

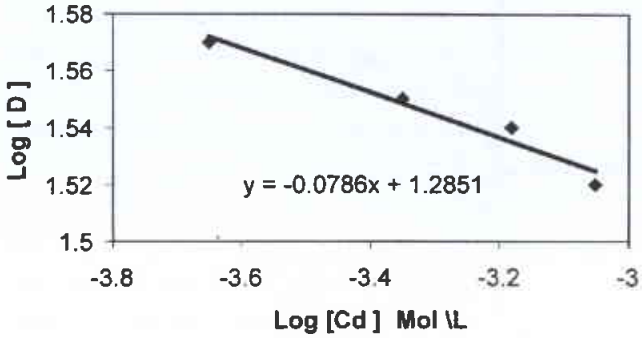
$$Y = 21.7\ X^{1.447}$$



الشكل 6– أيزوثيرم منحني استخلاص الكادميوم بتركيز KCl 100 g/l.

تأثير تغير تركيز الكادميوم على استخلاص الكادميوم من حمض الفسفور

أجريت تجربة لمعرفة تأثير تركيز الكادميوم على استخلاصه من حمض الفسفور ومُثِّلَتْ هذه النتائج في الشكل 7 على شكل Log D بدلالة تركيز الكادميوم Log [Cd] ملغ/ لتر. والناتج عبارة عن خط مستقيم ميله = -0.07. ومنه نستنتج أن زيادة تركيز الكادميوم مع بقاء تركيز أيون الكلور ثابتاً لا تؤدي إلى زيادة الاستخلاص بل على العكس فإنها تؤثر سلباً بشكل طفيف على استخلاصه من حمض الفسفور.■



الشكل 7– تأثير تغير تركيز الكادميوم على ثابت التوزع D.

معامل الهضم والقيمة الطاقية لبعض المخلفات الزراعية نتيجة تأثير أشعة غاما والمعاملات الكيميائية*

د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

أجريت التجارب لدراسة التغيرات في قيم معامل الهضم الظاهري للمادة العضوية في الزجاج (IVOMD) والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) لتبن القمح وقشرة بذرة عباد الشمس وخشب تفل الزيتون وبذور ثمار النخيل وقشرة الفول السوداني بعد معاملتها بالرش بتراكيز مختلفة من حمض هدروبروميك (HBr) وهدروكسيد الصوديوم (NaOH) (0، 3، 6 مل HBr و 3، 6 غ NaOH/ 25 مل ماء/ 100 غ مادة جافة) أو بعد تعرضها إلى جرعات مختلفة من أشعة غاما (0، 20، 40، 60 كيلو غراي). أشارت النتائج إلى أن المعاملتين الكيميائيتين HBr أو NaOH أدتا، وبشكل مؤكد إحصائياً ($P<0.05$)، إلى زيادة قيم IVOMD و ME و NEL للمخلفات الزراعية المعتبرة كافة باستثناء بذور ثمار النخيل حيث انخفضت تلك القيم. واختلفت المخلفات الزراعية في معدل استجابتها للمعاملتين الكيميائيتين بتراكيزهما المختلفة، بمعنى أن الزيادات في قيم IVOMD و NEL الناجمة عن تأثير هاتين المعاملتين لم تكن متماثلة. وكانت التغيرات في المعايير المدروسة على أشدها عند استخدام المعاملتين الكيميائيتين بالتركيز 6%. ولم يلاحظ تأثير مؤكد إحصائياً ($P<0.05$) للتشعيع على قيم IVOMD و ME و NEL للمخلفات المعاملة كافة. كما لم تؤثر إحصائياً المعاملة المشتركة بالتشعيع وبهدروكسيد الصوديوم أو حمض هدروبروميك على قيم IVOMD و ME و NEL مقارنة مع المعاملات الكيميائية المنفردة.

الكلمات المفتاحية: مخلف، معامل هضم، طاقة، كيميائية، تشعيع.

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مقدمة

تشكل المخلفات الزراعية نسبة عالية من الكتلة الحيوية، وإن استخدامها وتدويرها هام من وجهة نظر اقتصادية وبيئية. تحتوي هذه المخلفات على نسبة عالية من المواد اللغنوسلّولوزية المنخفضة في معامل هضمها وقيمتها الغذائية وطاقتها الهضمية. تم تطبيق المعاملات الكيميائية والفيزيائية لرفع القيمة الغذائية للمخلفات الزراعية اللغنوسلّولوزية. استخدمت المعاملة بجرعات عالية من أشعة غاما لخفض مكونات الجدار الخلوي في بعض المخلفات الزراعية. وأدت المعاملة المشتركة باستخدام جرعات عالية من أشعة غاما (200 كيلو غراي) والمعاملة باليوريا إلى ارتفاع معدل الزيادة في قيم الطاقة الهضمية لبعض المنتجات الزراعية الثانوية مقارنةً مع المعاملة المنفردة الكيميائية. وإن الكلفة المرتفعة للجرعة العالية (200 كيلو غراي) يمكن أن تكون عاملاً محدداً لاستخدام هذه التقانة. الغرض من العمل الحالي دراسة التغيرات في قيم معامل هضم المادة العضوية في الزجاج والطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب في بعض المخلفات الزراعية تحت تأثير جرعات منخفضة نسبياً من أشعة غاما (20-60 كيلو غراي) والمعاملة بحمض هدروبروميك أو بهدروكسيد الصوديوم كمحاولة لرفع قيمتها الغذائية.

نتائج ومناقشة

تمت معاملة عينات من تبن القمح (WS)، قشرة بذرة عباد الشمس (SSS)، خشب تفل الزيتون (OCW)، بذور ثمار البلح (DPS) وقشرة الفول السوداني (PS) وخشب تفل الزيتون (الجزء المتبقي عن نخل تفل الزيتون قطر ثقوبه 2.5 مم للحصول على عجينة تفل الزيتون) بتراكيز مختلفة من محلول حمض هدروبروميك (HBr 47%) أو هدروكسيد الصوديوم (NaOH)، 6.30 مل HBr و 6.3 غ NaOH/ 25 مل ماء/100 غ مخلف كمادة جافة). وضعت العينات المعاملة كيميائياً في أكياس نايلون مغلقة وشععت بجرعات 0، 20، 40، 60 كيلو غراي بأشعة غاما ^{137}Cs (خلية غاما) وبمعدل جرعة 2.91 كيلو غراي في الساعة، تحت الشروط نفسها من الحرارة والرطوبة. حضنت العينات على درجة 39 مئوية مع سائل الكرش ومزيج من محلول وسيط في سيرينغات زجاجية لحساب معامل الهضم الظاهري للمادة العضوية في الزجاج (IVOMD) والطاقة الاستقلابية ME والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) عن طريق تقدير حجم الغاز الناتج عن تخضين العينات المدروسة إضافةً إلى تقدير مكوناتها الغذائية. جمع سائل الكرش من ثلاث كباش (عرق العواس) مزود كل منها بناسور كرشي. أشارت النتائج إلى وجود زيادات معنوية ($P<0.05$) في قيم معامل هضم المادة العضوية لكافة العينات المعاملة بحمض هدروبروميك (HBr) أو هدروكسيد الصوديوم (NaOH)، ما عدا بذور ثمار البلح. وتم الحصول على أعلى زيادة في قيم IVOMD عند المعاملة بـ HBr 6% وبلغت 18% (WS) و 21% (SSS) و 43% (OCW) و 14% (PS)، وكانت الزيادات عند المعاملة بـ NaOH 6%: 21% (WS) و 25% (SSS) و 19% (OCW) و 20% (PS). لم يلاحظ وجود تأثير مؤكد إحصائياً للمعاملة بأشعة غاما (20-60 كيلو غراي) على معامل الهضم الظاهري وعلى قيم الطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب. كما أن المعاملة المشتركة للتشعيع مع HBr أو مع NaOH لم ترفع بشكل مؤكد إحصائياً من معدلات الزيادة في قيم معامل الهضم والطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب مقارنةً مع المعاملة الكيميائية المنفردة.

لوحظ ارتفاع مؤكد إحصائياً ($P<0.05$) في قيم الطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب في العينات المعاملة بـ HBr أو NaOH كافة، باستثناء بذور ثمار البلح. ولم تستجب المخلفات الزراعية التجريبية للمعاملات الكيميائية بنفس المستوى من حيث الزيادة المتحصل عليها في قيم الطاقة الاستقلابية والطاقة الصافية لإنتاج الحليب. وكانت التغيرات في قيم ME و NEL نتيجةً لتأثير المعاملات الكيميائية بـ HBr أعلى من المعاملات بـ NaOH، وكما كانت التغيرات في المعايير المدروسة على أعلاها نتيجةً للمعاملات الكيميائية بتركيز 6%. ولم تستطع المعاملة المشتركة باستخدام جرعات منخفضة من أشعة غاما (20-60 كيلو غراي) مع هدروكسيد الصوديوم أو حمض هدروبروميك من زيادة معدلات الارتفاع في قيم ME وNEL للمخلفات الزراعية المدروسة، مقارنةً مع المعاملات الكيميائية المنفردة.

