عالم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسام

رئيس هيئة التحرير

الدكتور محمد قعقع

الدكتور فؤاد العجل

الدكتور أحمد الحاج سعيد

الدكتور محمد فؤاد الرباط

الدكتور إلياس أبو شاهين

88

السنة الثامنة عشرة / تشرين الثاني ـ كانون الأول

2003

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

هيئة الطاقة الذرية السورية

مكتب نظم المعلومات

http://serversmiso.aecs.sy

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy

رسوم الاشتراك

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

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

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

المصرف التجاري السوري فرع رقم 13

مزة ـ جبل ـ ص.ب 16005

رقم الحساب 2/3012

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

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

مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل

أو تدفع مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف

والنشر في الهيئة ـ دمشق ـ شارع 17 نيسان

سعر العدد الواحد

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

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

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

هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر

دمشق ص.ب 6091 ـ الجمهورية العربية السورية

أو الاتصال على رقم الهاتف 6111926/7 . فاكس 6112289

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقـــالات

- البلازمات فائقة البرودة وغازات ريدبرغ..... س. بيرغيسون، ت. كيلّيان..... 7
  ترجمة هيئة التحرير
- ملاقط ضوئية: الجيل القادم ..... ك. ظولاكيا، م. ماكْدونالْد، ج. سبالدينغ 13
  ترجمة هيئة التحرير
- التعريف بجسيم هِغز الصغير ..... م. شمـــالتز..... 20
  ترجمة هيئة التحرير
- إشعاع تيراهرتز عالي الاستطاعة من إلكترونات نسبوية..... ج. ل. كار وآخرون..... 24
  ترجمة هيئة التحرير
- الطرائق الكهربائية والضوئية لقياس ارتفاع حاجز كمون شوتكي..... د. خالد مصري، د. بيداء الأشقر..... 30
  في الكواشف ذات الحاجز السطحي

أخبار علمية

- نقطة ثلاثية في النواة..... 36
- متى تتفكك الإلكترونات إلى سبين وشـــحنة..... 37
- الأشـــباح الجزيئيـــة..... 39
- اســـتطاعة بتـــواترات التيراهرتـــز 40
- حان وقت ارتـــداء الثيـــاب للعـــاملين في المجـــال النـــووي 42
- كيف ساعدت محطات الطاقة النوويـــة في اليابـــان علـــى كشـــف أســـرار الشـــمس 43
- السيزيوم..... 44
- الثوابـــت الفيزيائيـــة الأساســـية..... 46

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

- مطابقة سويات نموذج البوزونات المتفاعلة الرابع إلى النموذج الطبقي ..... د. سهيل ســـليمان..... 59
  د. سامي حداد، د. حازم سومان
- محاكاة التنمية اللامتناحية للبلورات بالاعتماد على الطريقة الخلوية ..... د. محسن شحود وآخرون..... 62
- حساسية النبائط Si-JFET للضجيج بعد تشعيعها بأشعة غاما ..... د. جمال الدين عساف 69

- التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات باستخدام الفلوروديوكسي غلوكوز ..... د. فادي نجار..... 74
  والتصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين لتشخيص وتحديد انتشار أورام الكارسيوئيد: علاقات الارتباط مع المشعرات المرضية Ki-67 & p53.
- استجابة الغلّة الحبّية ووزن الحبّة، والإصابة بمرض التبقع السبتوري ..... د. محمد عماد الدين عرابي 81
  في القمح للتسميد الآزوتي والبوتاسي محمد جوهر

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- التأثيرات الصحية الناجمة عن التعرض المهني لبعض العناصر ..... د. عدنان بـــدور..... 87
  الكيميائية المستخدمة في الصناعة ومؤسسات البحث العلمي وطرق الوقاية منها د. عبد الوهاب علاف
- إزالة تلوث معدات وتجهيزات مخبرية ذات طبيعة وسطوح مختلفة..... د. محمد حسان خريطة..... 89
  مصطفى خيطو، خالد والي
- تأثير التسميد الأخضر من نبات السيسبان Sesbania aculeate في إنتاج..... د. فواز كرد علي 91
  المادة الجافة وامتصاص الآزوت لنباتات ذرة السورغوم العلفية Sorghum bicolor النامية في ترب مالحة وترب غير مالحة باستعمال تقنيتي تقفٍ بالنظير ^{15}N.
- التغيّرات في الطاقة الكلّية ومكونات الجدار الخلوي لبعض المنتجات..... د. محمد راتب المصري..... 94
  الزراعية الثانوية المعاملة بهيدروكسيد الصوديوم أو حمض هيدروبروميك

كتب حديثة مختارة

- أسس وتطبيقات الأمواج فوق الصوتية..... (تأليف: ج. دافيد، ن. تشيك)..... 99
  (عرض وتحليل: م. ليفي)
- قياس الزمن: الزمن والتواتر والساعة الذرّية ..... (تأليف: ك. أودوين، ب. جينوت)..... 100
  (عرض وتحليل: ج. فانيه)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد 102

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

البلازمات فائقة البـرودة وغازات ريدبـرغ*

س. بيرغيسون
قسم الفيزياء والفلك - جامعة بريغهام يونغ - بروفو - الولايات المتحدة الأمريكية
ت. كيّليان
قسم الفيزياء والفلك - جامعة رايس - هيوستون - الولايات المتحدة الأمريكية

التيزيد: يولّد سكوت بيرغيسون البلازمات الفائقة البرودة وغازات ريدبرغ مستخدماً الليزر في مختبره في جامعة بريغهام يونغ

ملخص

تدعو حالات المادة الفائقة البرودة والغريبة الفيزيائيين إلى استخلاص الخبرة والمعرفة من الفيزياء الذرّية والمادة الكثيفة والبلازما، مسببة بعض المفاجآت على طول الطريق.

الكلمات المفتاحية

مضاد الهدروجين، بلازما فائقة البرودة، غاز ريدبرغ.

لقد افتتن العالم الفائق البرودة وأدهش الفيزيائيين منذ عام 1911، عندما اكتشف هايكه كاميرلنغ أونّس H. K. Onnes الناقلية الفائقة في الزئبق عند الدرجة 4.2 كلفن. ويبلغ الفيزيائيون حالياً وبصورة روتينية درجات حرارة أبرد منها بملايين المرات.

عندما تُبرَّد الذرّات إلى هذا القرب من الصفر المطلق، فإنها تنحدر إلى الحالة الكمومية الأدنى الممكنة - مع ما يرافقها من نتائج غريبة. فنجد مثلاً أن كُثافات بوز - آينشتاين، التي أول ما ابتُدعت عام1995، هي منظومات خضعت الذرّات فيها إلى تغيّرمفاجيء في الهُويّة الجماعية وانحدرت إلى الحالة الكمومية نفسها.

ومن ناحية أخرى، تمّ منع غازات فِرمي من هذا الانهيار وفقاً لمبادىء ميكانيكية - كمومية أساسية، تصبح فيها هذه الغازات غير قابلة للانضغاط. إن ابتداع وفهم كُثافات بوز - آينشتاين وغازات فِرمي يمثلان تقدُّماً كبيراً في الفيزياء الذرّية الفائقة البرودة (انظر مجلة Physics World عدد آب 1999، الصفحات 37-42، وعدد نيسان 2002، الصفحات 27 - 31).

ولكن توجد حالياً منظومة جديدة فائقة البرودة كلّياً لاستكشاف بلازمات معتدلة فائقة البرودة. جسّرت هذه المنظومات الفرجة بين الفيزياء الذرّية وفيزياء البلازما وبين فيزياء البلازما وفيزياء المادة الكثيفة. وبالإضافة إلى كون حالات المادة هذه مثيرة في حدّ ذاتها، فإن هذه الحالات الغريبة وغير المستكشفة نسبيّاً يمكن أن تساعدنا أيضاً على فهم سطوح النجوم النترونية ومراكز الكواكب مثل المشتري.

البلازمات هي أشكال من المادة يكون فيها جزء من الذرّات المعتدلة والجزيئات مؤيّناً لتشكيل إلكترونات حُرة وأيونات.

يحصل التأيّن عادةً من التصادمات الطاقيّة بين الجسيمات مما يعني أن البلازمات بمعظمها - مثل سطح الشمس أو مصباح ضوئي مفلور - تكون ساخنة نسبياً. ولكن من الممكن أيضاً توليد بلازمات فائقة البرودة باستخدام ليزرات لآسر وتبريد ذرّات معتدلة إلى درجات حرارة تبلغ ملّي كلفن واحد أو أقل من ذلك. ثم يقوم ليزر آخر بتأيين الذرّات وذلك بإعطاء كل إلكترون من الإلكترونات الأبعد طاقة تكفي فقط للتحرُّر من التجاذب الكهربائي للأيون الأصل (الشكل 1).

الشكل 1- التبريد والأسر بالليزر

تولّد البلازمات الفائقة البرودة المعتدلة بتحكّم الليزرات بالذرّات.

(a) تولّد البطاريات الكهربائية في وشيعتين حقلاً مغطيسياً (أسهم أرجوانية)، بينما تنشر حزم الليزر على طول المحور الديكارتي عمودية على هذا الحقل (أسهم زرقاء). تؤسر الذرّات وتُبرَّد عند تقاطع الحزم. تؤيّن حزمة ليزر إضافية (أسهم خضراء) الذرّات لتوليد البلازما.

(b) تلتقط مصيدة مغطيسية ضوئية حوالي بليونٌ واحداً من ذرّات الستروتسيوم تقريباً. يمكن رؤية ضوء الليزر الأزرق المستخدم في أسر الذرّات من خلال النافذة الدائرية، التي قطرها حوالي 20mm. تستخدم معظم المصائد كلٌّ من الستروتسيوم والكالسيوم. الليزر الأزرق، بينما تستخدم معظم مصائد الذرّات ليزرات عند الأشعة تحت الحمراء القريبة.

* نُشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, February 2003 ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

إن النقطة المفتاحية أو الأساس في البلازمات الفائقة البرودة هي أنه عند تداول الذرّات بالليزر، يمكن التحكّم بالطاقة الحركية للإلكترونات المتحرّرة. ويمكن باستخدام ليزرات نبضية معيارية، أن نجعل طاقة الإلكترون تقابل درجة حرارة منخفضة تبلغ 0.1 كلفن - وهو حد يقع عند عرض عصابة التواتر لنبض الليزر. وعلى أي حال، تحتفظ الأيونات بدرجات حرارة المِلّي كلفن للذرّات المعتدلة. يتطوّر هذا النوع من البلازما الفائقة البرودة اللاتوازنية بسرعة مع بقاء كثير من الاستفهامات حول سلوكه بدون جواب. كشفت التجارب التي مُورِست حتى الآن ديناميات مدهشة وسلوكاً توحيدياً دافعة حدود معرفتنا عن فيزياء البلازما.

يمكن لتغيير دقيق وذكي في الإجراء التجريبي أن يُنتج منظومة شديدة الصِّلة بالبلازمات الفائقة البرودة - غاز ريدبرغ بارد وكثيف. إن توليف طول موجة الليزر قليلاً تحت طاقة التأيّن يترك الذرّات بحالات ريدبرغ العالية الإثارة حيث يكون فيها للإلكترون الخارجي نصف قطر كبير. وبمقارنة ذلك بذرّاتٍ في الحالة الأساسية، فإن هذه الذرّات الكبيرة "اللينة" تملك خواصّ مبالغاً فيها. وتتأثّر بسهولة بمحيطها. وكلّما كانت الذرّات أكثر إثارة كانت طواعيتها للظروف البيئية أكثر. وكانت تأثراتها بعضها مع بعض أقوى. لاتتحرك ولاتصطدم ذرّات ريدبرغ لأنها مبرّدة ليزرياً، ولكن يمكن للمدارات الإلكترونية في الذرّات المتجاورة أن تتراكب. ويقود هذا إلى حالة شاذّة للمنظومة مما يؤدي إلى ضبابية أو عدم وضوح بين البلازما ومجموعة الذرّات المعتدلة.

تتطلّب تحريات وفهم خواص البلازمات الفائقة البرودة وغازات ريدبرغ توليفات من التقنيات التجريبية والنظرية والحاسوبية من ضرب من المعارف الثانوية المختلفة في الفيزياء.

صنع البلازما الفائقة البرودة

بدأت قصة البلازما الفائقة البرودة منذ سنوات قليلة في المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) في غائرسبيرغ، ماريلاند. لقد بدأنا نعمل على ذرّات الكزينون شبه المستقرة المبرّدة بالليزر وتساءلنا ماذا يمكن أن يحدث إذا استطعنا تأيين كل العيّنة في لحظة. كانت مجموعة التبريد بالليزر في NIST، قبل عدّة سنوات من عملنا، تدرس تصادمات الذرّات الباردة التي ينتج بعضها أيونات. ويبدو أن العمل على البلازمات الفائقة البرودة هو امتداد طبيعي لهذا الأمر، ولكن بدلاً من الحصول على الأيونات بكميات ضئيلة فإنه من الممكن الحصول على مليون منها في لحظة. وما أثار فينا الحماس أيضاً هو المحاولات التي جرت لتوليد مضاد الهدروجين في CERN. أحد الأساليب لصنع مضاد الهدروجين يبدأ باحتجاز بوزترونات باردة وبروتونات مضادة باردة في المصيدة الكهربائية نفسها. وفي هذه المنظومة يمكن استخدام ليزر لتحفيز إعادة اتحاد البوزترونات والبروتونات المضادة لتفعيل تشكّل مضاد الهدروجين. ونعتقد ببساطة أنه بتأيين الذرّات الفائقة البرودة في مصيدتنا فإننا نكون قد أجرينا عملية CERN بصورة معكوسة. وبجعل طريقة إعادة الاتحاد الليزرية أفضل ما يمكن مع منظومة بسيطة مثل منظومتنا يمكن أن نستفيد بالقيام بتجربة مشابهة من أجل مضاد الهدروجين.

كان المظهر الآخر المثير للاهتمام في تجربة البلازما الفائقة البرودة أنه بدا أن باستطاعتنا توليد منظومة تكون فيها الشروط البدئية تحت سيطرتنا بشكل كامل. ومن الممكن، باختيار الكثافة البدئية ودرجات الحرارة للأيونات والإلكترونات، أن نهيِّىء قوة التآثر بين الذرّات والأيونات في البلازما بشكل اختياري. تصطدم الذرّات المعتدلة في الحالة الأساسية مثل كرات البليارد ويكون التآثر ذرّة ــ ذرّة ضعيفاً جداً وبخاصة في درجات الحرارة المنخفضة. على أي حال، يكون التآثر بين ذرّات ريدبرغ المتصادمة أقوى بكثير، ويزداد هذا التآثر مع إثارة ريدبرغ لأن ارتباط الإلكترون "المداري" بأيونه الأم ضعيف إلى حدٍّ كبير. وعندما تؤيَّن الذرّات لتشكيل بلازما حيث تكون الطاقة الحركية للإلكترونات المتحرِّرة مساوية بشكلٍ أساسي إلى الصفر، تكون التآثرات بين الأيونات قوية جداً. وبالفعل فإن الأيونات غالباً ما تكون في حالة تصادم نظراً للطبيعة البعيدة المدى للقوة الكهربائية، وبازدياد الطاقة الحركية للجسيمات في البلازما فإن التآثرات تصبح أضعف.

يتمُّ إجراء مرحلة التأيُّن اللازمة لتوليد البلازما الفائقة البرودة باستخدام نبضات ليزر نانوثانية. وتكون الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بشكلٍ أساسي مساوية الفرق بين طاقة فوتون الليزر وطاقة التأيُّن. إن أخفض طاقة للإلكترون، التي أمكن الوصول إليها بالليزر النبضي الخاص بنا، تقابل درجة حرارة تبلغ حوالي 0.1 كلفن. من السهل تأيين أكثر من 50% من الذرّات المأسورة، ولذلك كانت كثافة بلازما الذروة في تجاربنا مع الكزينون حوالي 10^{10} في السنتمتر المكعب.

تتحرك الإلكترونات التي درجة حرارتها T=0.1 K بسرعة تبلغ حوالي 100متر/ثانية مما يمكن تَوقّع أنها تنطلق بعيداً عن الأيونات البطيئة خلال بضعة مكروثانية تاركة قلباً موجباً. ولكن عندما تتنامى حصيلة الشحنة الموجبة قرب مركز البلازما فإن الجذب الكولوني يسحب الإلكترونات لتعود ثانية. تُشكّل الأيونات بشكلٍ تلقائي مصيدة، وحسب الشروط التجريبية فإن أكثر من 90% من الإلكترونات لاتستطيع أن تتهرَّب من هذا السحب.

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

تسخن الإلكترونات خلال هذه المدة وتتوضّع على شكل توزع مكاني يتبع إلى حدٍّ بعيد كثافة الأيونات في المنطقة المركزية للسحابة الأيونية. وهذه خلاصة ما يطلق عليه اسم حجب ديباي Debye في البلازما: وحيثما تختلف كثافات الإلكترونات والأيونات تتطور الحقول الكهربائية التي تدفع المنظومة عائدة إلى التعادلية. هنالك بالطبع نقص محصلة صغير في الإلكترونات مما يؤدي إلى طبقة خارجية من الشحنة الكهربائية. لقد سبرت التجارب، حتى الآن، فقط الجزء المركزي المعتدل تقريباً للبلازما لأن التشخيصات المتاحة تستطيع أن تُحدِّد فقط الخواص الوسطية للبلازما.

وحالما تسخن الإلكترونات، تتجمد الأيونات بصورة أولية في الموضع بسبب كتلتها الكبيرة نسبياً ودرجة حرارتها المنخفضة. وتعدو الإلكترونات ذهاباً وإياباً عبر السحابة الأيونية مرتدَّة بعيداً عن كمون كولون ومحوِّلة الاندفاع إلى الأيونات. تمارس الإلكترونات ضغطاً على الأيونات كما يمارس الغاز الكامل ضغطاً على جدران صندوق الحصر. وهذا ما يجعل الأيونات متحركة. ويتبع ذلك تحرك الإلكترونات وتبدأ البلازما الكلية في التوسُّع. للسحابة الأيونية الأولية مظهر كثافة غوسيه، شبيهة تماماً بالذرّات المأسورة المعتدلة التي تُصنع منها البلازما. ونظراً لاعتماد الضغط على كثافة الإلكترونات، فإن البلازما تحتفظ بشكلها الغوسي ويتضاعف حجم خصائصها في حوالي 10μs. وبإدراك ما جرى في الحادثة، تكون صورة التوسُّع هذا واضحة المعالم تماماً، ولكنها في البداية كانت محيِّرة لأن الإلكترونات بدت وكأنها تقوم بنقل الطاقة إلى الأيونات بدون أن تسخنها كثيراً، بدلاً من أن تجعلها تتحرك إلى الخارج. وهذا شيء مختلف عن الحركة الحرارية العشوائية التي نعني بها عادة "التسخين."

التسخين بالتصادم بين الإلكترونات والأيونات بطيء جداً نظراً للتباين الكبير بين كتلتيهما ويحصل هذا في غضون زمن يبلغ المِلّي ثانية. يمكن أن تبلغ الطاقة الحركية للأيونات المتحركة إلى الخارج بوحدات درجة حرارة من المرتبة $100k_B$ حيث k_B ثابت بولتزمان. على أي حال، إن القياس الحقيقي لدرجة حرارة الأيون - انحراف سرعة الأيون عن السرعة الوسطية المحلّية - يجب أن يبقى أبرد بكثير.

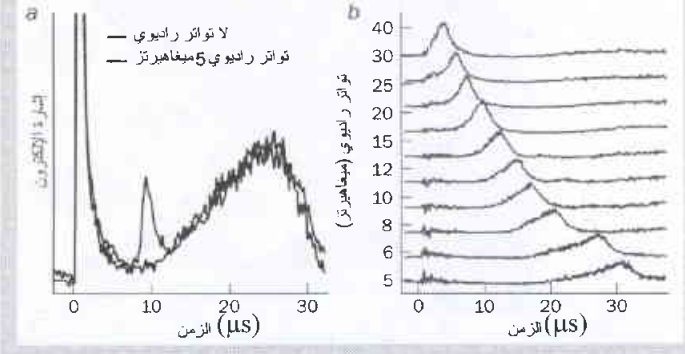
إن قياس الحركة الخارجية للأيونات، على الأقل بصورة غير مباشرة، عملية سهلة. وتطبيق حقول كهربائية مهتزّة بواسطة شبكات فوق و تحت البلازما يمكن أن يثير إلكتروناتها بشكل تجاوبي. تكون استجابة الإلكترونات أقوى ما يمكن عندما يتجاوب تواتر حقل السياقة مع تواتر البلازما، الذي يتم التحكّم به بالخواص الفيزيائية للبلازما ويُقاس بالجذر التربيعي لكثافة الإلكترونات. يكون هذا التواتر من أجل البلازما الفائقة البرودة عادة بين 1 و 300 ميغا هرتز. تكتسب الإلكترونات عند التجاوب طاقة تزيد السرعة التي تفلت فيها من البئر الكولوني المُتشكّل بواسطة الأيونات (الشكل 2). يتم التحكّم بهذه السرعة بكشف الإلكترونات الهاربة بمضاعف إلكتروني، مفسحاً المجال أمامنا لتحديد الكثافة الوسطية للبلازما كتابع للزمن. يمكن بهذه المعلومة أن نستنتج حجم وسرعة تمدّد البلازما.

التمدّد الاستثنائي

تكون الطاقة الحركية لتمدّد البلازما، تحت معظم الشروط متناسبة بشكلٍ مباشر مع الطاقة البدئية المعطاة للإلكترونات أثناء مرحلة التأين. على أي حال، عندما تُخفّض طاقة الإلكترون بحيث تصبح الطاقة الحركية قابلة للمقارنة بالطاقة الكامنة الكولونية بين الجسيمات المشحونة المتجاورة فإن البلازما تتمدّد بسرعة أكبر مما هو متوقع. أثار تحديد مصدر هذه الطاقة الإضافية دراساتٍ نظرية من قِبَل ستيفان مازيفيت S. Mazevet و لي كولنز L. Collins وجيمس هانسون J. Hanson وزملائهم في مختبر لوس ألاموس الوطني، ومن قِبَل فرنسيس روبيشو F. Robicheaux ومجموعته من جامعة أوبيرن ومن قِبَل توم أونيل T.O'Neil وزملائه من جامعة كاليفورنية في سان دياغو.

لقد لاحظوا في جميع المحاكيات، تسخيناً للإلكترونات أثناء الجزء الأول من المكروثانية مما يتفق مع النتائج التجريبية. على أي حال هنالك حتى الآن تضارب حول المصدر الحقيقي للحرارة.

الشكل 2 - البلازمات التجاوبية



إذا طُبِّق حقل تواتر راديوي أثناء تمدّد البلازما، تُنتج الإشارة التجاوبية للبلازما قمّة إضافية في إشارة الإلكترون.

(a) تخفيض تواتر الحقل المطبّق، تستجيب كثافات مختلفة في البلازما.

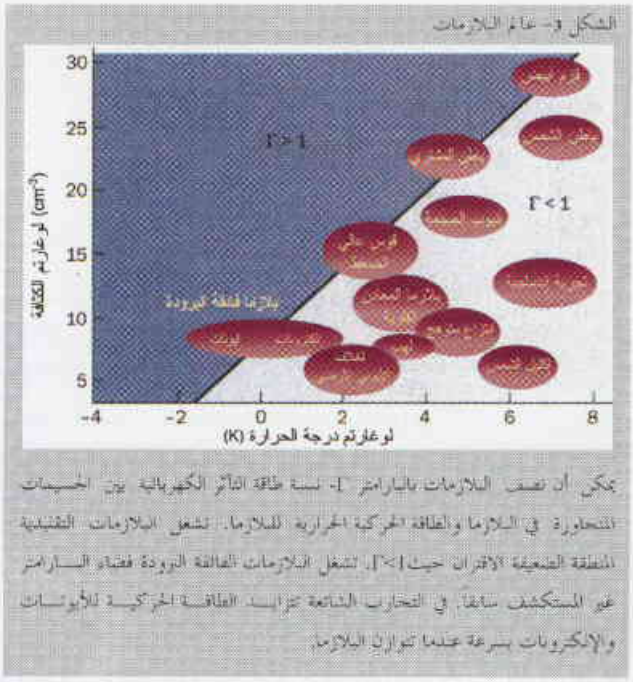
(b) إن أخفض الكثافات تكون تجاوبية مع الحقل المطبّق في أوقات متأخرة.

يمكن باستخدام العلاقة بين تواتر البلازما وكثافتها، أن نستعمل البيانات كتلك التي ترسم خريطة كثافة البلازما الوسطية كتابع للزمن.

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

يمكن أن يكون مصدر الحرارة من إعادة اتحاد إلكترون - أيون تفقد الإلكترونات الطاقة عندما تتّحد مع أيون، وتنتقل تلك الطاقة إلى الإلكترونات الحرّة الباقية. ويمكن أن تكون أيضاً من الطاقة الكامنة الكهربائية للجملة البدئية. تكون الذرّات المعتدلة التي تولّدت منها البلازما موزّعة بصورة عشوائية في غاز مما يعني بأن الأيونات والإلكترونات يمكن أن تملك كمية قليلة من الطاقة الكامنة البدئية ولكنها تملك كمية كبيرة جداً من الطاقة الكامنة الكهربائية. يمكن أن يأتي مصدر تسخين إضافي من "تخفيض المتصل" حيث تؤثر الجسيمات المجاورة المشحونة في طاقة التأين وتجعل الإلكترونات الهاربة تمتلك طاقة أكبر مما نتوقع. ومن المحتمل أن تساهم جميع هذه العوامل في تمدّد البلازما إلى درجة ما، وفرز هذه المساهمات هو أحد المواضيع التي يُطالب بها النظريون في هذا الحقل.

إن فهم ديناميات التمدّد هذا هو المثير لأنه من الممكن أن تَعبُر البلازمات الفائقة البرودة إلى نظام فيزياء البلازما ذات الاقتران القوي. تكون البلازمات مقرونة بقوة عندما تصبح نسبة الطاقة الكامنة الكولونية بين الجسيمات المشحونة المتجاورة والطاقة الكامنة الحرارية، $\Gamma=e^2/4\pi\varepsilon_0 a k_B T$، أكبر من 1 (تدلُّ a على التباعد بين الجسيمات وe على شحنة الإلكترون وε_0 على سماحية الفضاء الحر). تقصر فيزياء البلازما التقليدية نفسها على النظام حيث $1 \gg \Gamma$، لكن منظومات الاقتران القوي الغريبة موجودة في الطبيعة كما هو الحال في القشرة الخارجية للنجوم النترونية وقلوب الكواكب الضخمة الغازية مثل المشتري (الشكل3).



يمكن أن تصف البلازمات بالبارامتر Γ- نسبة طاقة التأثر الكهربائية بين الجسيمات المتجاورة في البلازما والطاقة الحركية الحرارية للبلازما. تشغل البلازمات الفائقة البرودة المنطقة الضعيفة الاقتران حيث Γ<1. تشغل البلازمات الفائقة البرودة فضاء البارامتر غير المستكشف سابقاً. في التجارب الشائعة تزداد الطاقة الحركية للأيونات والإلكترونات بسرعة عندما تتوازن البلازما.

هنالك ضرورة لمراجعة المفاهيم الأساسية في هذه المنظومات، كما هو الحال في العمليات المعقّدة لإعادة الاتحاد وحجب ديباي Debye (حيث تُرتّب الشحنات المختلفة نفسها لتقليل الحقل الكهربائي الكلّي إلى أصغر الحدود) والوصف الهدروديناميّ للبلازمات.

حفّز التقدُّم الحالي في فهم البلازمات المتعددة المكوّنات هذه المحتوية على أيونات وإلكترونات على القيام بدراسة البلازمات أحادية المكوّن حيث تؤسر فيها الإلكترونات فقط أو الأيونات فقط. آثارت التجارب التي أجرتها مجموعة دافيد ويلاند D. Wineland في بولدير- كولورادو بعض الأسئلة المهمة. بيّن الباحثون أنه عند ازدياد Γ تتغير البلازما غير المعتدلة الباردة من بنية شبيهة بالغاز إلى بنية سائلة أو حتى صلبة حيث تُنمّي الجسيمات ارتباطات مكانية لتقليل الطاقة الكامنة إلى أصغر حدّ (الشكل 4). هل من الممكن توليد منظومة من مكونين في المختبر مع اقتران الإلكترونات والأيونات بقوة معاً؟ كيف ستسلك منظومة المكونين المقرونين بقوة؟ هل منظومة المكونين المرتبطين عبارة عن مجموعة من الذرّات المعتدلة أم أن هنالك حالة غير مستقرة إلى حدٍّ ما حيث إن جميع مواقع الأيونات والإلكترونات مرتبطة في حين أن الإلكترونات حرة في تحركها من قلب أيون إلى قلب أيون آخر؟ تتطلّب الإجابة عن هذه الأسئلة مفاهيم من المادة الكثيفة، ومن فيزياء البلازما والفيزياء الذرّية، التي تعتبر إحدى أكثر أبحاث مظاهر البلازما الفائقة البرودة إثارة.

غازات ريدبرغ الكثيفة

كانت هنالك مفاجآت كبيرة في السابق عند استكشافنا للبلازمات الفائقة البرودة المعتدلة. ولكي نجعل الإلكترونات أبرد ما يمكن كان علينا أن نعاير طول موجة الليزر حتى تعطى الإلكترونات طاقة تكفي فقط لتنفصل عن أيوناتها الأم وليس أكثر من ذلك. كانت الطريقة الواضحة لإيجاد طاقة التأيُّن تلك هي إضاءة الليزر ببساطة على الذرّات والبحث عن الأيونات. ونستطيع بعدئذ تخفيض طاقة الفوتون تدريجياً حتى تختفي إشارة الأيون، ولكن إشارة الأيون لم تختفِ ورأينا تحت طاقة التأين وعندما أثيرت الذرّات إلى حالات ريدبرغ آن الأيونات موجودة بكثرة. إن منظومة ذرّات ريدبرغ الفائقة البرودة المتروكة لوحدها قد تأيّنت تلقائياً بطريقة ما.

كانت هذه الملاحظة تذكرة لعمل أُجري على ذرّات السيزيوم في درجة حرارة الغرفة في الثمانينيات من القرن الماضي قامت به مجموعة سيرجي هاروتش S. Haroch في باريس. اصطدمت، في هذه التجارب ذرّتا ريدبرغ لتشكيل أيون وإلكترون حر وذرّة معتدلة أقل إثارة. واصل الإلكترون الحرُّ سيره ليصطدم بذرّات ريدبرغ أخرى متعددة، مؤيناً إياها ومنتجاً إلكترونات أكثر. وإذا ما كانت كثافة ذرّات ريدبرغ عالية بحيث تكفي لذرّتين منها أن تصطدما

فإن الإلكترون الحر سوف يقدح من هذا الاصطدام انهياراً يؤدي إلى تأيّن ما تبقّى من ذرّات ريدبرغ.

الشكل 4 - بلازمات أحادية المكوّن

تبيّن الصورة نجم براج في البلازما أحادية المكوّن المقترنة بقوة للريديوم الأحادي الثاني كما هي ملحوظة من قبل مجموعة دفيد ويلاند في NSI. إن الطاقة الكهربائية لأقرب مجاور في البلازما أكبر بكثير من الطاقة الحركية للأيونات في البلازما (1 eV). تحول الأيونات أن تتحد عن بعضها البعض بعد فقدان طاقة كمونها الكهربائي. على أي حال، وبسبب أن الأيونات محصورة فإنها تتموضع على شكل ترتيب شبكة أيونية تسلك مثلوك جسم صلب. إن الذي يبقى لرؤيته أو التأكد منه هو فيما إذا كانت البلازما المعدلة ثانية المكوّن تستطيع أن تتطور إلى هذه الحالة. إن إجراء تجارب حديثة لتستخدم الكالسيوم والستروسيوم يكون ملائماً بشكلٍ مثالي للتعامل مع هذه المسائل.

على أي حال، إن مشاهداتنا لذرّات الكزينون ذات البرودة الفائقة لا تلائم هذا النموذج تماماً. كانت الذرّات في تجربتنا تتحرك بسرعة تبلغ حوالي 6 سم في الثانية، مما يعني بأن ذرّات ريدبرغ لاتستطيع الاصطدام في المئة مكروثانية القليلة الأولى. ولكننا شاهدنا تأيّناً تلقائياً أسرع من ذلك. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الإلكترونات الحرّة القادمة من غاز ريدبرغ المؤيّن تلقائياً هذا كانت تتحرك ببطء أكبر من الإلكترونات الحرّة القادمة من العيّنة المؤيّنة ضوئياً. كان من الصعب معرفة فيما إذا كان هذا نتيجة لعملية تشكّل الإلكترون، أم كان عائداً إلى أثرٍ آخر ما في البلازما، مثل حجب ديباي.

إن السبب الحقيقي للتأيّن التلقائي في منظومة ريدبرغ ما زال غير مؤكّد، وبينما يقلّص عدة باحثين بارزين الاحتمالات، فإن الموضوع إلى حدٍّ ما هو موضع جدال. حصل توم غالاغر T. Gallagher من جامعة فرجينيا على دليلٍ يُبيّن أن التأيّن التلقائي لذرّات ريدبرغ يعود إلى الآلية نفسها التي حدّدها هاروتش. وباستخدام حقل تواتر راديوي بسيط، سخّن غالاغر الإلكترونات حال تشكلها. وهذا ما زاد بشكلٍ مثيرٍ السرعة التي بدأ بها الانهيار. يتطلّب التأيّن التلقائي لمنظومة ريدبرغ طاقة من مكان ما، ويبدو أن التصادمات بين ذرّات ريدبرغ – المتبوعة بتأيّن انهياري تقدّم تلك الطاقة. ومن المحتمل أن تكون الإلكترونات القليلة الأولى قد تولّدت عندما "تشكّلت" ذرّتا ريدبرغ من التصادم.

اقترح إيد آيلر E. Eyler وفيل غولد F. Gould من جامعة كونيكتكت أن تصادمات ذرّة ريدبرغ التي تسبّب التأيّن ليست بالضرورة نتيجة تصادمات من نوع كرة البليارد. إن قوى فان درفالس Van der Waals بين ذرّات ريدبرغ المثارة بشكلٍ كبير قوية مما يجعلها تتجاذب بصورة طبيعية على مدى بعيد. ربما تُشكّل ذرّات ريدبرغ جزيئات طويلة المدى وتصطدم بسبب الكمون الجزيئي. ستكون التصادمات عنيفة بشكلٍ كافٍ بحيث أن إحدى ذرّات ريدبرغ على الأقل أصبحت مؤينة.

قدّم جورج ريذيل G. Raithel من جامعة ميتشغان احتمالاً آخر يقترح عمل ريذيل أن الإلكترونات الحرّة القليلة الأولى لا تنتج من تصادمات ذرّة ريدبرغ ولكن تنتج عندما تتأيّن ذرّات ريدبرغ بفعل إشعاع الجسم الأسود. يصدر هذا الإشعاع العريض الطيف من قِبَل بقية التجربة التي تتم في درجة حرارة الغرفة. عندما تصطدم الإلكترونات الحرّة بذرّات ريدبرغ فإنها تختلط مع حالة ريدبرغ البدئية. وهذا يمنع أي اضمحلال إشعاعي للذرّات ويشجع الجسم الأسود والتأيُّن التصادمي.

كبح جماح الذرّات المتكيفة السريعة التغيّر

إذا أمكن تثبيت مصدر الإلكترونات الأولى، فإنه من الممكن توضيب تجربة تمنع التأيّن. إنها الإلكترونات القليلة الحرة الأولى التي تُسبّب ظاهرياً التأيّن الانهياري في بقية المنظومة. ولهذا إذا وُلّدت هذه الإلكترونات نتيجة تراكب ذرّات ريدبرغ في الغاز البدئي، فمن الممكن وضع الذرّات في شبيكة ضوئية وإبقاؤها بعيدة بعضها عن بعض. رتّب ميشيل نويل M. Noel من كلية براين ماور في بنسلفانيا تجربة لاختبار هذا الاحتمال. فإذا كانت الفكرة صحيحة، أصبح من الممكن دفع انتقال عازل ـ معدن إلى حالة غاز ريدبرغ عالي الكثافة.

قام نيفل موت N. Mott في عام 1936 بتجربته الشهيرة على انتقال عازل ـ معدن الذي يُطلق عليه بصورة عامة انتقال موت Mott. هنالك مركبات معينة تكون عوازل في درجة حرارة الغرفة ولكنها تكون نواقل في درجات الحرارة الأخفض. تصوّر موت أن الذرّات في العازل تتوزّع بصورة منتظمة في شبيكة ثلاثية الأبعاد. حَسَب أنه إذا تغيّرت المسافة بين الذرّات في الشبيكة بشكلٍ كافٍ، وذلك بتغيير درجة الحرارة مثلاً، فإن السحابة الإلكترونية من الذرّات المجاورة

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

ستتراكب. وحينئذ ستكون الإلكترونات حرّة للتجول من موقع شبيكة إلى أخرى وسيصبح الجسم الصلب معدنياً.