إن الزيادات الملاحظة في المعايير المدروسة للمواد المعاملة بـ HBr أو NaOH يمكن أن تعود إلى الانخفاض في مكونات الجدار الخلوي مما أدى غالباً إلى زيادة في أشكال المواد الكربوهيدراتية الذاتية السهلة الهضم. كذلك، أشارت النتائج أن قيم IVOMD و ME و NEL ترتبط بشكل سلبي مع تراكيز الألياف الخام (CF)($r=-0.92, r=-0.90, r=-0.87$) ومع قيم ألياف المنظف المتعادل ($r=-0.96, r=-0.94, r=-0.91$) على التوالي. عند المعاملة بالقلوي، يصبح مركبا اللغنين والهميسلّولوز ذائبين كما يتضخم مركب السلّولوز. إن الاستجابة للمعاملات الكيميائية مرتبطة بنوع المخلفات المعاملة وطبيعة المواد اللغنينية وإلى كميات السلّولوز واللغنين في المخلف. وجد أن المعاملات الكيميائية لم تستطع رفع قيم ME وNEL في المخلف الزراعي على كميات منخفضة جداً من المواد اللغنوسلّولوزية كما هو الحال في بذور ثمار البلح (DPS). يتبع حمض هدروبروميك إلى مجموعة الهالوجينات الحامضية والتي يمكن أن يكون لها فعل أعلى من مجموعة القلويات على الجدران الخلوية. وبذلك فإن الزيادات في قيم ME وNEL نتيجةً للمعاملة بـ HBr كانت أعلى نسبياً من المعاملة بـ NaOH.

لم تتمكن المعاملة بالتشعيع (20-60 كيلو غراي) للمخلفات الزراعية المدروسة من رفع قيم ME وNEL ويمكن أن يعود ذلك إلى القدرة الضعيفة لجرعات التشعيع المنخفضة نسبياً في تحطيم المواد اللغنوسلّولوزية. إن الزيادات في قيم معامل هضم المادة العضوية و الطاقة الاستقلابية و NEL في المعاملات المشتركة يمكن أن تعود بشكل رئيس إلى تأثير المعاملات الكيميائية حيث لم يلاحظ وجود تأثير التشعيع بجرعات منخفضة على المعايير المدروسة. إن المعاملة بهدروكسيد الصوديوم أقل كلفةً وأكثر أماناً للاستخدام من قبل العمال مقارنةً مع حمض هدروبروميك. وينصح بمعاملة المخلفات الزراعية الغنية بالمواد اللغنوسلّولوزية بهدروكسيد الصوديوم واستخدامها في تغذية المجترات، حيث تعمل على تحسين الوضع التغذوي للحيوانات في المناطق الجافة وشبه الجافة والتي تفتقر إلى المراعي والمصادر العلفية نظراً لقلة الموارد المائية فيها. إن خشب تفل الزيتون قيمة غذائية منخفضة جداً ولا ينصح باستخدامه كمادة علفية. بينما لبذور ثمار البلح معامل هضم وطاقة استقلابية مرتفعان وينصح باستخدامها في تغذية المجترات بعد جرشها وتكسيرها، دون الحاجة إلى تطبيق أية معاملة إضافية.■

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

تقدير الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في زراعة مختلطة من السيسبان Sesbania aculeata وذرة السورغوم العلفية Sorghum باستعمال تقانة الآزوت ^{15}N
1: دراسة حقلية في ظروف غير مالحة*

د. فواز كرد علي، د. خلف خليفة، د. مصدق جانات
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

أجريت تجربة حقلية في ظروف غير مالحة على السيسبان وذرة السورغوم العلفية المزروعين بشكل منفرد وبشكل مختلط بنسب (1 :1، 1:2، 2:1) لتقدير إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي إضافة إلى تقدير نسب وكميات الآزوت المثبت والآزوت الممتص من التربة ومن السماد باستعمال طريقة التخفيف النظيري لنظير الآزوت ^{15}N. ازدادت النسب المئوية للآزوت المثبت في نباتات السيسبان عند اتباع أسلوب الزراعة المختلط بالمقارنة مع أسلوب الزراعة المنفرد للسيسبان. نجمت هذه الزيادة رئيسياً من انخفاض مقدرة السيسبان على امتصاص آزوت التربة، نتيجة المنافسة الحادة مع ذرة السورغوم، وبالتالي زيادة اعتماد السيسبان على الآزوت الجوي لسد احتياجاته من هذا العنصر. انخفضت الحدة التنافسية على امتصاص آزوت التربة بين السيسبان والذرة عند زراعتهما بشكل مختلط في المعاملة التي حوت خطين سيسبان وخط ذرة بحيث امتص النوعان النباتيان كميات متساوية من آزوت التربة والسماد. لقد أظهرت هذه الدراسة أن اتباع أسلوب الزراعة المختلط للسيسبان والذرة بنسبة 2: 1 مناسبة من حيث كمية الآزوت الكلي، وقيمة LER للآزوت الكلي، والآزوت المثبت إضافة إلى التوازن الحاصل في امتصاص آزوت التربة بين المحصولين.

الكلمات المفتاحية: السيسبان، ذرة السورغوم، زراعة مختلطة، تثبيت الآزوت الجوي.

مقدمة

يعتبر اتباع أسلوب الزراعة المختلط للنباتات البقولية والنباتات النجيلية من أساليب الزراعة المتبعة في العديد من دول العالم. بين عدد من الباحثين أهمية هذا الأسلوب من الزراعة من حيث زيادة إنتاج المادة الجافة وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي ورفع كفاءة استثمار الأراضي الزراعية إلى الدور الإيجابي لمخلفات النباتات في التغذية الآزوتية للمحاصيل اللاحقة. لقد بينت بعض الدراسات أهمية زراعة ذرة السورغوم بشكل مختلط مع أنواع مختلفة من النباتات البقولية، ولا توجد أي دراسات سابقة حول زراعة السيسبان مع ذرة السورغوم، وبالتالي يعد هذا العمل جديداً لتقييم سلوك هذين النوعين النباتيين في نظام الزراعة المختلط، بحيث تهدف إلى تقييم الزراعة المختلطة لنبات السيسبان وذرة السورغوم العلفية المزروعين بنسب مختلفة، وذلك من حيث إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي وكفاءة استعمال الأرض وتثبيت الآزوت الجوي بالمقارنة مع الزراعة المنفردة لهما، إضافة إلى تقييم حدة المنافسة بين الأنواع المدروسة في امتصاص آزوت التربة.

المواد والطرائق

جرت التجربة في تربة غير مالحة باستعمال المعاملات التالية: ذرة السورغوم العلفية (زراعة منفردة) سيسبان (زراعة منفردة)، زراعة مختلطة من السيسبان والذرة (سطر سيسبان وسطر ذرة، سطران سيسبان وسطر ذرة، سطر سيسبان وسطران ذرة). استعملت تقنية التخفيف النظيري ^{15}N لتقدير مصادر الآزوت المختلفة (تثبيت، سماد، تربة) في النبات.

النتائج والمناقشة

يُعد هذا البحث أول دراسة تتطرق إلى نظام زراعة مختلطة لنبات السيسبان وذرة السورغوم العلفية، حيث بينت النتائج ما يلي:

1 – تراوحت كميات الآزوت المثبتة في السيسبان، خلال الفترة الكاملة للتجربة، من 77 حتى 105 كغ N/ هـ، ولكن لم تلاحظ فروق معنوية في كميات الآزوت المثبتة بين مختلف المعاملات على الرغم من تفوق المعاملة (2 سيسبان: 1 سورغوم) على بقية المعاملات الأخرى. أما من حيث النسب المئوية للآزوت المثبت فقد كانت مرتفعة في السيسبان المختلط مقارنة مع السيسبان المنفرد، حيث بلغت القيم 39، 62، 83

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أنجزت في قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

و90% في السيسبان في المعاملة المنفردة والمعاملات المختلطة (2 سيسبان: 1 سورغوم، 1 سيسبان: 1 سورغوم، 1 سيسبان: 2 سورغوم) على التوالي. يعود السبب في زيادة النسب المئوية للآزوت المثبت في نباتات السيسبان في الزراعة المختلطة مقارنة بالمنفردة إلى انخفاض مقدرة السيسبان على امتصاص آزوت التربة، نتيجة المنافسة الحادة مع ذرة السورغوم، وبالتالي زيادة اعتماد السيسبان على الآزوت الجوي لسد متطلباته من هذا العنصر.

2 - كانت حدة المنافسة، بين النوعين، على امتصاص آزوت التربة مرتفعة في المعاملتين (سطر سيسبان وسطر ذرة) و(سطر سيسبان وسطران ذرة) في حين انخفضت الحدة التنافسية على امتصاص آزوت التربة بين السيسبان والذرة عند زراعتهما بشكل مختلط في المعاملة التي حوت خطين سيسبان وخط ذرة بحيث امتص النوعان النباتيان كميات متساوية من آزوت التربة والسماد.

3 - لم يلاحظ وجود احتمال لانتقال الآزوت من السيسبان إلى الذرة في معاملات الزراعة المختلطة كافة.

4 - يُعد اتباع أسلوب الزراعة المختلط السيسبان والذرة بنسبة 2: 1 مناسباً من حيث كمية الآزوت الكلي، قيمة LER للآزوت الكلي، والآزوت المثبت إضافة إلى التوازن الحاصل في امتصاص آزوت التربة بين المحصولين.■

دراسة خلية ليثولوجية صنعية لحجز النورم النفطي المطروح بجوار حقول النفط السورية★

محسن علي موسى
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية - 6091 -.دمشق - سورية.

ملخص

حددت في هذه الدراسة نوعية ومواقع واحتياطي الغضاريات (الطين) وبعض الصخر والحصى في القطر، وإمكانية استخدامها في صنع خلية ليثولوجية كحاجز جيولوجي طبيعي، طبقاً لإحدى الخيارات البديلة المعمول بها دولياً، بهدف التخلص النهائي من نفايات النورم (NORM) النفطية طويلة عمر النصف وضعيفة السوية الإشعاعية، كون حاجز كهذا يخدم بيئياً وبأمان لعشرات آلاف السنين عبر طبقاته المتعددة.

الكلمات المفتاحية: غضار، صخر، حصى، خلية ليثولوجية، نفايات النورم النفطية، بيئة.

مقدمة

إن الحلول القاضية بالتخلص من نفايات النورم (NORM) النفطية معقدة جداً وتنطوي على عتبة إحصائية لمشاكل فنية واجتماعية يمكن أن تستمر لآلاف السنين. فعلى سبيل المثال يبلغ عمر النصف للراديوم Ra^{-226} 1602 سنة. فينبغي لذلك أن تتضمن خطط التخلص النهائي من هذه النفايات ذات التركيز الإشعاعي المنخفض من الراديوم Ra^{-226} (حيث تقع عادة ضمن المجال 2-75 بكريل/غ) [API, 1992] مسؤولية كبيرة تتعلق بتقديم حماية للإنسان والبيئة، وذلك بالاعتماد على التنبؤات طويلة الأمد في حساب تقدير تحليل الأمان لمواقع التخلص النهائية. وتعتبر مشكلة النفايات الطبيعية المشعة (NORM) النفطية من المشاكل الحديثة نسبياً، بسبب التعرف والتنبه المتأخر لها، وكان ذلك وللمرة الأولى في بحر الشمال (أوائل الثمانينيات من القرن المنصرم نتيجة أعمال صيانة للمعدات النفطية)، ولاحقاً في مواقع إنتاجية للنفط في الولايات المتحدة الأمريكية وتتابع هذا تدريجياً في جميع الدول المنتجة للنفط. فالخيارات المعتبرة من أجل التخلص من هذه النفايات تعتمد بشكل رئيس على كمية النورم، وعلى سوية النشاط الإشعاعي لها. فهناك بدائل عدة يمكن تطبيقها، كل على حدة، للتخلص من نفايات النورم النفطية الرئيسة ذات الأصناف الثلاثة، المياه المنتجة مع النفط والرواسب الحرشفية ورواسب الحمأة (طين ووسخ مترسب).

إلا أن المياه المنتجة مع النفط تسببت في تلوث التربة السطحية في مواقع عدة لإنتاج النفط السوري، وذلك لعدم إعادة حقن المياه المنتجة مع النفط آنذاك في التشكيلات الجيولوجية العميقة ثانية أو في حواملها النفطية الأم بعيداً عن المياه الجوفية. مما يستدعي وضع خطة إلى تلافي الأخطار التي سينتج عنها تلوث المياه الجوفية، وتعرض الإنسان والبيئة في المنطقة لخطر التلوث الإشعاعي المباشر، مع العلم أن حوادث التلوث هذه لن تتكرر ثانية، نتيجة لإجراءات مسؤولة أوعزت باستخدام تقنية إعادة المياه المنتجة مع النفط بحقنها إلى التشكيلات الجيولوجية العميقة ثانية، وعدم إلقائها على السطح.

وحتى يتم التمكن من معالجة الوضع الحرج الحالي في مواقع التربة الملوثة، يقترح الاستفادة من استخدام تقنية التغطية بالحاجز الطبيعي

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مكتبية أنجزت في قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

(الحاجز الجيولوجي) المعمول بها دولياً، كي لا تحدث عملية التلوث المباشر على السطح أو الانحلال (الخطرة) من جراء انتقال الراديوم Ra^{-226} عبر المياه الجوفية إلى الغلاف الحيوي للأرض. ويتألف جدار الخلية الليثولوجية النموذجية (خصائص صخرية) بشكل عام من طبقات متتالية من مواد جيولوجية طبيعية، مثل الغضار (الطين) والصخر والحصى والتربة النظيفة من التلوث الإشعاعي والعدسة (الحصى الناعم)، لتشكل حاجزاً طبيعياً يحول دون نفوذ مياه الرشح - من جميع الجوانب - إلى طبقة التربة الملوثة.

لذا تعتبر مسألة دراسة صلاحية المواد الداخلة في عملية هندسة الخلية الليثولوجية، مثل الغضار والصخر والحصى المناسبة والصالحة، من الأعمال الهامة والرئيسة في مشروع حصر التربة الملوثة في القطر.

نتائج ومناقشة

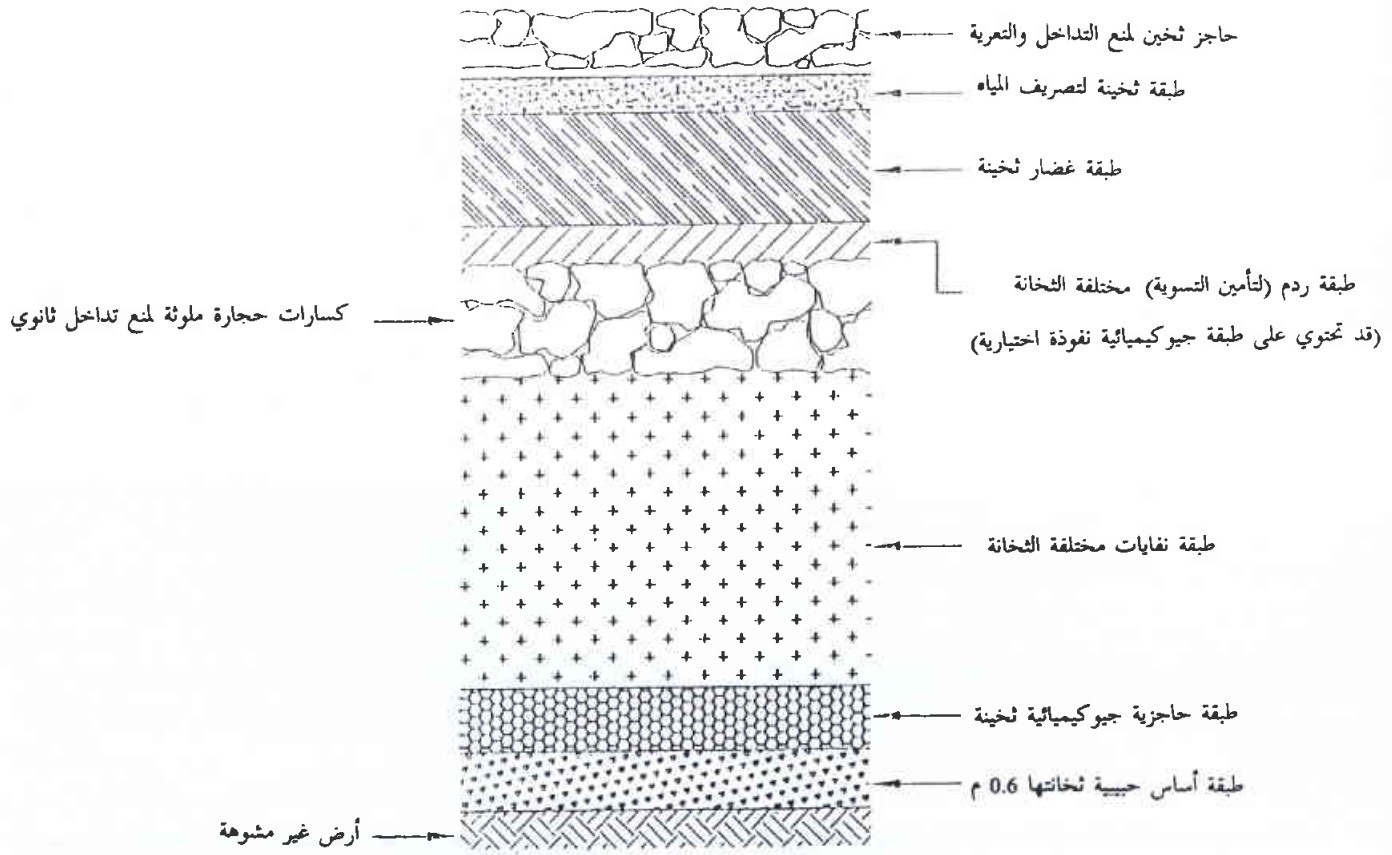
تهدف هذه الدراسة بشكل رئيس إلى تقديم اقتراح أولي يفيد في التمكن من حصر التربة الملوثة بالراديوم Ra^{-226} في القطر بطريقة التغطية بالحاجز الطبيعي (الحاجز الجيولوجي) المعمول به دولياً للتخلص النهائي من نفايات النورم بأنواعها.

يدخل في إطار هذا العمل الاستشاري مقاييس هامة من شأنها العمل للوصول إلى اختيار خلية نموذجية فنية تتناسب مع الوضع الراهن للتربة الملوثة، الشكل 1. حيث يتطلب الأمر بالدرجة الأولى منع إمكانية تسرب المياه السطحية أو الجوفية إلى طبقة النفايات المشعة (التربة الملوثة) عبره وقدرته على عزلها من عوامل التعرية والتجوية ولفترات زمنية كافية لاضمحلال الراديوم Ra^{-226} إلى عمر النصف لتتجاوز آلاف السنين، مع تحديد نوعية ومواقع واحتياطي الغضاريات والحصى والصخر المناسب في بناء هذه الخلية، الشكل 2. مع التنويه إلى أن أراضي القطر تفتقر إلى بعض الصخور النارية مثل الغرانيت، مما يجعل استخدام الصخور والحصى البازلتية والكلسية والكلسية الدولوميتية بديلاً حتمياً لتلك.