ففي منظومة ريدبرغ، وبدلاً من تقليص ثابت الشبيكة لجعل الذرّات تتراكب، يمكنك ببساطة أن تزيد من حجم الذرّة وذلك بزيادة إثارتها. ولكن بعكس الذرّات في منظومات الحالة الصلبة تكون أدنى حالات الطاقة متاحة في ذرّات ريدبرغ. وعندما تبدأ ذرّات غاز في حالات ريدبرغ في التراكب، يمكن لأحد الإلكترونات أن ينتقل إلى حالة طاقة أدنى بينما يأخذ الإلكترون الآخر الطاقة الزائدة. وهكذا يتبقّى علينا فَهْم انتقال موت في عينة طور غاز حالة مثارة.

ومن ناحية أخرى، إذا أتت الإلكترونات الحرّة الأولى من إشعاع الجسم الأسود، فإن الحلَّ الواضح يكون في التخلُّص من ذلك الإشعاع. أنشأ ريذيل منظومة قرّية تحذف إشعاع الجسم الأسود. وعلى أي حال، إذا أتت الإلكترونات من قوى فان درفالس المبالَغ فيها في ذرّات ريدبرغ، فإنه لايمكن عمل أي شيء لمنع التأيُّن الانهياري الكبير للمنظومة.

تستمر غازات ريدبرغ الباردة والكثيفة في خلق فرص تَحدٍ عند الحشد الذرّي وعند فيزياء المادة الكثيفة. توجد هذه المنظومة عند السطح البيني الكمومي - التقليدي، حيث تكون الحسابات صعبة لأنها لاتوصف بنظام واحد منهما أو بآخر. وهي تشوش أيضاً التمييز بين تأثرات الجسيم - المفرد وتأثرات أجسام متعددة. وعلاوة على التطبيقات التقنية الممكنة، ستساعدنا هذه المنظومة على فهم كيف نفكر في هذه الأمور المعقّدة على المستوى الأساسي.

التحدّي الأخير

سيفتح الجيل التالي لتجارب البلازما الفائقة البرودة ـ المتوقّع أن تبدأ هذا العام - إمكانيات جديدة. تستخدم التجارب التي ستُبنى في مختبرات جامعة رايس وفي جامعة بريغهام يونغ عنصري السترونسيوم والكالسيوم. تملك ذرّات المجموعة II ميّزة مهمة وهي أنها تحوي عندما تتأيّن إلكتروناً مرتبطاً مقلقلاً. وهذا يعني أن الأيونات لها تواترات انتقال بحيث من السهل سوقها بفعل ليزر شائع ملائم، كما يمكن أيضاً استعمال الأدوات التي تُستخدم في تبريد الليزر وتناول الذرّة في البلازما.

ستكون التقنية المعروفة بالتصوير الامتصاصي ـ وهي أساس العمل في التجارب التي تجري على الذرّات الفائقة البرودة المعتدلة - قابلة أيضاً للانتقال إلى السترونسيوم والكالسيوم. ستُنتج هذه صورة قابلة للمشاهدة بشكل مباشر من الصورة الجانبية للبلازما المتباينة الكثافة مكانياً. إن قياس هذه الصور الجانبية الكثيفة ضروري للتمييز بين المحاكيات النظرية لكيفية تغيّر كثافة البلازما مع الزمن. تتنبأ بعض النماذج بنشوء موجة صدم خلال تمدّد البلازما، في حين بيّنت نماذج أخرى أمواجاً صوتية أيونية متجمّدة في المكان.

وباستخدام ليزرات لتبريد الأيونات في البلازما، سيصبح في الإمكان تخفيض الطاقة الحركية للأيونات بحيث تتزاوج بقوة. ومن الممكن في تجارب كهذه تحقيق وتوسيع نظرية منظومات المكونين المتزاوجين بقوة. وبخاصة، سنكون قادرين على دراسة إعادة اتحاد ديناميات التصادم و تحمية الإلكترون والتوسُّع في منظومة الضغط السالب.

إن البلازمات الفائقة البرودة المعتدلة وغازات ريدبرغ الكثيفة ذوات قرابة قوية في هذا الحقل الجديد من المنظومات الذرّية المتأثرة بقوة والمثارة بدرجة عالية وذات البرودة الفائقة. إنها تسكن المناطق بين فيزياء المادة الكثيفة وفيزياء البلازما الذرّية. لقد أدهشتنا مسبقاً بأسئلة محيّرة ـ التي قد بدأنا التعامل مع بعضها ـ ولكن كل تجربة تثير أسئلة أكثر من الأسئلة التي تجيب عنه.

ملاقط ضوئية: الجيل القادم*

كيشان ظولاكيا ـ ميخائيل ماكدونالد
مدرسة الفيزياء والفلك ـ جامعة سانت أندروز ـ المملكة المتحدة
جَبريل سبالدينغ
قسم الفيزياء ـ جامعة إيلينوي الويزليّة ـ بلومينغتون ـ الولايات المتحدة

ملخص

إن القدرة على التحكم بالمادة بواسطة الليزرات عن بعد قد أضحت ذات تأثير كبير في الفيزياء وعلم الحياة، وقد وصلت الآن إلى النقطة التي صار باستطاعة الباحثين عندها أن ينشئوا أصنافاً جديدة من المادة.

الكلمات المفتاحية

ضغط الإشعاع، مصيدة ضوئية، ملاقط ضوئية، هولوغرام (صورة مجسَّمة)، ماكينات نانوية، مناولة (مناقلة) ضوئية.

يُعد جوهانس كِبلر J. Kepler من المشهورين لاكتشافه قوانين الحركة الكوكبية، ولكنه أقل شهرة بما كتبه والذي يمكن أن يُطلق عليه أول قصة في الخيال العلمي تناولت موضوع السفر إلى الفضاء. لاحظ الفلكي الألماني من خلال قيامه بالرصد الفلكي أن ذيول المذنّبات تتجه مبتعدةً عن الشمس، الأمر الذي دعاه إلى اقتراح أن الشمس تطبّق نوعاً من الضغط الإشعاعي. وقد قاده هذا في سنة 1609 ـ وهي السنة التي نشر فيها أول قوانينه ـ إلى اقتراح السفر (الإقلاع) من الأرض إلى القمر على متن الضوء ذاته. وقد كان ذلك ولا يزال المادة التي يقوم عليها الخيال العلمي. لكن أفكار كبلر الأولية حول المادة المتحركة مع الضوء، هي الآن ـ وبعد انقضاء 400 عام ـ حقيقة واقعة بكل تأكيد.

في الوقت الذي قد لا يكون فيه تحريك المادة من أكثر الطرق العملية على المقياس الجهري، هنالك اهتمام مكثف بالمناولة الضوئية optical manipulation والتجميع الضوئي على المقياس المجهري، لا يقلّ عما هو عليه عند الباحثين في علم الحياة (البيولوجيين). يمكن للضوء أن يحرك المادة لأن الفوتونات تحمل اندفاعاً: فالفوتون الذي طول موجته λ له اندفاع قدره $p=h/\lambda$ حيث h هو ثابت بلانك. وهكذا، عندما تُصدر أو تمتص الذرّة فوتوناً فإن اندفاعها يتغير وفقاً لقوانين نيوتن في الحركة. وبالمثل، فعندما يغيّر جسيمٌ مكروي اتجاه حُزمة ضوئية نتيجة انعكاس أو انكسار، فإنه سيعاني أيضاً من تأثير قوة عليه (انظر المؤطر 1). وخلاصة القول، توجد قوى تدرّج أخرى بالإضافة إلى ضغط الإشعاع الذي تكلّم عنه كبلر، هذه القوى ستكون كافية للسماح بالمناولة الضوئية للمادة في حالة الأجسام الصغيرة.

إن أولى المصائد الضوئية أوجدها أرثر آشكين A. Ashkin الذي يعمل في مختبرات بل التابعة لـAT&T في الولايات المتحدة عام 1970. استَخدَمت "مصائد الاسترفاع Levitation traps" ضغطَ الإشعاع المتجه نحو الأعلى مرفقةً معه تياراً من الفوتونات كي توازن سَحْبَ الثقالة نحو الأسفل، في حين اعتمدت "مصائد الحزمتين على حزم متعاكسة الانتشار كي تأسر الجسيمات. ثم أدرك أشكين وزملاؤه في عام 1986 أن قوة التدرّج لوحدها ستكون كافيةً لأسر جسيمات صغيرة. فاستخدموا حزمة ليزرية وحيدة مبأّرة بإحكام كي يأسروا جسيماً شفافاً في ثلاثة أبعاد. لقد وصلت "الملاقط الضوئية" إلى المختبر.

تحريك الجسيمات بالضوء

تعمل الملاقط الضوئية لأن الجسيمات الشفافة، ذوات قرينة انكسار أعلى من قرينة انكسار الوسط الذي يحيط بها، تنجذب نحو المنطقة التي تكون شدة الليزر فيها عظمى. وبتحريك بؤرة الحزمة هنا وهناك، يصبح من الممكن عندئذ أن ننقل الجسيم. وفي الحقيقة، من الممكن بالملاقط الضوئية أن نمسك ونحرّك الأجسام العازلة كهربائياً (الكهرنافذية) والعيّنات الحيوية (البيولوجية) التي تقع أبعادها في مجال يمتد من عشرات النانومتر إلى عشرات المكرون، وذلك حسب رغبتنا وكيفما نشاء. ورغم أن القوى الضوئية قد تكون من رتبة البيكونيوتن فقط، فمثل هذه القوى غالباً ما تكون هي المهيمنة على المستوى المكروي.

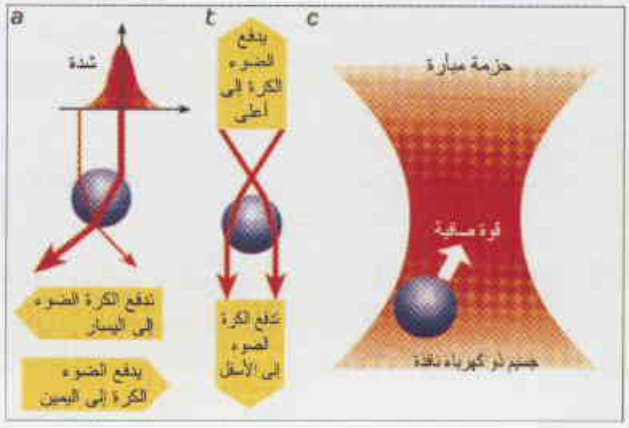
ولكي تكون قوى التدرّج الضوئي ذوات شأن، ينبغي أن تكون حزمة الليزر مبأّرة بإحكام. وهذا التبئير المُحكم يستدعي أن يكون للمجهر عدسة جسيمية ذات فتحة عددية عالية (وهي مقياس للزاوية لدى وصول الحزمة إلى النقطة المحرقية). يمكن أن تُستخدم العدسة

* نُشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, October 2002 ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

ذاتها أيضاً لتصوير الجسم المأسور، لكن ينبغي أخذ الحذر والحيطة لمنع الحزمة الليزرية منعاً باتاً من الوصول إلى أعين المراقبين.

مع غياب الزيغ الضوئي، يكفي ليزر قدرته ملّي واط تقريباً كي يأسر جسيماً شفافاً صغيراً وحيداً ـ كعيّنة بيولوجية مثلاً ـ في ثلاثة أبعاد. ورغم أن الجسيمات التي لا تكون شفافة يمكن أن تُدفع بعيداً عن المنطقة البؤرية، فبإمكان المرء أن يأسر بصورة مستقرة مجالاً واسعاً جداً من المواد وذلك بتفصيل الطول الموجي أو خصائص الحزمة.



المؤطر 1 – كيف تعمل الملاقط الضوئية ؟

في "المصيدة الضوئية" تعمل حزمة الليزر على موازنة دفع الثقالة. كي يأسر جسيماً "بطريقة ضوئية" في ثلاثة أبعاد من الضروري أن تطبّق قوة "ضوئية" في نفس اتجاه حزمة الليزر وقوة "عرضية" بصورة عمودية على الحزمة. تنشأ القوة العرضية بأخذ شدة الليزر العظمى عند مركز الحزمة. (a) فإذا كان الجسيم إلى يسار مركز الحزمة، مثلاً، فإنه سيكسر ضوءاً أكثر من اليمين إلى اليسار، بدلاً من أن يعمل العكس. ويكون التأثير الصافي هو نقل الاندفاع إلى الحزمة في هذا الاتجاه، وعليه، وبموجب قانون نيوتن الثالث، سيعاني الجسيم من قوة مساوية ومعاكسة، تتجه من الخلف باتجاه مركز الحزمة. وفي هذه الحالة يكون الجسيم كرة كهرنافذة dielectric أو عازلة. (b) وبالمثل، إذا كانت الحزمة محكمة التبئير فمن الممكن أن يخضع الجسيم لقوة تدفع من الخلف نحو مركز الحزمة. (c) يمكننا أيضاً أن ننظر في حجّة فعّالة: عندما يوضع جسيم قابل للاستقطاب في حقل كهربائي، فإن الحقل الكهربائي الصافي ينقص. تكون طاقة المنظومة في أدنى قيمها عندما يتحرك الجسيم إلى حيث يكون الحقل أعلى؛ وذلك عند البؤرة. وعليه تتشكل آبار الكمون بواسطة النهايات العظمى الموضعية في الحقول.

لقد استُعملت الملاقط الضوئية بكثرة على مدى عقدين تقريباً في تطبيقات متنوعة تنوع التجارب التي تجرى على المحرّكات الجزيئية في البيولوجيا وعلى حركة متكتفات بوز ـ آينشتاين في الفيزياء. وقد توسعت في السنوات الأخيرة قدرات الملاقط الضوئية المفردة مع تطوير الحزم المصنّعة حسب الطلب (انظر المؤطر 2) وبواسطة خطط لتوليد أعداد كبيرة من مواقع الأسر وأشكاله بصورة متزامنة. ولقد قادت هذه التطورات إلى جيل جديد من التجارب.

تقدّم التقنيات الضوئية آلية تحريك يمكن التحكم فيها تحكماً شديداً وهي تتجنب أي تماس فيزيائي مع العالم الخارجي. وهذا مهم بشكل خاص عندما يكون العمل بعيّنات بيولوجية، لأن المناولات المجهرية micromanipulators التقليدية تستطيع أن تعيق (تسد) أو تلوث أو حتى تتفاعل مع المنظومة المدروسة. وإذا ما استُعملت بضمها مع نبائط ذوات ميوعة مجهرية تقليدية conventional microfluidic drives، يمكن أن تُستعمل الملاقط الضوئية لتنظيف الانسدادات الثانوية في القنوات المكروية لتوجّه سير العيّنات ضوئياً. كما أنها يمكن أن تُستخدم بمثابة العناصر الأساسية للمركّبات المجهرية الأخرى مثل المضخات والصمامات والخزانات. وقد يكون ممكناً في المستقبل أن نصنع صفائف مكروية تحليلية يمكن إعادة تشكيلها دينامياً (تحريكياً) من أجل تقانات ما يسمى مختبر على جذاذة lab-on-a-chip.

المؤطر 2 – حزم ليزرية جديدة

كل الفوتونات لها اندفاع زاوي ذاتي intrinsic angular momentum أو "سبين spin"، وهكذا، يمكن لحزمة ليزر مستقطبة استقطاباً دائرياً أن يكون لها اندفاع زاوي سبيني أيضاً. ولكن من الممكن أيضاً أن نولّد حزماً ليزرية لها اندفاع زاوي مداري. يُنقل هذا الاندفاع الزاوي المداري بواسطة حالات للحقل الكهرمغنطيسي تتمتع بتفرّدات (شذوذات) طورية phase singularities وهي مناطق يأخذ فيها الطور كل القيم الواقعة بين 0 و 2π، وينبغي أن تكون الشدة فيها معدومة. وفي السنوات القريبة الماضية استثمرت مجموعات عديدة خواص صنف من الحزم الليزرية ذات اندفاع زاوي مداري، وهي التي تدعى الحزم اللاغورية – الغوصية، في مجال من تطبيقات متقدمة على الملاقط الضوئية. تعرّف الحزم اللاغورية – الغوصية بعددين صحيحين l و p، مرتبطين بالخواص السَّمتية والشعّية للحزمة، ولها صدور موجات حلزونية يمكن أن تُستخدم لكَنْس الجسيمات المأسورة في مدارات مستمرة حول تفرّد الطور. تبين الأشكال المقطع العرضي للشدة في حزمة لاغورية – غوصية فيها $l = 1$ و $p = 0$. (a) وصدر طورها phase front الحلزوني. (b) يمكن أن تستخدم الحزم اللاغورية – الغوصية لتدوير جسيمات مأسورة كما أنها تؤمّن كفايات أسْر محوري معزّزة عن طريق تخفيض الآثار الضارّة لضغط الإشعاع. كما أنه يمكن استخدام الليزرات لإنتاج أنواع أخرى من الحزم، مثل حزم بيسل Bessel beams. تبين الأشكال المقطع العرضي للشدة. (c) وجانبية الشدة intensity profile. (d) لحزمة بيسل من المرتبة صفر. إن لحزم بيسل خصائص متعددة مفيدة في تطبيقات الملاقط: فمثلاً، إن القيمة العظمى المركزية لحزمة بيسل من المرتبة صفر تكون "غير منعرجة" non-diffracting، وهذا يعني أنها تنتشر دون تباعد كبير. وبناءً عليه يمكن استخدام حزم بيسل لتوجيه الذرّات والجسيمات المكروية وجعلها تسير في قنوات على مدى مسافات طويلة. كما يمكن أسْر الجسيمات في حلقات حزمة بيسل، ومن الممكن أيضاً أن تنقل أو تُناول سلاسل مُكدسة من الجسيمات أو أن تصفّ بصورة دورانية جسيمات عصويّة rod-like particles في محاذاة لبّ الحزمة. يمكن إنجاز ذلك في خلايا عيّنات متعددة رُتبت كلها على امتداد طريق الحزمة [6]. كما أن لحزم بيسل ذات المرتبة الأعلى اندفاعاً زاوياً مدارياً.

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

دوران ضوئي

يمكننا أن ننظر إلى الملاقط الضوئية على أنها بمثابة مكوّن أساسي في "حقيبة أدوات (معدّات) ضوئية" يمكن استخدامها في مجال واسع من مجالات البحث التجريبي. تحتاج كل حقيبة أدوات إلى سوّاقات دوّارة وتقدم حقيبة الأدوات الضوئية عدّة وسائل لاتلامسية من الدواليب المسننة المسيِّرة في ماكينات مكروية. وفي حين كانت الملاقط الضوئية المبكرة تأسر وتحرك الجسيمات بسهولة، أصبح الآن بالإمكان أن ندوّر الجسيمات بسرعات عالية وكذلك أن نُوجّه جُسَيْمين في مصيدتين منفصلتين ثم نجمعهما معاً. وهنالك أيضاً اهتمامٌ كبيرٌ باستخدام الملاقط الضوئية من أجل الأبحاث الأساسية في الفيزياء، مثل الأعمال النظرية والتجريبية الجارية حديثاً على الاندفاع الزاوي المداري للضوء.

إن الاندفاع الزاوي المداري متميِّز عن السَّبين، المرتبط ذاتياً بسلوك الحقل الكهربائي في الضوء: فنحن في العادة نرفق سَبيناً مع الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً وله طويلة تبلغ $\hbar=h/2\pi$ لكل فوتون. إن الاندفاع الزاوي المداري، على كل حال، هو نتيجة لصدور الموجات المائلة inclined wavefronts. وبخلاف صدور الموجات المستوية التي توجد في الحزم العادية، يمكن أن توجد صدور الموجات المائلة، في أنواع خاصة من الحزم الضوئية ("الدوامات الضوئية optical vortices" على سبيل المثال)، ونخصّ بالذكر منها الأنماط اللاغورية ـ الغوصية Laguerre-Gaussian modes (انظر المؤطر 2). وبصورة مهمة يمكن للاندفاع الزاوي المداري للضوء أن يتجاوز كثيراً $\hbar$ لكل فوتون.

تقدم الملاقط الضوئية وسيلة مثالية لدراسة الأنواع المختلفة للاندفاع الزاوي لأن عزوم الفتل التي تدخل في العملية هي من القوة بما يكفي لجعل الجسيمات المجهرية تدور. وفي حالة الاندفاع الزاوي السبيني، يمكن استعمال الملاقط الضوئية لصنع شَبَه مجهري لتجربة رِتشارد بث R. Beth الشهيرة عام 1936 التي قاس فيها عزم الفتل المطبّق على صفيحة موجيّة من الكوارتز معلّقة عندما أضيئت بضوء مستقطب استقطاباً دائرياً. (إن انطباقية handedness الضوء تتغير حقاً عندما يَمرّ من خلال الصفيحة).

استخدمت مجموعة هالينا روبنزشتاين – دَنلوب من جامعة كوينزلاند في أستراليا، في النسخة الحديثة من تجربة بث، ملاقط ضوئية لتبيّن أن الأجزاء المسحوقة من مادة ذات انكسار مضاعف تستطيع أن تعمل كصفائح موجيّة مجهرية ويمكن جعلها تدور من خلال الآلية ذاتها. كما بيّنت التجارب التي أجرتها مجموعات عديدة أن الاندفاع الزاوي يمكن نقله بواسطة الامتصاص أو التبعثر.

وتتواصل الجهود في مجالي الدراسة هذين كي تتوفر معرفة في هذا الموضوع الساحر من موضوعات الفيزياء الضوئية.

لقد أثبت بيتر غالاجدا P. Galajda وبال أورموس P. Ormos من أكاديمية العلوم الهنغارية في زيغد Szeged ومجموعة إيجي هيغوراشي E. Higurashi من مختبرات الإلكترونيات الضوئية التابعة لـ NTT في اليابان أن ضغط الإشعاع يستطيع بسهولة أن يُدوِّر جسيمات لها شكل نِصال (ريَش أو شفرات) المراوح. وقد استعمل غالاجدا وأورموس، على سبيل المثال، بَلْمَرة ثنائية الفوتون Two-photon polymerization كي يصنعا طواحين هواء ضوئية صغيرة جداً. يمكن عكس جهة دوران هذه الطواحين، بإجبار الطاحونة لتقف عند موضع مختلف بالقرب من بؤرة ليزر الأسر.

هناك طريقة أخرى لتدوير جسيمات مأسورة هي أن نستخدم حزمة ليزرية لها نمط حزمة إهليليجية أو لا متناظرة تدور: إن قوة التدرّج الضوئي ستجرّ بعدئذ الجسيمات المأسورة بصورة دائرية معها. يمكن صنع مثل هذه الحزم الدوّارة باستخدام فتحات دوّارة، وقد كان شونيشي ساتو S. Sato من جامعة طوهوكو رائد هذه التقنية في عام 1991 وحسّنها حديثاً حتّا أونيل A. O'Neil ومايلز بادغيت M. Padgett من جامعة غلاسكو.

كما يمكن تكوين حزم دوّارة بإحداث تداخل نمط ليزر لاغوري ـ غوصي مع نمط ليزر غوصي [9]. يمكن تشكيل عدد الأطراف في صورة التداخل اللولبي الناتجة بحيث تلائم شكل الجسم الذي تريده أن يدور، ويمكن جعل الصورة (النموذج) تدور بصورة مستمرة بخلق انزياح في التواتر بين النمطين المتداخلين. وبتغيير طول المسار الفعّال لواحدة من الحزمتين المتداخلتين، نستطيع أن نتحكم بسرعة الدوران، أو نفرض توجّه الجسيمات المأسورة، إذا لزم الأمر. لقد استُعملت هذه التقنية لتدوير وصف صبغيات (كروموزومات) الهامستر الصيني وكذلك مجموعات الجسيمات العَصَوية. وفي الحقيقة أصبح الآن بالإمكان توجيه جسيمين مأسورين بصورة منفصلة ومن ثم قيادتهما معاً في تجمعات تحت السيطرة.

هندسات أَسْرٍ متقدمة

يُعدّ تكوين صفيفات المصائد الضوئية ثنائية وثلاثية الأبعاد واحداً من أكثر التحسينات إثارة في الملاقط الضوئية في السنوات الأخيرة. هناك طرق عديدة للقيام بذلك ولكنها ليست مباشرة كما يمكن أن تبدو للوهلة الأولى.

وعلى سبيل المثال، استخدم يوسوكي أوغورا Y. Ogura وزملاؤه العاملون في جامعة أوساكا في اليابان صفيفاً من ليزرات سطحية

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

الإصدار ذات جوف شاقولي vertical cavity surface emitting laser (VCSEL) لخلق صفيفٍ من 8×8 مواقع المصائد. كما أنه من الممكن أيضاً خلق صفيف من مصائد بجعل حزمة ليزر مفردة تقوم بعملية مسح فوق مواقع مختلفة. ورغم أن كل موقع لا يُضاء إلا بَعْضَ الوقت في هذه الطريقة التي تتقاسم الوقت، فإن بئر الكمون الوسطي قوي بما يكفي لأسْر جسمٍ مجهري شريطة أن "يصيب" الليزر كلّ موقع أسر مرات متكررة تكفي للتغلب على أي مشكلة تعود إلى انتثار الجسيمات.

لكن أعظم الطرق الفعّالة الراهنة لتشكيل المصائد المتعددة تشمل استعمال عناصر ضوئية انعراجية لتحقيق ملاقط ضوئية تجسيمية (هولوغرافية).

تُشكّل الصورة التجسيمية (الهولوغرام)، تقليدياً، على هيئة نموذج تداخُل بين حزمتين حزمة مرجعية وحزمة خيال (صورة) كانت قد انعكست على جسم ثلاثي الأبعاد (3D). يحفظ الهولوغرام كلاً من طور المعلومة وسعتها، مما يعني أن "إعادة عرض" الهولوغرام بحزمة مرجعية تُعيد تشكيل صورة ثلاثية الأبعاد للجسم. وعلى كل حال، فإن الجسم الأصلي غير مطلوب فعلاً لكي نشكّل الهولوغرام، طالما أننا نستطيع أن نحسب أي نموذج تداخلٍ سينتجه وجوده. وهذا يعني أنه بدلاً من أن نأخذ "صورة فوتوغرافية" ثلاثية الأبعاد لجسم موجود سابقاً، يمكننا أن نستعمل الهولوغرام لخلق شيء ليس موجوداً؛ وهو في هذه الحالة صفيف من الملاقط الضوئية أو المصائد. ولكي ننجز ذلك نحتاج إلى استخدام هولوغرامات مُولَّدة بالحاسوب. نبدأ بالنموذج الذي نريد تشكيله عند مستوي الملاقط الضوئية (مصيدة دائرية، أو مجموعة من المصائد الخطية أو بعض الأشكال الهندسية الأكثر تعقيداً على سبيل المثال) ثم نقوم بالعمل باتجاه عكسي لنحسب الهولوغرام الذي سيولّد هذا النموذج إذا ما أضيء بحزمة ليزرية عيارية.

يمكن تصميم الهولوغرامات (الصور التجسيمية) كي تُعدِّل السعة أو الطور لحزمة واردة أو تُعدِّل الاثنين معاً. وعلى كل حال، إن تعديل الطور فقط قد أضحى النمط المفضَّل لأن شدة الأسر تعتمد على شدة الليزر وتعديل السعة يتضمن تبديد جزءٍ من طاقة الحزمة الواردة. تُستخدم خوارزمية تكرارية لمثل هذه الهولوغرامات الطورية فقط وذلك كي تقوم بحساب النموذج المطلوب [2]. يمكن بعدئذٍ لنموذج تعديل الطور المحسوب أن يُنمَّش (يُرقَّش) etched على صفيحة زجاجية أو أي مادة شفافة أخرى في صورة سطحية نافرة بواسطة عمليات طباعة حجرية (ليثوغرافيا) تقليدية: تكون الحزمة معدّلة طورياً لأن مختلف أجزائها ينبغي أن تمر عبر أطوال مسارات مختلفة في الصفيحة الزجاجية. وبمجرّد أن يرقَّش نموذج تعديل الطور على صفيحة زجاجية، لا يمكن تغييره. ولكن لنتصوَّر إمكانات ضم الهولوغرامات المتولّدة بالحاسوب مع قابلية إعادة التشكيل (الصورة) في الزمن الحقيقي. لقد أصبح مثل هذا التحكم الديناميّ ممكناً الآن.

إن أحد السبل لتشكيل ملاقط ضوئية هولوغرافية دينامية هو استخدام معدِّل ضوءٍ مكاني من بلّورات سائلة كما حققه أول مرة في عام 1999 يوشيو هاياساكي Y. Hayasaki وزملاؤه في جامعة توكوشيما في اليابان، ومجموعة ماركوس رِيْخيرتِر M. Reicherter في جامعة شتوتغارت في ألمانيا. من الممكن أن نغيّر طول المسار الضوئي الفعّال بإجراء ضبطٍ لتوجّه البلّورة السائلة (انكسار مضاعف) موضعياً (عند كل عنصورة at each pixel) وبذلك نخلق معدِّلاً طورياً. وباستخدام هذه التقانة من أجل الالتقاط الضوئي الهولوغرافي، تمكنت مجموعة ديفيد جراير D.Grier في جامعة شيكاغو من توليد ما يقارب 2000 مصيدة في مستوٍ، وأكثر من 400 مصيدة في بلّورة معينية مستقيمة orthorhombic ثلاثية الأبعاد.

في وقت مبكّر من عام 2002 أدخلت مجموعة جيْسبر غلوكشتاد J.Gluckstad التي تعمل في مختبر ريزو في الدانمارك تقنية فيها توافق مباشر ما بين تعديل الطور عند معدِّل الضوء المكاني وتعديل الشدة عند مستوي الالتقاط. وهذا يُنقص أزمنة الحوسبة اللازمة لتحديث كمون الأسْر ويُخفِّض الطلب على معدِّل الضوء المكاني. إن هذه الطريقة شبيهة بطريقة التصوير بالتباين الطوري التي أهّلت فرتيز زيرنيك F. Zernike للحصول على جائزة نوبل للفيزياء لعام 1953.

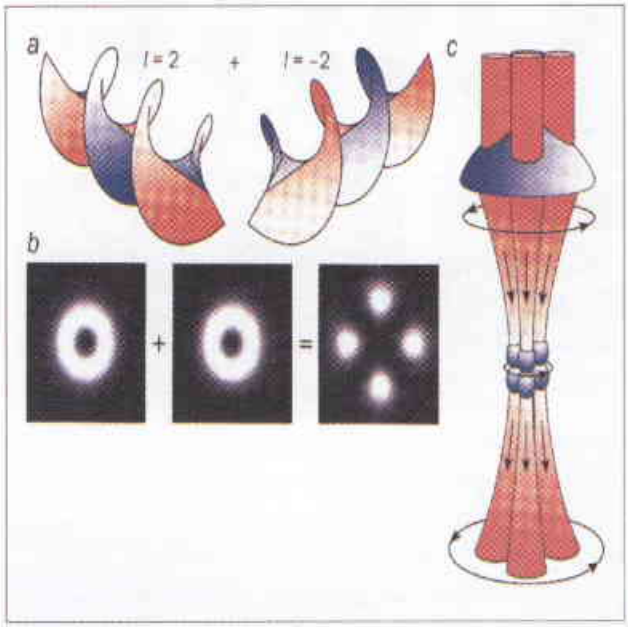
ستستمر تقانة المعدِّلات الضوئية المكانية في التحسن مع زيادة الشركات المصنِّعة لعدد العنصورات وكثافتها في النبائط، وكذلك زيادة عدد سويات الطور المنفصلة في كل عنصورة ومعدل التجديد. إذا أضفنا إلى ذلك خوارزميات مُحسَّنة، فستفتح هذه الإنجازات إمكانات جديدة في مصائد دينامية. ومن الطبيعي أن لايحتوي معدِّل الضوء المكاني المثالي من أجل الالتقاط الضوئي على عنصورات لا بل على العكس فإنه سيقدّم تعديلاً مستمراً عبر مساحته. هذا سيتغلب على الفقد في الشدة المصاحبة لتقسيم الصورة إلى عنصورات وكذلك مشكلة "ضجيج الانعراج"، الذي تسببه توافقيات عالية أُدخلت إلى الصورة الهولوغرافية كنتيجة للعنصورات المعرَّفة بجلاء ووضوح.

وعلى كل حال، فإن الملاقط الضوئية المتعددة تُستعمل الآن في عدد من التطبيقات. وفي أوائل عام 2002 استخدم ألفونز فان بلادرِن A. V. Blaaderen والعاملون معه لدى جامعة أوتْرِشت في هولندا صفيفات ثنائية البعد من الملاقط الضوئية لكي يطبعوا نمو بُنى العيوب داخل البلّورات الغروية، الذي يمثل خطوة إلى الأمام نحو إنتاج نبائط ذوات فرجة عصابة فوتونية photonic band-gap devices.

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

إن الاستخدام النهائي للهولوغرام الطوري في صناعة مواد ذوات فرجة عصابة فوتونية سيمثل سلسلة من التشويشات حول التآثر بين الضوء والمادة. إن الهولوغرام الطوري ـ قطعة زجاجية ذات قوام معين ستُكيِّف وتُنَمْذج الضوء بإدخال تعديل طوري في حزمة ليزرية. وهذه الحزمة ستخلق بعدئذ صفيفات الهولوغرافية من المصائد، التي ستستخدم لتُنَمْذج المادة بتنظيم الجسيمات المجهرية وفق مواد ونبائط ذوات فرجة عصابية فوتونية. وأخيراً، فإن هذه البلّورة الفوتونية ستشكل نموذجاً في الضوء مرة ثانية!.

لقد استخدمنا عناصر هولوغرافية في سانت أندروز لتوليد أنماط لا غورية ـ غوصية، والتي استخدمناها فيما بعد لتشكيل بُنى مكعبية ثلاثية الأبعاد. يقوم هذا العمل على مقدرة الملاقط على خلق آكداس أو "أبراج" من الجسيمات في موقع واحد. وإذا جمعنا حزماً لاغورية ـ غوصية لتنتج نماذج تداخل فبإمكاننا خلق أكداس متعددة من الجسيمات وتدوير هذه البُنى ككل [6] (انظر الشكل 1). ولقد تمكّنا، على سبيل المثال، من تشكيل خلية وحدة مكعبية بسيطة بتجميع أربعة آكداس احتوى كل كُدْسٍ منها على جسيمين (انظر الشكل 2). وزيادة على ذلك، فإن استخدام هولوغرامات طورية مُصمّمة خصيصاً قد زاد الآن من قدرات هذه الطرائق الجديدة.

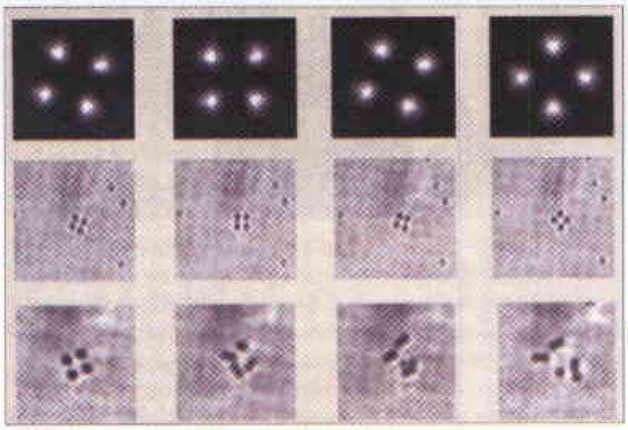


الشكل 1 – حزمونات مضاعفة (مزدوجة)

يمكن لزوجين من الحزم اللاغورية – الغوصية أن يتراكبا لتوليد نموذج تداخلي. (a) الطور الحلزوني لحزمتين فيهما $l = 2$ و $l = -2$ (b) مقطعان عرضيان للشدة في كل حزمة واتحادهما. (c) يمكن استخدام هذا النموذج لتشكيل خلية وحدة مكعبية بسيطة من ثمانية جسيمات أو كرات.

منظومات ترمودينامية نموذجية

يستطيع صفيف هولوغرافي من المصائد الضوئية آن يُحدث صفيفاً من آبار كمون تماثل صورة الطاقة الكامنة التي تعاني منها الذرّات عندما تحطّ على سطح بلّوري. وفضلاً عن ذلك، نستطيع أن نتحكم بعمق الآبار، وبالبعد الشبيكي، وبالتناظر وهلمَّ جرّاً في هذه "الركازة الافتراضية". ويمكننا أيضاً أن نولّف بصورة نظامية سوية عدم الترتيب وهذا يسمح لنا آن نراقب التنافس بين تآثر الجسيم ـ جسيم وتآثر الجسيم ـ ركازة، ونراقب تأثير عدم الترتيب على هذه المنافسة. إن هذه الدراسة ذات صلة كبيرة بفهم سلوك الذرّات على السطوح البلّورية، وتشكيل الزجاج، وانتقال الإلكترونات من خلال أمواج كثافة الشحنة، والدوامات في النواقل الفائقة ومجالات أخرى كثيرة.