كما وأنه بشكل عام تزداد درجة العزل مع ازدياد عمق الدفن والبدائل المعمول بها دولياً مرتبة حسب تسلسل ازدياد درجة العزل وفقاً لسوية تركيزها، الشكل 3. فالأعمال الأولى التي يمكن التوصية بها لإنجاز هذا العمل الهام بنجاح تام، هي:

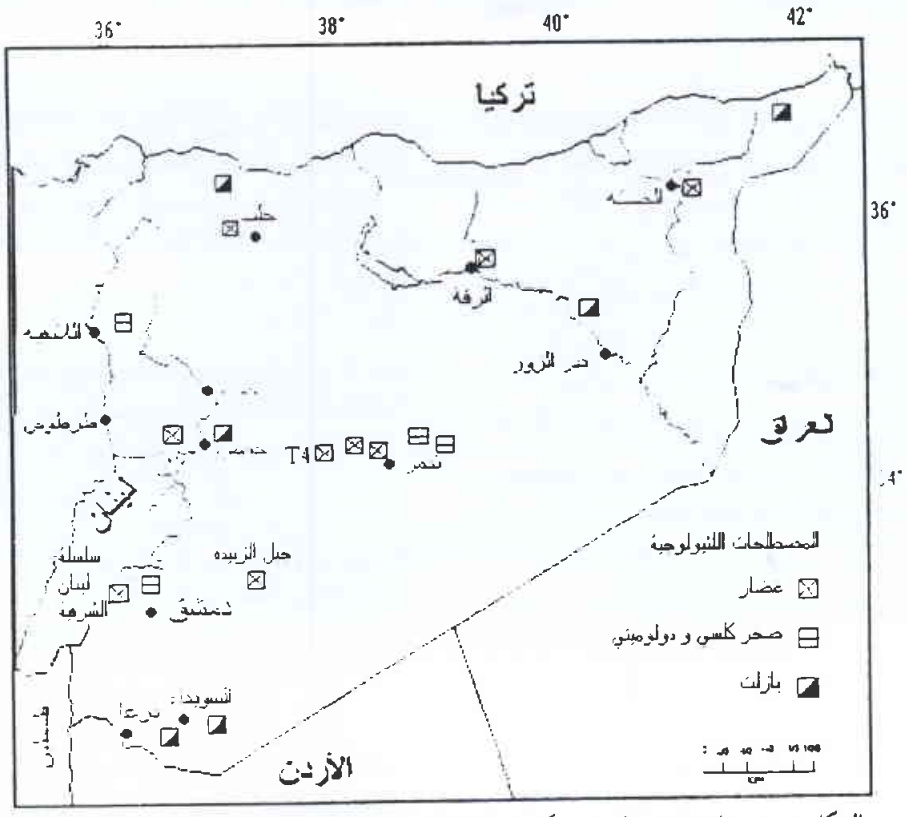
- الاعتماد على الخبرات والمعطيات المتوفرة عن مواقع التربة الملوثة من خلال مشاريع ودراسات جيولوجية وهدرولوجية سابقة.

- البدء في أقرب وقت ممكن بتنفيذ مهمات حقلية لإجراء الاختبارات اللازمة (حقلية وفي المخبر) للحصول على نتائج دقيقة وموثقة عن نوعية الغضار السوري في المواقع الاحتياطية والقريبة قدر الإمكان من مواقع التلوث، بغية دراسة خصائصه المسامية والنفوذية. حيث يقترح مبدئياً المواقع التالية: (T_4، منخفض حمص، الرقة). تقصّي مواقع تكشف الصخر والحصى المفترض أن تكون صالحة لتشكيل الخلية من حيث الخصائص الميكانيكية (الصلابة والمقاومة لعوامل التعرية والتجوية) ويقترح مواقع الصخور البازلتية المتكشفة في أقصى شمال شرق القطر وشمال

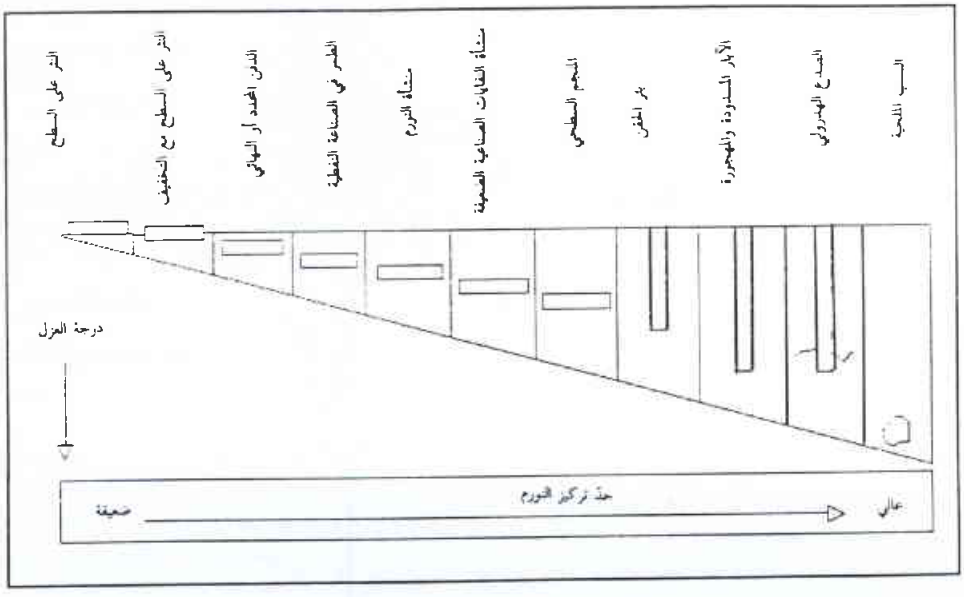


الشكل 1- مقطع لخلية ليثولوجية نموذجية صنعية

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



الشكل 2- توزع الغضاريات والصخور الكلسية والدولوميتية والبازلتية المقترح استغلالها في بناء الخلية الليثولوجية.



الشكل 3- درجة حصر نفايات التورم (NORM) وفقاً لسوية تركيزها. [Suhas Bodwadkar, 1992]

غرب دير الزور، والعائدة للعمر الرباعي والبيليوسين ومواقع الصخور الكلسية الدولوميتية في شمال شرق تدمر العائدة للعمر الجوراسي والكريتاسي.

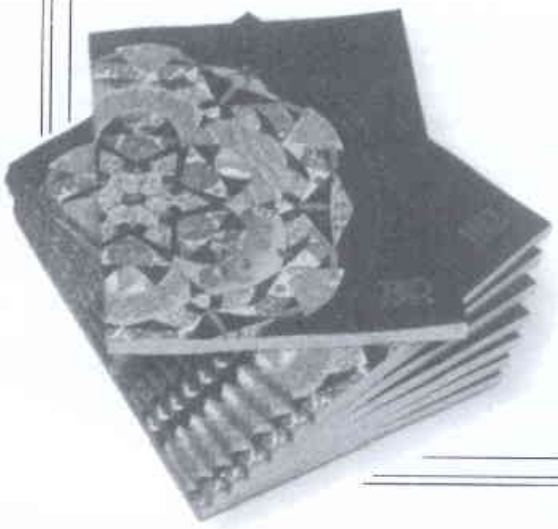
- تحديد مواقع صالحة لإنشاء مثل تلك الخلايا الصنعية عليها، حيث يقترح هنا أن تقام على تلال مرتفعة بعيداً عن مياه تجمع الأمطار والسيول وفي الأماكن النائية (البادية مثلاً).

- إنشاء نموذج/ موديل/ مصغر للخلية الفنية المقترحة لإمكانية تحديد سيرالعمل في المواقع بشكل مبسط ومنظم واطلاع الجهات المسؤولة على خطة العمل.

- مشاركة خبرات محلّية وأجنبية في تنفيذ هذا المشروع، وتكليف الخبرات المعنية بهذه التقانات فقط.■

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

كتب حديثة مختارة



1- فيزياء مكاشيف الجسيمات ★

The Physics of Particle Detectors

تأليف: د. غرين
عرض وتحليل: شلدون ل. ستون**

تعد مكاشيف الجسيمات ضرورية لمجال واسع من دراسات فيزياء الطاقة العالية سواء الكونية منها أو تلك المتعلقة بالمسرعات. فالمكاشيف تتيح لنا رؤية أجسام متنوعة مثل النترينوات neutrinos الوافدة إلينا من المستعرات الفائقة، ومن اضمحلال الميزونات mesons المحتوية على كواركات ثقيلة، إضافة إلى البوزونات المعيارية. كذلك، يمكن بواسطة مكاشيف الجسيمات تحقيق مكتشفات مستقبلية كبوزون هغز Higgs boson المفترض، إضافة إلى قياسات ذات أهمية حاسمة مثل انتهاك "شحنة اقتران الندية charge conjugation - parity (CP)" في اضمحلال ميزون B. مع ذلك، غالباً ما يجري تجاهل العلم الحقيقي الخاص بآليات عمل المكاشيف كما يجري، في كثير من الأحيان، التغاضي عن إجراء تدريب عام على تقانة المكاشيف. وكتاب دان غرين بعنوان "فيزياء مكاشيف الجسيمات" يبذل جهداً عظيماً كي يقدِّم، في مجلد واحد، جميع المقومات الأساسية اللازمة لاستيعاب أولي لآليات عمل معظم المكاشيف التي تستخدم في فيزياء الجسيمات.

وهذا الكتاب المنوه به موجه إلى طلاب الدراسات العليا وإلى باحثين آخرين في حقل فيزياء الجسيمات الأولية التجريبية. ويعد غرين، مؤلف الكتاب، القائد الذي أشرف على بناء مكشاف CMS لمصادم الهدرون الضخم، بروتون - بروتون، بطاقة 14 TeV لدى مختبر CERN. وتتألف المكاشيف على غرار CMS من مجموعات مكاشيف ثانوية عديدة subdetectors يعتمد كل منها على تقانة مختلفة ويوجد لكل منها وظيفة وحيدة. وهذا الكتاب، بدلاً من تركيزه على المعرفة المباشرة اللازمة لبناء منظومة محددة، يتفحص أسس الفيزياء وراء الجسيمات مع المادة وكيف يغدو ممكناً استغلال هذه التأثرات لإظهار بعض من خواص الجسيمات - ككتلتها واندفاعها الخطي، وطاقتها، على سبيل المثال.

"وفيزياء مكاشيف الجسيمات" كتاب مليء بالرؤى المتعمقة ويُعدّ أداة تثقيفية مفيدة. (فعلى سبيل المثال، استخدمت، في هذا الكتاب، طريقة هندسية لاستنتاج حقيقة أن سلم المقاطع العرضية النووية هو بمثابة العدد الذرّي مرفوعاً إلى القوة 2/3). كذلك، زُوِّد هذا الكتاب بالمسائل عند نهاية كل فصل منه بحيث أضحى ممكناً اعتباره الأساس لمقرر يدرّس في مدرسة صيفية مثلاً. وجرى أيضاً، في هذا الكتاب، تقديم نظرات عامة فيما يتعلق بكامل منظومات الكشف ووضع تمييز واضح ما بين القياسات اللاإتلافية (أو تلك التي تعد في أساسها لاإتلافية) ونبائط الامتصاص المخربة للجسيمات.

وفي هذا الكتاب، عولجت المادة التمهيدية بطريقة بدهية إلى حد ما دون اللجوء إلى اشتقاقات دقيقة جداً. وكان التوجه الأخير ناجحاً حيث يعلن المؤلف بصراحة أسلوبه هذا ثم يُحيلنا إلى توصيات أكثر دقة وصرامة. وقد اختلفت في نوعيتها بعض الأجزاء ضمن الفصول. فكانت ممتازة تلك الأجزاء التي عالجت مواضيع الإشعاع الانتقالي، والحقول المغنطيسية، ومقياسية كمية الحرارة الهدرونية والكهرطيسية؛ كما كان الشرح واضحاً لهذه المجالات مع تقديم أمثلة عليها. وقد تم بعناية شرح الفكرة الأساسية التي تفيد باعتماد الإشعاع الانتقالي على العديد من معابر الأوساط الرقيقة. وبشكل خاص، كانت المناقشات المتعلقة بمقياسية كمية الحرارة واضحة تماماً. أما الجزء المتعلق بإشعاع شيرنكوف فقد عولج بشكل أقل جودة مما سبق. فمن حيث المبدأ، فُقِدت الاختلافات ما بين العتبة ونبائط التصوير الحلقي؛ كما لم تناقش مصادر الخطأ المتعلقة بنصف القطر الحلقي.

ولم يرد في الكتاب ذكر للعديد من منظومات RICH الضخمة المبتكرة (Rich Imaging Cherenkov) والتي جرى بناؤها في التسعينيات من أجل التجارب المعروفة باسم: DELPHI، وSLD، و BABAR، و CLEO III، كما أن قائمة المراجع كانت ناقصة حول هذا الموضوع. إضافة لما سبق ذكره، لم يُغطِّ الكتاب المواضيع الهامة والتي نذكر منها، على سبيل المثال، منظومات تتبع الليف الوامض ومكاشيف العنصورة pixel. على أية حال، من المتوقع أن يحدث عجز في التغطية ضمن عمل بهذا القدر من الإحاطة والشمول.

ويُعدّ كتاب " فيزياء مكاشيف الجسيمات" رفيقاً مرحَّباً به ومكملاً لأعمال أخرى تشمل مجلدات تقدم تفاصيل أكثر بشأن تقانات محددة أو توفر اشتقاقات أكثر دقة وصرامة. ومن بين الأعمال الأخرى المنوه بها نذكر سلسلة كتب صادرة عن دار الطباعة والنشر لجامعة كامبردج بعنوان: "مكاشيف الجسيمات" للمؤلف Klaus Grupen (1996)؛ وكتباً أخرى بالعناوين التالية:

- "تقنيات لتجارب الفيزياء النووية وفيزياء الجسيمات" للمؤلف William R. Leo (Springer-Verlag, 1994)؛
- "مدخل إلى الفيزياء التجريبية للجسيمات للمؤلف Richard Fernow (Cambridge U. Press, 1986)؛
- "مكاشيف لإشعاع الجسيمات" للمؤلف Konrad Kleinknecht (Cambridge U. Press, 1998)؛
- "كشف الجسيمات بحجرات الانجراف" - للمؤلفين Walter Blum و Luigi Rolandi (Springer-Verlag, 1994)؛
- "علم الأجهزة في فيزياء الطاقة العالية" للمؤلف Fabio Sauli (World Scientific, 1992).

★ By Dan Green, Cambridge U. Press, New York, 2000.
** شلدون ل. ستون: جامعة سيراكيوز، سيراكيوز، نيويورك.
- العرض والتحليل عن مجلة: *Physics Today*, August 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

إضافة لما سبق، تُعدّ محاضر الجلسات الصادرة عن مختلف المدارس الفكرية والمؤتمرات موارد عظيمة في هذا المجال.

ومن محاضر الجلسات ذات الصلة نذكر تلك الخاصة بالجمعية العالمية لمسرعات المستقبل (ICFA) بعنوان " المدارس الفكرية حول علم الأجهزة في الفيزياء الأولية للجسيمات Schools on Instrumentation in Elementary Particle Physics" والتي قامت بإصدارها تباعاً دور النشر التالية:

- C. W. Falbjan و J. E. Pilcher؛ (1988) World Scientific - تحرير وإعداد
- (1992) World Scientific - تحرير وإعداد J. C. Angus ورفاقه؛
- G. Herrera Corral و M. Sosa Aquino؛ (1998) AIP Press - تحرير وإعداد
- (2000) AIP Press - تحرير وإعداد Sehban Kartal.

وهناك أيضاً سلسلة بعنوان "Beauty 1993 - 2000"، والتي جرى نشر الأخيرة منها في المجلد A446 لعام 2000 من مجلة Nuclear Instruments and Methods، إضافة إلى محاضر الجلسات الخاصة بثلاثة مؤتمرات حول إشعاع شيرنكوف تم نشرها في مجلة: Nuclear Instruments and Methods in Physics Research، وصدرت بالعناوين الثلاثة التالية:

(1) "تقنيات تجريبية للتصوير الضوئي بشيرنكوف"، المجلد (1994) A343 - تحرير وإعداد Eugenio Nappa و Thomas Ypsilantis؛ و(2) "تقنيات ونتائج للتصوير الضوئي بشيرنكوف في الفيزياء العالية الطاقة"، المجلد A371 (1966) - تحرير وإعداد Tord Ekelof؛ و(3) "تحسينات في تقنيات واستخدامات التصوير الضوئي بشيرنكوف"، المجلد A488 (1999) - تحرير وإعداد Amos Breskin، Rachel Checkik، و Thomas Ypsilantis.■

2- مدخل إلى الدينامية اللاخطية التجريبية: دراسة حالة في الاهتزازات الميكانيكية

Introduction to Experimental Nonlinear Dynamics: A Case Study in Mechanical Vibration★

تأليف: لورانس ن. فيرجن
عرض وتحليل: فرنسيس س. مون★★

يعدّ كتاب مدخل إلى الدينامية اللاخطية التجريبية لمؤلفه لورانس ن. فيرجن Lawrence N. Virgin فريداً من نوعه، يعالج فيه المؤلف موضوعاً رياضياتياً إلى أبعد حدّ من وجهة نظر تجريبية، إذ يدمج فيه فيرجن النظرية والتجربة جيداً. فالمبتدئون في مجال الدينامية اللاخطية ونظرية الشواش سيجدون مقدمة المفاهيم في الكتاب سهلة الاستيعاب ومعروضة بطريقة فيزيائية ذات مغذى رفيع. كذلك سيكون الكتاب مفيداً للمتخصصين في الشواش واللاخطية، في مقارنة التجارب مع النماذج النظرية. لقد كان فيرجن بارعاً في الميكانيك النظري والتطبيقي واستخدام تجارب ميكانيكية رائعة كمنطلق للبحث في السلوك اللاخطي والنماذج الرياضياتية.

يستعرض فيرجن في الفصلين الأول والثاني من الكتاب نظرية الاهتزازات الخطية، بما فيها الاهتزازات القسرية والتجارب. وفي الفصل الثالث يقدم مفاهيم عن الفضاء الطوري، ومقاطع بوانكاريه Poincare'، والتشعّبات في سياق هزّاز بسيط. ويعرض في الفصلين الرابع والخامس النموذج الرياضياتي لجسيم في كمون بئرين والتماثل الميكانيكي في بنية محدّبة. وفي الفصول السادس والسابع والثامن والتاسع والعاشر ينتقل فيرجن بالقارىء إلى عالم الاهتزازات الشواشية، مستخدماً نموذجه التجريبي لهزّاز ذي بئرين. إذ يقدم الأفكار عن الاهتزازات اللاخطية الحرة، والسلوك التوافقي الجزئي، والترابط الذاتي، وأساس (ج. أس) ليابونوف، بالإضافة إلى مقاطع بوانكاريه الكسرية التجريبية الرائعة مع مقارنات مع الحلول الرقمية. كما أنه يناقش فكرة الهروب من بئر كمونية.