الشكل 2 – إبقاء المادة في مكانها

يمكن لحزمتين لاغوريتين ـــ غوصيتين أن تتراكبا وتُستخدما لأسر جسيمات في خلية وحدة مكعبية كما هو موصوف في الشكل 1. تبيّن اللوحات العلوية المقاطع العرضية لمختلفة الشدة المستخدمة، وتبيّن اللوحات الوسطى الجسيمات (كرات من السليكا بقطر 1 µm معلقة في الماء). تشكل الجسيمات بنية مكعبية تحتوي على ثمانية جسيمات، مع أننا لا نرى سوى أربعة في هذه الصور. لاحظ كيف يدور اتجاه خلية الوحدة مع دوران الحزمة. تتحطم البنية المكعبية عندما يُفصَل (يُقطَع) الليزر (اللوحات السفلية).

دعنا نوضح الكمون لملاقط ضوئية متعددة، مولّدة هولوغرافياً بتجربة حديثة أُنجزت على منظومة غروية. المادة الغروية، من آجل غرضنا الحالي، هي مجموعة من جسيمات تقوم بحركة براونية، وكمثال على ذلك تجميع كرات من الزجاج بقطر 10 µm أو أقل من ذلك، معلقة في الماء. وبالإضافة إلى الأهمية العملية الهائلة للمنظومات الغروية في الصناعة ـ ابتداءً بالدهانات وصولاً حتى المواد الصيدلانية ـ فإن أمثال هذه المنظومات تكون مطواعة وتستسلم للدراسات الترموديناميكية المتعلقة بالترتيب وانتقالات الطور.

تلعب الجسيمات المحاطة بأيونات معاكسة تدخل في المحلول دورَ منظومة نموذجية (أكثر ضخامة) من الأيونات المحاطة

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

بالإلكترونات. إضافة إلى ذلك، فهي تشبه في كثير من النواحي محاكيات ديناميات جزيئية حسابية computational molecular-dynamics simulations لأن الجسيمات كلها بنفس الحجم (في حدود 1% أو 2%) ولأن التآثرات بينها يمكن توليفها: فيمكننا، على سبيل المثال، أن نحولَ دون التآثرات الكولونية وذلك بإضافة ملح إلى المحلول. وعلى خلاف ما هو عليه في المحاكيات، من السهل هنا أن نستخدم عدداً كبيراً من الجسيمات (من دون القيود التي تفرضها ذاكرة الحاسوب). ويستطيع علم تحريك الموائع (الهدروديناميك) أيضاً أن يقدم ميزات جديدة ليست بقاصرة على التنبؤ من خلال المحاكاة. وأخيراً، فإن الديناميات الإحصائية للغرويات تتميز بدرجة حرارة حقيقية، على عكس المنظومات الحبيبية المهتزة التي هي منظومة نموذجية عامة أخرى.

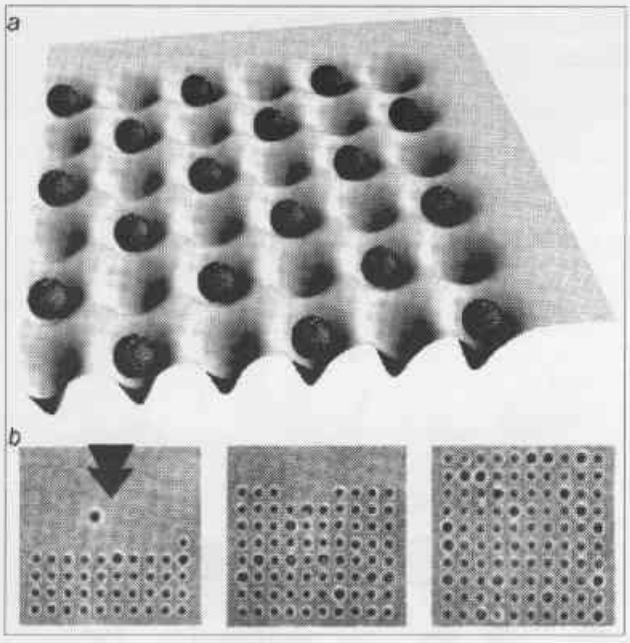
تشمل المميّزات الأخرى للمنظومات النموذجية كون الجسيمات ضخمة بما يكفي لتصويرها تماماً بمعدات معيارية ولذا فهي تستطيع أن تعطي معلومات عن الآليات المجهرية المفصّلة وعن الحوادث النادرة إحصائياً من أجل عمليات مختلفة (مثل: الانصهار أو تشكيل الزجاج) بطرق غير ممكنة باستخدام منظومات ذرّية.

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تصوير هذه الديناميات بواسطة تقنيات فيديو معيارية: حتى الكرات الصغيرة التي يبلغ قطرها 0.15 µm لا يمكن أن تنتشر إلا مسافة تُقارب أقطارها في غضون فترة زمنية تبلغ حوالي 30 ملّي ثانية. لذا فإن الميْز الزمني لمنظومة اقتناء تلفزيونية (فيديوية) نموذجية typical video-acquisition system كافٍ لدراسة الجسيمات المنعزلة، وهكذا يمكننا أن نستخرج معامل الانتشار بتعقّب (اقتفاء) الكرات الفردية.

وعندما يصبح تجمع الجسيمات مخفّفاً أقل من السابق، فإنه يصبح أكثر ترتيباً أيضاً ويمكّن البلّورات الغروية من التشكّل: أي تكون مقاييس الزمن ذات الصلة بالتبلور (أي مقاييس الزمن ذات العلاقة بحركة العيوب والأمواج الصوتية) مرئية أيضاً. فلقد شاهدنا، على سبيل المثال، التجمع التلقائي للمكوّنات المكروية (المجهرية) والنانوية في "منظر landscape" للطاقة الكامنة محدَّدٍ ضوئياً؛ فالجسيمات الغروية بأنصاف أقطار تبلغ 0.75 µm قد تجمعت ذاتياً في بنى شبيكات فائقة super lattice متنوعة فوق "ركازة افتراضية virtual substrate" (الشكل 3a).

إذا كان البعد بين المصائد صغيراً، فإن إعادة البناء reconstruction (أي تشكّل الشبيكة الفائقة) يأخذ مجراه. أما إذا كان البعد بين المصائد كبيراً، فيمكن أن تنتج سلسلة من الحالات تحتوي على حشوات (ذرّات بينية). إن ديناميات منظومات كهذه تكون غنية تماماً. لقد استخدم أحدنا (ج س) مؤخراً مع غرير Grier وبام كوردا P. Korda من شيكاغو الالتقاط الضوئي الهولوغرافي لدراسة ظواهر مشابهة لغزو الدوامات في فلم رقيق فائق النقل [5].

لقد تمّ تحقيق ذلك بخلق صفيف من المصائد الضوئية التي تستطيع أن تعلّق (تثبّت) pin جسيمات غروية متحركة بطريقة أخرى. وبإدخال لفّة نقل حراري سوارية (حَلقية) toroidal convection roll على الجانب البعيد من خلية عيِّنة، كان بإمكاننا أن "نسوق drive" المادة الغروية إلى "منظر السارية pinscape" من كل جهة. شاهدنا ديناميات تيهورية avalanche dynamics وتغيرات في الترتيب التوجهي للبلّورة الغروية لدى حدوث هذه العملية المسَيَّرة بالحمل الجرياني advection. يمكن لهذه الركازات الافتراضية "أيضاً أن تُستخدم في تجارب ذات صلة بالجريان الديناميي، وفي مواد متجزّئة باستمرار في معلّق، وتكوين نبائط ذوات فرجة عصابية فوتونية.



الشكل 3 – تجارب مثيرة على رُكازة افتراضية

(a) طاقم من جسيمات (كرات زرقاء) تستطيع أن تتجمع ذاتياً في منظر طبيعي هولوغرافي يكون مماثلاً لسطح الكمون الذي تراه الذرّات على سطح بلّوري.

(b) يُستخدم التحكم الديناميي للصورة الهولوغرافية لملْء صفيف محروم بإحكام (وهو الذي يعرَّف بالهولوغرام) ملئاً تاماً بكرات من السليكا قطر كل منها 1.5 µm معلّقة في الماء. يشير السهم الأحمر إلى تدفق المائع الذي يحمل الجسيمات المكروية إلى الحقل الهولوغرافي، حيث توضع المصائد في حال التشغيل عندما تتابع عملية التجمّع. تبيّن الصورتان في الوسط وعلى اليمين مراحل متأخرة من عملية الملء. بدون تحكم ديناميي لن تمتلىء بعض المصائد تلقائياً.

إذا أردنا أن نبلور صفيفاً ذا جسيمات منتظمة الحجم monodisperse، فإنه قد يكون كافياً أن نلقط فقط الجسيمات عند المحيط، أو ربما نعلّق بضعة مواقع إضافية عبر

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

الصفيف. إذا أمكن تطبيق شروط حدّية خارجية للشروع في التبلور، أمكن بعدئذ استخدام الالتقاط لإقامة قنوات وصفات خاصة أخرى داخل الصفيف. وبخصوص تآثر الجسيمات فإن كلاً من تآثر جسيم ـ جسيم، وجسيم ـ مصيدة يلعب دوراً مهماً في تشكيل البلّورة، ويقود التنافس بين هذه التآثرات إلى مخططات طورية غنية . ولقد شوهد، على سبيل المثال، انصهار محرَّض بالضوء light-induced melting، وانصهار متعدد المراحل multi-stage melting بل وحتى انتقالات الطور المعكوس من قِبل كل من أسلام تشوضوري A. Chowdhury وبروس أكرسون B. Ackerson في جامعة أوكلاهوما الحكومية، وكل من كليمنز بيشنجر C. Bechinger، وباول لايديرر P. Leiderer وزملائهما في جامعة كونستانز في ألمانيا، وفي مجال المحاكيات الحاسوبية شاهدها باحثون يعملون في جامعة هارفارد وفي لوس ألوموس.

ولقد استُعملت الملاقط الضوئية أيضاً في تجربة حديثة مع الجسيمات الغروية شوهدت فيها انحرافات عن القانون الثاني في الترموديناميك في شروط معيّنة. فلقد بيَّن دينيس إيفانز D. Evans من الجامعة الوطنية الأسترالية في كامبيرّا والعاملون معه أن الأنتروبية يمكن أن تتبدد بدلاً من أن تُوَلَّد في منظومة صغيرة كهذه على مدى فترات زمنية قصيرة. يمكن رؤية "انتهاك (خرق)" القانون الثاني لأننا نستطيع الآن أن نشاهد ديناميات المنظومات الغروية على مقياسي طول وزمن قصيرين بما فيه الكفاية. إن لهذا العمل مضامين من أجل تشغيل الماكينات النانوية nanomachines.

مستقبل الملاقط الضوئية

نشأ الاهتمام بتنظيم وإنشاء مكوّنات مكروية ونانوية في بنى أضخم من مراكز عدة. والتقانات الموصوفة هنا لها علاقة بتصنيع حسّاسات كيميائية جديدة وبالحقل السريع النمو لمنظومات ميكانيكية كهربائية مجهرية microelectromechanical (MEMS) systems بالإضافة إلى العديد من المجالات التي كان التقدم فيها مُقتصراً على الحاجة إلى تشكيل بنى ليست طباعة حجرية (ليثوغرافية) على المستوى المجهري. إن الأسر الضوئي ومناولة عدد كبير من الجسيمات يمكن أن يُحدث أيضاً صدمة في الهندسة الحيوية (الهندسة الوراثية)، كمثال على محاولات للتحكم بتنظيم الخلايا أثناء نمو العضو والنسيج.

إن بعض حقائب المعدّات الضوئية أصبحت جاهزة، لكنها لا تزال تتطور. فالملاقط الضوئية تستطيع الآن أن تأسر الجسيمات وتكيّفها وتوجّهها. إن تكوين المناظر الطبيعية الضوئية وتجميع المادة في ثلاثة أبعاد ستقدّم سويات جديدة من التحكم. إن الباحثين الذين يعملون في هذا الحقل يستعدون لشرح وتوضيح قوى جديدة (ضوئية وهدروناميكية معاً) ستكون لها أهمية عملية للمنظومتين المكرويتين الميكانيكية المكروية والمائعية المكروية، وهناك يقين بإيجاد تقدم وتطوير في البحث الأساسي أيضاً. وبالإضافة إلى ذلك، فالطرق المستخدمة للأسر الضوئي ولمناقلة عدد كبير من الجسيمات تتضافر بصورة جيدة مع التصاميم التي تستفيد من الحزم الضوئية الجديدة الموصوفة مُسبقاً. قد تبدو الفكرة مبتذلة لكن مستقبل الملاقط الضوئية مشرق.

REFERENCES المراجع

[1] J. E. Curtis, B. A. Koss and D, G. Grier 2002 Dynamic holographic optical tweezers Optics Communications 207, 169-175.

[2] E. R. Dufresne et al. 2001 Computer-generated holographic optical tweezer arrays Rev. Scientific Instruments 72, 1810-1816.

[3] M.E. J. Friese et al. 1998 Optical alignment and spinning of laser-trapped microscopic particles Nature 394, 348-350.

[4] V. Garcés-Cháves et al.2002 Simultaneous micromanipulation in multiple planes using self-reconstructing light beam Nature 419, 145-147.

[5] P. T. Korda, G. C. Spalding and D. G. Grier 2002 Evolution of colloidal critical state in an optical pinning potential landscape Phys. Rev. B 66, 024504.

[6] M. P. MacDonald et al. 2002 Creation and manipulation of three-dimensional optically trapped structures Science 296, 1101-1103.

[7] J. E. Molloy and M. Padgett 2002 Lights, action: optical tweezers Contemp. Phys. 43, 241-258.

[8] P. C. Morgensen and J. Glückstad 2000 Dynamic array generation and pattern formation for optical tweezers Optics Communications 175, 75-81.

[9] L. Paterson et al. 2002 Controlled rotation of optically trapped microscopic particles Science 292, 912-914.

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

التعريف بجسيم هِغز الصغير*

م. شمالتز

قسم الفيزياء - جامعة بوسطن - الولايات المتحدة.

ملخص

لسنوات متعددة، قدّمت نظرية سمّيت التناظر الفائق أكثر الحلول قبولاً للمسألة المراتبية في فيزياء الجسيمات، إلاّ أنه وجد لهذه النظرية منافس في الوقت الحاضر.

الكلمات المفتاحية

النموذج المعياري، التناظر الفائق، القوة الشديدة، القوة الضعيفة، بوزون هغز، كوارك، لبتون.

إن النموذج المعياري لفيزياء الجسيمات ناجح بشكلٍ هائل لأنه يستطيع أن يتنبّأ بدقة بنتائج التجارب بدءاً من السُلم الذرّي (حوالي 10^{-10} متر) ومروراً بطول الطريق الهابط إلى أقصر المسافات التي يمكن سبرها في المختبر (حوالي 10^{-18} متر). على أية حال، إن الفيزيائيين المختصين بالجسيمات غير مقتنعين تماماً بالنموذج ويُجهدون عقولهم في البحث عن نظرية يمكن أن تذهب إلى أبعد منه. فلماذا يفعلون ذلك وما هو الخطأ بالنموذج المعياري؟

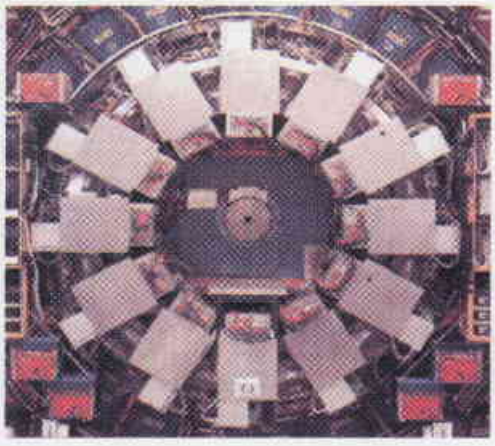
دعونا أولاً نعيد النظر بالنموذج المعياري، إنه من نواحٍ متعددة يضاهي الجدول الدوري للعناصر لكون الجسيمات الأساسية المعروفة للمادة ــ الكواركات الستة واللبتونات الستة (ونعني الإلكترون، الميون، جسيم تاو والنترينوات المرافقة) يمكن أن تُرتّب بجدول وفق أعدادها الكمومية المختلفة مثل الشحنة الكهربائية، اللون، الطعم والسبين.

على أية حال، يذهب النموذج المعياري إلى حدٍّ أبعد من الجدول الدوري لأنه يستطيع أن يصف بدقة كيف تتآثر الكواركات واللبتونات بعضها مع بعض من خلال تبادل "بوزونات عيارية" (ونعني الغليونات من أجل القوة القوية، والبوزونين W و Z من أجل القوة الضعيفة والفوتونات من أجل التآثر الكهرطيسي). سِمَةُ النموذج هي أن لجميع جسيمات المادة - الكواركات واللبتونات - سبينات قيمتها $\hbar/2$ حيث $\hbar$ ثابت بلانك مقسوماً على 2π، في حين أن للجسيمات التي تحمل قوى سبيناتٍ قيمتها $\hbar$. ويعني هذا أن كل الجسيمات الأساسية للمادة هي فرميونات؛ بينما كل الجسيمات التي تحمل قوى هي بوزونات.

ومنذ اكتشاف الكوارك ذروة عام 1995، تمّت مشاهدة "عائلات" كاملة من الكواركات واللبتونات وجميع البوزونات العيارية المختلفة تجريبياً. وفضلاً عن ذلك، جرى قياس تآثراتها بدقة كبيرة وكان كل شيء متطابقاً تماماً مع النظرية.

لتكن هنالك كتلة

يصف الجزء الأخير من النموذج المعياري - آلية هِغز - كيف تحصل الجسيمات الأساسية على كتلتها. لقد اكتُشفت هذه الآلية، التي سميت بهذا الاسم، بعد بيتر هِغز P. Higgs من جامعة أدنبرة عام 1964، وبشكل مستقل من قِبَل فرانسوا إنغلرت F. Englert وروبرت بروت R. Brout وجيرالد غورالنيك G. Guralnik وديك هاغن D. Hagen وتوم غيبل T. Kibble. بيّن هِغز والآخرون - معتمدين على عمل سابق من قِبَل جوليان شفنغر J. Schwinger وفيل أندرسون F. Anderson ــ كيف يمكن تحطيم التناظر الكهرضعيف، مما يسمح للجسيمات بأن تمتلك كتلة. على أية حال، ليس للفوتون كتلة لأن تناظر القوة الكهرطيسية لايتحطم في الطبيعة. (لاحظ أن معظم كتلة الجسيمات غير الأساسية، مثل النترونات والبروتونات، تأتي من طاقة ارتباط القوة القوية التي تبقي الكواركات معاً، وليس من كتل الكواركات نفسها).



آمال عالية ــ يأمل الفيزيائيون المختصون بالجسيمات أن يجدوا بوزون هغز في وقت ما بهذا العقد، ومن المحتمل أن يتم ذلك في تيفاترون في فرميلاب (في الأعلى)، وغالباً وبكل تأكيد في المصادم الهادروني الكبير LHC في سيرن.

* نُشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, November 2002 ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

إن الخلاء، وفق النموذج المعياري، الذي تتم فيه جميع تآثرات الأجسام لا يكون في الحقيقة فارغاً بل بدلاً من ذلك يكون مملوءاً بكثافة من جسيمات هِغز. تصطدم الكواركات واللبتونات والبوزونات W و Z باستمرار مع جسيمات هِغز هذه عند تحركها خلال "الخلاء". تسلك كثافة هِغز سلوك المادة اللزجة (الدبس) وتبطّىء أي شيء يتآثر معها. وكلما كانت التآثرات بين الجسيمات وكثافة هِغز أقوى، تصبح الجسيمات أثقل.

آلية هِغز جزء أساسي في النموذج المعياري، وبدونها تكون الكواركات واللبتونات ـ وأيضاً بوزونات W و Z ـ جميعها لاكتلة لها، وعندئذ لايمكن للعالم أن يوجد كما نعرفه. على أية حال، إن فيزياء ما وراء آلية هِغز هي المظهر الأقل اختباراً للنموذج المعياري. ورغم أن لدينا كثيراً من الدلائل التفصيلية عن جسيم هِغز التي تفترض بأن للجسيمات الأساسية كتلاً تنسجم مع آلية هِغز، ومن قياسات غير مباشرة في سيرن وستانفورد (المسماة البيانات الكهرضعيفة الدقيقة)، فإن جسيمات هِغز لم يتم الحصول عليها بشكلٍ مباشر ولم تلاحظ في تجارب المصادم.

ومع ذلك، ليس هذا هو السبب في عدم رضا النظريين عن النموذج المعياري. في الحقيقة إن أكثر النظريين مقتنعون حالياً بأن اكتشاف جسيم هِغز سيتم في هذا العقد في تيفاترون Tevatron لدى فرميلاب Fermilab أو في المصادم الهادروني الكبير LHC لدى سيرن CERN.

وهذا التنبؤ ـ الذي يتضمن بأن جسيم هِغز خفيفٌ جداً إلى حدٍّ كافٍ بحيث يتم الحصول عليه من التصادمات في تيفاترون أوLHC يمكن أن يُفهم كالتالي. يستمد جسيم هِغز كتلته أيضاً، مثل الكواركات واللبتونات، من الاقتران مع كُثافة هِغز. وبالإضافة إلى ذلك، تدلُّ القياسات الدقيقة للقوى الكهرضعيفة على أن قوة اقتران هِغز مع الكُثافة ليست أكبر بكثير من الاقتران المقابل للكوارك ذروة. ولهذا فإن جسيم هِغز لايستطيع أن يكون أثقل بكثير من الكوارك ذروة (الذي كتلته 174.3±5.1 GeV). وبصورة أدق، نتوقع أن يملك جسيم هِغز كتلة أكبر من 114 GeV حيث إن الكتل الأقل من هذه السوية استُبعدت بالتجارب لدى سيرن ـ وبأقل من بضع مئات GeV وبالمقارنة فإن كتلة البروتون تساوي تقريباً 1 GeV.

المسألة المراتبية

ما هي المشكلة إذن؟ يتعلق الأمر بالانسجام الداخلي للنظرية حيث يتضمن قطاع هِغز في النموذج المعياري عدم استقرار ناشىء من التآثرات الكمومية. فبالإضافة إلى الكتلة التي يكتسبها من التآثرات مع الكُثافة، يستطيع جسيم هِغز أيضاً أن يكتسب كتلة نتيجة التآثرات مع الجسيمات الافتراضية. يسمح مبدأ الريبة في الميكانيك الكمومي لأزواج الجسيمات الافتراضية القصيرة العمر أن "تظهر" من الخلاء ثم تختفي ثانية. ورغم أن زمن حياتها قصير إلى حدٍّ كبير، فإن هذه الجسيمات الافتراضية تستطيع أن تؤثر تأثيراً مهماً على خواص الجسيمات الحقيقية.

ولسوء الحظ من أجل النموذج المعياري، فإن هذه المساهمات تكبر مع طاقة الجسيمات الافتراضية، ولما كانت الجسيمات الافتراضية بطاقات عالية اختيارية مسموحاً بها في الميكانيك الكمومي فيبدو أن التصحيحات الكمومية تجعل كتلة جسيم هِغز كبيرة بشكل اختياري أيضاً. وهذا متعارض بشكلٍ واضح مع كون جسيم هِغز أخف بمئات قليلة من GeV. يطلق على هذا غالباً اسم "المسألة المراتبية". (يتناول هذا الأمر فقط جسيم هِغز لأن "سبينه" يساوي الصفر: وهي ليست مشكلة بالنسبة للجسيمات التي سبينها لايساوي الصفر مثل البوزونات العيارية).

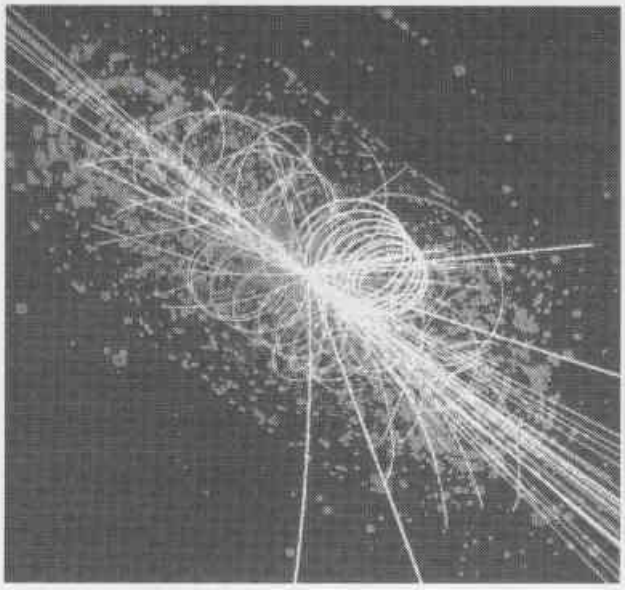
كيف يمكن حلّ هذه المسألة؟ نعلم من المسألة المراتبية أن من واجبنا تعديل النموذج المعياري إلى نظرية جديدة تحلّ محلّها عند طاقات تبلغ حوالي 1000 GeV أو 1 TeV. قد يبدو الأمر لأول وهلة وكأنه خبر سيء، ولكنه ليس كذلك لأن اختبار النموذج المعياري قد تمَّ بطاقات أقل من حوالي 1 TeV ، ولهذا السبب ليس لدينا أي سبب حقيقي للاعتقاد بأنه يقدم وصفاً حيّاً لجسيمات بكتل وطاقات أعلى.

يجب لأية نظرية جديدة أن تتضمن جسيمات غير تلك الموجودة في النموذج المعياري، وتتضمن أيضاً تآثرات جديدة تتعاون إلى حدٍّ ما في حذف التصحيحات الكمومية الكبيرة جداً على كتلة جسيم هِغز الناتجة من الجسيمات في النموذج المعياري. إن هذه النتيجة مهمة ومثيرة جداً في حدِّ ذاتها. تتنبأ المسألة المراتبية بأن هنالك فيزياء جديدة خلف النموذج المعياري من المحتمل أن تكون ضمن الطاقة التي يصلها LHC. وهكذا لانتوقع أن نرى فقط جسيمات هِغز ناتجة في LHC. بل من المحتمل أيضاً أن نكتشف الجسيمات الجديدة التي نحتاجها لحل المسألة المراتبية.

ما هي الجسيمات الجديدة؟ حسناً، لا أحد يعرف، وهذا هو السبب في الحاجة لإجراء تجارب. على أية حال، من المفيد أن نتفكّر. نستطيع، باستخدام المسألة المراتبية كدليل، أن نجرِّب لتخمين خواص هذه الجسيمات الجديدة. في الطاقات الأعلى من1 TeV، ستتضمّن حساباتُ التصحيحات الكمومية لكتلة هِغز مساهماتٍ من جسيمات افتراضية من النموذج المعياري وأيضاً من جسيمات في النظرية الجديدة. نعلم أن المساهمات من الجسيمات في النموذج المعياري تكبر مع الطاقة وتصبح بسرعة كبيرة جداً. ولما كنا

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

لانعرف ما هي هذه الجسيمات الجديدة، فإننا لا نستطيع حساب مساهماتها. على أية حال، نعرف أننا إذا أردنا حلّ المسألة المراتبية، فيجب على الجسيمات أن تحذف بدقة التصحيحات التي تعود إلى جسيمات النموذج المعياري.



هنالك شيء أكثر من ذلك — تعني المسألة المراتبية أنه بالإضافة إلى جسيم هِغز فإن LHC سيجد أيضاً جسيمات جديدة طاقتها حوالي 1 TeV أو أقل.

المثال المعروف منذ أمد بعيد لنظرية يتم فيها هذا الحذف هي نظرية التناظر الفائق. يربط التناظر الفائق كل جسيم نموذج معياري بـ "شريك فائق" له إحصائيات سبين معاكس - الشريك الفائق للفرميون هو البوزون والعكس بالعكس. يكتشف المرء عند حساب التصحيحات الكمومية لكتلة جسيم هِغز في التناظر الفائق نتيجة مذهلة. حيث يقدم كل جسيم نموذج معياري مع شريكه الفائق مساهمات كبيرة متساوية، ولكنها متعاكسة بالإشارة ولهذا تحذف بعضها بعضاً تماماً. ومن سوء الحظ، لم تتم ملاحظة أي شركاء فائقين في التجارب مما يقتضي بأن جسيمات التناظر الفائق - إذا وجدت - يجب أن تكون أثقل من الحدّ التجريبي الحالي والذي هو من مرتبة 100 GeV.

وبافتراض غياب الدليل التجريبي هذا للتناظر الفائق، عاد بعض النظريين المختصين بالجسيمات من جديد للبحث عن البدائل. وفي العام الماضي، وباختراق نظري كبير، اكتشف نيما أركاني حامد N. A. Hamed من جامعة كاليفورنية في بيركلي، وأندرو كوهين A. Cohen من جامعة بوسطن، وهوارد جيورجي H. Georgi من جامعة هارفرد صنفاً جديداً من النظريات تتمتع بالحذف المرغوب للتصحيحات الكمومية. وهنالك عدد مهم من النظريين يعملون الآن وفق هذا الأسلوب الجديد.

الولوج إلى جسيم هِغز الصغير

بالمشابهة مع التناظر الفائق، فإن إطلاق اسم"هِغز الصغير" على هذه النظريات يعود لأنها تُنتج جسيم هِغز كتلته صغيرة نسبياً، ولأنها تتنبأ بجسيمات جديدة كتلتها قريبة من 1 TeV. على أية حال، ترتكز نظريات جسيم هِغز الصغير هذه على مبدأ تناظر مختلف وتتنبأ بجسيمات جديدة أعدادها الكمومية تختلف عن تلك التي تمَّ التنبؤ بها بالتناظر الفائق.

وبخلاف ما يحدث في التناظر الفائق، فإن حذف التصحيحات الكمومية في نظريات جسيم هِغز - الصغير يحصل بين حقول من السبين نفسه، الفرميونات تحذف الفرميونات والبوزونات تحذف البوزونات. ونتيجة لذلك فإن الجسيمات الجديدة في النظرية تتضمن شركاء فرميونين للكواركات واللبتونات، وتتضمن أيضاً شركاء بوزونين للبوزونات العيارية.

قد يستغرب المرء لماذا يصعب جداً إنشاء مثل هذه النماذج. يكمُن الجواب في حقيقة أنه ليس كافياً أن نسلّم بوجود شركاء لكل جسيم نموذج معياري حتى نستطيع الحصول على حذف دقيق، وعلاوة على ذلك هنالك حاجة لأن يوجد مبرّر ما من أجل التصحيحات الكمومية من جسيمات النموذج المعياري وشركائها لأن تكون من المقدار نفسه وبالإشارة المعاكسة وبكلمة أخرى: إن المطلوب هو التناظر.

إن هذا التناظر في نظريات جسيم هِغز الصغير، أي مضاهاة التناظر بين البوزونات والفرميونات في نظريات التناظر الفائق، هو الذي يطلق عليه اسم التناظر القابل للتحقيق بصورة لاخطية. اكتُشفت أهمية التناظرات اللاخطّية المشابهة من أجل حذف مساهمات الكتلة عام 1961 من قِبَل جيفري غولدستون J. Goldstone من معهد ماساشوستس للتقانة. على آية حال، فإن أركاني - حامد وكوهين وجيورجي كانوا أول النظريين القادرين بنجاح على دمج هذه المضاهيات في توسيع النموذج المعياري وحَلّ المسألة المراتبية. يوحّد التناظر اللاخطي في هذه النظرية جسيمات النموذج المعياري مع الجسميات الجديدة الثقيلة. ويربط هذا التوحيد اقترانات الجسيمات الافتراضية مع جسيم هِغز بطريقة بحيث يُؤمَّن حذف التصحيحات الكمومية.

اكتُشفت نماذج جسيم هِغز الصغير في عهد قريب فقط، وما يزال البحث والتفتيش عن نموذج جسيم هِغز الصغير الأبسط والأكثر أناقة جارياً. وبالإضافة إلى ذلك، ابتدأ المختصون بفيزياء الجسيمات في تحرّي بصمات التجارب المفصلة. وبينما الكتل الدقيقة والخواص الأخرى للجسيمات الجديدة في نظريات جسيم

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

هِغز الصغير تعتمد على النموذج، فإن بعض التنبؤات القوية يمكن وضعها. أولاً، تتنبأ نظريات جسيم هِغز الصغير بوجود جسيم واحد أو عدة جسيمات هِغز كتلها عدة مئات من GeV أو أقل. ثانياً، تتنبأ هذه النظريات بوجود جسيم فرميون ثقيل جديد على الأقل كتلته أقل من حوالي TeV 2، هنالك حاجة لهذا الجسيم من أجل حذف التصحيحات الكمومية الكثيرة جداً على كتلة جسيم هِغز الناتجة من كوارك ذروة. ثالثاً، تتنبأ هذه النظريات أيضاً بوجود بوزونات عيارية جديدة كتلتها من مرتبة TeV وذلك لحذف تصحيحات كتلة جسيم هِغز الناتجة من التأثرات الضعيفة والكهرطيسية.

من المستحيل أن نقرر من النظرية فقط أي نموذج جديد ـ هِغز الصغير، التناظر الفائق أو شيء مختلف تماماً عنهما ـ سيثبت نجاحه على المدى الطويل. فالتجربة فقط هي التي تقرّر ذلك. ومن حسن الحظ، سيتم إجراء هذه التجارب. ويمكن بوقت قصير، مع حسن الحظ، اكتشاف إشارات عن هذه الجسيمات الجديدة في فرميلاب، ولكننا من المحتمل أن نحتاج إلى انتظار LHC لرؤية هذه الجسيمات بعينها. عُيّن انتهاء بناء LHC في عام 2007 ، وهو موعد ينتظره الفيزيائيون بشغف وكذلك الفيزيائيسون التجريبيون.

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

إشعاع تيراهرتز عالي الاستطاعة من إلكترونات نسبوية*

ج. ل. كار
منبع الضوء السنكروتروني (NSLS) - مختبر بروكها فن الوطني - آبتون - نيويورك - الولايات المتحدة الأمريكية.
مايكل س. مارتين، ووين ر. ماكيني
مختبر لورنس بركلي الوطني، بركلي، كاليفورنية – الولايات المتحدة الأمريكية.
ك. جوردن، وجورج ر. نيل، و ج. ب. وليامس
مختبر جفرسون، نيوبورت نيوز، فرجينية - الولايات المتحدة الأمريكية.

ملخص

يقع إشعاع التيراهرتز (THz) في مجال الأشعة تحت الحمراء ــ البعيدة، عند الوصلة البينيَّة للإلكترونيات والفوتونيات. وقد أمكن بواسطة ليزرات الإلكترون الحر [1] والديودات السريعة [3,2] إنتاج إشعاع تيراهرتز ضيق العصابة. كذلك، أمكن إنتاج إشعاع تيراهرتز عريض العصابة بواسطة منابع حرارية; وفي الآونة الأخيرة بواسطة منابع مكتبية مسيرة بالليزر [4 - 6] وبواسطة باقات قصيرة من الإلكترونات داخل مسرّعات [7] ولو أنَّ هذا الإشعاع لايزال حتى الآن يُنتج باستطاعات منخفضة. ونُخبر، في هذا المقال، عن حسابات وقياسات تؤكد إنتاج إشعاع تيراهرتز عريض العصابة باستطاعة عالية من باقات إليكترونية دون ــ البيكو ثانية داخل المسرع. وقد وصل وسطي استطاعة الإشعاع المذكور آنفاً إلى ما يقارب 20 واط، أي بمقدار عدَّة رتب أعلى من أي منبع متوفِّر حالياً، مما يسمح بعدد من الاستخدامات الجديدة المختلفة. وبشكل خاص، يمتلك العديد من المواد خواص امتصاصية وتبعثرية في المجال الطيفي المذكور مما يتيح لعملية التصوير بتواترات من رتبة التيراهرتز الكشف عن سمات مهمة ومفيدة. فعلى سبيل المثال، يصبح بالإمكان تصوير توزع البروتينات النوعية أو الماء داخل الأنسجة، أو توزع طبقات معدنية داخل أنصاف النواقل [9,8] ؛ ويتيح المنبع الحالي أيضاً التقاط صور كهذه بحقل كامل وزمن حقيقي. كذلك، تُعدّ منابع إشعاع التيرا هرتز ذوات الاستطاعة العالية والمتوسطة أساسية في دفع ظواهر لا خطية جديدة وفي إجراء دراسات ضخ وسبر الخواص الدينامية للمواد [11,15].

الكلمات المفتاحية

إشعاع تيراهرتز، استطاعة عالية، باقة إلكترونية، ليرز الإلكترون الحر، مُسرِّع، سنكروترون.

تقع منطقة التيرا هرتز (1 تيرا هرتز ≈ 33 cm^{-1} أو 4 meV) في مجال الطيف الأحمر البعيد حيث تكون المنابع الحرارية التقليدية ضعيفة جداً. على سبيل المثال، يعطي منبع جسم أسود عند 2000 K قدراً أقل من 1μW لكل cm^{-1} ككثافة استطاعة طيفية من أجل تطبيق نموذجي للمطيافية. وفي حين كان ممكناً الحصول على منابع ضيِّقة العصابة باستخدام تقانة ليزر الإلكترون الحر (FEL) [12,1]، حدث، خلال العقد الماضي تقدُّم ملحوظ في منابع التيرا هرتز عريضة العصابة مع ظهور إصدار إشعاع التيراهرتز المترابط من حاملات فوتونية داخل آنصاف نواقل انحيازية. وتتوفر حالياً بشكل روتيني منظومات مكتبية تستخدم تقويماً ضوئياً لليزرات فيمتو ثانية تعمل إما بمعدلات تكرار عالية [5] أو باستطاعة قمية عالية [6].

ويصف العمل الحالي عملية مغايرة من أجل إنتاج إشعاع التيراهرتز المترابط بواسطة إلكترونات مُسرَّعة. وكما هو الحال في الطريقة التي تم وصفها في المرجع [5]، تبدأ العملية بإثارة ليزرية نبضية داخل بلّورة GaAs لكنها تستفيد من إصدار ضوئي لإنتاج باقات إلكترونات حرة في حيِّز. وباستخدام لينـاك الطاقة المستردة energy-recovered linac (ERL) بواسطة ليزر الإلكترون الحر العائد لمختبر جفرسون [13]، يجري حمل باقات إلكترونية قصيرة إلى طاقات نسبوية (~ 40 MeV) داخل لينـاك (مسرع خطي)، ومن ثم يجري تسريعها عرضا نياً بواسطة حقل مغنطيسي كي تُنتج إصدار التيراهرتز المرغوب فيه على صورة إشعاع سنكروتروني. والمسرِّع الفريد المذكورة آنفاً قادر على العمل بمتوسط تيار حزمة

* نُشر هذا المقال في مجلة *Nature, Vol*, 14 November, 2002 ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

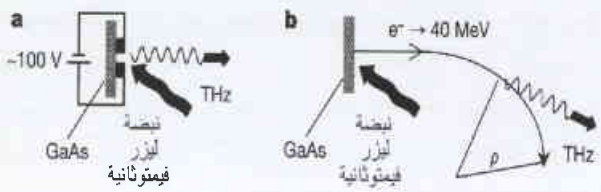
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

عالٍ نسبياً (قد يصل لغاية 5mA). وكما هو الحال في مصدر إشعاع التيرا هرتز الذي جرى وصفه في المرجع [5]، تعاني الإلكترونات من تسارع مشترك. وعندما تكون أبعاد الباقة الإلكترونية صغيرة (وبخاصة عندما يكون طول الباقة أقل من الطول الموجي للملاحظة)، فإننا ولمرة أخرى نحصل على تعزيز مترابط متعدد الجسيمات [15,14]. ولوحظ مثل هذا الإشعاع السنكروتروني المترابط صادراً من إلكترونات جرى تسريعها في ليناكات [16,7-18] ومن ليزرات الإلكترون الحر ذوات دليل الموجة المندمج [19]، ومن الموجات المغنطيسية [19-21] وقد سبق أن جرت مناقشة إشعاع التيرا هرتز المترابط وملاحظته صادراً من باقات إلكترونية داخل حلقات تخزين [22-25]، لكنه لم يصل بعد إلى استقرارية كافية لاستخدامه كمنبع ضوئي. وتوجد، قيد التنفيذ حالياً، برامج نشطة لدراسة إشعاع التيرا هرتز الصادر من ليناكات أو حلقات تخزين لدى كل من BESSY II (شركة برلين لحلقات تخزين الإلكترونات من أجل الإشعاع السنكروتروني) وDESY (السنكروترون الإلكتروني الألماني) في ألمانيا، ولدى كلٍّ من المختبرين الوطنيين بروكهافن ولورنس بركلي في الولايات المتحدة.

إضافة لما سبق، هنالك برامج قائمة لدى ENEA-Frascati لتوليد إشعاع تيراهرتز عريض العصابة عن طريق استثمار الخواص المميزة لليزرات الإلكترون الحر ذات الدليل الموجي waveguide FELs والتي تظهر للعيان عندما تصبح سرعة الإلكترون قريبة من سرعة المجموعة لحزمة الأمواج [26]. وتستطيع بعض الليناكات خلق باقات (إلكترونية) قصيرة جداً (<1ps) وإنتاج إشعاع مترابط يصل لغاية بضع وحدات تيرا هرتز (THz)، لكن معظمها يكون محدوداً بمعدلات تكرار قدرها بضع وحدات من الهرتز (Hz)، ولهذا يكون وسطي الاستطاعة منخفضاً تماماً. ويكون معدّل التكرار لحلقات التخزين من رتبة: 100 MHz لكن الباقات الإلكترونية تكون، وبشكل معنوي، أطول (~100ps) بسبب التخميد الطولاني عبر إصدار إشعاع سنكروتروني. وهكذا، يكون الإصدار مقيداً بنظام التواتر المنخفض جداً (تحت الأحمر - البعيد)، أو أنه ينشأ من حالات عدم استقرار تعمل على تعديل شكل الباقة لفترة قصيرة.

ويمكن لمنظومة مُسرِّع ERL المتوفرة لدينا أن تتغلّب على بعض نواحي العجز الخاصة بالليناكات وحلقات التخزين التقليدية. وقد تم إنتاج باقات إلكترونية قصيرة تبلغ ~500 fs باتباع التقنية القياسية لتعديل الطاقة (سقسقة chirping) المتبوعة بانضغاط داخل منطقة التبعثر لخداع مغنطيسي [27]. ويكون الزمن الذي تستغرقه باقة إلكترونية كي تمر عبر المسرِّع أقل من 1μs، ولهذا فإن التخميد الطولاني يكون مهملاً. لكن، وخلافاً لمعظم الليناكات، تعمل منظومتنا عند معدل تكرار عالٍ جداً (يصل لغاية 75 MHz) من خلال استخدام تجاويف تواتر راديوي فائقة النقل ومن ثم استعادة الطاقة المستنفدة للباقات الإلكترونية [13]، بحيث يكون وسطي التيار أعلى بقدر عدة رتب أعلى مما هو عليه في الليناكات التقليدية.

والآن دعنا نفحص كيف تستطيع منظومتنا أن تُولّد استطاعة THz بمردود يفوق بعدة مراتب من المقادير مردود منبع THz أكثر تقليدياً (غير نسبوي) [5]. يبيّن المخطط في الشكل 1 العمليتين من أجل المقارنة. وفي كلتا الحالتين، تقوم نبضة ضوئية قصيرة من ليزر محكم النمط بضرب رقاقة GaAs ليولد حاملات شحنة. وهكذا نجد أنه لابدَّ لعدد الشحنات المشعّة في الحالتين كلتيهما، أن يكون متقارباً (الرتبة ذاتها). لذلك، يمكن لنا أن نقارن



الشكل 1- مقارنة بين إشعاع تيرا هرتز مترابط مولّد من منبع THz مُسيّر بليزر تقليدي تواتره 80 MHz (a)، وإشعاع مماثل مولّد من المنبع النسبوي الذي تمّ وضعه في هذا المقال (b). في a، تُلاقي مباشرة الحاملات المحرّضة ضوئياً قوة من حقل الانحياز (حوالي 100V عبر فرجة 100 μm) شدته حوالي 10^6 Vm^{-1}، والتي تسبب تسارعاً قدره 10^{17} ms^{-2}. والعملية برمتها تكتمل خلال فترة تقل عن 1ps، مما سبب محتوىً طيفياً يصل إلى بضعة و THz. وفي b، يجري تقريباً إخضاع العدد ذاته من حاملات الشحنة إلى طاقة نسبوية>10MeV داخل ليناك؛ ومن ثم يقوم حقل مغنطيسي بحني مسارها وتحويله إلى دائرة نصف قطرها ρ=1m، مما يسبب تسارعاً مماثلاً لما هو عليه في a قدره c^2/ρ $10^{17}ms^{-2}$. ويستطيع راصد b أن يكشف نبضة قصيرة الأمد لإشعاع كهرطيسي عند عبور باقة الإلكترونات؛ لكن في هذه الحالة، هنالك عاملان يتحكّمان بأمد النبضة: أحدهما طول الباقة، والآخر الزمن لحقل التسارع المنضغط نسبوياً والمنخلف وراء كل إلكترون مندفع. ويجري حساب العامل الأخير بشكلٍ تقريبي [28] من المعادلة: $\delta t=4\rho/(3\gamma^3 c)$ والتي تُحدّد بدورها المجال الطيفي المصدر عن كل إلكترون. أما طول الباقة فيحدد المجال الطيفي الذي يحدث عبره التعزيز المترابط. ولطاقة إلكترونية قدرها 10 MeV (γ=21)، وبفرض ρ =1m، نحصل على δt تقدّر بحوالي 500 fs والتي هي مساوية لطول الباقة. ويمتد المحتوى الطيفي الناتج ليصل إلى حوالي 1THz، أي إلى مجال طيفي مماثل لما هو عليه في a. وبفرض أن جميع العوامل متماثلة باستثناء γ، نرى عندما يجري تطبيق المعادلة (1) أن الاستطاعة المُشعّة بواسطة إلكترون نسبوي تزيد عن تلك المُشعّة من قِبَل مصدر تقليدي للتيرا هرتز بعامل قدره $\gamma^4 = 21^4 = 2\times10^5$.

الاستطاعة المنتجة لكل إلكترون وأن نستخدم علاقة لارمور [28] لحساب الاستطاعة المشعّة P ، والتي عند تقديرها بوحدات c.g.s.، ستأخذ الشكل التالي:

$$P = \frac{2e^2a^2}{3c^3}\gamma^4 \qquad (1)$$

حيث e الشحنة، و a التسارع، و c سرعة الضوء، و γ نسبة كتلة الإلكترون إلى كتلته السكونية. وعندما تكون جميع العوامل متماثلة باستثناء γ ،نرى عند تطبيق المعادلة (1) أنه من أجل حالتنا تفوق الاستطاعة المشعّة بواسطة إلكترون نسبوي عن ما هي عليه من مصدر THz تقليدي بعامل قدره $\gamma^4=21^4 = 2\times10^5$. ومن الناحية العملية، يمكن لطاقة الإلكترون أن تكون أكبر بشكل ملحوظ؛ لكن ذلك ببساطة سيضيف شدة عند تواترات أعلى كما سيُبقي شدة التواتر المنخفض (THz) على حالها أساساً دون تغيير.

وننوّه ثانية بأن الحالتين المذكورتين كلتيهما تستفيدان من الإصدار المترابط المتعدد الجسيمات حيث تكون أعداد كبيرة من الشحنات المشعة محتواة فيزيائياً ضمن دور واحد من إشعاع التيراهرتز المُصدر. ومن الممكن نظرياً اشتقاق الصيغة الأكثر شمولية للاستطاعة المصدرة بواسطة باقة إلكترونية كتابع للتواتر ω والزاوية المجسمة (Ω)، وذلك عن طريق توسيع استخدام النظرية الكلاسيكية للإلكترودينامك [28] الخاصة بإلكترون مفرد لتشمل منظومة لها N إلكترون؛ وهكذا [15,14]:

$$\frac{d^2I}{d\omega\, d\Omega} = [N[1-f(\omega)] + N^2 f(\omega)] \times \frac{e^2\omega^2}{4\pi^2 c}\left|\int_{-\infty}^{\infty}\hat{n}\times(\beta\times\hat{n})e^{i\omega\left(t-\frac{\hat{n}\cdot r(t)}{c}\right)}dt\right|^2 \qquad (2)$$

حيث β نسبة سرعة باقة الجسيمات إلى سرعة الضوء، و $\hat{n}$ شعاع الوحدة وفق اتجاه الانتشار (بالنسبة للمراقب)، و r(t) موضع مركز الباقة الإلكترونية، و N عدد الجسيمات في الباقة. ويمثل الحد $N^2 f(\omega)$ التعزيز المترابط، كما يشمل عامل الشكل $f(\omega)$ الذي هو تحويل فوريه لتوزع الجسيمات الطولاني المستنظم ضمن الباقة، أي أن:

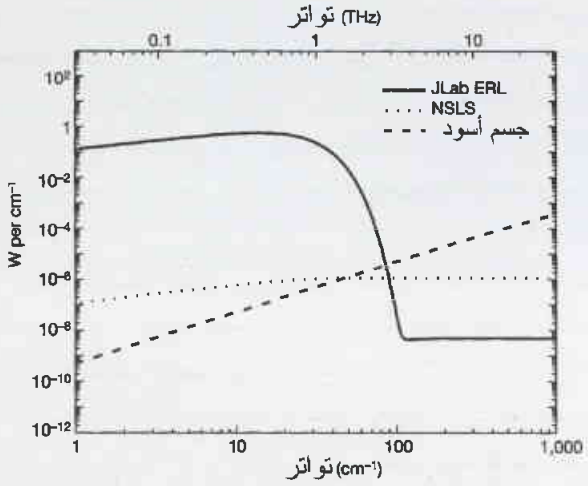
$$f(\omega) = \left|\int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega\hat{n}\cdot z/c}\, s(z)\, dz\right|^2 \qquad (3)$$

حيث S(z) تابع توزيع الجسيمات داخل الباقة المقيس نسبة إلى مركز الباقة.

وسبق أن قُدّم في المرجع [29] حلٌّ عملي للحدّ الرئيس الثاني في المعادلة (2). وفي حساباتنا الحالية (الشكل 2)، نفترض باقات إلكترونية بطاقة 40 MeV يحمل كل منها شحنة 100 pC، وتمر عبر حنية بنصف قطر 1m عند معدل تكرار قدره 37.4 MHz ولتبسيط الأمر، نفترض أن لكل باقة توزُّعاً غاوسياً للجسيمات بعرض قدره σ، مما يُنتج عامل الشكل الغاوسي:

$$f(\omega) = e^{-\left(\frac{\omega\sigma}{c}\right)^2} = e^{-4\pi^2\sigma^2\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2} \qquad (4)$$

حيث λ الطول الموجي للضوء عند تواتر قدره ω. وعملياً، لا تكون الباقات غاوسية تماماً، لكن هذا التقريب مفيد لحساب إجمالي الاستطاعة والمحتوى الطيفي. ويكون للحزمة الإلكترونية عرض r.m.s. وارتفاع بمقدار 1mm. وعندما أعطيت زاوية إصدار طبيعية، $1.66(\lambda/\rho)^{1/3}$ بمقدار 0.11 rad عند 1THz، حيث ρ نصف قطر الانحناء، كان حجم المنبع المحدد الانعراج من رتبة حجم الحزمة الإلكترونية، كما كان للإشعاع المصدر درجة عالية جداً من الترابط المكاني العرضاني؛ وهذا بدوره يسمح بإجراء قياس للتداخل عن طريق استخدام شكل بسيط لتقسيم جبهة الموجة [30].



الشكل 2- حسابات وسطي الاستطاعة المصدرة بواسطة منبع حراري 10-mm² درجته 2000K (خط منقطع)، منبع ضوء سنكروتروني (NSLS) مجهّز بحلقة VUV لدى مختبر بروكهافن الوطني (خط منقط)، ومنبع ERL(JLab) لدى مختبر جفرسون (خط مستمر). تمّ حساب الاستطاعة المصدرة من NSLS من أجل تيار مخزن شدته 800 mA وبتجميع 90 mrad (عمودي) و90 mrad (أفقي). وتمّ حساب الاستطاعة المصدرة من ERL JLab من أجل FWHM 500 fs وباقات (إلكترونية) حاملة الشحنة 100-pC عند معدّل تكرار قدره 37.5 MHz (من أجل وسطي تيار بشدة 3.7 mA) وبتجميع 60 mrad (عمودي) و 60 mrad (أفقي). تتصحح حلياً، في الشكل أعلاه، الاستطاعة العالية لمنبع ERL JLab في مجال التيرا هرتز. كذلك، نلحظ أن الحساب يفترض لمنبع ERL وسطي تيار شدته 3.7 mA بالمقارنة مع 800 mA لمنبع NSLS لدى مختبر بروكهافن؛ وهكذا نجد أنه، في النظام اللامترابط يتمتع NSLS باستطاعة لكل cm^{-1} أعلى بمقدار 800/3.78=216 ضعفاً. من جهة أخرى، وضمن المجال الطيفي للتيرا هرتز (حيث يصدر JLab ERL بشكلٍ مترابط في حين لا يستطيع NSLS فعل ذلك) يتمتع ERL باستطاعة أعلى بمقدار 3.9×10^6 ضعفاً عن تلك التي يتمتع بها NSLS.

وفي تجاربنا التي استخدمنا خلالها المنبع ERL THz، تمّ توليد الإلكترونات باستخدام الخرج المضاعف – التواتر لليزر Nd: YLF (طراز Antares صنعته شركة Coherent) يعمل عند 74.8 MHz،

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

أو عند مضاعفات تحتية لهذا التواتر، وباستطاعة وسطية قدرها بضعة واط. وقد جرى إسقاط ضوء ذي طول موجي قدره 530 nm على كاثود GaAs مغلف بالسيزيوم ذي الألفة الإلكترونية السالبة. وباستخدام فولطية تيار مستمر قدرها 300kV جرى تسريع الإلكترونات الضوئية الناتجة إلى داخل لينياك فائق الناقلية لتصل إلى طاقة قدرها 40 MeV. ورغم أن الإلكترونات كانت في الأصل مصدرة من الكاثود ولها طول نبضة، بعرض كامل عند منتصف القمة، قدره 40ps~، إلا أنها تصبح، داخل المسرِّع، على شكل باقات متراصَّة لها أطوال نبضة بعرض كامل عند منتصف القمة تقل عن 1ps. وبعد مرورها عبر منظومة المسرِّع يجري إبطاء الإلكترونات في اللينياك ذاته إلى طاقة 10 MeV وذلك قبل وصولها إلى موضع تصريف الحزمة، مما يتيح استرداد معظم طاقة الحزمة. ويسمح استرداد الطاقة المذكور آنفاً تيار وسطي يصل لغاية 5 mA كما يسمح بباقات إلكترونية تحوي لغاية 135 pC، وذلك باستخدام منظومة r.f. قادرة، اسمياً، على تسريع تيار حزمة لايتعدّى 1.1mA.

وجرى استخلاص إشعاع ERL THz من مغنطيس ثنائي القطب له نصف قطر انحناء قدره 1m مباشرة قبل تجويف ليزر الإلكترون الحر، علماً بأن هذا التجويف لم يكن ذا أهمية في هذه التجارب. ومن أجل قياسات الاستطاعة الإجمالية، يترك الإشعاع ليغادر حجرة خلاء المسرع عبر نافذة ألماس ذات فتحة قدرها 10 mm ممتدة بزاوية 20×20 mrad نسبة إلى نقطة المنبع. ويجري تبئير الحزمة المنبثقة على مكشاف $LiTaO_3$ كهرحراري مُعاير، تمّت معايرته بمعدات يمكن تتبعها إلىNIST ؛ ولهذا المكشاف استجابة خرج خفيضة تقريباً (J25, Molectron) بالنسبة لأطوال أمواج تيراهرتز وذلك بسبب وجود طلاء عضوي أسود، كما أن له استجابية اسمية قدرها 8.83 VJ^{-1} (±2%).

وتمَّ تحليل المحتوى الطيفي لإشعاع ERL THz باستخدام مقياس تداخل ميكلسون ذي المسح السريع (Nexus 670, Nicolet) والمجهّز بشاطر للحزمة من السليكون. وجرى كشف الضوء باستخدام مقياس إشعاع حراري 4.2 K (Infrared Laboratories) مجهَّز بعنصر مركب مقاسه (2mm×2mm) مطعَّم بالبورون، وتمّت تغذية هذا الضوء من مخروط Winston f/4 قطره 12mm. وجُهِّز مقياس الإشعاع الحراري المذكور بمرشح بولي إيثيلين أسود اللون وذلك كي يضمن عدم إمكانية كشف إشعاع فوق 600 cm^{-1}. واستبدلت نافذة الألماس على المسرِّع بنافذة أضخم من الكوارتز – البلّوري كي يزيد الجمع الطاقي إلى 60×60 mrad. وأمكن لمرآة كروية ذات طول محرقي قدره 80 cm أن تنتج حزمة مسددة منسجمة مع البصريات الخاصة بمقياس التداخل. وسمحت مرآة تحويل باختيار للمنبع عن بعد، أي اختيار طاقة التيراهرتز من المسرع، أو T=1300K كمنبع حراري مرجعي (انظر لما هو وارد أدناه).

من أجل تجارب المطيافية، لم تمتلك منظومة الكشف والتحليل قدراً كافياً من المجال الديناميّ لتغطية العقود السبعة في فرق الاستطاعة بين المنبعين. لكن، كما أشرنا سابقاً، من الممكن تشغيل منبع ERL THz عند معدل تكرار أخفض ومحدّد بدقة؛ وبهذه الطريقة نستطيع أن نقلّل وسطي الاستطاعة دون تغيير المحتوى الطيفي. وقد اخترنا إجراء قياسات عند 584 kHz، بدلاً من 37.4 MHz وعند شحنة باقة قدرها 34 pC ، بدلاً من 100 pC، الأمر الذي أدىّ إلى إنقاص استطاعة ERL THz بعامل قدره:

$(100/34)^2 \times \{(584\times10^3)/(34\times10^6)\}$ ، أو ما يساوي تقريباً 550.

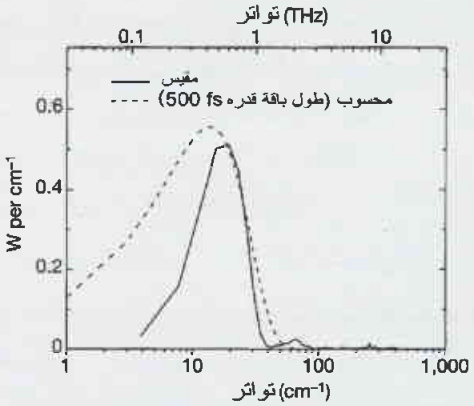
ولدينا نقطة مرجعية أخرى من أجل تقدير الاستطاعة المطلقة، حيث كنّا قادرين على تبديل المنابع من مرفأ إصدار ERL THz إلى منبع حراري درجته 1300 K (وهو منبع "غلوبر" القياسي للمطياف). وهذا يتيح لنا قياس الاستطاعة النسبية باستخدام المطياف ذاته ومنظومة الكشف. وقد حصلنا، عند تواتر $12cm^{-1}$، على نسبة شدة من منبع ERL THz إلى شدة من منبع "الغلوبر" قدرها 2×10^4 ولكي نقارن ما تمّ قياسه بالحساب، كان علينا أن نضرب النتائج الخاصة بمنبع THz بمعامل التخفيض 550، كما نوقش مسبقاً؛ وهذا يعني ضمنا تفوق منبع الـ ERL THz على منبع "الغلوبر" بأفضلية مقيسة قدرها 10^7. أما الحساب فيتنبأ بتفزيز قدره $0.6/(6X10^{-8})=10^7$ وقد عرُضت البيانات في الشكل 3، حيث تؤكد النتيجة الاستطاعة الضخمة لإشعاع ERL THz. وقد كانت سوية التوافق مذهلة إذا ما أخذنا بعين الاعتبار بأن مناقشاتنا البسيطة أغفلت مردودي الانعراج والكشف. في الواقع، وبسبب الارتيابات في امتصاصية طلاء المكشاف في منقطة الـ THz، تضع البيانات، التي تم إعلانها، حداً أخفض على قياس الاستطاعة .

ويُعدّ اعتماد الشدة على مربع عدد الجسيمات في كل باقة (إلكترونية)، كما هو مبين في المعادلة (2)، إحدى الخواص الإضافية للإصدار الإشعاعي الفائق من الإلكترونات. هذا، ونرسم في الشكل 4 الشدة المكاملة كتابع لشحنة الباقة، والتي تُبدي توافقاً جيداً مع المنحنى النظري لـ : N^2 .

وأخيراً، قمنا بقياس الاستقطاب لإشعاع التيراهرتز المُصدر؛ ووجدنا أن نسبة شدة مكوّني الاستقطاب الأفقي إلى العمودي تساوي 3 من أجل إشعاع سنكروتروني ضمن حد الطول الموجي الطويل؛ وهذا يفترض تجميعاً كاملاً للإشعاع المُصدر. ونحن نشير إلى أن الشدة السائدة تكون قريبة من $30cm^{-1}$ والتي تمتلك زاوية انفتاح طبيعية قدرها 86 mrad . وحيث يجري تشذيب (اختصار)

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

نمط الإصدار بواسطة بصريات التجميع ذات الـ 60 mrad، فيتوقع للنسبة المحسوبة أن تكون أعلى بحيث تصل قيمتها إلى 6. وباستخدام مُستقطِب ذي شبيكة سلكية متوضعة بين مُعدِّل ميكلسون والمكشاف، تمكنّا من قياس نسبة قدرها 5، واعتبرنا هذا توافقاً جيداً.

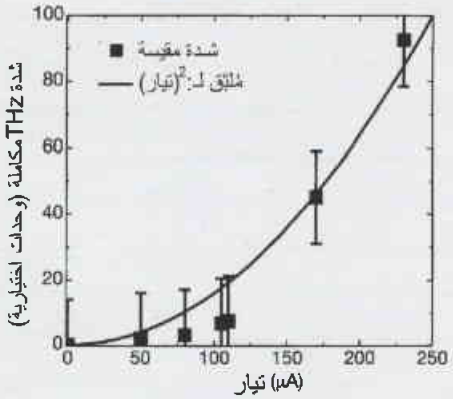


الشكل 3- مقارنة بين الشدة الطيفية THz المقيسة (خط مستمر) والمحسوبة (خط متقطع). كذلك، نبيّن منحنى تمّ حسابه لطول باقة (إلكترونية) قدره 500 fs والذي يُعدُّ معقولاً بالنسبة لآلة تعمل تحت الظروف الخاصة بالتجربة. وقد أجرينا عملية تدريج للبيانات كي توائم النظرية معتمدين كأساس على القياسات المطلقة للاستطاعة. يمكن بوضوح رؤية البداية الطيفية للتعزيز فائق المشع على الجانب ذي التواتر العالي حيث يكون الشكل متوافقاً مع التنبؤ النظري. لاحظ وجود تعارض شديد على الجانب ذي التواتر المنخفض وذلك عائد لتأثيرات الانعراج. ومن الممكن استيعاب ما سبق بالطريقة المبيّنة فيما يلي:

عند $10\ cm^{-1}$ وحزمة f/17 سيكون حجم المنبع المقيد بالانعراج مساوياً لـ17mm، أي يماثل تقريباً بصريات الاستخلاص. وعند $1cm^{-1}$ سيكون حجم المنبع المقيد بالانعراج، عند 170 mm، ثلاث مرات أعظم حجماً من حجرة الخلاء المحتوية على حزمة الإلكترونات. كذلك، لاحظ القمة الإضافية عند $60cm^{-1}$ والتي نستطيع عزوها إلى الطبيعة اللاغاوسية لباقة الإلكترونات. وأثناء قياسنا لشدة، وليس حقل ، الضوء المُصدر لم نستطع أن نحدّد بشكل منفرد كثافة توزعات الإلكترونات؛ لكن هذا قد يغدو ممكناً في تجارب مستقبلية تستخدم الكشف المترابط.

لقد تمكنّا من إنتاج إشعاع تيرا هرتز عريض العصابة عالي السطوع له كثافة استطاعة طيفية وسطية تقارب الـ 1 واط لكل cm^{-1}، في حدّ الانعراج وكثافات استطاعة طيفية قمية بوسطي استطاعة أعلى من ذلك بمقدار 10^4 ضعفاً. ورغم الإنجاز المذكور آنفاً، يبقى هنالك مجال موضع اهتمام ومساءلة، ألا وهو السؤال المتعلق بارتعاش التزامن timing jitter وتأرجحات التيار current fluctuations وتأثيرها على كل من الكشف المترابط، ونسبة الإشارة إلى الضجيج.

وحيث يجري حالياً التفكير باستخدامات أخرى لمنابع ERL THz والتي قد يشمل التزامن timing بعضاً منها، يصبح من الأهمية بمكان تقييم ارتعاش التزامن وتأرجحات التيار. وفي هذا السياق، قمنا بإجراء قياسات أولية مستخدمين مُحلِّل التواتر، وإننا نخطط لإجراء مزيد من الدراسات التفصيلية.



الشكل 4- شدة تواتر التيراهرتز المقيسة كتابع لتيار الحزمة (رموز مربعية)، تُري التبعية التربيعية المتوقعة للإصدار المترابط (خط مستمر).

نشير إلى أننا كنّا قادرين في تجاربنا على لحظ تغيرات كبيرة في الوزن الطيفي تبعاً لظروف التشغيل، كما كنّا قادرين على تعزيز مجالات طيفية محدّدة بطريقة مسيطر عليها عبر بارامترات الآلة. وهكذا نجد أن أن تورعات الباقة الإلكترونية لم تكن من طبيعة غاوسية محضة؛ وهذا ما يُعلّله ضخامة الخطوط العمودية للخطأ.

REFERENCES المراجع

[1] Ramian, G. the new UCSB Free- electron lasers. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res, A 318, 225-229 (1992).

[2] Porterfield, D. W., Crowe, T. W, Bradley, R. F & Erickson, N. R. A high-power, fixed-tuned, millimeter-wave balanced frequency doubler. IEEE Trans. Microwave Theory Techn MTT-47, 419-425 (1999).

[3] Siegel, P. H. Terahertz technology. IEEE Trans. Microwave Theory Techn. MTT-50, 910-928 (2000).

[4] Auston, D. H., Cheung, K. P., Valdmanis, J. A. & Kleinman, D. A. Cherenkov radiation frem fremtosecond optical pulses in electrooptic media. Phys. Rev. Lett. 53, 1555-1558 (1984).

[5] Bonvalet, A., Joffre, M., Martin, J. L. & Migus, A. Generation of ultrabroadband femtosecond pulses in the mid-infrared by optical rectification of 15 fs light pulses at 100 MHz repetition rate. Appl. Phys. Lett, 67, 2907-2909 (1995)

[6] You, D., Jones, R. R., Bucksbaum P. H. & DyKaar, D. R. Generation of high-power sub-single-cycle 500-fs electromagnetic pulses, Opt. Lett. 18, 290-292 (1993).

[7] Nakazato, T. et al. Observation of coherent synchrotron radiation. Phys. Rev. Lett. 63, 1245-1248 (1989).

[8] Chen, Q. Zhang, X. -C., Ultrafast Laser Techniology and Applications (eds Fermann, M. E., Galvanauskas, A. & Sucha G.) 521-572 (Marcel Dekker New York 2001).

[9]. Zhang, X.-C. in Compound Optoelectronic Materials and Devices 69-80 (1995).

[10] Cole, B. E, Williams, J. B, & King. B. T Coherent manipulation of semiconductor quantuum bits with terahertz radiation. Nature 410, 60-63 (2001).

[11] Huber, R. et al. How many-particle interactions develop after ultrafast excitation of an electron-hole plasma. Nature, 414, 286-289 (2001).

[12] Winner, S. et al. Frequency doubling and tripling of terahertz radiation in a GaAs/AlAs superlattice due to frequency modulation of Bloch oscillations. Appl. Phys. Lett, 77, 1259-1261 (2000).

[13] Neil, G. R. et. al. Sustained kilowatt lasing in a free-electron laser with same cell energy recovery. Phys. Rev, Lett. 84, 662-665 (2000).

[14] Nodvick, S. & Saxon, D. S. Suppression of coherent radiation by electrons in a synchrotron. Phys. Rev. 96, 180-184 (1954).

[15] Hirschmugl, C. J., Sagurton, M. & Williams, G. P. Multiparticle coherence calculations for synchrotron radiation emission. Phys. Rev. A 44, 1316-1320 (1991).

[16] Happek. U., Blum, E. B. & Sievers, A. J. Observation of coherent transition radiation. Phys. Rev. Lett. 67, 2962-2965 (1991).

[17] Wang, D. X., Krafft, G. A. & Sinclair, C. K. Measurement of femtosecond electron bunches using a rf zero-phasing method. Phys. Rev. E 57, 2283-2286 (1998).

[18] Lihn, H.-C., Kung, P, Settakorn, C. & Wiedemann, H. Observation of stimulated transition radiation. Phys. Rev, Lett, 76, 4163-4166 (1996).

[19] Doria, A., Bartlini, R., Feinstein, J., Gallerano, G. P. & Pantell, R. H. Coherent emission and gain from a bunched electron beam. IEEE J. Quant. Electron, QE2-29, 1428-1436 (1993).

[20] Jaroszynsky, D. A., Bakker, R. J., van der Geer, C. A. J., Oepts, D. & van Amersfoort, P. W. Coherent start-up of an infrared tree electron laser. Phys. Rev. Lett. 71, 3798-3801 (1993).

[21] Berryman. K. W., Crosson, E. R., Ricci, K. N. & Smith, T. I. Coherent spontaneous radiation from highly bunched electron beams. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 375, 526-529 (1996).

[22] Tamada. H., Tsutsui, H., Shimoda, K. & Mima, K. Features of the compact photon storage ring. Nucl. Instrum. Methods A 331, 566-571 (1993).

[23] Andersson, A., Johnson, M. S. & Nelander, B. Coherent synchrotron radiation in the far infrared from a 1-mm electron bunch. Opt. Eng. 39, 3099-3105 (2000).

[24] Arp, U. et al. Spontaneous coherent microwave emission and the sawtooth instability in a compact storage ring. Phys. Rev. Spec. Topics Accelerat. Beams 4, 54401 (2001).

[25] Carr, G. L. et al. Observation of coherent synchrotron radiation from the NSLS VUV ring. Nucl. Instrum. Methods A 463. 387-392 (2001).

[26] Giovenale, E. et al. Longitudinal phase - space manipulation: a device to enhance the coherent emission from an RF modulated electron beam. Nucl. Instrum. Methods 437, 128-133 (1999).

[27] Yu, L. H., Johnson, E., Li, D. & Umstadter, D. Femtosecond free-electron laser by chirped pulse amplification. Phys. Rev. E 49, 4480-4486 (1994).

[28] Jackson. J. D. Classical Electrodynamics (Wiley, New York, 1975).

[29] Hulbert, S. L. & Williams, G. P. Handbook of Optics: Classical, Vision, and X-Ray Optics Vol. III, Synchrotron Radiation Sources, 2nd edn (eds Bass, M., Enoch, J. M., Van Stryland, E. W. & Wolfe, W. L.) 32.1-32.20 (McGraw-Hill, New York, 2001).

[30] Moeller. K. D. et al. Appl. Opt. 30, 4297-4301 (1991).

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

الطرائق الكهربائية والضوئية لقياس ارتفاع حاجز كمون شوتكي في الكواشف ذات الحاجز السطحي

د. خالد مصري، د. بيداء الأشقر

قسم الفيزياء - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا - ص.ب. 31983 - دمشق - سورية

ملخص

كثيراً ما تُستخدم الكواشف ذات الحاجز السطحي في مطيافية الجسيمات المشحونة، مثل الجسيمات ألفا. ويعتبر تيار تسرُّب هذه الكواشف المصدر الرئيس للضجيج. يتبع تيار التسرّب ارتفاع حاجز شوتكي تبعيةً أسية؛ ومن هنا تأتي أهمية قياس ارتفاع هذا الحاجز. سنعرض في هذا المقال، أكثر الطرائق استخداماً في قياس ارتفاع هذا الحاجز، وبالتحديد تلك التي تعتمد على المميزات الكهربائية I-V المباشرة والعكسية، والوسعية C-V، والتيار الضوئي PC للكاشف. كما سنعقد مقارنةً بين مختلف هذه الطرائق مبيِّنين مزايا وسلبيات كل طريقة.

الكلمات المفتاحية

كواشف الحاجز السطحي، حاجز شوتكي، تيار التسرّب، المميزات الكهربائية، المميزات C-V، التيار الضوئي، منحني فولر، منحني ريتشاردسون.

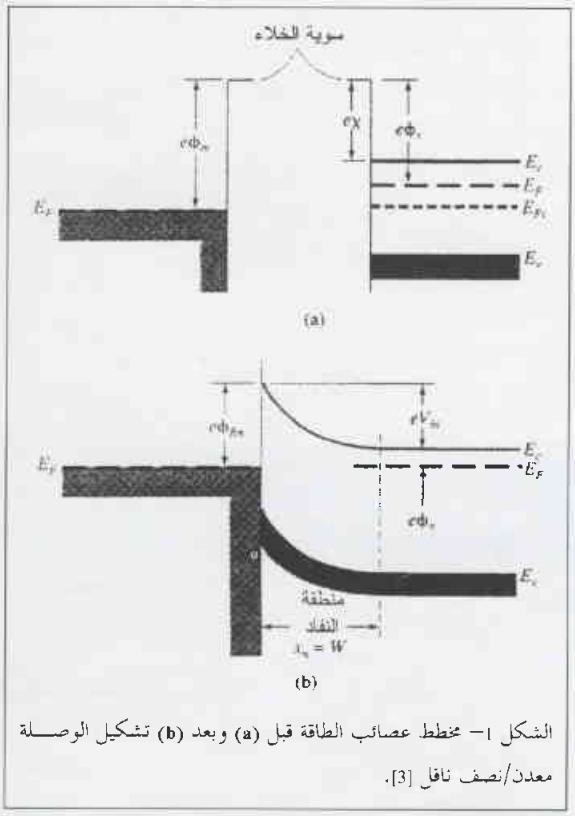
مقدمة

كثيراً ما تُستخدم الكواشف ذات الحاجز السطحي في مطيافية الجسيمات المشحونة، مثل الجسيمات ألفا [1]. هذه الكواشف عبارة عن نصف ناقل (سليكون من النوع n عادةً)، تُوضع عليه طبقة رقيقة من المعدن (الذهب عادةً)، مشكّلاً بذلك ثنائي (ديود) شوتكي [6,1]. في حالة نصف ناقل من النوع n، يُعطى ارتفاع حاجز شوتكي المثالي، حسب نظرية شوتكي [3.2] بالعلاقة:

$$\Phi_{Bn0} = \Phi_m - \chi_s \qquad (1)$$

حيث Φ_m تابع عمل المعدن و χ_s الألفة الإلكترونية لنصف الناقل، وحيث افترضنا أن $\Phi_m > \Phi_s$ (Φ_s تابع عمل نصف الناقل)، كما هو مبيَّن في الشكل 1 وكلها مقدرة بالفولط.