في الفصل الحادي عشر يقدم فيرجن وصفاً لتجربة ميكانيكية أخرى تعتمد على نابض تقسية، ويناقش حاذب يوشيسوك يودا Yoshisuke Ueda الياباني مع لاخطية مكعبة بحتة. ويمثل هزّاز الصدم تحت انقطاع حادّ ثنائي الخطية تجربة أخرى تم تحليلها في الفصل الثاني عشر. ويختتم فيرجن كتابه ببعض قضايا التشعّب الشاملة المتعلقة بالحركات شبه الدورية، وحدود الحوض الكسورية، ونظرية ميلنيكوف Melnikov، والحركات الانتقالية الشاملة.

يجري فيرجن تدقيقاً واقعياً على النظرية ويوضح النشاط التجريبي للظواهر اللاخطية. وفي نهاية كتابه يصف أيضاً تجربة ذات دارة كهربائية، من أجل الذين يرغبون باستكشاف الشواش بفولطيات بدلاً من حركات ميكانيكية.

يعدّ كتاب فيرجن واضحاً ودقيقاً. إذ يحوي بعض المعادلات الرياضياتية، لكن الطابع العام فيه يميل نحو التوضيح الفيزيائي مع عروض مرئية وتصويرية. ويُنصح بوضع هذا الكتاب في مكتبات الطلاب والباحثين في مجال العلوم اللاخطية.■

★ By Lawrence N. Virgin. Cambridge U. Press, New York 2000.

★★ لورانس ن. فيرجن: دار نشر كامبردج - نيويورك.

– العرض والتحليل عن مجلة: *Physics Today*, August 2001. ترجمة مكتب الترجمة - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرّية المعدَّة للبيع
Publications of the AEC of SYRIA

منشورات عامة	الشكل	السعر (ل.س من داخل القطر) ($ من خارج القطر)
1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes Day Life (ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر)	كتيب مطبوع Printed Book	15 ل.س $ 3
2- ما يجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع What The General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of overexposed Individuals (ترجمة قسم الوقاية والأمان)	كتيب مطبوع Printed Book	40 ل.س $ 9
3- مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة (إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير) Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان)	كتاب مطبوع Printed Book	80 ل.س $ 7
4- تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته) Food Irradiation (A technique for Preserving and Imporoving the Safety of Food) (ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 15
5- نظرية الكم وقصتها الغريبة L'étrange Histoire des Quanta (ترجمة محمد وائل الأتاسي)	كتاب مطبوع Printed Book	250 ل.س $ 25
6- حقائق حول تشعيع الأغذية سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية Facts about Food Irradiation (ترجمة الدكتور نزار حمد)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 8
7- الإشعاع: الجرعات -الآثار -المخاطر Radiation: Doses, Effects, Risks (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان-المهندسة مها عبد الرحيم)	كتاب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 10
8- دروس من حوادث وقعت في منشآت التشعيع الصناعية Lessons Learned From Accidents In Industrial Irradiation Facilities (ترجمة الدكتور محمد قعقع)	كتيب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 6
9- الاختبارات اللاتلافية: طريقة التصوير الشعاعي الصناعي Industrial Radiography Method (تأليف الدكتور وفيق حرارة)	كتاب مطبوع Printed Book	200 ل.س $ 10
10- الطاقة الذرّية لأغراض عسكرية Atomic Energy for Military Purposes (ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
11- معجم المصطلحات العلمية والتقنية (إنكليزي-عربي) Dictionary of Technical Terms in the Field of Atomic Energy (طبعة جديدة موسعة)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
12- التثبيت الحيوي للآزوت الجوي Biological Nitrogen Fixation (تأليف الدكتور فواز كرد علي)	كتاب مطبوع Printed Book	350 ل.س $ 15

ملاحظة: يمكن طلب هذه المنشورات من مكتب الترجمة والتأليف والنشر في هيئة الطاقة الذرّية -دمشق - شارع 17 نيسان -هاتف 6111926/7.

Key Words

waste, digestibility, energy, chemical, irradiation.

* A short report on a field exploratory experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

MEASUREMENT OF N_2 FIXATION IN SESBANIA ACULEATA PERS. AND SORGHUM BICOLOR L. GROWN IN INTER-CROPPING SYSTEM USING ^{15}N TECHNIQUE 1: FIELD EVALUATION UNDER NON-SALINE CONDITIONS*

F. KURDALI, K. KHALIFA, M. JANAT

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O.Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

A field experiment on Sesbania and Sorghum bicolor grown in monocropping and in intercropping system was conducted under non-saline conditions to evaluate dry matter production, total N yield, soil N uptake and N_2-fixation using ^{15}N isotope dilution method. Three different row ratios of sesbania (ses) and sorghum (sor) were subjected in the intercropping system (2 ses: 1 sor; 1ses: 1sor and 1ses: 2sor row ratio).

Percentages of N_2 fixation in the intercropped sesbania were considerably enhanced compared with the pure stand of sesbania. This was mainly attributed to the depletion of soil N resulting from the greater apparent competitiveness of sorghum for soil N, and consequently, a greater dependence of sesbania on N_2 fixation. However, the degree of the intraspecific competition for soil N uptake was affected by the proportion of crops in the mixture, and it was considerably reduced in the 2 ses: 1sor row ratio. This was demonstrated when an equal depletion of soil and fertilizer N uptake occurred for both crops. Row intercropping with crops grown in alternation of two rows of sesbania with one row of sorghum, seemed to be the most adequate row ratio in terms of total N yield, LER, N_2-fixation and soil N uptake balance of the component crops.

Key Words

sesbania aculeata, sorghum bicolor, intercropping, N_2-fixation.

* A short report on a field exploratory experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

STUDY OF AN ENGINEERED LITHOLOGICAL CELL TO ISOLATE THE OIL NORM BESIDE SYRIAN OIL FIELDS*

M. ALI-MOUSSA

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O.Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTARCT

This study has defined types and sites in addition to reserves estimation of clays and rocks (limestone, dolomitic limestone, basalt) and pebbles in Syria, and the possibility of using them in making a lithological cell (natural geological barrier). This option is adopted according to international disposal alternatives. The aim of construction of type cell is to achieve a permanent disposal of low level activity oil NORM - waste (long halftime) and to protect the human health and safety of the environment for tenth of thousands of years through its multi natural layers.

Key Words

clays, rocks (limestone, dolomitic limestone, basalt), pebbles, lithological cell, oil NORM-waste, environment.

* A short report on a office scientific study achieved in the Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REMOVAL OF CADMIUM FROM PHOSPHORIC ACID BY LIQUID-LIQUID EXTRACTION WITH TOPO IN KEROSENE*

S. KHORFAN

Hydrometollurgy Office, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Cadmium is present in all phosphate rocks in concentrations ranging from 1 to 90 ppm. During digestion of the rocks with concentrated sulfuric acid, 70-80% wt of Cd is transferred into the phosphoric acid liquid phase while 20-30% wt remains in the phosphogypsum solid phase. So eventually Cd is transferred from the rocks into the phosphatic fertilizers. It is well known for sometime that Cd is poisonous and the presence of 1 mg/l of Cd in water caused bone illness called itai-itai in Japanese. Most environmental agencies are concerned about reducing the content of phosphatic fertilizers from Cd.

Several studies were undertaken to reduce Cd in phosphoric acid. Some experimented with ion-exchange. Others with basic solvents such as Tri Octyl Amine TOA while others used commercial phosphoorganic solvents such as Cyanex 203.

This paper studied the extraction of Cd from phosphoorganic solvents such as TBP, D2EHPA and TOPO in kerosene. TOPO was found to give the best extraction efficiency especially in the presence of chloride medium. The extraction was found to increase with an increase of the chloride ion concentration and the TOPO concentration. Temperature had a slight negative influence on extraction. Increaseing the concentration of Cd or phosphoric acid while keeping the chloride concentration constant had a negative effect on extraction.

Key Words

Sesbania aculeata, Helianthus annuus, salinity, N_2-fixation.

* A short report on a laboratory scientific study achieved in the Hydrometollurgy Office, Atomic Energy Commission of Syria.

DIGESTIBILITY AND ENERGETIC VALUE OF AGRICULTURAL WASTES AS AFFECTED BY GAMMA IRRADIATION AND CHEMICAL TREATMENTS*

M. R. AL-MASRI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O.Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Experiments were carried out to study the changes in the values of in-vitro apparent organic matter digestibility (IVOMD), metabolizable energy (ME) and net Energy lactation (NEL) of wheat straw, sunflower seed shell, olive cake wood, date palm seeds and peanut shell after spraying with different concentrations of hydrobromic acid (HBr) and sodium Hydroxide (NaOH) (0, 3, 6 ml HBr and 3, 6 g NaOH/25 ml water/100 g DM) or after exposure to various doses of gamma radiation (0, 20, 40, 60 kGy).