في الواقع، يتبع ارتفاع حاجز شوتكي الحقل الكهربائي في نصف الناقل؛ وبالتحديد ينخفض هذا الحاجز نتيجةً تطبيق فولطية الانحياز العكسي على الكاشف، إضافةً إلى ما يسمى بقوة الخيال image force. من جهةٍ أخرى، فإن ارتفاع الحاجز تابع لكثافة الحالات السطحية في نصف الناقل. من ثم، تختلف قيمة ارتفاع الحاجز عن القيمة النظرية المثالية. وبما أنه لا يمكن التنبؤ بكثافة الحالات السطحية، فإنه يجب تعيين ارتفاع الحاجز تجريبياً.



الشكل 1- مخطط عصائب الطاقة قبل (a) وبعد (b) تشكيل الوصلة معدن/نصف ناقل [3].

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

تُعطى عبارة كثافة التيار الترميوني الذي يمرُّ في الكاشف [2,3] ، عند تطبيق فولطية V بين طرفيه بالعلاقة:

$$J = J_{sT}\left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1\right] \qquad (2)$$

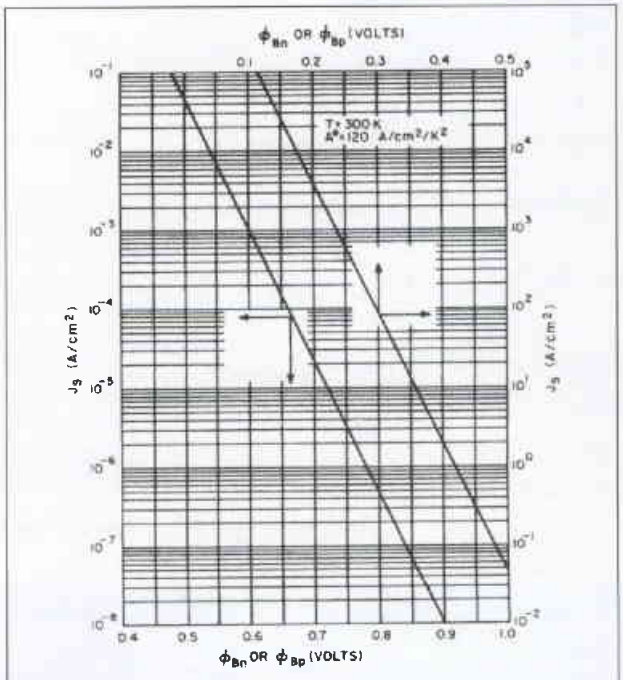
حيث يرمز n لعامل المثالية وJ_{sT} لكثافة تيار تسرّب الكاشف، والذي يُعطى بالعلاقة:

$$J_{sT} = A^{*}T^{2}\exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn0}}{kT}\right)\exp\left(\frac{q\Delta\Phi}{kT}\right) = A^{*}T^{2}\exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \qquad (3)$$

حيث T درجة الحرارة المطلقة وq شحنة الإلكترون و$\Delta\Phi$ انخفاض ارتفاع الحاجز نتيجة قوة الخيال وفولطية الانحياز، و Φ_{Bn} الارتفاع الفعال للحاجز المجدي وA^{*} ثابت ريتشاردسون الفعال، وهو يساوي ثابت ريتشاردسون A مضروباً بعامل يأخذ بالحسبان تبعثر الفونونات الضوئية والانعكاس الكمومي [2]:

$$A^{*} = 4qk^{2}m^{*} / h^{3} = 120\ A/cm^{2}K^{2}$$

نلاحظ من العلاقة (3)، أن تيار تسرُّب الكاشف يتبع ارتفاع حاجز شوتكي تبعيةً أسية، وهذا مايبيّنه الشكل 2 بيانياً. مما سبق، يتبين التأثير الكبير لارتفاع حاجز شوتكي في شدة التيار، ومن ثم ضرورة قياسه تجريبياً.



الشكل 2– كثافة تيار التسرُّب النظرية عند 300 K بدلالة ارتفاع حاجز شوتكي، من أجل ثابت ريتشاردسون 120 $A/cm^2/K^2$ [2].

الطرائق الكهربائية لقياس ارتفاع حاجز شوتكي

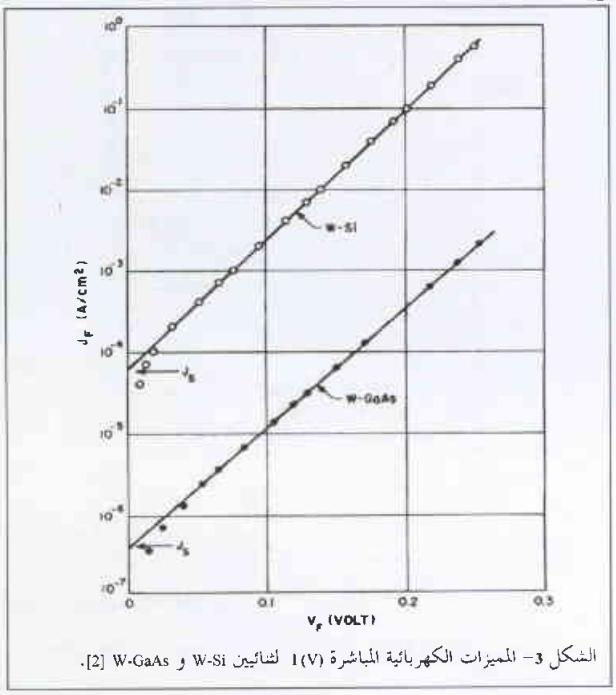
يمكن تحديد ارتفاع حاجز الكمون بين المعدن ونصف الناقل Φ_{Bn}، بقياس المميزات الكهربائية المباشرة والعكسية I-V للكاشف، وبقياس السعة في حالة الانحياز العكسي C-V [4]. سنعرض فيما يلي، الطرائق التي استخدمناها في هذا العمل، لتحديد هذا الوسيط.

المميزات الكهربائية I-V المباشرة

تكتب عبارة التيار (2) في حالة فولطيات انحياز كبيرة نسبياً (V >> 3kT/q)، على الشكل :

$$J = J_{sT}\exp\frac{qV}{nkT}$$

إذا رسمنا ln(J) بدلالة qV/kT ، فإننا نحصل على مستقيم تقاطعه مع محور العينات $\ln(J_{sT})$، كما يبين الشكل 3.



الشكل 3– المميزات الكهربائية المباشرة I(V) لثنائين W-Si و W-GaAs [2].

إذا علمنا أن J_{sT} في درجة حرارة معينة، فإنه يمكننا منه استنتاج Φ_{Bn} باستخدام العلاقة (3):

$$\Phi_{Bn} = \frac{kT}{q}\ln\frac{A^{*}T^{2}}{J_{sT}} \qquad (4)$$

تجدر الملاحظة، إلى أن ارتفاع حاجز الكمون الذي نحسبه بهذه الطريقة هو Φ_{Bn} عند فولطية انحياز تساوي الصفر.

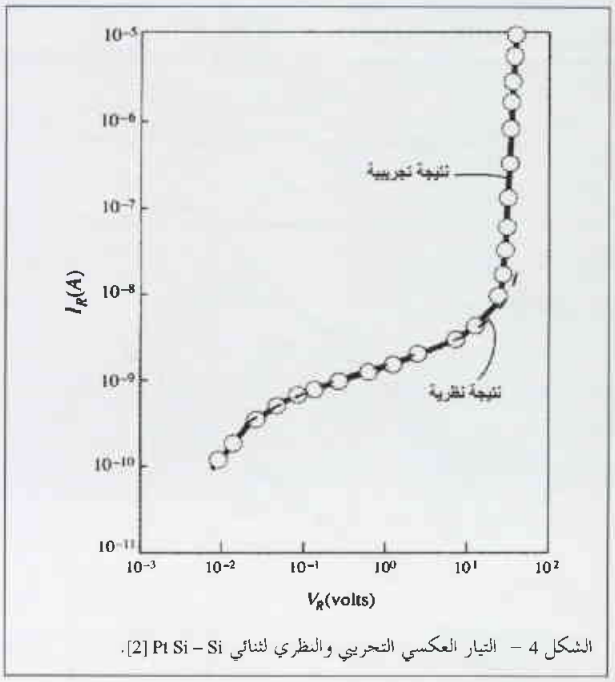
إن أكبر ارتياب في الوسطاء الواردين في المعادلة (4)، هو في قيمة A^{*}، مما يجعل دقة هذه الطريقة من دقة A^{*}. من حسن الحظ، فإن A^{*} يظهر في حدٍ لوغارتمي، ومن ثم فإن خطأً بمقدار الضعف فيه يؤدي إلى خطأ أقل من kT/q في Φ_{Bn}. إذا أردنا أن نتجاوز الارتياب في القيمة الفعّالة لثابت ريتشاردسون، نقيس J_{sT} في درجات حرارة مختلفة، كما سنبيّن في فقرة المميزات تيار ـ درجة الحرارة.

المميزات الكهربائية I-V العكسية

في حالة الانحياز العكسي، نقيس مباشرةً، دون استقراء نحو الصفر، كثافة تيار التسرُّب J_{sT} . يبين الشكل 4 تغيّر تيار التسرُّب التجريبي والنظري مع فولطية الانحياز العكسي لثنائي PtSi-Si.

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

نلاحظ بوضوح تبعية التيار التجريبي لفولطية الانحياز، كما هو متوقع استناداً إلى العلاقة (3). يمكن من هذا المنحني حساب ارتفاع حاجز شوتكي الفعلي عند فولطية عمل الكاشف الحقيقي، باستخدام الطرائق نفسها التي شرحناها في الفقرة السابقة وباستخدام العلاقة (4).



الشكل 4 – التيار العكسي التحريبي والنظري لثنائي Pt Si – Si [2].

المميزات تيار- درجة الحرارة

يمكن كتابة المعادلة (2)، في حالة $V >> n\,kT/q$ على الشكل التالي:

$$\ln(J/T^2) = \ln(A^*) - q(\Phi_{Bn} - V/n)/kT \qquad (5)$$

وهكذا فإن المنحني الذي يمثّل $\ln(J/T^2)$ بدلالة $1/T$، عند فولطية انحياز مباشر ثابت V_1، والذي يسمى أحياناً منحني ريتشاردسون، له ميل يساوي $-q(\Phi_{Bn}-V_1/n)/kT$، وتقاطع $\ln(A^*)$ مع المحور الشاقول، كما يبين الشكل 5. من ثم، يمكن حساب ارتفاع حاجز شوتكي من العلاقة:

$$\Phi_{Bn} = \frac{V_1}{n} - \frac{k}{q}\frac{\Delta(\ln(J/T^2))}{\Delta(1/T)} \qquad (6)$$

كما نلاحظ من هذه العلاقة، أنه يجب أولاً تحديد n بطريقة مستقلة. يمكن القيام بذلك، من المميزات المباشرة كما في الفقرة السابقة.

في بعض الأحيان، يُرسم $\ln(J_{sT}/T^2)$ بدلالة $1/T$ ، بعد الحصول على J_{sT} من تقاطع المنحنيات $\ln(J)$ بدلالة V، وفق الطريقة التي عرضناها في الفقرة السابقة. في هذه الحالة، يجب استبدال J_{sT} عوضاً عن J في العلاقة (6).

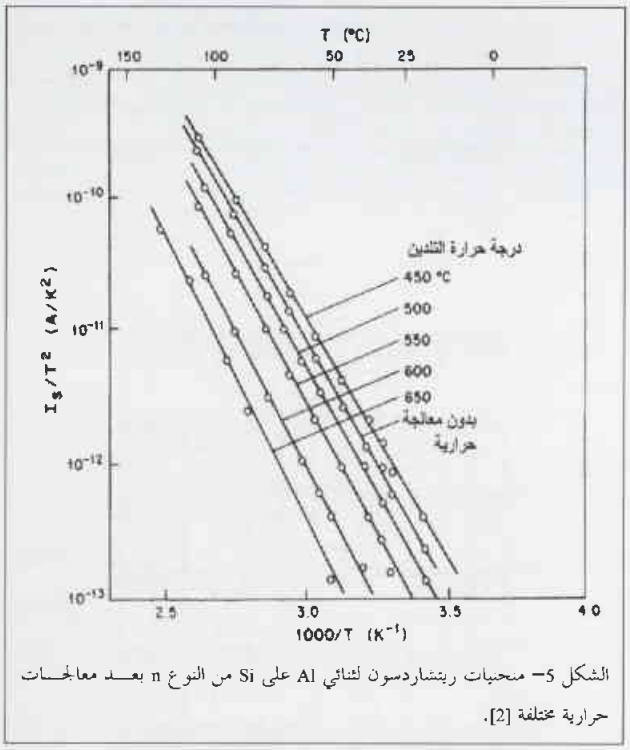
تفترض طريقة ريتشاردسون ضمنيّاً أن ارتفاع حاجز شوتكي مستقل عن درجة الحرارة. فإذا لم يكن الأمر كذلك، كما لوحظ في حالة توضيع Al على InP [4]، فإنه يمكننا كتابة ارتفاع حاجز شوتكي على الشكل:

$$\Phi_{Bn}(T) = \Phi_{Bn}(0) - aT \qquad (7)$$

بهذا الشكل من التبعية، تصبح المعادلة (5):

$$\ln(J/T^2) = \ln(A^*) - q(\Phi_{Bn}(0) - V/n)/kT + qa/k \qquad (8)$$

يعطي منحني ريتشاردسون الآن ارتفاع حاجز شوتكي عند الصفر كلفن، ويتضمن التقاطع عامل تبعية ارتفاع الحاجز لدرجة الحرارة a. في بعض الأحيان، يُلاحظ وجود لاخطية في منحنيات ريتشاردسون، عند درجات الحرارة المنخفضة. قد يعود ذلك إلى آليات نقل تيار غير الإصدار الترميوني الذي اعتمدناه لوصف المميزات الكهربائية عند مثل هذه الدرجات.



الشكل 5– منحنيات ريتشاردسون لثنائي Al على Si من النوع n بعد معالجات حرارية مختلفة [2].

المميزات الوسعية C-V في حالة الانحياز العكسي

تُعطى سعة وصلة ثنائي شوتكي [2] ، في حالة الانحياز العكسي، بالعلاقة التالية:

$$c = \left[\frac{q\varepsilon_s N_d S}{2(V_{bi} + V_R + kT/q)}\right]^{1/2} \qquad (9)$$

بأخذ مربع مقلوب السعة، نحصل على:

$$\frac{1}{c^2} = \left[\frac{2(V_{bi} + V_R + kT/q)}{q\varepsilon_s N_d S^2}\right] \qquad (10)$$

حيث V_{bi} ارتفاع الحاجز من جهة نصف الناقل، وV_R فولطية الانحياز العكسي المطبق على الكاشف، وS مساحة مقطعه العرضي، وε_s

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

السماحية الكهربائية لنصف الناقل، وN_d تركيز الشوائب المانحة فيه. يأخذ الحد في المقام بعين الاعتبار، ذيل حوامل الشحنة الأكثرية في منطقة النضوب (النفاد)، الذي يهمل في تقريب النضوب [2].

يرتبط V_{bi} بارتفاع حاجز شوتكي بالعلاقة:

$$\Phi_{Bn} = V_{bi} + \Phi_n$$

حيث:

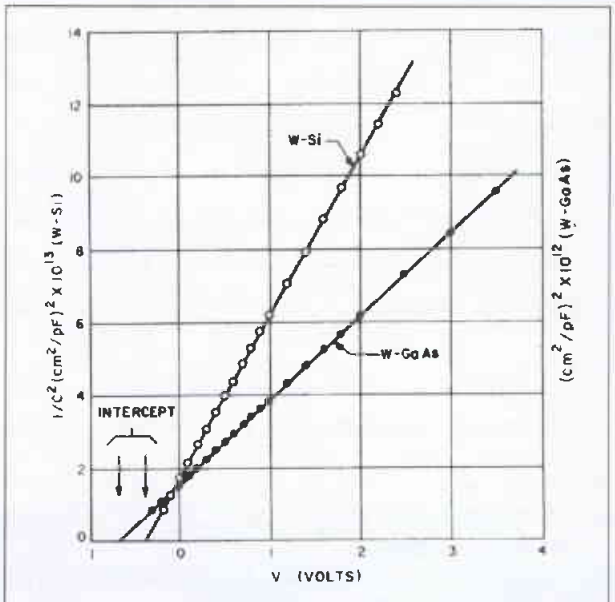
$$\Phi_n = \frac{kT}{q} Ln \frac{N_c}{N_d} \qquad (11)$$

حيث N_c الكثافة الفعّالة للحالات في عصابة النقل في نصف الناقل.

تقوم طريقة العمل على قياس السعة، من أجل قيم مختلفة لفولطية الانحياز العكسي، ومن ثم رسم $1/C^2$ بدلالة V_R . بذلك نحصل على مستقيم يتقاطع مع محور الفولطية عند النقطة $(V_{bi} + kT/q)$ وميله يساوي: $\frac{2}{S^2 q \varepsilon_s N_d}$ من الميل، يمكن حساب تركيز الشوائب في نصف الناقل؛ ومن ثم، يمكننا حساب Φ_n. وأخيراً، نستنتج ارتفاع حاجز الكمون:

$$\Phi_{Bn} = V_{bi} + \Phi_n + kT/q \qquad (12)$$

يبيّن الشكل 6 تغيّر مقلوب مربع السعة بدلالة فولطية الانحياز في حالة ثنائي من النوع W-Si وW-GaAs [2]. تجدر الإشارة، إلى أننا نحصل في هذه الطريقة، على الحاجز الموافق لحالة العصائب المسطحة [4].



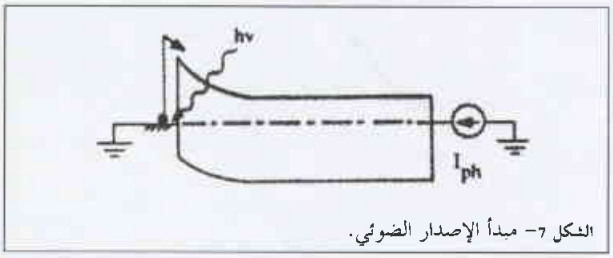
الشكل 6- تغيُّر مقلوب مربع السعة بدلالة فولطية الانحياز العكسي [2].

طريقة التيار الضوئي

عندما يُضاء الكاشف بفوتونات طاقتها أصغر من طاقة العصابة المحظورة لنصف الناقل، فمن الممكن إثارة حوامل الشحنة من المعدن إلى نصف الناقل كما يبيّن الشكل 7. يكون الإصدار الضوئي ممكناً في حالة $h\nu > \Phi_{Bn}$، حيث تثار الإلكترونات من المعدن فوق حاجز شوتكي إلى داخل نصف الناقل، مشكلةً التيار الضوئي I_{ph}. يُعرّف المردود الضوئي على أنه نسبة التيار الضوئي إلى تدفق الفوتونات الممتصَّة، ويُعطى بالعلاقة التالية [2]:

$$Y = B(h\nu - q\Phi_{Bn})^2 \qquad (13)$$

حيث B ثابت. يُرسم $Y^{1/2}$ بدلالة hν ، فنحصل على ما يُسمى أحياناً منحني فولر. وباستقراء الجزء الخطّي من هذا المنحني إلى $Y^{1/2}=0$، نحصل على ارتفاع حاجز شوتكي.



الشكل 7- مبدأ الإصدار الضوئي.

لا يكون منحني فولر خطياً دائماً، كما تتوقّع النظرية. عندما يكون هذا المنحني غير خطي، فمن الصعب تحديد Φ_{Bn}. بمفاضلة المعادلة (13) بالنسبة إلى hν، نحصل على:

$$\frac{dY}{d(h\nu)} = 2B(h\nu - q\Phi_{Bn}) \qquad (14)$$

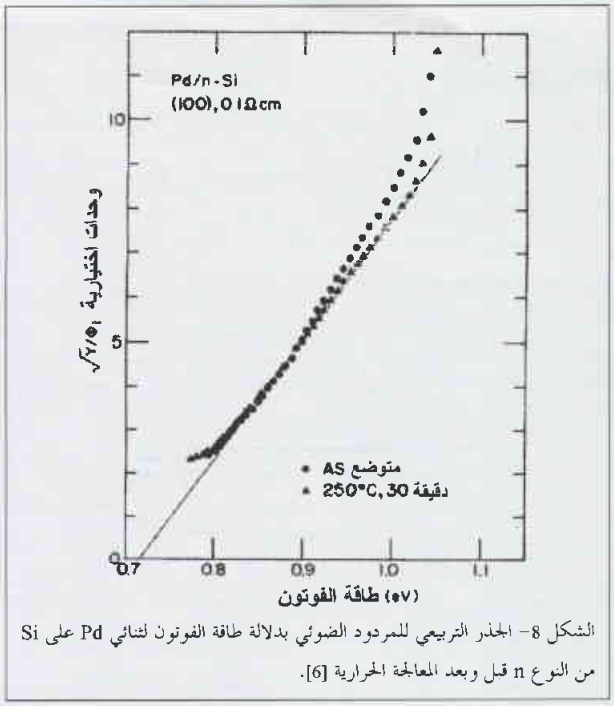
في منحنيات المشتق الأول، يكون الانحراف عن الخطية أقل بكثير من الانحراف في منحنيات فولر التقليدية. السبب في ذلك، هو أن الذيل الممتد لمنحني فولر بجوار ارتفاع الحاجز يزول بعملية الاشتقاق. يبين الشكلان 8 و9 منحني فولر التقليدي ومشتقه، لثنائي من النوع Pd-Si ، على التوالي.

دراسة مقارنة بين طرائق القياس

أُجري عدد من الدراسات لمقارنة ارتفاع حاجز شوتكي الذي تعطيه التقنيات تيار ـ فولطية I-V والتيار ـ درجة الحرارة I -T والسعة ـ فولطية C-V والتيار الضوئي PC [4]. السؤال الذي يطرح نفسه هو " أي الطرائق هي الأكثر وثوقية ؟". بصورةٍ عامة، أيُّ تلف عند السطح الفاصل بين المعدن ونصف الناقل يؤثر في المميزات I-V، لأن العيوب يمكن أن تقوم بدور مراكز عودة للاتحاد أو حالات بينيّة للتيارات النفقية المساعَدَة بالمصائد. كل واحدة من هذه الآليات تزيد قيمة n وتُخفض Φ_{Bn}. من جهةٍ أخرى، فإن القياسات C-V أقل عرضةً لمثل هذه التأثيرات. مع ذلك، يمكن للعيوب أن تؤثر في عرض منطقة النضوب، ومن ثم فولطية التقاطع الذي نحسب منه ارتفاع حاجز شوتكي .

إن قياسات التيار الضوئي أقل هذه التقنيات حساسيةً لمثل هذه العيوب، وتعتبر الطريقة الأكثر وثوقية بينها. مع ذلك، فإن منحنيات فولر ليست دائماً خطية. أما منحنيات المشتق الأول فلها عادةً جزء خطي، يجعل استخراج Φ_{Bn} أكثر وثوقية.

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

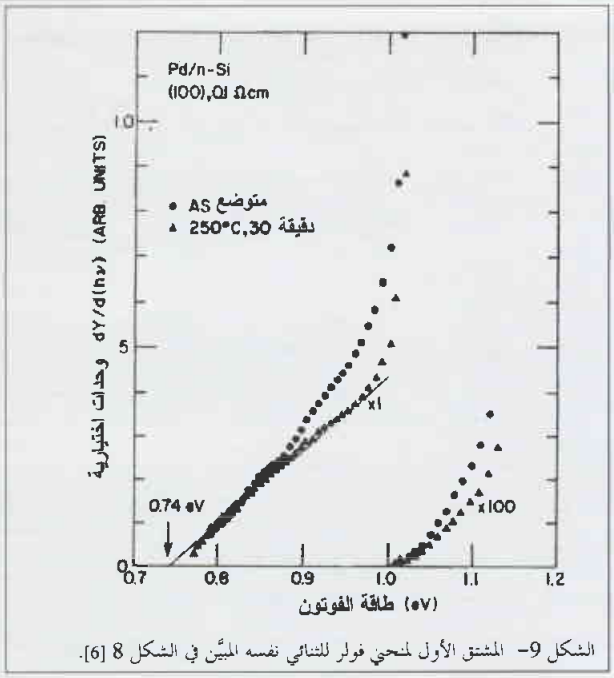


الشكل 8- الجذر التربيعي للمردود الضوئي بدلالة طاقة الفوتون لثنائي Pd على Si من النوع n قبل وبعد المعالجة الحرارية [6].

في دراسةٍ أجريت على السليكون [4] النظيف على المستوى الذري، كان: $\Phi_{Bn}(C-V) \rangle \Phi_{Bn}(I-V) \approx \Phi_{Bn}(PC)$.

تعود المساواة بين ارتفاع الحاجز الذي تعطيه الطريقتان I-V وPC، إلى أن كلا الطريقتين تقيسان الطاقة اللازمة لتحريض الإلكترونات من المعدن إلى نصف الناقل، ومن ثم فإن انخفاض ارتفاع الحاجز سيكون له الأثر نفسه. في الطريقة C-V، تُستقرأ المعطيات نحو $\frac{1}{C^2}=0$ ، مما يوافق حالة العصائب المسطحة في نصف الناقل، ويكون انخفاض ارتفاع الحاجز قريباً من الصفر.

إن الأسباب التي ذكرناها لشرح الفرق في ارتفاع الحاجز، تتوقع أيضاً تغيُّراً في ثابت ريتشاردسون. غالباً ما يلاحظ أن A* يتغير كثيراً مع شروط المعالجة مثل المعالجة الحرارية. يعتبر هذا من سلبيات الطرائق التي تعتمد على معرفة A* لتحديد ΩBn ،من ثم، تُفضل القياسات C-V و PC على القياسات I-V وI-T. تسبر طريقة PC العنصر من خارج نصف الناقل، أي يكون الإصدار الضوئي من المعدن إلى نصف الناقل، بينما تسبر الطريقتان I-V وC-V العنصر من جهة نصف الناقل. لهذا السبب، تكون هاتان الطريقتان أكثر حساسية لعدم التجانس الفراغي ولتلف السطح ولمفعول النفق. إن تقنية PC هي أقل تأثراً بهذه الوسطاء ولذلك فهي تؤدي على الأرجح إلى قيمة أكثر وثوقية لارتفاع الحاجز. على العموم، في حالة تماسات جيدة، فيها القليل من عوامل التخريب هذه، فإن كل الطرائق تعطي قيماً تتوافق توافقاً جيداً مع بعضها البعض.



الشكل 9- المشتق الأول لمنحني فولر للثنائي نفسه المبيَّن في الشكل 8 [6].

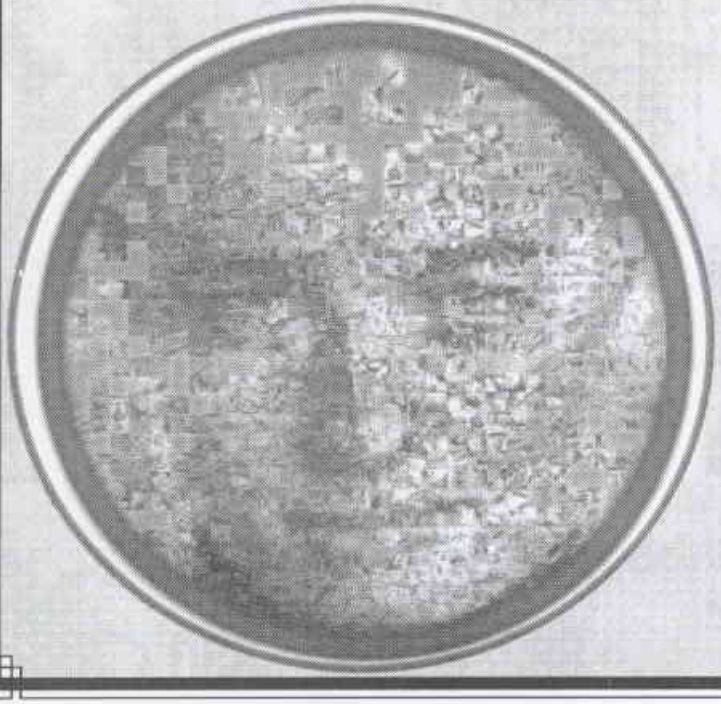
الخلاصة

استعرضنا في هذا المقال أكثر الطرائق استخداماً في قياس ارتفاع حاجز شوتكي للكواشف ذات الحاجز السطحي، وبالتحديد الطرائق الكهربائية التي تعتمد على قياس المميزات الكهربائية I-V المباشرة والعكسية والوسعية C-V، إضافةً إلى الطرائق الضوئية التي تعتمد على قياس التيار الضوئي PC ، في حالة فوتونات طاقتها أقل من طاقة العصابة المحظورة لنصف الناقل (منحني فولر). من ثم، أجرينا دراسة مقارنة للطرائق المختلفة بيَّنا فيها مزايا وحدود كل طريقة. تأتي أهمية هذه القياسات من أهمية ارتفاع حاجز شوتكي، حيث إنه العامل الرئيس الذي يحدِّد تيار تسرُّب كواشف الإعاقة السطحية؛ وهذا الأخير هو أكبر مصدر للضجيج في هذه الكواشف. بذلك يمكن الربط بين تيار التسرُّب وخواص الوصلة معدن/نصف ناقل.

REFERENCES المراجع

[1] "Radiation detection and measurement", Glenn F. Knoll, 2000.
[2] "Physics of semiconductor devices", S.M. Sze, 1981
[3] "Semiconductor physics and devices", Donald A. Neamen, 1997.
[4] "Semiconductor material and device characterization", D. K. Schroder, 1990.
[5] Dispositifs et circuits integres semiconducteurs, Andre Vapaille et Rene Castagne, 1987.
[6] "Analysis of parallel Schottky contacts by differential internal photemission spectroscopy",T. Okumura and K. N. Tu, J. Appl. Phys. 54(2) February 1983.

أخبار علميّة



1- نقطة ثلاثية في النواة*

تصف النقاط الثلاثية حالات للمادة توجد فيها ثلاثة أطوار في آنٍ واحد - كالحالة الصلبة والسائلة والغازية. ولقد تبيَّن الآن أن الظاهرة نفسها تحدث بين ثلاثة أشكال مختلفة للنوى الذرّية.

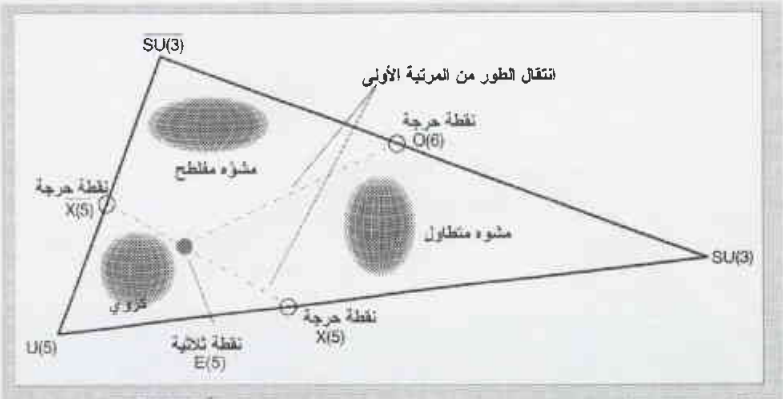
تعدُّ النقطة الثلاثية في الماء أكثر الأمثلة شهرة عن النقطة الثلاثية: إن الخطوط الثلاثة التي تفصل الطورين بخار - سائل، والطورين سائل - صلب، والطورين صلب - بخار على المخطط البياني للضغط ودرجة الحرارة، تتقاطع عند درجة الحرارة 273.15 K، وهي القيمة التي وضعت لتعرف سلّم كلفن لدرجة الحرارة. إن انتقالات الطور كهذه الانتقالات تكون في العادة مصحوبة بدرجة الحرارة، ولكنها يمكن أن تحدث عند درجة الحرارة صفر على السلم الكمومي من خلال آليات أخرى. في حالات الطاقة الأخفض (الأساسية) للنوى الذرّية توجد أطوار مختلفة تقابل أشكالاً هندسية مختلفة. ووفقاً لما كتبه جان جوليه J. Jolie وزملاؤه [1] في مجلة Physical Review Letters، تتلاقى هذه الأطوار عند نقطة ثلاثية، محققة بذلك نبوءة الفيزيائي الروسي لف لانداو L. Landau في ورقة علمية تقليدية عن نظرية انتقالات (تحولات) الطور من المرتبة الثانية [2]. ونظراً لأن لانداو كان يكتب في عام 1937، فلم يكن ليتوقع أن تُطبَّق نظريته في النطاق النووي.

عندما يذوب الجليد، فإنه يفعل ذلك عند درجة حرارة معينة وبتغيُّرٍ مفاجئ في حالته، إذ تحطِّم الحركةُ الحرارية لجزيئات الماء البنيةَ البلورية. هذا مثال عن انتقال للطور من المرتبة الأولى: فالطوران، الصلب والسائل، يوجدان معاً عند درجة حرارة الانتقال وتلزم حرارة لاطية كي تؤثر على تحول أحدهما إلى الآخر. تتعامل نظرية لانداو مع انتقالات للطور من المرتبة الثانية وهي انتقالات تتغير فيها حالة المنظومة بطريقة مستمرة من دون وجود تعايش للأطوار وبدلاً من ذلك، يصبح الطوران عند نقطة التحوُّل غير متمايزين. من الأمثلة المألوفة نذكر الانتقال المغنطيسي في الحديد، حيث يختفي معه التمغنط المصاحب لحالة المغنطة الحديدية عند درجة حرارة كوري وتصبح المنظومة ذات مغنطيسية مسايرة.

تنشأ انتقالات الطور في هذه المنظومة التقليدية من التنافس بين الترتيب والترجحات الحرارية. أما في المنظومات الكمومية فيمكن لانتقالات الطور أن تحدث عند الدرجة صفر وتُحدَث التغيرات في الترتيب بوسيط آخر. إن للنواة الذرّية، في حالتها الأساسية، شكلاً هندسياً مستقراً ينتج من التآثر بين مكوِّناتها من النترونات والبروتونات (والتي تُدعى جميعاً نكلونات) ومع تغيُّر عدد النكلونات من نواة إلى أخرى، تحدث انتقالات الطور، التي يتغير فيها التشكيل الهندسي، على سبيل المثال، من تشكيل كروي إلى "تشكيل مشوَّه رباعي متطاول"، أو على شكل السيجار. (وبتعبير أدق، لا يمكن تعريف انتقالات الطور إلا في الحد التقليدي الذي يسعى فيه عدد المكونات إلى اللانهاية. وهذا يعني، في التعبير العملي، أن عدم الاستمرار الذي يصاحب الانتقال يكون أملس ومصقولاً في المنظومة اللانهائية). كما تحدث انتقالات الطور الكمومية التي تشمل تغيرات في التشكيلات الهندسية في منظومات متعددة الأجسام لانهائية، كالجزيئات.

لقد تأثَّر الاهتمام في انتقالات الطور ذات الشكل النووي على مدى السنتين الماضيتين بتأويل جديد لسلوك نواتي عنصر السَّماريوم ^{152}Sm وعنصر الباريوم ^{134}Ba. يمكننا، في الفيزياء النووية، أن ندرس انتقالات الطور الكمومية بسهولة أكبر إذا استخدمنا التقنيات الجبرية التي تُرفق تناظراً رياضياً معيناً بالأشكال النووية المختلفة. وعلى وجه الخصوص، ففي إطار "نموذج البوزون المتآثر" [3] هناك ثلاثة أشكال كهذه الأشكال موافقة لكلٍّ من التناظر الكروي، والشكل المشوَّه بتناظر محوري والشكل المشوه بدون تناظر محوري (توصف رياضياً بالمجموعات U(5)، SU(3) وO(6) على الترتيب). يُمثَّل الانتقال بين أول اثنتين منها بخط ذي انتقالات من المرتبة الأولى على المخطط الطوري، والانتقال بين U(5) وO(6) هو نقطة من المرتبة الثانية.

لقد أظهرت معطيات تجريبية جديدة [4، 5] وكذلك اختبار حديث [6] لكلٍ من المعطيات والنظرية من أجل ^{152}Sm و^{134}Ba صلة مفهوم انتقالات طور الشكل الكمومي في النطاق



الشكل 1 — مثلث كاستن الموسع. تشير كل قمة إلى تناظر رياضي يقابل واحداً من الأشكال الثلاثة المبيَّنة. وتظهر على الشكل نقاط الانتقال والتناظرات الحرجة المصاحبة لها. كما تظهر انتقالات الطور من المرتبة الأولى. يقترح جوليه وآخرون [1] أنه توجد نقطة ثلاثية نووية تشير إلى الانتقال من المرتبة الأولى بين شكل نووي كروي وآخر مشوَّه متطاول أو مشوَّه مفلطح. إن المعطيات الموجودة والتي أخذت من نواة الباريوم تدعم هذه الفرضية.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature Vol*, 420, December ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

النووي . وبالإضافة إلى ذلك فقد طوَّر فرانسيسكو إياشيللو F. Iachello تناظرات "حرجة" تستطيع أن تقدم طريقة تحليلية لوصف بنية النوى عند النقاط الحرجة للانتقال من المرتبة الثانية [7] وفي منطقة تعايش الانتقال من المرتبة الأولى [8] ((E(5) وX(5)، على التوالي) ـ وهي توقعات تتلاءم مع سلوك ^{152}Sm و ^{134}Ba .

لكن الصورة لم تكتمل من دون العمل الجديد الذي نشره جوليه وآخرون [1]. وحتى الآن فإن المخطط الطوري للنواة، الذي يعرف بمثلث كاستين (الشكل 1)، قد أظهر خطّاً من التواجد الطوري من المرتبة الأولى بين التناظرين U(5) وSU(3) اللذين يبلغان أوجيهما في نقطة من المرتبة الثانية تعرِّف الانتقال U(5)–O(6). ولكن أين كان الانتقال في الساق الثالثة للمثلث، بين SU(3) و O(6) ؟ بيَّن جوليه وآخرون في عمل سابق [9]، أن جزءاً من المثلث كان مفقوداً؛ ينبغي توسيعه ليتضمَّن التناظر SU(3) . وهذا يوافق تشوُّهاً مفلطحاً ذا تناظر محوري ، بدلاً من الأشكال المتطاولة الممثَّلة بـ SU(3) ـ وهو تسطُّح وليس امتطاطاً، وهو في الأساس تغير في إشارة متحول الشكل المعني. وبعدئذٍ فإن التناظر الذي قام من قبل O(6) يلعب أيضاً دور التناظر الحرج، الذي يصف انتقال الطور من المرتبة الأولى من شكل متطاول إلى شكل مفلطح.

والآن لقد أكمل جوليه وآخرون القصة [1] بتحليل المخطط الطوري للشكل النووي بدلالة نظرية لانداو في انتقالات الطور المستمر (المرتبة الثانية)، مُسلَّحين بهذه النسخة الموسعة من مثلث كاستين . يبيِّن المؤلفون أن الانتقال من المرتبة الثانية ، في الحالة النووية، يمكن أن يقع فقط كنقطة معزولة تتطابق مع وصلة من خطين من انتقالات المرتبة الأولى (الشكل 1) . هذه هي النقطة الثلاثية للتشوّه النووي.

تقع انتقالات الطور بين تناظرات ذات مرتبة أعلى ومرتبة أدنى (كروي ومشوَّه) وبين تناظرات تتَّصف بإشارات متعاكسة يأخذها وسيط المرتبة (تقابل التشوه المتطاول والتشوه المفلطح)، متَّفقة بذلك مع نظرية لانداو . عند النقطة الثلاثية توجد الأطوار الثلاثة كلها، وإذا رجعنا إلى دراسات تجريبية سابقة، فإن نواة ^{134}Ba تكون قد قدَّمت أول برهان تجريبي بأن الأمر كذلك.

تُبين دراسة جوليه وآخرين [1]، بأسلوب مباشر ورشيق، كيف يمكن أن نطبق النظرية التقليدية في انتقالات الطور لوصف أشكال النوى الذرّية في حالاتها الأرضية . تصف النظرية طبيعة الانتقال من شكل إلى آخر بدلالة الوسطاء المناسبة ـ صورة موحَّدة تقدِّم رؤية جديدة على تغير شكل النوى . كما أنها تؤكد كيف تستطيع المفاهيم النظرية الأساسية أن تحيط بالمنظومات الفيزيائية الهائلة .

REFERENCES المراجع

[1] Jolie, J. et al. Phys Rev. Lett. 89, 182502 (2002).
[2] Landau, L. Collected Papers of L. D. Landau (ed. ter Haar, D.) 193-216 (Pergamon, Oxford, 1995).
[3] Iachello, F. & Arima, A. The Interacting Boson Model (Cambridge Univ. Press, 1987).
[4] Casten, R. F. & Zamfir, N. V. Phys. Rev. Lett. 87, 052503 (2001).
[5] Casten, R. F. & Zamfir, N. V. Phys. Rev. Lett 85, 3584-3586 (2000).
[6] Iachello, F. Zamfir, N. V. & Casten, R. F. Phys. Rev. Lett. 81, 1191-1194 (1998).
[7] Iachello, F. Phys. Rev. Lett. 85, 3500-3583 (2000).
[8] Iachello, F. Phys. Rev. Lett. 87, 052502 (2001).
[9] Jolie, J. et al. Phys. Rev. Lett. 87, 162501 (2001).

2 - متى تتفكك الإلكترونات إلى سبين وشحنة*

وفرت التجارب التي أجريت على النواقل العضوية دليلاً مباشراً على الظاهرة التي طال البحث عنها والمتعلقة بانفصال السبين ـ الشحنة في النواقل الأحادية البعد.

يبدو أن تحرك إلكترونات النقل في المعادن التقليدية يتم بصورة مستقلة كل منها عن الآخر مما يعني بأن الخواص الفيزيائية للمعدن كمجموع يمكن أن توجد بسهولة من جمع مساهمات كل إلكترون فيها. وهذا الأمر يبعث على الدهشة إلى حد ما لأن الإلكترونات عبارة عن جسيمات مشحونة ويمارس كل منها على الآخر تنافر كولون Coulomb القوي. وبالفعل، يتوقع المرء أن هذه التأثرات يجب أن تؤدي إلى حركة مترابطة قوية وبالتالي فإن تأثيرات الأجسام المتعددة ستهيمن على الخواص الإلكترونية. إن ذلك الذي يبدو أن حدوثه غير ممكن قد فُسِّر بمفهوم سائل فرمي Fermi الأصيل الذي قدمه ليف لاندو L. Landau منذ ما يقرب من نصف قرن.

يمكن أن نصف الإثارات الأولية لمنظومة الإلكترون المتآثر في هذا النموذج تقريباً كأشباه جسيمات غير متآثرة، والتي يمكن أن نعتبرها كإلكترونات عارية ملبّسة بغمامة من إثارات زوج إلكترون – ثقب افتراضي أو وهمي. وبذلك تزداد الكتل الفعّالة للإلكترونات بنسبة مئوية قليلة في المعادن البسيطة وبعدة عوامل تصل إلى 1000 في منظومات "فرميون الثقيلة" ـ ولكن تبقى أشباه الجسيمات تحمل الشحنة نفسها والسبين نفسه كإلكترونات حرّة. وهذا يعني أن الشحنة الإلكترونية والسبين الإلكتروني ينتشران بصورة مترابطة في سائل فرمي تماماً كما يفعلان في غاز إلكتروني غير متآثر.

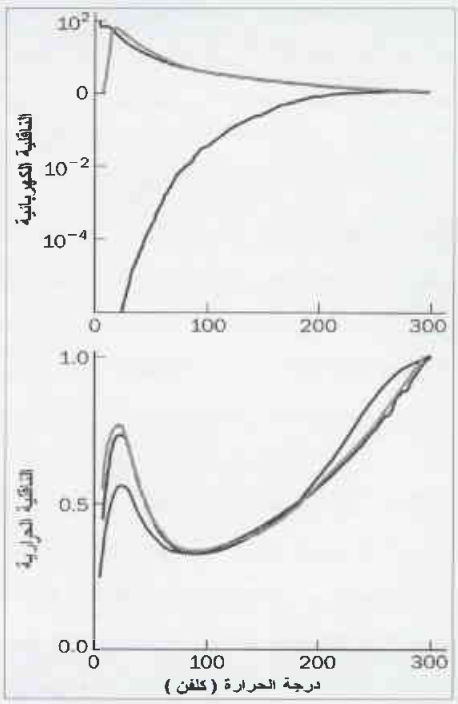
* نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World* October 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مناقشة أمر البعد الواحد

بيّنت الاعتبارات النظرية أن هذا المثال الأساسي في فيزياء الحالة الصلبة لم يعد قابلاً للتطبيق عندما تكون الإلكترونات محصورة في بعد مكاني واحد. لقد وُجد أن السبين والشحنة في المعادن الأحادية البعد 1D يستطيعان أن ينتشرا بصورة مستقلة، وبسرعات مختلفة، على شكل أنماط إثارة جماعية يطلق عليها اسم "سبينونات" (إثارات سبين متعادلة) و"هولونات" (إثارات شحنة بدون سبين). وفي تجربة ذهنية، فإن الإلكترون المضاف إلى معادن 1D سيتفكك إلى هولون وسبينون.

لا يحدث هذا الأمر طبعاً في الحياة العادية ولكن تجري محاكاته باستجابة أجسام متعددة جماعية لمنظومة الإلكترون المتآثر (وبالمشابه، يسلك الإلكترون المفقود في عصابة تكافؤ نصف ناقل ممتلئة تماماً في الأصل سلوك حامل شحنة موجبة، مع أن الجسيمات المتحركة الوحيدة هي إلكترونات مشحونة سلباً). وكنتيجة لهذا الانفصال سبين - شحنة، فإن إخفاقات صورة شبه الجسيم في معادن 1D ونموذج سائل - فرمي قد استُبدلا بعلم ظواهر الطاقة المنخفضة الجديد الذي يُعرف بسائل لوتنغر Luttinger.



تبعية الناقلية الكهربائية (في الأعلى) والناقلية الحرارية (في الأسفل) لدرجة الحرارة مستنظمة عند درجة حرارة الغرفة (300 كلفن) لأملاح بيتشغارد الثلاثة: $(TMTTF)_2PF_6$ (أزرق) و $(TMTSF)_2PF_6$ (أحمر) و $(TMTSF)_2ClO_4$ (أخضر). تعرض المركّبات الثلاثة خواص كهربائية مختلفة تماماً، ولكن خواصها الحرارية متشابهة جداً. وهذا يفيد بأن سبينات وشحنات الإلكترونات قد انفصلت. تعود الزيادة الواضحة للناقلية الحرارية في درجات الحرارة العالية إلى الإثارات المغنطيسية أو السبينية، في حين أن الناقلية الكهربائية تُحدَّد بإثارات الشحنة. جرى قياس الناقلية في جميع الأحوال على طول اتجاه الكومة. لاحظ أن المحور العمودي من أجل القياسات الكهربائية لوغارتمي.

وبرغم التنبؤ الذي مضى عليه أكثر من عقدين من الزمن، فإن الدليل التجريبي من أجل انفصال سبين - شحنة في معادن 1D نادر الوجود. وحتى الآن تركزت الأبحاث من أجل هذا الانفصال على اكتشاف أثره على توابع ارتباط الأجسام المتعددة بواسطة مطيافيات الإصدار الفوتوني أو الضوئي، أو المغنطيسي أو العبور النفقي. على أية حال، لوحظت حديثاً دلالات مباشرة أكثر بكثير عن إزالة الاقتران سبين - شحنة في الناقلية الحرارية لأشباه النواقل العضوية 1D من قبل الفيزيائيين في جامعتي كولونيا وشتوتغارت في ألمانيا (ت - لورنتس وزملاؤه Nature- 418، 614، 2002).

استخدمت التجربة ما تسمى أملاح بيتشغارد Bechgaard، وهي صنف من مركّبات عضوية من النوع $X(TM)_2$ حيث TM جزيء عضوي وX معقد لا عضوي متقبِّل. تكون الجزيئات TM المستوية، في البنية البلورية، مرتبة في كومات خطية مفصولة بعضها عن بعض بالمتقبّلات X التي تعمل على تطعيم الكومات بحوامل شحنة متحركة. ولما كانت الحوامل تستطيع أن تنتشر فقط على طول اتجاه الكومة، فإن الخواص الإلكترونية لا متناحية بدرجة عالية: تكون الناقلية الكهربائية على طول الكومات بصورة نموذجية أكبر بـ 1000 مرة عمّا هي عليه في الاتجاه العمودي. إن النقطة المهمة عن أملاح بيتشغارد هي أن خواصّها الكهربائية والمغنطيسية تعتمد بشكل كبير على كتل البناء الحقيقية لـ TM وX.

التشابهات والاختلافات

استعمل فريق كولونيا - شتوتغارت ثلاثة أملاح بيتشغارد: أحدها كان عازلاً والآخران ناقلان جيدان يتحولان في درجات الحرارة المنخفضة إلى مغنطيس حديدي مضاض عازل وإلى ناقل فائق على الترتيب. وبناء على ذلك فإن الناقلية الكهربائية للأملاح مختلفة بشكل كبير بعضها عن بعض كتابع لدرجة الحرارة.

وعلى أية حال، فإن ما أدهشهما هو أن لورنتس Lorenz ومعاونيه وجدوا أن اعتماد الناقلية الحرارية على درجة الحرارة كان متشابهاً جداً في المركّبات الثلاثة جميعاً. تصف الناقلية الحرارية نقل الطاقة الحرارية المخزونة في جميع أنواع الإثارات بما فيها الاهتزازات الشبيكية والإثارات الإلكترونية والمغنطيسية. في الدرجات المنخفضة من الحرارة، تتحكم في النقل الحراري غالباً الدينامية الشبيكية التي لا تتباين قيمتها كثيراً في أملاح بيتشغارد المختلفة وبالتالي تفسر التشابه فيما بينها. ولكن، في الدرجات الأعلى من الحرارة (فوق 100 كلفن) يمكن رؤية أن المساهمة الشبيكية مهملة وأنه يجب أن تعيَّن الناقلية الحرارية بالإثارات الإلكترونية.

في معدن من نوع سائل فرمي تكون إثارات الزوج إلكترون - ثقب (أو بدقة أكثر إثارات زوج شبه جسيم - شبه ثقب) مسؤولة عن كل من الناقلية الحرارية والناقلية الكهربائية، وتكونان مرتبطتين

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

بعلاقة مشابهة تعرف باسم قانون ويديمان ـ فرانتس Weidemann Franz الذي يقرر بأن الناقلية الحرارية متناسبة مع الناقلية الكهربائية مضروبة بدرجة الحرارة.

وجد لورنتس ومعاونوه أن هذا القانون قد انتهك بشدة في أملاح بيتشغارد. إن مساهمة نوع ويديمان ـ فرانتس ستكون ضعيفة أكثر مما ينبغي لتفسّر الناقلية الحرارية المقيسة. وعلى الأصح كان فريق كولونيا – شتوتغارت قادراً على أن يبيّن أنه من الممكن تفسير نقل الحرارة في الدرجات العالية من الحرارة بإثارات سبينية جماعية (يعني المغنطيسية).

إن ظهور تبعات مختلفة لدرجات الحرارة من أجل نقل الشحنة من جهة وإلى حد ما نقل الحرارة المنتظم العائد للإثارات السبينية من جهة أخرى يبين بوضوح بأن ديناميات الشحنة والسبين تفترقان في شبه أملاح بيتشغارد -1D ، وبالتالي فإن النتائج تقدم دلالة مباشرة جداً على الانفصال سبين ـ شحنة وانهيار مفهوم شبه الجسيم.

وما دام الأمر نتيجة كيفية – وما دام هنالك حاجة لوضع نظرية مفصلة عن النقل الحراري في سوائل لوتنغر فإن ذلك يتعزّز بالنتائج الطيفية الحديثة على أملاح بيتشغارد وما يتعلق بها من مركّبات. وبالفعل فإن هذه المواد العضوية تصبح في النهاية أكثر الميادين التنافسية إثارة من أجل دراسة آثار الترابط الإلكتروني في بعد واحد ، ومن الأهمية بمكان رؤية أي المفاجآت الأخرى التي تحملها في المستقبل.

3- الأشباح الجزيئية*

قادت المنفعة الهائلة للمواد المسامية مثل الزيوليت [1] في التحفيز وعلم الفصل بين المواد كثيراً من الكيميائيين المختصين بالحالة الصلبة إلى الاعتقاد بأن كلمة غير المسامية تعادل كلمة الإهمال أو عدم الاهتمام. إن المسامّ والقنوات تزيد بشكل كبير مساحة السطح الفعّال للجسم الصلب وتسهّل الانتشار الجزيئي وتؤمن مواقع من أجل الربط حفزياً للنوع الفعّال في بيئة غير مذوّبة. إن جمهور مصممي الحالة الصلبة منهمكون في اصطناع هياكل مسامية أنيقة [3,2]. وللمقارنة ، فإن البحث في تصميم واصطناع مواد صلبة متراصة وأكثر تقليدية لا يكون غير مألوف تماماً ، ولكن الأمر يمكن أن يتغير بعد نشر تقرير أتوود Atwood وزملائه. بيّن المؤلفون أن المركب العضوي المعروف ، وهو الكاليكسارين يشكل بنية من الحالة الصلبة غير المسامية إطلاقاً ومع ذلك يسمح بالانتشار الكبير والسريع لجزيئات صغيرة بدون أن يفقد تبلوره [4].

الكاليكسارينات جزيئات مدروسة بشكل جيد ، ولا يوجد شيء مدروس أكثر من p- تيرت ـ بوتيل كاليكسارين [4] ، انظر الشكل ، [6,5]. يتخذ الجزيء شكل الزُبدية في كل من طوريه الصلب والمحلول ، تخليداً لزهرية يونانية تسمى فوهة كأسية (ومن هنا أتى الاسم). يمكن لباطن الزبدية أن يحوي نوع ضيف مؤلف من جزيء صغير الحجم مثل التولوين. لقد حضرت تشكيلة مذهلة من مركّبات ضيف – مضيف من الكاليكسارين [6,5].

بلور أتوود وزملاؤه حالياً الكاليكسارين بدون وجود أي شيء آخر في داخل التجويف الجزيئي ، وتمّ ذلك بكل سهولة بتصعيد المركب. إن الحصول على الكاليكسارين النقي صعب بسبب ميله لاحتواء نوع من الضيوف ، ولكن ليس شيئاً خاصاً لذاته. تُبين البنيتان البلّوريتان المعروفتان بأشعة -X [7,4] للكاليكسارين ، الذي لايحوي ضيفاً ، جسماً صلباً متراصّاً شبيهاً جداً بأغلب المركّبات الواردة في قاعدة معطيات كمبردج البنيوية وإن تكن بأقل كثافة نسبياً [8].

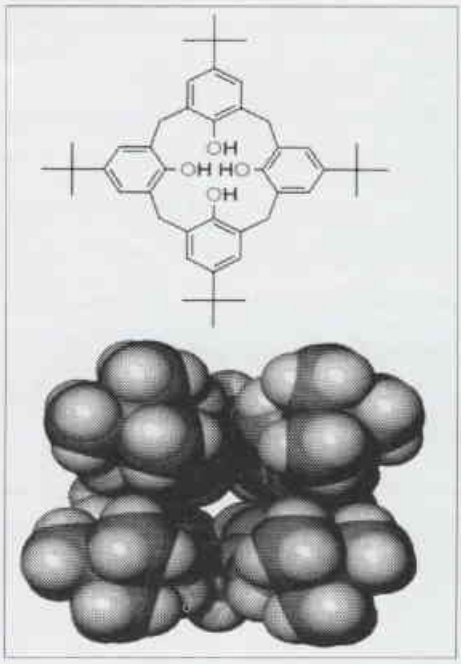
كانت الخطوة المهمة التي اتخذها أتوود وزملاؤه هي في غمس البلورة المفردة المنتظمة التي أجروا دراسة أشعة -X عليها ، في بروميد الفينيل السائل. لا ينحل الكاليكسارين الصلب في بروميد الفينيل ، ولكن إذا ما تمت البلورة المشتركة للكاليكسارين من محلول في مذيب آخر فإنه يشكل عادة معقدات مضيف – ضيف بنسبة 1:1 مع تشكيلة جزيئات من الضيف. لاحظ أتوود وزملاؤه أن مثل هذا المركّب مضيف – ضيف قد تشكل في انتقال طور بلورة مفردة – بلورة مفردة طوال مدة خمس عشرة دقيقة عند تغطيس الكاليكسارين الصلب الخالي من الضيف بدون ذوبان في بروميد الفينيل السائل.

وضع المؤلفون بعد ذلك البلورة مرة ثانية في مقياس انعراج أشعة -X فحصلوا على بنية بلورة معقد الكاليكسارين بروميد الفينيل بنسبة 1:1. إنه من المفيد الإشارة إلى اختيارهم الموفق إلى بروميد الفينيل كجزيء ضيف. وبالتعبير البلّوري لأشعة -X ، فإنه من السهل لذرّة البروم الضيف الغنية بالإلكترونات أن تنحل بوجود الكربون والهدروجين والأكسجين ، وبالتالي فإن من السهل لبروميد الفينيل أن يستقر أو يتوضّع [9].

لهذه التجربة البسيطة مع المواد المعروفة جيداً تضمينات هائلة من أجل ديناميات الحالة الصلبة. يستخدم المختصون في علم بلّورات البروتينات طبعاً المنهج نفسه منذ سنين. تتضمن طريقة الاستبدال المتشاكل نقع بلّورات البروتين في محاليل حاوية أيونات معدنية ثقيلة. تنتشر المعادن في بلورة البروتين وبذلك تساعد العلماء البلّوريين في حلّ البنية البلورية للبروتين الأصلي الخالي من المعدن.

* نُشر هذا الخبر في مجلة Science Vol 298 1November, 2002 ترجمة هيئة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



دُرست بشكل جيد مع أنها لا تزال مليئة بالمفاجئات.

(في الأعلى): P- تيرت بوتيل كاليكسارين [4].

(في الأسفل): موقع ملء الفراغ في التحويف الجزيئي المتقطع للكاليكسارين.

لكنّ بلّورات البروتين ليست أجساماً صلبة متراصّة، إنها مسامية كالزيوليتات اللاعضوية. تغسل بلّورات الجزيئات الحيوية عادة بقنوات كبيرة مملوءة بالماء التي تسهل انتشار أيونات المعدن. وبالعكس، من الصعب تصوّر انتشار جزيئات كبيرة كبروميد الفينيل خلال جسم صلب لا مسامي متراصّ بدون تمزيق البنية البلّورية المنتظمة. يمكن لثنائي أكسيد الكبريت أن يحقق عملاً مشابهاً، ولكنه يرتبط مع مضيفه المحتوي على البلاتين بتآثر تناسقي قوي [10]. يقتضي الربط في تجربة أتوود وزملائه فقط قوى فان درفالس. وإذا ما أمكن حصول انتشار الحالة الصلبة اللامسامية مع الكاليكسرينات فإن المتضمّن هو أنه من الممكن ذلك مع مواد أخرى عديدة. إن الشيء الجميل في الكاليكسارين هو قدرته على تشكيل معقدات مع الضيف المنتشر يمكّن الباحثين من ملاحظة العملية بسهولة وبسرعة.

اقترح أتوود وزملاؤه آلية لهذا العبور النفقي الظاهري للضيف يتضمن "عملية تزامن عالٍ تتعاون فيها جزيئات الضيف المجاورة عند حد الطور المتقدم مع واحدة أخرى، ليس فقط لترحيل الضيف خلال الشبيكة وإنما أيضاً للحفاظ على استمرارية المعدن إلى حد أن البلورة لا تتكسر". يجب اعتبار بقاء هذا التفسير محفوفاً بالخطر ولكن يظهر أنه أكثر قبولاً من التفكير بأن بروميد الفينيل "كشبح" جزيئي يمكن أن ينسلّ كطيف روحاني (لا مادي) خلال جدران الكاليكسارين.

REFERENCES المراجع

[1] J. L. Atwood, J. E. D. Davies, D. D. MacNicol, F. Vogtle, Eds., Comprehensive Supramolecular Chemistry, VoL. 7 (Pergamon, Oxford, ed. 1, 1996).

[2] M. Eddaoudi et al., Acc. Chem. Ees. 34, 319 (2001).

[3] N. L. Rosi et al., Cryst. Eng. Comm. 4, 401 (2002).

[4] J. L. Atwood, L. J. Barbour, A. Jerga, B. L. Schottel, Science 298, 1000 (220).

[5] C. D. Gutsche, in Calixarenes, J. F. Stoddart, Ed., Vol. 1 of Monographs in Supramolecular Chemistry (Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1989).

[6] C. D. Gutsche, Calixarenes Revisited, J. F. Stoddart, Ed., Vol. 6 of Monographs in Supramolecular Chemistry (Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1997).

[7] E. B. Brouwer et al., Chem. Commun. 2001, 565 (2001).

[8] F. H. Allen, O. Kennard, Chem. Design Automat. News 8, 1 (1993).

[9] W. Clegg, X-ray Crystallography (Oxford Univ. Press, Oxford, 1998).

[10] M. Albrecht, M. Lutz, A. L. Spek, G. van Koten, Nature 406, 970 (2000).

4- استطاعة بتواترات التيراهرتز *

رغم الاستخدامات العديدة لإشعاع بتواترات من رتبة التيراهرتز، إلا أن غالبية المنابع لا تستطيع توليد حزم تيراهرتز ذات استطاعة كبيرة؛ وإن مناولة مغنطيسية لإلكترونات طاقية داخل مسرّع الجسيمات تُقدّم حلاً لهذه المشكلة.

تُصدر هذه الصفحة طيفاً عريضاً من الإشعاع الكهرطيسي، بما في ذلك تواترات في مجال تيراهرتز واحد ($1THz=10^{12}Hz$)، وأنت لاتستطيع رؤية إصدار تيراهرتز كهذا لأن له تواتراً أصغر بحوالي 300 مرة من حدّ الإبصار البشري؛ كما أنك لاتستطيع تحسُّس هذا الإصدار لأن إجمالي الشدة المصدرة عند جميع التواترات تحت 1THz تكون أقل من جزء واحد في المليون جزء من الواط لكل سنتيمتر مربع. ولايقتصر الأمر على هذه الصفحة فقط، بل إن جميع الأجسام من حولك تُصدر في جميع الاتجاهات أمواجاً كهرطيسية من رتبة التيراهرتز على صورة "إشعاع جسم أسود black body radiation".

وهنالك طلب على حزم تيراهرتز أشد سطوعاً من "إشعاع جسم أسود"، وذلك من أجل استخدامات علمية وتقانية تُراوح في مداها بين التصوير لمواد بيولوجية وأخرى على شاكلتها [2,1] لمناولة حالات

* نُشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 14 November 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

كمومية في أنصاف النواقل [3]. وقد أعلن كار Carr وزملاؤه [4] عن توليد حزمة إشعاع تحوي طيفاً عريضاً من تواترات تصل إلى حوالي تيراهرتز واحد ولها وسطي استطاعة قدره 20 واط؛ ولم يسبق على الإطلاق أن استنبطت حزمة كهذه؛ وهكذا يكون كار وزملاؤه أوّل من فتح الباب إلى دراسات واستخدامات جديدة في مجالات واسعة من فروع المعرفة.

ويوجد تحت تصرّف الباحثين حالياً عدد متزايد من منابع إشعاع التيراهرتز المترابط ـ أي إشعاع بتواتر من رتبة التيراهرتز ذي طور مُعرَّف جيداً ومن النوع الذي يمكن تبئيره بإحكام. وبشكلٍ متزايد، أصبح شائعاً توفر ليزرات يمكنها توليد نبضات في مجال الضوء المرئي أو تحت الأحمر القريب (حوالي 10^{15}-10^{14} هرتز) مدتها أقل من 10^{-12} ثا؛ كما يمكن بزيادة صغيرة في التكلفة، استخدام هذه الليزرات لتوليد إشعاعات التيراهرتز [5].

وفيما يلي نستعرض إحدى الطرائق الشائعة. يجري توليد حقل كهربائي شدته حوالي 10^6 Vcm^{-1} في نصف ناقل عالي المقاومة بتطبيق فولطية تيار مستمر بين زوج من الإلكترودات المثبتة إلى سطحه. وتقوم نبضة ليزرية فائقة السرعة بإثارة نصف الناقل بين الإلكترودين محدثةً كثافة ضخمة لحاملات الشحنة المتحركة (إلكترونات و"ثقوب") من خلال مفعول ذي صلة وثيقة بالمفعول الكهرضوئي المستخدم في خلايا شمسية. وعند تحسُّس حاملات الشحنة المذكورة آنفاً للحقل الكهربائي الشديد، فإنها تتسارع بمعدّل يقارب 10^{17} $m\ s^{-2}$ – قارن ذلك بتسارع ثقالي قدره $10\ m\ s^{-2}$ يستشعره جسم جرى إسقاطه قرب سطح الأرض. والشحنات المتسارعة جميعها تصدر إشعاعاً كهرطيسياً. ولأن حاملات الشحنة المذكورة تصل إلى أقصى سرعة لها في أقل من 10^{-12} ثا، فإنها تصدر نبضة مفردة لحقل كهربائي تكون أقصر من 10^{-12} ثا وتحوي مدىً عريضاً من التواترات قد تصل إلى بضع (عدد قليل) من وحدات التيراهرتز. وفي الحالة النموذجية، يكون وسطي الاستطاعة الذي يجري توليده بهذه الطريقة أقل من 10^{-6}W؛ ولكون هذه الاستطاعة مستقرة وناجمة عن حزمة مترابطة ذات خصائص زمنية معروفة جيداً، فإنه يمكن استخدامها في مجال المطيافية ذات الفصل الطيفي العالي والممتازة من حيث نسبة الإشارة إلى الضجيج، كما يمكن أن تستخدم حتى في مجال التصوير [3]. لكن العائق في مجال التصوير هو أنه من الضروري عادة إجراء مسح لبقعة الحزمة فوق الجسم موضع الاختبار، وهو إجراء بطيء جداً وبقدر لايسمح باكتساب صورة ذات سرعة تلفزيونية.

كذلك استخدم كار وزملاؤه [4] إلكترونات تسريع لتوليد حزمتهم ذات إشعاع التيراهرتز عريض العصابة باستطاعة 20W؛ لكن بدلاً من أن تكون مأسورة في نصف ناقل، كانت هذه الإلكترونات تسير في خلاء منطلقة بسرعة قريبة من سرعة الضوء ـ وذلك في المسرّع المتوفّر لدى مختبر جفرسون في مدينة نيوبورت نيوز بولاية فرجينيا الأمريكية. ويجري تجميع الإلكترونات في باقات متناهية في الصغر بحيث تتزُّ (منطلقة بسرعة عظيمة) متجاوزةً راصداً لها في زمن قدره 0.5×10^{-12} s. وطالما أن باقة الإلكترونات تنطلق في خط مستقيم فإنها لن تتسارع أو تصدر ضوءاً؛ غير أن حقلاً مغنطيسياً قوياً يستطيع حرف باقة الإلكترونات هذه: فإذا أمكن حني مسارها على طول قوس دائرية نصف قطرها 1m، فإن التسارع المرافق سيؤدي إلى جعل الباقة تصدر نبض إشعاع كهرطيسي من رتبة 500- fs (1 $fs=10^{-15}s$) ذا استطاعة قمية تقارب 10^6 W، وتواتراً قمياً يُقدّر بحوالي 0.6 THz، وإشعاعاً قابلاً للكشف قد يصل إلى عدّة وحدات من التيراهرتز. وعندما يجري توليد الباقات الإلكترونية بمعدّل أعظمي قدره 37 مليوناً كل ثانية، عندئذ يمكن لوسطي الاستطاعة في الحزمة أن يصل إلى ما يقارب 20 W. وفي واقع الحال، اضطُر الباحثون إلى خفض الاستطاعة بمعامل قدره 550 كي يجعلوا الإشارة المولدة تعود ثانية لتصبح ضمن المدى الديناميكي لتجهيزاتهم.

وتُكمِّل الحزمة العريضة العصابة باستطاعة 20 W منابع أخرى لإشعاع التيراهرتز بما في ذلك المنابع ذات الحزمة العريضة – التي نوقشت أعلاه ـ المعتمدة أساساً على ليزرات فائقة السرعة والتي تأتي في نوعين اثنين: النوع الأول عبارة عن منابع تصدر نبضات ذات استطاعات قمية مماثلة لتلك التي أخبر عنها كار وزملاؤه [4] لكنها بمعدّل تكرار لايزيد عن 10^3Hz مقارنة بـ 4×10^7Hz للمنبع الخاص بمختبر جفرسون، ويكون وسطي الاستطاعة الناتجة منها في حدود 10^{-3} W [6]. أما النوع الثاني من المنابع فهو الذي يُصدر نبضات تيراهرتز ذات معدّل تكرار قدره 10^8 Hz ولكن بوسطي استطاعة أقل من 10^{-6} W [3,1].

وهنالك أيضاً منابع تُصدر إشعاعاً بتواترات معرّفة أو محدّدة بشكلٍ جيد. وتشمل هذه المنابع كلاً من: (1) الليزر التعاقبي الكمومي quantum-cascade laser [7] المنتج لنبضات ذات استطاعة قمية قدرها 0.002 W عند حوالي 4 THz، و(2) هزّازات أمواج مكروية [8] التي من الممكن مضاعفة تواترها بواسطة نبائط خطيّة (10 ثوانٍ لاستطاعة مستمرة بسوية مكرو واط وبتواتر أقل من 2THz)، و(3) ليزرات الإلكترون الحر free-electron lasers التي تصل إلى استطاعة قمية قدرها 10^3-10^6 واط [9] هذا، وقد وجد كل من هذه المنابع تطبيقاته الخاصة به والمستخدمين المناسبين له.

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

وكما هو الحال بالنسبة لأي تقانة حديثة، من الصعب التنبؤ بالاستخدامات الأكثر أهمية فلم يكن ممكناً أن يتخيل مخترعو الليزر ماسحات الكود القضيبي. ويظن المؤلفون أنه من الممكن استخدام الاستطاعة القمية الكبيرة لدراسة الظواهر الجديدة اللاخطيّة في مواد ونبائط متقدّمة (معقّدة) كما أنه يمكن لوسطي الاستطاعة الكبيرة أن يسمح بالتقاط صورة بحقل كامل وزمن حقيقي أو يسمح فعلياً بالتقاط أشرطة سينمائية ذات تواترات من رتبة التيراهرتز. وهنالك إمكانية أخرى تكمن في أن الاستطاعات الكبيرة الوسطية أو القمية يمكن استخدامها في مناولة وتغيير مواد، أو تفاعلات كيميائية، أو عمليات بيولوجية. ولعلّك، وأنت تتنعم بإشعاع التيراهرتز الضعيف الذي تُصدره هذه الصفحة ستُفكر ملياً بالاستخدام الأنسب لمنبع التيراهرتز الجديد.

المراجع REFERENCES

[1] Hu, B.B. & Nuss, M. C. Optics Lett. 20, 1716-1719 (1995).

[2] Chen, Q. & Zhang, X. –C. in Ultrafast Lasers; Technology and Applications (eds Fermann, M. E., Galvanauskas, A. & Sucha G.) 521-572 (Dekker, New York, 2001).

[3] Cole, B. E., Williams, J. B. King, B. T., Sherwin, M. S. & Stanley, C. Nature 410, 60-63 (2001).

[4] Carr. G. L. et al, Nature 420, 153-156 (2002).

[5] Grischkowsky. D., Keiding, S. van Exter, M. & Fattinger, C. J. Opt. Soc. Am, B7, 2006-2015 (1990).

[6] You, D., Jones, R.R., Bucksbaum, P.H. & Dykaar, D. R. Optics Lett. 18, 290-292 (1993).

[7] Köhler, R. et al. Nature 417, 156-159 (2002).

[8] Martin, S. et al. in 2001 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest, Vol.3 (ed. Sigmon, B.) 1641-1644 (IEEE, Piscataway, New Jersey, 2001).

[9] Colson, W. B. et al. Physics Today 55 (1), 35-41 (2002).

5- حان وقت ارتداء الثياب للعاملين في المجال النووي*

لأول وهلة، قد توحي كلمة "دمرون Demron" بأنها ذلك النوع من الكواكب السيارة التي سيتوجه نحوها "جين ـ لوك بيكارد في مركبته Star Terk..."؛ لكنها، في الواقع، تمثل أول قماش خفيف الوزن كتيم الإشعاع تمّ استنباطه في العالم ليصبح مواتياً من أجل تدريع وحماية المركبة الفضائية "Enterprise" من الإشعاعات الكونية.