Results indicated that, except for the date palm seeds, the chemical treatments with either HBr or NaOH significantly ($P<0.05$) increased IVOMD, ME and NEL values for all treated samples. The experimental agricultural wastes did not respond equally to the chemical treatments investigated, i.e., they differ in the induced increases pertaining to their IVOMD, ME and NEL. The highest changes in the studied parameters due to chemical treatments were obtained when applying the 6% concentration. There was no significant effect ($P<0.05$) of irradiation on IVOMD, ME and NEL values for all treated samples.Moreover, the combined treatments of irradiation and hydrobromic acid or sodium hydroxide were found to have no significant effect on the IVOMD, ME and NEL values compared to the individual chemical treatments.

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

MODIFICATION OF EXTERMINATOR-2 PC-VERSION*

M. ALBARHOUM, S. MOHAMAD, Y. KAMLEH
Department of Physics, Atomic Energy Commission P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

EXTERMINATOR-2 has been modified to make it friendly usable. The input file now is an external file substituting the tedious screen inputting mode.

The new version of code allows instructions to be written in the input file saving so the time for learning them from the Code Manual. Comment and blank lines inserting is also allowed in the input file. Graphics services and automatic selection of represented data from the output file of EXTERMINATOR-2 are now available with the code. Other programming modifications were also necessary to run the code on our PCs.

Key Words

code, modification, subroutine, instructions

* A short report on a computer scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

SETTING UP OF CLIMATE QUERY AND REPORTING SYSTEM (CQRS)*

I. KHUDEIR, M. NASSRI
Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTARCT

An automated Weather Station (AWS) was installed at the AECS center-2 at the end of year 2000. Six climatic and agricultural sensors were fitted that measure air temperature, relative humidity, precipitation, net radiation, and wind speed/ direction. The data logger was programmed to collect hourly readings and perform daily, weekly, and monthly calculations of averages, means, extreme values etc. The control and final storage PC was connected on-line to the data logger via a 300 m UTP cable and a couple of short haul modems operating at 9600 bps.

A Climate Query and Reporting System (CQRS) consisting of static and dynamic climate tables and charts in a time frame as specified by the user was developed, using Delphi visual programming tools, and is briefly explained. CQRS is accessible through the weather home page of the "Information Service" on the intra-net web site of the center-2.

Key Words

meteorological tower, sensors, CR10X, real time, intranet, query system, net radiation, climate, weather.

* A short report on a technical work achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS

EFFECT OF DIFFERENT SALINE WATER LEVELS ON GROWTH, NODULATION, AND N_2-FIXATION BY SESBANIA ACULEATA PERS, AND ON GROWTH OF HELIANTHUS ANNUUS L. USING ^{15}N TRACER TECHNIQUE*

F. KURDALI, F. ALAIN

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, Damascus, Syria, P. O. Box 6091.

ABSTRACT

Effect of different levels of salinity of the irrigation water having electrical conductivities (EC_w) in a range 1.1 to 33 dS/m on nodulation dry matter production and N_2 fixation by dhaincha (Sesbania aculeata Pers) was evaluated in a pot experiment . Such an effect was also studied on sunflower (Helianthus annuus L) as a reference crop for measuring N_2-fixation by the legume crop using a ^{15}N isotope dilution method. Irrigation with water having EC_W of more than 4.03 dS/m reduced plant growth and the reduction was more pronounced in S. Aculeata than in H. Annuus. $\%N_2$ fixation was significantly enhanced under a moderate salinity level in irrigated water (EC_W of 4.3 dS/m), whereas, small effects were obtained at higher saline water levels (up to 12.3 dS/m). The results indicated that Sesbania aculeata and Helianthus annuus grown in saline soils can be irrigated either with water having up to 8.03 dS/m for the former and 12.3 dS/m for the latter species, or with gradually increased levels of salinity for both of them.

Key Words

Sesbania aculeata, Helianthus annuus, salinity, N_2-fixation.

* A short report on a field exploratory experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

INITIAL DISTRIBUTION OF ^{137}Cs IN CEMENT SPECIMENS AND THE EFFECT OF LEACHING*

S. TAKRITI, A. F. ALI

Departments of Radiation Technology and Radiation Protection, Atomic Energy Commission P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The distribution of ^{137}Cs in cylindrical and cubic cement specimens was investigated before and after leaching at room temperature. The results showed that the initial distribution is inhomogeneous at the edges and has the same homogenity at the center of the samples before and after leaching. Theoretical analysis was performed to describe these observations.

Key Words

environment, radioactive waste, distribution of ^{137}Cs, leaching.

* A short report on a scientific research achieved in the Department of Radiation Technology and Radiation Protection, Atomic Energy Commission of Syria.

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

GAMMA-RADIATION-INDUCED WOOD-PLASTIC COMPOSITES FROM SYRIAN TREE SPECIES*

E. H. BAKRAJI, N. SALMAN
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria.
H. AL-KASSIRI
Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Wood-plastic composites (WPC) have been prepared with five low-grade woods, native to Syria, using three monomer systems; acrylamide, butylmethacrylate, and styrene, with methanol as the swelling solvent. Polymerization was induced at various radiation doses (10, 20, and 30 kGy) at a dose rate of 3.5 kGy/h using a ^{60}Co gamma radiation source. Some physical properties of WPC, namely polymer loading and compression strength have been measured. The polymer loading decreases approximately with increasing density of the wood species used.

Key Words

monomer, composites, irradiation, polymer, wood.

* This paper appeared in *Radiation Physics and Chemistry*, 2000.

DEVELOPMENT OF TESTICULAR DIMENSIONS AND SIZE, AND THEIR RELATIONSHIP TO AGE, BODY WEIGHT AND PARENTAL SIZE IN GROWING AWASSI RAM LAMBS*

S. SALHAB
Department of Animal Production, Faculty of Agriculture, University of Damascus.
M. ZARKAWI, M. R. AL-MASRI
Division of Animal Production, Department of Agriculture, Atomic Energy Commission.
M. F. WARDEH
Department of Studies of Animal Wealth, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands.
R. KASSEM
Al-Kraime Center for Sheep Breeding and Range Improvement, Salameih, Hama.

ABSTRACT

Ninety-six Awassi ram lambs, aged 2-3 months, raised and managed under a semi intensive system were used to measure development of testicular length, width, circumference and volume, and their association with development of body growth. The effects of parental size, age and body weight of lambs, production line (dairy or meat), type of birth and weight at birth and weaning on development of the four testicular parameters from weaning at 2-17 months of age were investigated. No significant differences were observed between measurements of the left and right testis. The highest increase in testicular parameters occurred between 7 and 10 months of age at 34.6 kg live body weight. Only parental size, age and body weight affected testicular growth ($P < 0.05$). Measurements of testes were correlated ($P < 0.01$) with each other ($r = 0.68$-0.97). They increased progressively and were correlated with body weight more than with age.

Key Words

testicular measurements, body weight, Awassi sheep.

* This paper appeared in *Small Ruminant Research*,40. 2001.

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

Key Words

meteorological station, radiation monitoring system, micro controller, atmospheric parameters.

* This paper appeared in *Meteorological Applications*, 2001.

MATHEMATICAL MODELING OF HYBRID CO_2 LASER*

B. ABDUL GHANI, M. HAMMADI

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A Teller-Landau six-temperature model describing the dynamic emission of single mode TEA CO_2 laser has been adapted. This model has been also used to describe the mechanism of obtaining relatively high-power output pulses from hybrid TE-TEA or CW-TEA CO_2 laser consisting of high and low-pressure sections. The suggested mathematical model allows to investigate the mechanism which limits the TEA oscillation to single longitudinal mode (SLM) due to the narrow gain bandwidth of low-pressure section, and also to study the effect of the laser input parameters on the smooth output laser pulse parameters. In addition, numerical solutions, of non-linear rate equation system of suggested model are quantitatively discussed. The solutions describe the radiation field intensity, the population inversion, and the energy transfer processes. The calculated values of maximum peak power, total energy in pulse, pulse width, etc. are in a very good agreement with the observed experimental values.

Key Words

modeling, hybrid, CO_2 laser.

* This paper appeared in *Optics & Laser Technology*, 2001.

PROVENANCE STUDIES OF ARCHAEOLOGICAL CERAMICS FROM MAR-TAKLA (AIN-MININ, SYRIA) USING RADIO-ISOTOPE X-RAY FLUORESCENCE METHOD*

E. H. BAKRAJI, J. KARAJOU

Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

I. OTHMAN

Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The radioisotope X-ray fluorescence method was applied to studies of the provenance of the ceramics fragments originated from the Mar-Takla site in Syria. The samples were irradiated 1000s by a ^{109}Cd radioisotope source and 13 elements (Ca, Ti, Mn, Fe, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, and Pb) were determined in 35 samples. The data were subjected to two multivariate statistical methods, cluster and principal components analysis (PCA). It was shown from the combination of the statistical techniques and the determination of elemental composition of the samples that 94% of the analyzed ceramic samples can be considered to be manufactured using two sources of raw materials.

Key Words

X-ray fluorescence, ceramics fragment, provenance, multivariate analysis

* This paper appeared in *Nuclear Science and Techniques*, May 2001.