ويعتمد التدريع التقليدي على وجود معادن ثقيلة كالرصاص؛ لكن نسيج الدمرون ـ كما يقول عنه جون هفلر J. Hefler من شركة تقانات درء الإشعاع Radiation Shield Technologies في مدينة ميامي بولاية فلوريدا الأمريكية والتي تعمل على تطوير المادة لايعتمد على وجود هذه المعادن بل يعتمد، كبديل عنها، على بوليمر يحاكي بعض الخواص الإلكترونية لهذه المعادن الثقيلة.

والمدى لإمكانية استخدامات "الدمرون" يُراوح ما بين بذلات خفيفة الوزن لكامل الجسم، تتيح لمرتديها التحرك بدون إعاقة في مناطق عالية الإشعاع، إلى بطانات كتيمة الإشعاع تستخدم في الطائرات والمركبات الفضائية. ويدّعي مكتشفو البذلات أو البطانات المذكورة آنفاً أنها توفر حماية مماثلة لتلك الخاصة بصُدرة الرصاص القياسية standard lead vest المستخدمة في الصناعة النووية، حيث تعمل على اعتراض سبيل كل من أشعة ألفا وبيتا وغاما إضافة إلى أشعة X. ومعروف أن الثياب التقليدية للحماية تقي من أشعة ألفا فقط.

للمعادن الثقيلة ذرّات كبيرة الحجم كما أن لها أعداداً كبيرة من الإلكترونات؛ وعندما تصطدم الجسيمات المكونة لأشعة ألفا وبيتا مع هذه الإلكترونات فإنها تتباطأ ثم تُمتصّ من قبل المادة. وفي حين تتمتع نوى الهليوم المكونة لأشعة ألفا بقدر ضئيل من الطاقة بحيث يمكن، تقريباً، لأي حاجز فيزيائي أن يوقفها، تُعدّ إشعاعات غاما وX أشكالاً من الإشعاع الكهرطيسي عالية الاختراق بحيث لايمكن إيقافها إلا إذا تمكنت الإلكترونات في مادة تدريع امتصاص قدر كافٍ من طاقتها.

يتألف "الدمرون" من بوليمير أساسه البولي إثيلين و: P.V.C والمنصهر بين طبقتين من قماش محبوك. وقد جرى تصميم جزيء البوليمير بطريقة تسمح للأشعة الواردة أن تواجه غيمة إلكترونية ضخمة تؤدي إلى حرفها أو امتصاصها. وكما أفاد هفلر: "تكون جزيئات البوليمير متراصفة بشكل يعطي صورة مضللة عن وجود ذرات كبيرة". وتكون الإلكترونات قادرة على حرف أشعة بيتا أو امتصاص الطاقة الخاصة بأشعة ألفا وأشعة X.

ولا تزال الصناعة النووية متحفظة بشأن إصدار حكم نهائي على صلاحية المادة الجديدة؛ وفي هذا السياق، تُفيد جانين كلابر J. Claber العاملة لدى الشركة البريطانية للوقود النووي: "ستتوقف إمكانية الاستفادة من القماش الجديد على سوية الحماية التي يستطيع تقديمها ضد إشعاعات غاما و X وعلى كيفية تفاعله وتحلله عندما يتعرض للإشعاع.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 16 November 2002 ترجمة هيئة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية

6- كيف ساعدت محطات الطاقة النووية في اليابان على كشف أسرارالشمس *

لقد كُشِفَت النترينوات، وهي بعض الجسيمات تحت الذرية الأكثر مراوغة، عن الصورة الأوضح حتى الآن للتفاعلات التي تحصل داخل الشمس.

منذ أن اقتُرِح لأول مرة النموذجُ الذي يبين كيف تغذي تفاعلاتُ الاندماج الشمسَ ظلت النتائج التجريبية متأخرة عن التنبؤات النظرية. أما الآن فقد أصبح الأمر معكوساً. فها هو جون باهكول J.Bahcall الذي يُعدّ من طليعة الفيزيائيين الشمسيين يقول: إن النتائج الحديثة المستقاة من تجربة كاملاند KamLAND ألغت أخيراً وجود النترينوات "العقيمة" sterile neutrinos. وهذا يسمح بحساب عدد النترينوات المصنوعة في الشمس بدقة غير معهودة.

كان باهكول، وهو من معهد الدراسة المتقدمة في برينسيتون بنيوجرسي، يجري خلال الأربعين سنة الماضية حساباً لمعدل الاندماج في الشمس. وعندما شرع الباحثون بالكشف عن النترينوات الإلكترونية التي تنتجها هذه التفاعلات كان أول من أشار إلى فقدان جزء كبيرٍ منها وهي في رحلتها إلى الأرض. مِنَ التفسيرات الممكنة أن تكون قد تغيرت أثناء طيرانها إلى أنواع أخرى من النترينوات لا يمكن كشفها بواسطة التجارب.

تمَّ التحقق من هذه الفكرة عام 2001 في مرصد النترينوات في سودبري Sudbury Neutrino Observatory (SNO) في كندا (new scientist,30 June 2001, p7). وجد مرصد سودبري النترينوات المفقودة باختياره تقنية للكشف لم تكن حساسة للنترينوات الإلكترونية فقط ولكنها حساسة أيضاً لصنفين آخرين هما نترينوات الميون والتاو muon and tau neutrinos.

لكننا نتساءل فيما إذا حُلَّت المسألة حقاً. إذا كان باستطاعة النترينوات أن تتذبذب بين ثلاثة أصناف مختلفة، فلمَ لا يوجد صنف رابع لم يستطع مرصد سودبري للنترينوات أن يكشفه؟ إذا كان الأمر كذلك فقد تكون الشمس تنتج أعداداً من النترينوات أكثر مما يدركه أي شخص . ولما كان الصنف الرابع من النترينوات لن يتأثر مع الجسيمات الأخرى وسيكون من الصعب كشفه، فقد أطلق عليه الباحثون اسم "عقيم". والآن يقول باهكول وزملاؤه لقد أبعدت تجربة كاملاند، في جامعة توهوكو في اليابان، فكرة النترينو العقيم إلى الأبد. وبدلاً من الكشف عن النترينوات الآتية من الشمس صار كاملاند يبحث عن النترينوات المضادة، التي يُظن أنها تتصرف كما تتصرف النترينوات. تُنتَج النترينوات المضادة بواسطة مفاعلات نووية قريبة، لذا فإن الباحثين علموا بالضبط كم عدد الجسيمات الناتجة في الوهلة الأولى. يتألف مكشاف كاملاند من بالون ضخم مملوء بالزيت مطمور في حفرة في المنجم. إن الأكثرية الساحقة من النترينوات تمر مباشرة من دون أن تُكشَف، ولكن يحدث أحياناً أن يتحطم أحدها إلى بروتون في الزيت، منتجاً ومضة من الضوء.

رُسُل من الشمس

نترينوات إلكترونية تشكلت في الشمس تهتز وفق أنواع مختلفة وهي في طريقها إلى الأرض

قارن الباحثون عدد النترينوات الإلكترونية التي تمَّ الكشف عنها مع العدد الذي أُصدر، وقد أُعلن الشهر الماضي (كانون الأول من عام 2002) أن النسبة المفقودة كانت تساوي النسبة نفسها التي وجد مرصد النترينوات في سودبري أنها تتحول إلى الأنواع الميونية والتاويَّة. لقد استعرض باهكول الآن أرقام كاملاند وهو يقول إن النتائج تبرهن أنه لايتحول أي من النترينوات الإلكترونية إلى نترينو عقيم. ويقول: "يصبح هذا غير قابل للتصديق".

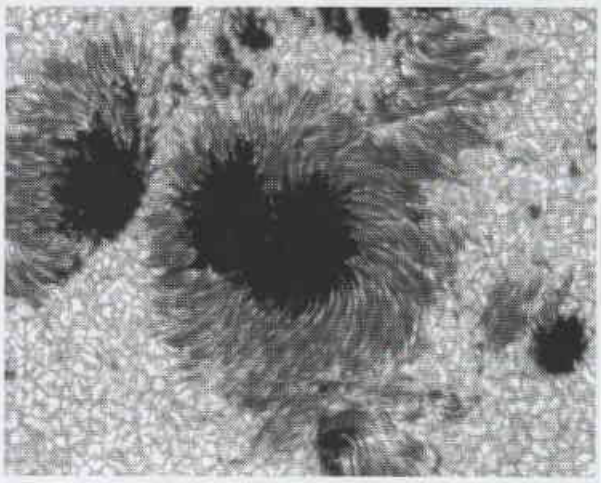
من غير أن ينتابهم شبح النترينوات العقيمة، يستطيع الباحثون أن يتحدثوا عن عدد النترينوات ذات الطاقة العالية التي تنتجها الشمس بارتياب يبلغ 6 في المئة فقط :أكثر قليلاً من 5 ملايين منها يتدفق عبر كل سنتمتر مربع من سطح الأرض كل ثانية. "أصبح هذا الارتياب الآن أقل من نصف ما تعطيه النماذج النظرية"، هذا ما أعلن عنه باهكول في لقاء عقد في أواخر الشهر الماضي في معهد رادكليفي للدراسة المتقدمة في كمبردج، مَسَّاتشوسيتس. إن معرفة عدد النترينوات ذات الطاقة العالية يعني أن الفيزيائيين يستطيعون أن يقدروا العدد الكلي للنترينوات الناتجة – 65 بليون في كل سنتمتر مربع يصطدم بالأرض في كل ثانية – بالإضافة إلى العمل من معدل الاندماج في الشمس بدقة أعلى من أي وقت مضى.

ينبغي أن تحثَّ النتائجُ النظريين ليشذِّبوا أفكارهم. وبدون النترينو العقيم سيقضي على صنف من النظريات التي تفسر اهتزاز النترينو بافتراض أبعاد كبيرة إضافية. ولكن لايلبس ثوب الحداد

* نُشر هذا الخبر في مجلة New Scientist 4 January 2003 . ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

كل واحد حزناً على موت النترينوات العقيمة. وفي هذا الصدد يقول ديفيد وارك، وهو متحدث باسم SNO "أنا لم أُؤمن بالأشياء أبداً".



إظهار الهالة الكاملة للشمس

تذكّر الصور المذهلة للبقعة الشمسية الفلكيين مدى كون الشمس في الواقع مكاناً يتسم بالشواشية والتعقيد.

هذه الصورة ذات اللون الخاد (المعزز) تعتبر واحدة من أكثر الصور تفصيلاً التي أُلتقطت مؤخراً للشمس بشكل خاطف في شهر تموز عام 2002 باستخدام مقراب شمسي قطره متر واحد منصوب على قمة جبل مدينة La Palma في جزر الكناري.

يبلغ عرض أكبر بقعة شمسية 10.000 كم تقريباً. وتحيط بها شعيرات عنكبوتية ساطعة بعرض 100 كم لها قلوب قاتمة غير واضحة.

يقول دان كيسلمان D. Kiselman وفريقه من جامعة استوكهولم في مجلة نيتشر إن الفلكيين ارتبكوا بمسألة إلى أي مدى تتشكل فيه هذه الشعيرات الأصغر.

7- السيزيوم*

ما هو السيزيوم؟

السيزيوم معدن لين، أبيض ـ رمادي فضي اللون. يوجد في الطبيعة على شكل سيزيوم ـ 133. إن المصدر الطبيعي الذي يعطي الكمية العظمى من السيزيوم هو الفلز النادر البوليوسيت. تحوي الخامات الأمريكية من البوليوسيت الموجودة في مين Maine وداكوتا الجنوبية South Dakota حوالي 13% من أكسيد السيزيوم. ورغم أنه معدن، فإنه ينصهر في درجة حرارة منخفضة نسبيًّا تبلغ 28 °C (82° فهرنهايت)،

الرمز	Cs
العدد الذري (عدد البروتونات في النواة)	55
الوزن الذري (الموجود في الطبيعة)	133

وهكذا فهو كالزئبق سائل في الدرجات المعتدلة من الحرارة. وهذه القلوية العظمى من المعادن تتفاعل بصورة انفجارية عندما تصبح في تماس مع الماء البارد.

يوجد 11 نظيراً نشيطاً إشعاعياً مهمًّاً للسيزيوم. (النظائر عبارة عن أشكال مختلفة من العنصر تحوي العدد نفسه من البروتونات في النواة وعدداً مختلفاً من النترونات). من هذه النظائر هنالك ثلاثة فقط طول عمر نصفها كافٍ ليسمح بأن نعيرها الاهتمام: السيزيوم -134، السيزيوم -135، السيزيوم -137. يضمحلُّ كل من هذه النظائر بإصدار جسيم بيتا، وتتراوح أعمار نصفها من حوالي سنتين إلى 2 مليون سنة. وأما أعمار أنصاف نظائر السيزيوم الأخرى فهي أقل من أسبوعين.

إن النظير الأكثر أهمية من بين هذه النظائر الثلاثة بالنسبة لمواقع أقسام الإدارة البيئية للطاقة (DOE) مثل هانفورد هو السيزيوم -137 الذي يبلغ عمر نصفه ثلاثين سنة. وناتج اضمحلاله هو الباريوم137 -m تعنى "m" شبه مستقر metastable يُثبت نفسه بإصدار أشعة غاما الطاقية بعمر نصف يبلغ تقريباً 2.6 دقيقة. إن ناتج الاضمحلال هذا هو الذي يجعل من السيزيوم خطراً خارجياً (ونعني أنه خطر بدون أن يدخل الجسم). أما السيزيوم -135 والسيزيوم -134 فهما تقليدياً أقل أهمية بسبب خصائصهما الاضمحلالية الراديولوجية. يعني عمر النصف الطويل جداً للسيزيوم -135 أن له نشاطاً نوعياً منخفضاً جداً، وتساهم سرعة اضمحلاله البطيئة بالإضافة إلى طاقة اضمحلاله المنخفضة في خطورته المنخفضة. يبلغ عمر نصف السيزيوم -134 2.1 سنة ويضمحل مصدراً جسيم بيتا. إن الكمية الصغيرة نسبياً للسيزيوم - 134 المنتجة منذ ما يزيد عن عشرين سنة قد زالت بصورة أساسية حالياً نتيجة الاضمحلال الإشعاعي.

من أين يأتي السيزيوم؟

يوجد السيزيوم في الطبيعة كالنظير 133 في خامات متنوعة وبصورة أقل في التربة. تنتج نظائر السيزيوم المشعّة الثلاثة التي حُدِّدت أعلاه بالانشطار النووي. فعندما تنشطر ذرّة اليورانيوم -235 (أو أي نكليد انشطاري آخر) فإنها تنقسم عادة بشكل لا متناظر إلى شظيَّتين كبيرتين ـ نواتج انشطار بأعداد كتلية تتراوح ما بين 90 و140 ونترونين أو ثلاثة. (عدد الكتلة هو مجموع عدد البروتونات والنترونات في نواة الذرّة). إن النكليدات المشعّة للسيزيوم هي كنواتج الانشطار هذه، بمردود إنتاج عالٍ نسبياً من السيزيوم -135 والسيزيوم -137 يبلغ حوالي 7% و6% بالترتيب. ويعني ذلك أن ما ينتج من كل 100 انشطار هو حوالي 7 ذرّات من السيزيوم -135 و6 ذرّات من السيزيوم -137. السيزيوم -137 هو النكليد المشع الأهم في الوقود النووي المستهلك، والنفايات المشعة العالية السوية الناتجة من معالجة الوقود النووي المستهلك، والنفايات المشعة المترافقة مع عملية المفاعلات النووية ومنشآت إعادة معالجة الوقود.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *ANL*, July 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

كيف يستخدم السيزيوم؟

يُستخدم معدن السيزيوم في الخلايا الكهرضوئية والأدوات الضوئية المتنوعة، وتستخدم مركبات السيزيوم في إنتاج الزجاج والخزفيات. يُستخدم السيزيوم -137 أيضاً في العلاج عن قرب لمعالجة مختلف أنواع السرطان (العلاج عن قرب هو طريقة علاج إشعاعية تُستعمل فيها مصادر مغلقة لتوصيل جرعة الإشعاع من على مسافة سنتيمترات قليلة من السطح المراد علاجه، داخل التجويف، أو كتطبيق في مواقع بينية).

كيف يوجد السيزيوم في الطبيعة؟

يوجد السيزيوم -133 في الطبيعة كنظير مستقر. يبلغ تركيز السيزيوم في القشرة الأرضية 1.9 ملّي غرام في الكيلو غرام (mg/kg)، ويبلغ تركيزه في ماء البحر حوالي 0.5 مكرو غرام /كغ. تبيّن أن التأثير الحيوي للسيزيوم يزداد في سلاسل الغذاء المائية. يوجد السيزيوم المشع في التربة في مختلف أرجاء العالم بكميات كبيرة كنتيجة للسقط من اختبارات الأسلحة النووية الجوية السابقة.

يتراوح تركيز السيزيوم -137 من السقط في التربة السطحية من حوالي 0.1 إلى 1 بيكوكوري بالغرام pCi/g، بوسطية أقل من 0.4 pCi/g (أو 0.3 جزء من بليون جزء من الملّي غرام في كل كيلو غرام من التربة). يوجد السيزيوم كملوّث في منشآت معينة، مثل المفاعلات النووية والمنشآت التي تعالج الوقود النووي المستهلك.

السيزيوم بصورة عامة أحد أقل المعادن المشعّة المتحركة في البيئة. إنه يلتصق بصورة مفضّلة في التربة جيداً. وقد قدّر التركيز المرتبط بجسيمات التربة الرملية بأنه أعلى بـ 280 مرّة منه في الماء الخلالي (الماء في الفراغ السمّي بين جسيمات التربة)، وتكون نسب التركيز أعلى بكثير في الغضار وفي تُرب الطفال الرملي (حوالي 2.000 إلى أكثر من 4.000 مرّة). وهكذا فالسيزيوم بصورة عامة ليس ملوثاً رئيساً للمياه الجوفية في مواقع أقسام الإدارة البيئية للطاقة. توجد التراكيز الأعلى للسيزيوم في هانفورد في المناطق التي تحتوي على نفايات من معالجة الوقود المشعّ، مثل الصهاريج في القسم المركزي من الموقع وإلى درجة أقل في مناطق إطراح السائل السابق على طول نهر كولومبيا.

خواص النشاط الإشعاعي لنظائر السيزيوم الأساسية والنكليدات المشعة المرافقة

النظير	عمر النصف	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الإشعاع MeV		
				ألفا (α)	بيتا (β)	غاما (γ)
Cs-134	2.1 سنة	1.300	β	-	0.16	1.6
Cs-135	2.3 مليون سنة	0.0012	β	-	0.067	-
Cs-137	30 سنة	88	β	-	0.19	-
Ba-137m (95%)	2.6 دقيقة	540 مليون	IT	-	0.065	0.60

IT= انتقال إيزوميري، Ci= كوري، g= غرام، MeV= مليون إلكترون فولط.

تدلُّ الشرطة على أن الدخول غير قابل للتطبيق. بعض الخواص المعينة للباريوم متضمنة هنا لأن هذا النكليد المشعّ يترافق مع اضمحلال السيزيوم. القيم معطاة لرقمين معنويين.

ماذا يحصل للسيزيوم في الجسم؟

يمكن أن يؤخذ السيزيوم إلى داخل الجسم بالطعام وماء الشرب أو بتنفُّس الهواء. ويسلك السيزيوم بعد دخوله الجسم سلوكاً يشبه سلوك البوتاسيوم ويتوزّع بانتظام في جميع الجسم. إن الامتصاص المعدي المعوي من الطعام أو الماء هو المصدر الرئيس للسيزيوم المتوضّع الداخلي في عامة الناس. وبصورة أساسية يُمتص جميع السيزيوم المأخوذ بالطعام في الدورة الدموية من خلال الأمعاء.

يميل السيزيوم لأن يتركّز في العضلات بسبب كتلتها الكبيرة نسبياً. ومثل البوتاسيوم يُطرح السيزيوم من الجسم تماماً بسرعة. تُطرح عشرة بالمئة منه بعمر نصف حيوي يبلغ يومين، ويترك باقي السيزيوم في الجسم بعمر نصف حيوي يبلغ حوالي 110 أيام. وهذا يعني أنه إذا تعرّض شخص ما للسيزيوم المشعّ ثم أُزيح مصدر التعرُّض، فإن كثيراً من السيزيوم سيترك الجسم بسرعة عبر المسارات النظاميَّة من أجل انطراح البوتاسيوم خلال شهور عديدة.

ما هي التأثيرات الصحية الرئيسة؟

يُحدث السيزيوم -137 خطراً خارجياً بالإضافة إلى الخطر الصحي الداخلي. إن إشعاع غاما الخارجي القوي مجتمعاً مع ناتج اضمحلال السيزيوم وهو الباريوم -137m القصير العمر يجعل التعرّض الخارجي له أمراً ذا شأن، ويكون التدريع غالباً ضرورياً لتناول المواد الحاوية تراكيز كبيرة من السيزيوم. بينما حين يكون في الجسم، فإن السيزيوم يُشكّل خطراً صحيّاً من كلٍ من إشعاع بيتا و غاما، وأكثر الأخطار الصحية أهمية تكون مترافقة مع القابلية المتزايدة لتحريض السرطان.

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

ما هي المخاطرة؟

حُسبت معاملات مخاطر الوفيات مدى الحياة من أجل جميع النكليدات المشعّة تقريباً بما فيها السيزيوم (انظر المؤطر). وبينما تكون معاملات تناول الطعام إلى حدٍّ ما أخفض منها من أجل الاستنشاق، فإن تناول الطعام هو أكثر السبل العامة لدخوله إلى الجسم. وبالمشابهة مع النكليدات المشعّة الأخرى، فإن معاملات المخاطرة من أجل ماء الشرب تبلغ حوالي 80% من تلك الخاصة بطعام الغذاء.

وبالإضافة للمخاطر الناتجة من التعرّض الداخلي، فإن هنالك مخاطرة من التعرض لأشعة غاما الخارجية. وباستخدام معامل مخاطرة أشعة غاما الخارجية لتقدير مخاطر الوفيات بالسرطان مدى الحياة فإنه إذا فُرض أن هنالك 100.000 شخص يتعرّضون بصورة مستمرة إلى طبقة كثيفة من التربة بتركيز وسطي بدئي مقدّر بـ 1pCi/g من السيزيوم -137 فيتوقّع أن ستة من هؤلاء الأشخاص يتعرّضون إلى سرطان مميت (هذا بالمقارنة مع توقع موت25000 شخص من المجموعة بالسرطان نتيجة لجميع الأسباب الأخرى من متوسط الولايات المتحدة). إن هذه المخاطرة مترافقة مع أشعة غاما من الباريوم -137m.

معاملات المخاطر الإشعاعية

يعطينا الجدول معاملات مخاطر مختارة من أجل الاستنشاق وتناول الطعام. استخدمت أنواع امتصاص مهملة موصى بها من أجل الاستنشاق، وقيم تغذية من أجل الطعام. تتضمن قيم السيزيوم -137 التوزُّع من ناتج اضمحلال الباريوم -137m. المخاطر هي من أجل الوفيات بالسرطان مدى الحياة بالنسبة للوحدة المأخوذة (pCi).

وهي محسوبة على وسطي جميع الأعمار وكلا الجنسين (12-10 تعني جزء أ من ترليون جزء). القيم الأخرى المتضمّنة للوفيات متاحة أيضاً.

النظير	مخاطر الوفيات بالسرطان على مدى الحياة	
	الاستنشاق $p(Ci^{-1})$	الطعام (pCi^{-1})
السيزيوم- 134	1.1×10^{-11}	3.5×10^{-11}
السيزيوم- 135	1.3×10^{-12}	4.0×10^{-12}
السيزيوم- 137	8.1×10^{-12}	2.5×10^{-11}

8 - الثوابت الفيزيائية الأساسية*

أنتج ضبط أصفر مربعات اللجنة المختصّة ببيانات العلوم والتقانة(CODATA) لعام 1998 (وهي أحدث البيانات المعمول بها حالياً) مجموعة قيم يُنصح باستخدامها للثوابت الفيزيائية وعوامل التحويل في الفيزياء والكيمياء.

أُسست اللجنة المختصة ببيانات العلوم والتقانة (CODATA) عام 1966 كلجنة تخصصية بينية للمجلس الدولي للعلوم (كان يُدعى ICSU سابقاً المجلس الدولي للاتحادات العلمية). وبعد ذلك مباشرة أسست CODATA عام 1969 مجموعة عمل تهتم بالثوابت الأساسية تقوم وبصورة دورية بتزويد المجتمعات العلمية والتقانية بمجموعة منسجمة ذاتياً لقيم دولية للثوابت الفيزيائية الأساسية وعوامل التحويل في الفيزياء والكيمياء يُنصح باستخدامها. وتحت رعاية مجموعة العمل هذه أتممنا ضبطاً جديداً لأصغر المربعات لقيم الثوابت – أطلق عليه تعبير ضبط 1998ـ الذي أخذ بعين الاعتبار جميع البيانات ذات الصلة بالموضوع المتاحة حتى 31 كانون الأول لعام 1998 [1]. تعطي القوائم المرافقة قيم عام 1998 التي تنصح CODATA باستخدامها والتي نتجت من ذلك الضبط، باستثناء بعض الكمّيات الخاصة المتصلة بأشعة –X والوحدات الذرّية والطبيعية المتنوعة. يقدم المرجع [1] مجموعة كاملة لـ CODATA عام 1998 قوامها 300 قيمة ينصح باستخدامها مع مصفوفة توافق التغيّر لبعض القيم المستخدمة على أوسع نطاق ووصف مفصّل للبيانات وتحليلاتها. جميع القيم وجميع توافقات تغيراتها (على شكل معاملات ارتباط) متاحة على شبكة ثوابت http:/physics.nist.gov/ في قاعدة البيانات القابلة للبحث والمقدمة من قِبَل مركز بيانات الثوابت الأساسية في مختبر NIST الفيزيائي.

حلّت مجموعة قيم CODATA لعام 1998 التي ينصح باستخدامها محلَّ المجموعة التي سبقتها مباشرة والتي أصدرتها CODATA عام 1986، وتُعتبر خطوة كبيرة إلى الأمام. تبلغ الارتيابات المعيارية (الانحرافات المعيارية المقدّرة) لكثير من القيم التي ينصح باستخدامها عام 1998 حوالي1/5 إلى 1/12، وتبلغ في حالة ثابت ريدبرغ Rydberg وبعض الثوابت ذات العلاقة بـ 1/160 مرة من الارتيابات المعيارية التي تعود لقيم عام 1986 المقابلة. وعلاوة على ذلك، فإن جميع القيم المطلقة للفروق بين قيم 1986 والمقابلة لقيم 1998 غالباً أقل بمرتين من الارتيابات المعيارية لقيم عام 1986. إن التخفيض المهم في الارتيابات والانحرافات الصغيرة نسبياً للقيم ظاهر في القوائم المرافقة التي تقارن بين القيم التي ينصح باستخدامها لعدد من الثوابت في الضبطين.

*نُشر هذا الخبر في مجلة Physics Today , August 2002 ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يُعتبر الثابت النيوتوني في الجاذبية G فريداً بين قيم 1998 التي ينصح باستخدامها، فارتيابه أكبر من قيمة 1986 بما يقارب عامل 12. وكما هو موضّح بالتفصيل في المرجع [1]، فإن ذلك عائد إلى عدة أسباب، ولكنه يعود بصورة خاصة إلى وجود قيمة لـ G من تجربة موثوق بها تختلف بشكل كبير عن قيمة 1986، وقد قررت مجموعة عمل CODATA الاحتفاظ بقيمة 1986 التي ينصح باستخدامها ولكن بزيادة الارتياب النسبي من $u_r=1.3\times10^{-4}$ إلى 1.5×10^{-3}.

يُعتبر انزياح ثابت ريدبرغ R_∞ بـ 2.7 مرة عن ارتيابه عام 1986 أكبر تغيّر نسبي في القيمة عن أي ثابت آخر. وعلى أي حال، فإن R_∞ بنسبة ارتياب ما بين 1986 و1998 التي تبلغ حوالي 160 يكون قد خضع إلى أكبر تخفيض في الارتياب من أي ثابت آخر. حصل الانزياح الكبير في القيمة نتيجة أن قيمة 1986، التي ينصح باستخدامها لـ R_∞ قد قامت بصورة رئيسة على نتيجة تجربة 1981 التي اتضح أنها خطأ. يعود التخفيض الكبير في الارتياب بصورة رئيسة إلى حقيقة أنه منذ بداية التسعينيات من القرن الماضي حَلَّ علم قياس التواتر الضوئي محل علم قياس طول الموجة الضوئي في قياس تواترات الانتقال في ذرّات الهدروجين، وبذلك تمَّ تخفيض الارتيابات في تلك القياسات بشكلٍ كبير. وساهمت التحسينات في نظرية سويات الطاقة في ذرّات الهدروجين أيضاً في تخفيض الارتياب.

ساهمت التجارب التالية والتحسينات النظرية التي تمّت خلال فترة الثلاثة عشر عاماً بين تعديلات 1986 و 1998 في تخفيض الارتيابات من أجل ثابت البنية الناعمة α وثابت بلانك h وثابت الغاز المولي R. وليست هذه الثوابت مهمّة في حدّ ذاتها فقط، بل إنها تعيّن أيضاً مع R_∞ والكتلة الذرّية النسبية للإلكترون $A_r(e)$ القيم التي ينصح باستخدامها للعديد من الثوابت الأخرى وعوامل التحويل التي لها أهمية رئيسة.

- يُقدّم تعيين تجريبي محسَّن لقيمة العزم المغنطيسي الشاذ للإلكترون α_e المستخرج من قياسات على إلكترون وحيد محصور في مصيدة بيننغ Penning، بالإضافة إلى تعبير نظري محسّن لـ α_e محسوب من التحريك الكهربائي الكمومي (QED)، قيمة لـ α بـ $u_r = 3.8\times10^{-9}$. عُيّنت القيمة التي يُنصح باستخدامها عام 1998 لـ α بـ $u_r = 3.7\times10^{-9}$ بشكل رئيس اعتماداً على هذه النتيجة.
- يُقدّم ميزان واط ذو الوشيعة المتحركة، الذي جرى تصوره عام 1975، والذي تمَّ تحقيق الانتفاع من تشغيله في نهاية الثمانينيات من القرن الماضي، قيمتين تجريبيتين لـ $K_J^2R_K=4/h$ واحدة منها $u_r=8.7\times10^{-8}$ والثانية $u_r=2.0\times10^{-7}$ ($K_J=2e/h$) هو ثابت جوزفسون، وهو خاصية لتأثير جوزفسون، و $R_K=h/e^2$ وهو ثابت فون كلتسنغ، وهو خاصية لتأثير هول الكمومي). حدّدت قيمة h بـ $u_r=7.8\times10^{-8}$ التي يُنصح باستخدامها عام 1998 بشكلٍ أساسي من هاتين النتيجتين.

مقارنة قيم مختلف الثوابت نصحت CODATA باستخدامها للعامين 1998 و1986

كمية	الارتياب المعياري النسبي u_r لعام 1998	الارتياب المعياري النسبي u_r لعام1986	النسبة u_r عام 1986 إلى u_r عام 1998	D_r
α	3.7×10^{-9}	4.5×10^{-8}	12.2	-1.7
λ_C	7.3×10^{-9}	8.9×10^{-8}	12.2	-1.7
h	7.8×10^{-8}	6.0×10^{-7}	7.7	-1.7
N_A	7.9×10^{-8}	5.9×10^{-7}	7.5	1.5
e	3.9×10^{-8}	3.0×10^{-7}	7.8	-1.8
R	1.7×10^{-6}	8.4×10^{-6}	4.8	-0.5
k	1.7×10^{-6}	8.5×10^{-6}	4.8	-0.6
σ	7.0×10^{-6}	3.4×10^{-5}	4.8	-0.6
G	1.5×10^{-3}	1.3×10^{-4}	0.1	0.0
R_∞	7.6×10^{-12}	1.2×10^{-9}	157.1	2.7
m_e/m_μ	2.1×10^{-6}	2.0×10^{-8}	9.5	0.9
A_r (e)	2.1×10^{-9}	2.3×10^{-8}	11.1	0.7

ملاحظة: حدد الارتياب المعياري النسبي للكمية y $u_r(y) \equiv u(y)/|y|$، عندما $y \neq 0$، حيث u (y) هو الارتياب المعياري Dr هو القيمة لعام 1998 ناقصاً القيمة لعام 1986 مقسوماً على قيمة الارتياب لعام 1986، الثوابت المختلفة محددة في القوائم اللاحقة.

- يُقدم تعيين سرعة الصوت في الآرغون باستخدام مجاوب صوتي كروي قيمة تجريبية لـ R بـ $u_r=1.8\times10^{-8}$، وهي 1/5 من الارتياب الذي نُصح باستخدامه عام 1986، المبني على نتيجة مأخوذة باستخدام مقياس تداخل صوتي أسطواني. إن القيمة الجديدة مسؤولة بشكلٍ رئيس عن قيمة R التي ينصح باستخدامها عام 1998 بـ $u_r=1.7\times10^{-6}$.

يعود الفضل أيضاً في تحسينات القياسات والحسابات لعدد من الكميات الأخرى إلى ازدياد جودة معرفتنا العامة للثوابت. والجدير بالذكر بذلك قياسات نسبة ـ كتلة لمصيدة بيننغ التي تعطي قيماً أكثر دقة إلى الكتل الذرّية النسبية للإلكترون والبروتون والدوترون والهليون (نواة ^3He) ولجسيم α، وتعيين الانعراج البلّوري لطاقة ربط النترون في الدوترون التي تؤدي إلى قيمة أكثر دقة للكتلة الذرّية النسبية للنترون، وتعيين تواتر ـ انتقال زيمان للانشطار الفائق الدقة للحالة الأساسية في الميونيوم $\Delta\nu_{Mu}$(ذرّة (μ^+e^-))، مع صيغة نظرية أكثر دقة لـ $\Delta\nu_{Mu}$ محسوبة من QED الذي أدى إلى قيمة أكثر دقة إلى النسبة إلكترون ـ ميون m_e/m_μ.

يختلف ضبط 1998 عن سلفه 1986 من عدة نواحٍ مهمة. أولها، أننا تخلّينا عن تجميع بيانات الدخل عام 1986 في الفئتين المتميزتين، بيانات الدخل العشوائي والثوابت المساعدة، حيث اعتُبرت الأخيرة معروفة تماماً. وبدلاً من ذلك، عاملنا جميع بيانات الدخل بشكل

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

أساسي على قدم المساواة بغض النظر عن ارتياباتها. وهذا يسمح بأن تكون جميع مكوّنات الارتيابات وجميع الارتباطات بين البيانات مأخوذة بالاعتبار بشكل صحيح، في حين حذف في الوقت نفسه التقسيم الاختياري للبيانات إلى فئتين.

ثانيها، أننا لم نحاول تكميم "الارتياب" للارتياب المحدّد لكل بيان دخل كما تمَّ في عام 1986 من أجل تحليل البيانات باستخدام خوارزميات أصغر المربعات الموسّعة. تمَّ التغيير بعد المراجعة المفصّلة وبشكلٍ دقيق لمئاتٍ من النتائج التجريبية والنظرية واستنتاج أنه بسبب تعقيدات القياسات والحسابات في حقل الثوابت الأساسية، فإن من الصعوبة الكافية تقدير ارتياباتها بصورة ذات معنى، دع "ارتيابات" تلك الارتيابات ولاتتدخل فيها. من أجل ذلك استخدمنا خوارزمية أصغر المربعات المعيارية في تحليل بياناتنا.

ثالثها، بسبب، الأخذ بعين الاعتبار بشكلٍ دقيق ارتيابات جميع الصيغ النظرية المختلفة -- مثل تلك الخاصة بسويات طاقة الهدروجين (H) والدوتيريوم (D) اللازمة للحصول على R_∞ من قياسات تواترات الانتقال في هذه الذرّات - فقد أدخلنا في ضبط عام 1998 تصحيحاً إضافياً δ_i في كلٍّ من مثل هذه الصيغ. لقد تُضمِّنت δ_i من بين المتغيرات المتعلقة ضبط أصغر المربعات، وأُخذت قيمها التقديرية كبيان دخل. افتُرض بداهة أن التقدير الأفضل لكل δ_i هو أن يكون صفراً ولكن بارتياب معياري مساوٍ إلى الارتياب المعياري للتعبير النظري. لقد مكّننا هذا الافتراض من تفسير ما يتعلق بالارتيابات في النظرية بطريقة دقيقة جداً بالرغم من أن ذلك قد زاد في عدد المتغيّرات التي يجب علينا أن نتعامل معها وفي حجم المصفوفات التي يجب علينا أن نقلبها. ولحسن الحظ فإن الصعوبة في تعامل الحواسيب الحديثة مع مثل هذه الانقلابات قليلة.

رابعها، لقد قمنا بتحليل البيانات باستخدام طريقة أصغر المربعات من أجل بيانات الدخل المترابطة. وهذا يعني بأن مصفوفة توافق التغيّر لبيانات الدخل لم تكن قُطرية. وبالرغم من أن الحاجة لاعتبار الارتباطات من بين بيانات الدخل عند تقدير الثوابت الأساسية قد تمَّ التأكيد عليها بادئ ذي بدء منذ نصف قرن، فإن ضبط 1998 كان في الحقيقة أول من قام بذلك.