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

NUCLEAR DATA RELEVANT TO THE PRODUCTION AND APPLICATION OF DIAGNOSTIC RADIONUCLIDES*

S. M. QAIM

Institut für Nuklearchemie, Forschungszentrum Jülich, Germany

ABSTRACT

The types of nuclear data and their quality required in the production and application of diagnostic radionuclides are outlined. The radioactive decay data determine the suitability of a radioisotope for in vivo tracer studies, both from the imaging and internal radiation dose considerations. The nuclear reaction cross section data allow optimisation of production routes. Both reactors and cyclotrons are used for production purposes. The nuclear data needed in the two cases and their present status are discussed. Special attention is paid to radionuclides suitable for emission tomography (PET and SPECT). The controversy about reactor vs cyclotron production of the widely used ^{99}Mo / ^{99m}Tc generator system is discussed. Some special considerations in cyclotron production of radionuclides are outlined. The need of accurate data near reaction thresholds, the constraint of available particles and their energies at a small cyclotron, the influence of increasing incident particle energy, and the formation of isomeric impurities are discussed in detail. The role of nuclear model calculations in predicting unknown data is considered.

Key Words

diagnostic radionuclides, decay data, Internal radiation dose, nuclear reaction cross section, production yield, radionuclidic purity, isomer ratio, nuclear model calculations, emission tomography, single photon emission computed tomography (SPECT), positron emission tomography (PET).

*This article appeared in *Radiochimica Acta*, Vol 89, 2001. It has been translated into Arabic by Translation, Composition & Publication Office, Atomic Energy Commission of Syria

PAPERS

A PORTABLE METEOROLOGICAL STATION PLUS NUCLEAR RADIATION MONITORING SYSTEM USING A BASIC-8052 MICRO-CONTROLLER*

A. AL- MOHAMAD, S. AGHABI, C. WEISS

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A portable meteorology station capable of measuring various atmospheric parameters (mainly ambient temperature, relative humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction) was designed and built. The physical quantities were converted to electrical signals using suitable sensors. These signals were then processed and transferred to digital values to be stored in suitable memories. A nuclear radiation alarm system was also built, on the main board, to monitor the nuclear radiation releases levels. The system consists of three main parts: control board, data acquisition board and signals conditioning board. The overall system is controlled by a BASIC-8052 micro-controller.

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

NUCLEAR DATA FOR MEDICAL APPLICATIONS: AN OVERVIEW*

S. M. QAIM
Institut für Nuklearchemie, Forschungszentrum Jülich, Germany

ABSTRACT

A brief introduction to nuclear data in medicine is given. The choice of a radioisotope for medical application demands an accurate knowledge of radioactive decay data. Short-lived single photon and β^+-emitters are preferred for diagnostic investigations, and longer - lived corpuscular radiation emitting radioisotopes for endoradiotherapy. The nuclear reaction cross section data, on the other hand, are needed for optimising the production routes. Besides radioactive isotopes, the use of ionising radiation in therapy is discussed. External radiation therapy has achieved an important place in medicine. The role of nuclear data is briefly discussed; they are needed for radiation dose calculations. The hitherto rather neglected activation products in proton therapy are considered. The methodology of development of a nuclear data file for medical applications is outlined.

Key Words

nuclear reaction, cross section, decay data, diagnosis, therapy, data file.

*This article appeared in *Radiochimica Acta*, Vol 89, 2001. It has been translated into Arabic by Translation, Composition & Publication Office, Atomic Energy Commission of Syria

IN VIVO FUNCTIONAL IMAGING WITH SPECT AND PET*

H. HERZOG
Institute of Medicine, Forschungszentrum Julich GmbH, D-52425 Julich, Germany

ABSTRACT

Nuclear medicine methods permit the visualisation of a variety of metabolic and physiological processes all over the body. Although planar scintigraphy has been found useful for many questions, detailed spatial information about the diseased organ can only be obtained with tomographic methods. Dependent on the radionuclide involved, two differenet tomographic procedures are available: signle photon emission computed tomography (SPECT) and positron emission tomography (PET). The first part of this paper describes shortly the historical development of these methods as well as their technical and methodological basics. To elucidate the large variety of possible applications, an overview of SPECT and PET procedures utilised in research as well as in clinical practice are presented. Furthermore, both methods are compared and their individual advantages are pointed out.

Key Words

attenuation, label, malignant, perfusion, radionuclide, system, tomography, tracer.

*This article appeared in *Radiochimica Acta*, Vol 89, 2001. It has been translated into Arabic by Translation, Composition & Publication Office, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ EFFECT OF DIFFERENT SALINE WATER LEVELS ON . . . . . F. KURDALI, F. ALAIN 86
GROWTH, NODULATION, AND N_2-FIXATION BY SESBANIA ACULEATA PERS,
AND ON GROWTH OF HELIANTHUS ANNUUS L. USING ^{15}N TRACER TECHNIQUE

☐ INITIAL DISTRIBUTION OF ^{137}Cs IN CEMENT SPECIMENS . . . . . S. TAKRITI, A. F. ALI 88
AND THE EFFECT OF LEACHING

☐ MODIFICATION OF EXTERMINATOR-2 PC-VERSION . . . . . M. ALBARHOUM, ... 90
S. MOHAMAD, Y. KAMLEH

☐ SETTING UP OF CLIMATE QUERY AND REPORTING . . . . . I. KHUDEIR, ... 93
SYSTEM (CQRS) M. NASSRI

☐ REMOVAL OF CADMIUM FROM PHOSPHORIC ACID BY . . . . . S. KHORFAN 97
LIQUID-LIQUID EXTRACTION WITH TOPO IN KEROSENE

☐ DIGESTIBILITY AND ENERGETIC VALUE OF AGRICULTURAL . M. R. AL-MASRI 99
WASTES AS AFFECTED BY GAMMA IRRADIATION AND CHEMICAL TREATMENTS

☐ MEASUREMENT OF N_2 FIXATION IN SESBANIA ACULEATA . . . . F. KURDALI, ... 101
PERS. AND SORGHUM BICOLOR L. GROWN IN K. KHALIFA, M. JANAT
INTERCROPPING SYSTEM USING ^{15}N TECHNIQUE
I: FIELD EVALUATION UNDER NON-SALINE CONDITIONS

☐ STUDY OF AN ENGINEERED LITHOLOGICAL CELL TO . . . . . E. ALI-MOUSSA 102
ISOLATE THE OIL NORM BESIDE SYRIAN OIL FIELDS

SELECTED NEW BOOKS (Revicw and analysis)

☐ THE PHYSICS OF PARTICLE DETECTORS . . . . . BY: D. GREEN 106
OVERVIEW & ANALYSIS: SHELDON L. STONE

☐ INTRODUCTION TO EXPERIMENTAL NONLINEAR . . . . . BY: LAWRENCE 107
DYNAMICS: A CASE STUDY IN MECHANICAL VIBRATION N. VIRGIN
OVERVIEW & ANALYSIS: FRANCIS C. MOON

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH. 116

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ NUCLEAR DATA FOR MEDICAL APPLICATIONS: AN OVERVIEW — S. M. QAIM — 7

☐ IN VIVO FUNCTIONAL IMAGING WITH SPECT AND PET — H. HERZOG. — 16

☐ NUCLEAR DATA RELEVANT TO THE PRODUCTION AND APPLICATION OF DIAGNOSTIC RADIONUCLIDES — S. M. QAIM. — 31

NEWS

☐ ULTRAVIOLET NANOLASER — *PHYSICS WORLD* — 44

☐ WHERE DID ALL THE ANTIMATTER GO ? — *PHYSICS WORLD* — 44

☐ A MAGNET MADE FROM CARBON — *NATURE* — 46

☐ SHOCK WAVE MAY HAVE KNOCKED OUT JAPANESE NEUTRINO DETECTOR — *SCIENCE* — 47

☐ WHAT EVER HAPPENED TO B, C AND S ? — *PHYSICS WORLD* — 48

☐ PARTICLES DRIVEN TO DIFFRACTION — *NATURE* — 50

☐ EXPERIMENTAL ATTOPHYSICS COMES OF AGE — *PHYSICS WORLD* — 52

☐ NEW VISION OF MAGNETIC TUNNELLING — *PHYSICS WORLD* — 53

☐ CLASSICAL WIGNER CRYSTALS MOVE ON — *PHYSICS WORLD* — 55

☐ SEMICONDUCTORS ARE COOL — *NATURE* — 57

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ A PORTABLE METEOROLOGICAL STATION PLUS NUCLEAR RADIATION MONITORING SYSTEM USING A BASIC-8052 MICRO-CONTROLLER — A. AL- MOHAMAD et al — 60

☐ MATHEMATICAL MODELING OF HYBRID CO_2 LASER — B. ABDUL GHANI et al — 68

☐ PROVENANCE STUDIES OF ARCHAEOLOGICAL CERAMICS FROM MAR-TAKLA (AIN-MININ, SYRIA) USING RADIOISOTOPE X-RAY FLUORESCENCE METHOD — E. H. BAKRAJI et al — 74

☐ GAMMA-RADIATION-INDUCED WOOD-PLASTIC COMPOSITES FROM SYRIAN TREE SPECIES — E. H. BAKRAJI et al — 77

☐ DEVELOPMENT OF TESTICULAR DIMENSIONS AND SIZE, AND THEIR RELATIONSHIP TO AGE, BODY WEIGHT AND PARENTAL SIZE IN GROWING AWASSI RAM LAMBS — S. SALHAB et al — 81

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.

Subscription rates, including first class postage charges: a) *Individuals* *$ 30 for one year*
b) *Establishments* *$ 60 for one year*
c) *For one issue* *$ 6*

It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of atomic energy.

N° 79 17th Year MAY/JUNE 2002

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam *(Editor In-Chief)*

Dr. Mohammed Ka'aka ***Dr. Fouad Al-Ijel***

Dr. Ahmad Haj Said ***Dr. M. Fouad Al-Rabbat***

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