تواصل تحليلنا لبيانات الدخل على مراحل متعددة، قارنا أولاً القيم المقيسة المختلفة لكل كمية، ثم قمنا بالتالي بمقارنة الكميات المقيسة للمقادير المختلفة مع قيم مقارنة لثابت مستنتج معروف من بين الثوابت المستنتجة الشهيرة α, R_∞ و h. وأخيراً قمنا بتنفيذ تحليلٍ متعدد المتغيرات للبيانات مستخدمين طريقة أصغر المربعات كما قدمنا سابقاً. ولمّا كانت بيانات الدخل المتَّصلة بـ R_∞ لا ترتبط بقوة مع بقية بيانات الدخل، فقد أُجريت مراحل مختلفة من التحليل بصورة مستقلة عن تلك المجموعتين من البيانات قبل دمج البيانات من أجل التحليل النهائي. كان الهدف من جميع هذه التحرّيات هو توافق البيانات ومدى مساهمة بيان معين في تعيين قيم الثوابت التي نُصح باستخدامها عام 1998.

استخدم ضبط أصغر المربعات النهائية التي على أساسها نُصح عام 1998 باستخدام قيمها 93 من أصل 107 من بيانات الدخل المدروسة مسبقاً و57 متغيّراً أو ثابتاً معدّلاً. تتضمَّن بيانات الدخل الثلاثة والتسعون قيم تسعة من فروق خطوات الشبيكة السليكونية و27 من تواترات الانتقال وفروق التواتر لـ H و D. تتضمن الثوابت المضبوطة السبعة والخمسون 28δ's ، {220}8 خطوات شبيكة سليكونية $R_\infty, \alpha, h, R, A_r(e)$ وقيم الكتل الذرّية ذات الصلة من خمسة جسيمات أخرى. وبالرغم من أن عدداً من القيم التي نُصح باستخدامها عام 1998 عبارة عن ثوابت معدّلة وبالتالي تعيّن مباشرة في الضبط، فإن معظم القيم التي نُصح باستخدامها تمَّ حسابها فيما بعد من الثوابت المضبوطة. فمثلاً تنتج الشحنة الأولية من الصيغة $e = (2\alpha h/\mu_0 c)^{1/2}$ وتنتج كتلة الإلكترون من $m_e = 2R_\infty h/c\alpha^2$ وينتج ثابت أفوكادرو من $N_A = c\alpha^2 A_r(e) M_u / 2R_\infty h$ حيث : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\, NA^{-2}$ ، $c = 299\ 792\ 458 m\ s^{-1}$ و$M_u = 10^{-3}$ kg/mol هي قيمة الثابت المغنطيسي وقيمة سرعة الضوء في الخلاء وقيمة ثابت الكتلة المولية المعروفة بدقة على الترتيب. تمَّ الحصول على ارتيابات تلك القيم المشتقة من ارتيابات وتوافق التغيّرات للثوابت المعدّلة.

إن تحسين معرفتنا بقيم الثوابت التي قدمها CODATA لمجموعة القيم التي نُصح باستخدامها عام 1998 مثيرة للإعجاب حقاً. ومع ذلك فهي ليست كما يُحبُّ المرء. وعلى درجة الخصوص، هنالك قليل من الإطناب فيما بين بعض بيانات الدخل المفتاحية بضبط 1998. وكما أشرنا سابقاً، تلعب α و h و R بشكلٍ خاص دوراً مهماً في تعيين العديد من الثوابت، ومع ذلك فإن القيمة التي ينصح باستخدامها لكلٍّ منها قد جرى تعيينها إلى حدٍّ كبير ببيان دخل وحيد أو على أحسن تقدير، ببياني دخل لهما ارتيابان معياريان u مختلفان إلى حدٍّ ما، ومن ثمَّ بدون ريب لهما وزنان $1/u^2$ مختلفان. في حالة α، فإن بيانات الدخل مجرد قيمة تجريبية وحيدة لـ α_e ولقيمة حسابية وحيدة للمعامل ثماني الدرجة المستقل عن الكتلة A_1 في QED المؤسس على الصيغة النظرية من أجل α_e. وفي حالة h، فإن بيانات الدخل هي قيمتا ميزان واط لـ $K^2_J R_K$ بارتيابين يختلفان بعامل يبلغ حوالي 2.3. وفي حالة ثابت الغاز المولي، فإن بيانات الدخل هي قيمتا R القائمتان على قياسات الصوت في الآرغون باستخدام مجاوبٍ ومقياس تداخل بارتيابات يختلف بعضها عن بعض بحوالي 4.7. من الواضح أن العملين التجريبي والنظري مطلوبان لتقوية

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

ولاستمرار التقدّم الذي حصل في الثلاث عشرة سنة الأخيرة: يجب علينا الحصول على بيانات دخل جديدة ذات الصلة بـ α و h و R بارتيابات لا تزيد عن الارتيابات الحالية، وفي آخر المطاف بارتيابات أصغر إلى حدٍّ كبير.

لقد غيّر وجود شبكة الإنترنت قابلية إتاحة المعلومات إلى حدٍّ غريب – يمكن أن نتوقع الحصول على آخر البيانات إلكترونياً بسرعة خيالية لا تزيد عن طقطقة فأر الحاسوب. الحقيقة، أن مجموعة CODATA عام 1998 التي نصح باستخدامها متاحة على موقع شبكة NIST المذكورة سابقاً من سبعة شهور قبل ظهور النسخة المطبوعة الأولى، وبسبب موقع الشبكة والأنماط الجديدة في العمل والتفكير فقد تمَّ تحديث المجموعة، وبسبب أن البيانات التجريبية والنظرية التي أثّرت على معرفتنا بقيم الثوابت تتبدى باستمرار دائم فإن مجموعة عمل CODATA قد استنتجت بأن الثلاثة عشر عاماً بين الضبطين لم تعد مقبولة على الإطلاق. (نُشرت المجموعة الأولى لقيم الثوابت CODATA التي نصح باستخدامها عام 1973 قبل ثلاثة عشر عاماً من نشر المجموعة الثانية عام 1986 وقبل ستة وعشرين عاماً قبل مجموعة 1998). وهكذا، تخطط CODATA في المستقبل، للاستفادة من الدرجة العالية من الأتمتة التي تعاملنا معها في ضبط عام 1998، لإصدار مجموعة جديدة بالقيم التي ينصح باستخدامها كل أربعة أعوام أو أقل زمناً عندما يصبح للبيانات الجديدة المتاحة تأثير مهم على قيم الثوابت. وهكذا نتوقع وقتاً أقل حتى نرى النسخة التالية المنقّحة من هذا المقال في دليل وكيل مشتريات هذه المجلة.

REFERENCES المراجع

[1] P. J. Mohr and B. N. Taylor, J. Phys. Chem. Ref. Data 28, 1713 (1999); Rev. Mod. Phys. 72, 351 (2000).

[2] E. R. Cohen and B. N. Taylor, Rev. Mod. Phys. 59, 1121 (1987).

[3] E. R. Cohen and B. N. Taylor, J. Phys. Chem. Ref. Data 2, 663 (1973).

قيم CODATA للثوابت الفيزيائية الأساسية - 1998

الكمية	الرمز	القيمة	الوحدة	الارتياب المعياري النسبي u_r
عـام				
سرعة الضوء في الخلاء	c, c_0	299 792 458	$m\ s^{-1}$	(تماماً)
الثابت المغنطيسي	μ_0	$4\pi x10^{-7}$	$N\ A^{-2}$	
		=12.566 370 614...x10-7	$N\ A^{-2}$	(تماماً)
الثابت الكهربائي $1/\mu_0 c^2$	ε_0	8.854 187 817...x10-12	$F\ m^{-1}$	(تماماً)
الممانعة المميزة للخلاء $\sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}=\mu_0 c$	Z_0	376.730 313 461...	Ω	(تماماً)
ثابت الثقالة النيوتوني	G	$6.673\ (10)x10^{-11}$	$m^3\ kg^{-1}\ s^{-2}$	$1.5x10^{-3}$
	$G/\hbar c$	$6.707\ (10)x10^{-39}$	$(GeV/c^2)^{-2}$	$1.5x10^{-3}$
ثابت بلانك	h	$6.626\ 068\ 76(52)x10^{-34}$	J s	$7.8x10^{-8}$
بـ e V s		$4.135\ 667\ 27(16)x10^{-15}$	e V s	$3.9x10^{-8}$
$h/2\pi$	$\hbar$	$1.054\ 571\ 596(82)x10^{-34}$	J s	$7.8x10^{-8}$
بـ e V s		$6.582\ 118\ 89(26)x10^{-16}$	e V s	$3.9x10^{-8}$
كتلة بلانك $(\hbar c/G)^{1/2}$	m_p	$2.1767(16)x10^{-8}$	kg	$7.5x10^{-4}$
طول بلانك $\hbar/m_p c=(\hbar G/c^3)^{1/2}$	l_p	$1.6160(12)x10^{-35}$	m	$7.5x10^{-4}$
زمن بلانك $l_p/c=(\hbar G/c^5)^{1/2}$	t_p	$5.3906(40)x10^{-44}$	s	$7.5x10^{-4}$

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

قيم CODATA للثوابت الفيزيائية الأساسية - 1998				
الكمية	الرمز	القيمة	الوحدة	الارتياب المعياري النسبي u_r
كهرطيسي				
الشحنة الأولية	e	1.602 176 462(63)x10^{-19}	C	3.9x10^{-8}
	e/h	2.417 989 491(95)x10^{14}	A J^{-1}	3.9x10^{-8}
كمّ التدفق المغنطيسي h/2e	Φ_0	2.067 833 636(81)x10^{-15}	Wb	3.9x10^{-8}
كمّ المناقلة $2e^2/h$	G_0	7.748 .91 696(28)x10^{-5}	S	3.7x10^{-9}
مقلوب كمّ المناقلة	G_0^{-1}	12 906.403 786(47)	Ω	3.7x10^{-9}
ثابت جوزفسون[a] 2e/h	K_J	483 597.898(19)x10^{9}	Hz V^{-1}	3.9x10^{-8}
ثابت فون كليتسنغ[b] $h/e^2=\mu_0 c/2\alpha$	R_K	25 812.807 572(95)	Ω	3.7x10^{-9}
مغنتون بور $e\hbar/2m_e$	μ_B	927.400 899(37)x10^{-26}	J T^{-1}	4.0x10^{-8}
بـ e V T^{-1}		5.788 381 749(43)x10^{-5}	e V T^{-1}	7.3x10^{-9}
	μ_B/h	13.996 246 24(56)x10^{9}	Hz T^{-1}	4.0x10^{-8}
	μ_B/hc	46.686 4521(19)	m^{-1}T^{-1}	4.0x10^{-8}
	μ_B/k	0.671 7131(12)	K T^{-1}	1.7x10^{-6}
المغنتون النووي $e\hbar/2m_e$	μ_N	5.050 783 17(20)x10^{-27}	J T^{-1}	4.0x10^{-8}
بـ eV T^{-1}		3.152 451 238(24)x10^{-8}	e V T^{-1}	7.6x10^{-9}
	μ_N/h	7.622 593 96(31)	MHz T^{-1}	4.0x10^{-8}
	μ_N/hc	2.542 623 66(10)x10^{-2}	m^{-1} T^{-1}	4.0x10^{-8}
	μ_N/k	3.658 2638(64)x10^{-4}	K T^{-1}	1.7x10^{-6}
ذرّي ونووي عـــام				
ثابت البنية الناعمة $e^2/4\pi\varepsilon_0\hbar c$	α	7.297 532 533(27)x10^{-3}		3.7x10^{-9}
مقلوب ثابت البنية الناعمة	α^{-1}	137.035 999 76(50)		3.7x10^{-9}
ثابت ريدبرغ $\alpha^2 m_e c/2h$	R_∞	10 973 731 1.568 549(83)	m^{-1}	7.6x10^{-12}
	$R_\infty c$	3.289 841 960 368(25)x10^{15}	Hz	7.6x10^{-12}
	$R_\infty hc$	2.179 871 90(17)x10^{-18}	J	7.8x10^{-8}
بـ $R_\infty hc$ e V		13.605 691 72(53)	e V	3.9x10^{-8}
نصف قطر بور $\alpha/4\pi R_\infty=4\pi\varepsilon_0\hbar^2/m_e e^2$	a_0	0.529 177 2083(19)x10^{-10}	m	3.7x10^{-9}
طاقة هارتري $e^2/4\pi\varepsilon_0 a_0=2R_\infty hc=\alpha^2 m_e c^2$	E_h	4.359 743 81(34)x10-^{18}	J	7.8x10^{-8}
بـ e V		27.211 3834(11)	e V	3.9x10^{-8}
كمّ الدوران	$h/2m_e$	3.636 947 516(27)x10^{-4}	m^2 s^{-1}	7.3x10^{-9}
	h/m_e	7.273 895 032(53)x10^{-4}	m^2 s^{-1}	7.3x10^{-9}
كهرضعيف				
ثابت اقتران فرمي[c]	$G_F/(\hbar c)^3$	1.166 39(1)x10^{-5}	GeV^{-2}	8.6x10^{-6}
زاوية المزج الضعيف[d] θ_W $\sin^2\theta_W=s^2_W=1-(m_W/m_Z)^2$	$\sin^2\theta_W$	0.2224(19)		8.7x10^{-3}
الإلكترون e^-				
كتلة الإلكترون	m_e	9.109 381 88(72)x10^{-31}	kg	7.9x10^{-8}
بـ u, m_e=Ar(e) u (الكتلة الذرّيـــة النسبية للإلكترون أضعاف u)		5.485 799 110(12)x10^{-4}	u	2.1x10^{-9}
مكافىء الطاقة	$m_e c^2$	8.187 104 14(64)x10^{-14}	J	7.9x10^{-8}
بـ MeV		0.510 998 902(21)	MeV	4.0x10^{-8}
نسبة كتلة الإلكترون - الميون	m_e/m_μ	4.836 332 10(15)x10^{-3}		3.0x10^{-8}
نسبة كتلة الإلكترون – التاو	m_e/m_τ	2.875 55(47)x10^{-4}		1.6x10^{-4}
نسبة كتلة الإلكترون – البروتون	m_e/m_p	5.446 170 232(12)x10^{-4}		2.1x10^{-9}
نسبة كتلة الإلكترون- النترون	m_e/m_n	5.438 673 462(12)x10^{-4}		2.2x10^{-9}
نسبة كتلة الإلكترون – الدوترون	m_e/m_d	2.724 437 1170(58)x10^{-4}		2.1x10^{-9}
نسبة كتلة الإلكترون – جسيم ألفا	m_e/m_α	1.370 933 5611(29)x10^{-4}		2.1x10^{-9}
حاصل قسمة شحنة الإلكترون إلى كتلته	$-e/m_e$	-1.758 820 174(71)x10^{11}	C kg^{-1}	4.0x10^{-8}
الكتلة المولية للإلكترون	$M(e), M_e$	5.485 799 110(12)x10^{-7}	kg mol^{-1}	2.1x10^{-9}
طول موجة كمبتون $h/m_e c$	λ_C	2.426 310 215(18)x10^{-12}	m	7.3x10^{-9}

الكمية	الرمز	القيمة	الوحدة	الارتياب المعياري النسبي u_r
$\lambda_c/2\pi\alpha=\alpha a=\alpha^2/4\pi R_\infty$	λ_c	386.159 2642(28)x10^{-15}	m	7.3x10^{-9}
نصف قطر الإلكترون التقليدي $\alpha^2 a_0$	r_e	2.817 940 285(31)x10^{-15}	m	1.1x10^{-8}
المقطع الفعّال لتومسون $(8\pi/3)r_e^2$	σ_e	0.665 245 854 (15)x10^{-28}	m^2	2.2x10^{-8}
العزم المغنطيسي للإلكترون	μ_e	-928.476 362(37)x10^{-26}	J T^{-1}	4.0x10^{-8}
نسبة إلى مغنتون بور	μ_e/μ_B	-1.001 159 652 1869(41)		4.1x10^{-12}
نسبة إلى المغنتون النووي	μ_e/μ_N	-1.838 281 9660(39)		2.1x10^{-9}
شذوذ العزم المغنطيسي للإلكترون $\lvert\mu_e\rvert/\mu_B-1$	a_e	1.159 652 1869(41)x10^{-3}		3.5x10^{-9}
العامل -g للإلكترون $-2(1+a_e)$	g_e	-2.002 319 304 3737(82)		4.1x10^{-12}
نسبة العزم المغنطيسي للميون - إلكترون	μ_e/μ_μ	206.766 9720(63)		3.0x10^{-8}
نسبة العزم المغنطيسي للإلكترون - البروتون	μ_e/μ_p	-658.210 6875(66)		1.0x10^{-8}
نسبة العزم المغنطيسي للإلكترون المحجوب إلى الإلكترون $(H_2O$, كرة, 25 °C)	μ_e/μ'_p	-658.227 5954(71)		1.1x10^{-8}
نسبة العزم المغنطيسي للإلكترون - النترون	μ_e/μ_n	960.920 50(23)		2.4x10^{-7}
نسبة العزم المغنطيسي للإلكترون - الدوترون	μ_e/μ_d	-2 143.923 498(23)		1.1x10^{-8}
نسبة العزم المغنطيسي للإلكترون إلى الهليون^e المحجوب (25 °C، كرة، غاز)	μ_e/μ'_h	864.058 255(10)		1.2x10^{-8}
النسبة الجيرومغنطيسية للإلكترون $2\lvert\mu_e\rvert/\hbar$	γ_e	1.760 859 794(71)x10^{11}	s^{-1} T^{-1}	4.0x10^{-8}
	$\gamma_{e\,/\,2\pi}$	28 024.9540(11)	MHz T^{-1}	4.0x10^{-8}
الميون μ				
كتلة الميون	m_μ	1.883 531 09(16)x10^{-28}	kg	8.4x10^{-8}
بـ u ، $m_\mu=A_r(\mu)$u		0.113 428 9168(34)	u	3.0x10^{-8}
مكافىء الطاقة	$m_\mu c^2$	1.692 833 32(14)x10^{-11}	J	8.4x10^{-8}
بـ MeV		105.658 3568(52)	MeV	4.9x10^{-8}
نسبة كتلة الميون - إلكترون	m_μ/m_e	206.768 2657(63)		3.0x10^{-8}
نسبة كتلة الميون التاو	m_μ/m_τ	5.945 72(97)x10^{-2}		1.6x10^{-4}
نسبة كتلة الميون – البرتون	m_μ/m_p	0.112 609 5173(37)		3.0x10^{-8}
نسبة كتلة الميون - النترون	m_μ/m_n	0.112 454 5079(34)		3.0x10^{-8}
الكتلة المولية للميون $N_A m_\mu$	$M(\mu), M_\mu$	0.113 428 9168(34)x10^{-3}	kg mol^{-1}	3.0x10^{-8}
طول موجة كمبتون للميون $h/m_\mu c$	$\lambda_{c,\mu}$	11.734 441 97(35)x10^{-15}	m	2.9x10^{-8}
$\lambda_{C,\mu}/2\pi$	$\lambda_{c,\mu}$	1.867 594 444(55)x10^{-15}	m	2.9x10^{-8}
العزم المغنطيسي للميون	μ_μ	-4.490 448 13(22)x10^{-26}	J T^{-1}	4.9x10^{-8}
النسبة إلى مغنتون بور	μ_μ/μ_B	-4.841 970 85(15)x10^{-3}		3.0x10^{-8}
النسبة إلى المغنتون النووي	μ_μ/μ_N	-8.890 597 70(27)		3.0x10^{-8}
شذوذ العزم المغنطيسي للميون $\lvert\mu_\mu\rvert/(e\hbar/2m_\mu)-1$	a_μ	1.165 916 02(64)x10^{-3}		5.5x10^{-7}
العامل g للميون $-2(1+a_\mu)$	g_μ	-2.002 331 8320(13)		6.4x10^{-10}
نسبة العزم المغنطيسي للميون - البروتون	μ_μ/μ_p	3.183 345 39(10)		3.2x10^{-8}
التاو τ				
كتلة التاو[f]	m_τ	3.167 88(52)x10^{-27}	kg	1.6x10^{-4}
بـ u $m_\tau=A_r(\tau)u$ (الكتلة الذرّية النسبية للتاو أضعاف u)		1.907 74(31)	u	1.6x10^{-4}
مكافىء الطاقة	$m_\tau c^2$	2.847 15(46)x10^{-10}	J	1.6x10^{-4}
بـ MeV		1 777.05(29)	MeV	1.6x10^{-4}
نسبة كتلة التاو - إلكترون	m_τ/m_e	3 477.60(57)		1.6x10^{-4}
نسبة كتلة التاو - الميون	m_τ/m_μ	16.8188(27)		1.6x10^{-4}
نسبة كتلة التاو - البروتون	m_τ/m_p	1.893 96(31)		1.6x10^{-4}
نسبة كتلة التاو – النترون	m_τ/m_n	1.891 35(31)		1.6x10^{-4}
الكتلة المولية للتاو $N_A m_\tau$	$M(\tau), M_\tau$	1.907 74(31)x10^{-3}	kg mol^{-1}	1.6x10^{-4}
طول موجة كمبتون للتاو	$\lambda_{c,\tau}$	0.697 70(11)x10^{-15}	m	1.6x10^{-4}
$\lambda_{c,\tau}/2\pi$	$\lambda_{c,\tau}$	0.111 042(18)x10^{-15}	m	1.6x10^{-4}

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

البروتون p				
كتلة البروتون	m_p		kg	7.9×10^{-8}
بـ u $m_p=A_r(p)\ u$		1.007 276 466 88(13)	u	1.3×10^{-10}
مكافىء الطاقة	m_pc^2	$1.503\ 277\ 31(12)\times10^{-10}$	J	7.9×10^{-8}
بـ MeV		938.271 998(38)	MeV	4.0×10^{-8}
نسبة كتلة البروتون الإلكترون	m_p/m_e	1 836.152 6675(39)		2.1×10^{-9}
نسبة كتلة البروتون - الميون	m_p/m_μ	8.880 244 08(27)		3.0×10^{-8}
نسبة كتلة البروتون - التاو	m_p/m_τ	0.527 994(86)		1.6×10^{-4}
نسبة كتلة البروتون – النترون	m_p/m_n	0.998 623 478 55(58)		5.8×10^{-10}
حاصل قسمة شحنة البروتون إلى كتلته	e/m_p	$9.578\ 834\ 08(38)\times10^{7}$	C kg^{-1}	4.0×10^{-8}
الكتلة المولية للبروتون N_Am_p	$M(P), M_p$	$1.007\ 276\ 466\ 88(13)\times10^{-3}$	kg mol^{-1}	1.3×10^{-10}
نسبة طول موجة كمبتون للبروتون	$\lambda_{c,p}$	$1.321\ 409\ 847(10)\times10^{-15}$	m	7.6×10^{-9}
$\lambda_{C,p}/2\pi$	$\lambda\!\!\!^{-}_{c,p}$	$0.210\ 308\ 9089(16)\times10^{-15}$	m	7.6×10^{-9}
نسبة العزم المغنطيسي للبروتون	μ_p	$1.410\ 606\ 633(58)\times10^{-26}$	J T^{-1}	4.1×10^{-8}
إلى مغنتون بور	μ_p/μ_B	$1.521\ 032\ 203(15)\times10^{-3}$		$1.0\times!0^{-8}$
إلى المغنتون النووي	μ_p/μ_N	2.792 847 337(29)		$1.0\times!0^{-8}$
عامل - g للبرتون $2\ \mu_p/\mu_N$	g_p	5.585 694 675(57)		$1.0\times!0^{-8}$
نسبة العزم المغنطيسي للبروتون - النترون	μ_p/μ_n	-1.459 898 05(34)		2.4×10^{-7}
العـزم المغنطيسي للبروتون المحجوب (H_2O ، كرة، 25 °C)	μ'_p	$1.410\ 570\ 399(59)\times10^{-26}$	J T^{-1}	4.2×10^{-8}
النسبة إلى مغنتون بور	μ'_p/μ_B	$1.520\ 993\ 132(16)\times10^{-3}$		$1.1\times!0^{-8}$
النسبة إلى المغنتون النووي	μ'_p/μ_N	2.792 775 597(31)		$1.1\times!0^{-8}$
تصحيح الحجب المغنطيسي للبروتون 1- μ'_p/μ_p (H_2O ، كرة، 25 °C)	σ'_p	$25.687(15)\times10^{-6}$		5.7×10^{-4}
النسبة الجيرومغنطيسية للبروتون $2\mu_p/\hbar$	γ_p	$2.675\ 222\ 12(11)\times10^{8}$	s^{-1} T^{-1}	4.1×10^{-8}
$\gamma_p/2\pi$		42.577 4825(18)	MHz T^{-1}	4.1×10^{-8}
النسـبة الجيرومغنطيسـية للبروتـون المحجـوب $2\mu'_p/\hbar$ (H_2O ، كرة، 25 °C)	γ'_p	$2.675\ 153\ 41(11)\times10^{8}$	s^{-1} T^{-1}	4.2×10^{-8}
$\gamma'_p/2\pi$		42.576 3888(17)	MHz T^{-1}	4.2×10^{-8}
النترون n				
كتلة النترون	m_n	$1.674\ 927\ 16(13)\times10^{-27}$	kg	7.9×10^{-8}
بـ u $m_n=A_r=(n)$ u (الكتلـة الذرّيـة النسبية للنترون أضعاف u)		1.008 664 915 78(55)	u	5.4×10^{-10}
مكافىء الطاقة	m_nc^2	$1.505\ 349\ 46(12)\times10^{-10}$	J	7.9×10^{-8}
بـ MeV		939 565 330(38)	MeV	4.0×10^{-8}
نسبة كتلة النترون - الإلكترون	m_n/m_e	1 838 683 6550(40)		2.2×10^{-9}
نسبة كتلة النترون – الميون	m_n/m_μ	8.892 484 78(27)		3.0×10^{-8}
نسبة كتلة النترون – التاو	m_n/m_τ	0.528 722(86)		1.6×10^{-4}
نسبة كتلة النترون - البروتون	m_n/m_p	1.001 378 418 87(58)		5.8×10^{-10}
الكتلة المولية للنترون N_Am_n	$M(n), M_n$	$1.008\ 664\ 915\ 78(55)\times10^{-3}$	kg mol^{-1}	5.4×10^{-10}
أطوال أمواج كمبتون للنترون h/m_nc	$\lambda_{C,n}$	$1.319\ 590\ 898(10)\times10^{-15}$	m	7.6×10^{-9}
$\lambda_{C,n}/2\pi$	$\lambda\!\!\!^{-}_{c,n}$	$0.210\ 019\ 4142(16)\times10^{-15}$	m	7.6×10^{-9}
العزم المغنطيسي للنترون	μ_n	$-0.966\ 236\ 40(23)\times10^{-26}$	J T^{-1}	2.4×10^{-7}
النسبة إلى مغنتون بور	μ_n/μ_B	$-1.041\ 875\ 63(25)\times10^{-3}$		2.4×10^{-7}
النسبة إلى المغنتون النووي	μ_n/μ_N	-1.913 042 72(45)		2.4×10^{-7}
عامل – g النترون	g_n	-3.826 085 45(90)		2.4×10^{-7}
نسبة العزم المغنطيسي للنترون - إلكترون	μ_n/μ_e	$1.040\ 668\ 82(25)\times10^{-3}$		2.4×10^{-7}
نسبة العزم المغنطيسي للنترون - بروتون	μ_n/μ_p	-0.684 979 34(16)		
نسبة العزم المغنطيسي للنترون إلى البروتون المحجوب (H_2O ، كرة، 25 °C)	μ_n/μ'_p	-0.684 996 94(16)		2.4×10^{-7}
النسبة الجيرومغنطيسية للنترون $2\lvert\mu_n\rvert/\hbar$	γ_n	$1.832\ 471\ 88(44)\times10^{8}$	s^{-1} T^{-1}	2.4×10^{-7}
$\gamma_n/2\pi$		29.164 6958(70)	MHz T^{-1}	2.4×10^{-7}

d الدوترون				
7.9×10^{-8}	Kg	$3.343\ 583\ 09(26)\times10^{-27}$	m_d	كتلة الدوترون
1.7×10^{-10}	u	2.013 553 21271(35)		بـ $m_d=A_r(d)u$, u
7.9×10^{-8}	J	$3.005\ 062\ 62(24)\times10^{-10}$	m_dc^2	مكافىء الطاقة
4.0×10^{-8}	MeV	1 875.612 762(75)		بـ MeV
2.1×10^{-9}		3 670 482 9550(78)	m_d/m_e	نسبة كتلة الدوترون - الإلكترون
2.0×10^{-10}		1.999 007 500 83(41)	m_d/m_p	نسبة كتلة الدوترون - البروتون
1.7×10^{-10}	kg mol^{-1}	$2.013\ 553\ 212\ 71(35)\times10^{-3}$	$M(d), M_d$	الكتلة المولية للدوترون
4.2×10^{-8}	J T^{-1}	$0.433\ 073\ 457(18)\times10^{-26}$	μ_d	العزم المغنطيسي للدوترون
1.1×10^{-8}		$0.466\ 975\ 4556(50)\times10^{-3}$	μ_d/μ_B	النسبة إلى مغنتون بور
1.1×10^{-8}		0.857 438 2284(94)	μ_d/μ_N	نسبة إلى المغنتون النووي
1.1×10^{-8}		$-4.664\ 345\ 537(50)\times10^{-4}$	μ_d/μ_e	نسبة العزم المغنطيسي للدوترون - الإلكترون
1.5×10^{-8}		0.307 012 2083(45)	μ_d/μ_P	نسبة العزم المغنطيسي للدوترون - البروتون
2.4×10^{-7}		-0.448 206 52(11)	μ_d/μ_n	نسبة العزم المغنطيسي للدوترون - النترون
h الهليون				
7.9×10^{-8}	kg	$5.006\ 411\ 74(39)\times10^{-27}$	m_h	كتلة الهليون[e]
2.8×10^{-10}	u	3.014 932 234 69(86)		بـ $m_h=A_r(h)\ u$ u
7.9×10^{-8}	J	$4.499\ 538\ 48(35)\times10^{-10}$	m_hc^2	مكافىء الطاقة
4.0×10^{-8}	MeV	2 808.391 32(11)		بـ MeV
2.1×10^{-9}		5 495.885 238(12)	m_h/m_e	نسبة كتلة الهليون - الإلكترون
3.1×10^{-10}		2.993 152 658 50(93)	m_h/m_p	نسبة كتلة الهليون - البروتون
2.8×10^{-10}	kg mol^{-1}	$3.014\ 932\ 234\ 69(86)\times10^{-3}$	$M(h), M_h$	الكتلة المولية للهليون N_Am_h
4.2×10^{-8}	J T^{-1}	$-1.074\ 552\ 967(45)\times10^{-26}$	μ'_h	العزم المغنطيسي للهليون المحجوب (25 °C، كرة، غاز)
1.2×10^{-8}		$-1.158\ 671\ 474(14)\times10^{-3}$	μ'_h/μ_B	النسبة إلى مغنتون بور
1.2×10^{-8}		-2.127 497 718(25)	μ'_h/μ_N	النسبة إلى المغنتون النووي
1.2×10^{-8}		-2.127 497 718(12)	μ'_h/μ_p	نسبة الهليون المحجوب إلى العزم المغنطيسي للبروتون (25 °C، كرة، غاز)
4.3×10^{-9}		-0.761 786 1313(33)	μ'_h/μ'_p	نسبة الهليون المحجوب إلى العزم المغنطيسي للبروتون المحجوب (25 °C، كرة، H_2O غاز)
4.2×10^{-8}	s^{-1} T^{-1}	$2.037\ 894\ 764(85)\times10^{8}$	γ'_h	نسبة الهليون المحجوب إلى الجيرومغنطيسية $2\lvert\mu'_h\rvert/\hbar$ (غاز/H_2O، الكرة e، 25 °C)
4.2×10^{-8}	MHz T^{-1}	32.434 1025(14)	$\gamma'_h/2\pi$	
α جسيم ألفا				
7.9×10^{-8}	kg	$6.644\ 655\ 98(52)\times10^{-27}$	m_α	كتلة جسيم ألفا
2.5×10^{-10}	u	4.001 506 1747(10)		بـ $m_\alpha=A_r(\alpha)\ u$ ، u
7.9×10^{-8}	J	$5.971\ 918\ 97(47)\times10^{-10}$	$m_\alpha c^2$	مكافىء الطاقة
4.0×10^{-8}	MeV	3 727.379 04(15)		بـ MeV
2.1×10^{-9}		7 294.299 508(16)	m_α/m_e	نسبة كتلة جسيم ألفا إلى الإلكترون
2.8×10^{-10}		3.972 599 6846(11)	m_α/m_p	نسبة كتلة جسيم ألفا إلى البروتون
2.5×10^{-10}	kg mol^{-1}	$4.001\ 506\ 1747(10)\times10^{-3}$	$M(\alpha), M_\alpha$	الكتلة المولية لجسيم ألفا N_Am_α
كيميائي - فيزيائي				
7.9×10^{-8}	mol^{-1}	$6.022\ 141\ 99\ (47)\times10^{23}$	N_A, L	ثابت أفوغادرو
7.9×10^{-8}	kg	$1.660\ 538\ 73(13)\times10^{-27}$	m_u	ثابت الكتلة الذرّية $m_u=1/12\ m(^{12}C)=1u=10^{-3}kg\ mol^{-1}/N_A$
7.9×10^{-8}	J	$1.492\ 417\ 78(12)\times10^{-10}$	m_uc^2	مكافىء الطاقة
4.0×10^{-8}	MeV	931.494 013(37)		بـ MeV
4.0×10^{-8}	C mol^{-1}	96 485.3415(39)	F	ثابت فارادي[g] N_Ae
7.6×10^{-9}	J s mol^{-1}	$3.990\ 312\ 689(30)\times10^{-10}$	N_Ah	ثابت بلانك المولي
7.6×10^{-9}	J m mol^{-1}	0.119 626 564 92(91)	N_Ahc	
1.6×10^{-6}	J mol^{-1} K^{-1}	8.314 472(15)	R	ثابت الغاز المولي
1.7×10^{-6}	J K^{-1}	$1.380\ 6503(24)\times10^{-23}$	k	ثابت بولتزمان R/N_A

الكمية	الرمز	القيمة	الوحدة	الارتياب المعياري النسبي u_r
بـ $eV\ K^{-1}$		$8.617\ 342(15)\times10^{-5}$	$eV\ K^{-1}$	1.7×10^{-6}
	k/h	$2.083\ 6644(36)\times10^{10}$	$Hz\ K^{-1}$	1.7×10^{-6}
	k/hc	69 503 56(12)	$m^{-1}\ K^{-1}$	1.7×10^{-6}
الحجم المولي للغاز المثالي RT/p $T=273.15K,\ p=101.325\ kPa$	V_m	$22.413\ 996(39)\times10^{-3}$	$m^3\ mol^{-1}$	1.7×10^{-6}
ثابت لوشميدت N_A/V_m	n_0	$2.686\ 7775(47)\times10^{25}$	m^{-3}	1.7×10^{-6}
$T=273.15K,\ p=100\ kPa$	V_m	$22.710\ 981(40)\times10^{-3}$	$m^3\ mol^{-1}$	1.7×10^{-6}
ثابت ساكور- تترود(ثابت الأنتروبية المطلق)[h] $5/2+1n[(2\pi m_u kT_1/h^2)^{3/2}kT_1/p_0]$				
$T_1=1K,\ p_0=100\ kPa$	S_0/R	-1.151 7048(44)		3.8×10^{-6}
$T_1=1K,\ p_0=101\ kPa$		-1.164 8678(44)		3.7×10^{-6}
ثابت ستيفان - بولتزمان $(\pi^2/60)k^4/\hbar^3c^2$	σ	$5.670\ 400(40)\times10^{-8}$	$W\ m^{-2}\ K^{-4}$	7.0×10^{-6}
ثابت الإشعاع الأول $2\pi hc^2$	c_1	$3.741\ 771\ 07(29)\times10^{-16}$	$W\ m^2$	7.8×10^{-8}
ثابت الإشعاع الأول للإشعاعية الطيفية $2hc^2$	c_{1L}	$1.191\ 042\ 722(93)\times10^{-16}$	$W\ m^2\ sr^{-1}$	7.8×10^{-8}
ثابت الإشعاع الثاني hc/k	c_2	$1.438\ 7752(25)\times10^{-2}$	$m\ K$	1.7×10^{-6}
ثابت قانون انزياح فاين $b=\lambda_{max}T=c_2/4.965\ 114\ 231\ \ldots$	b	$2.897\ 7686(51)\times10^{-3}$	$m\ K$	1.7×10^{-6}

a) انظر الجدول "the Internationally Adopted Values" من أجل القيمة الاصطلاحية للتمثيل المحقق للفولط باستخدام أثر جوزفسون.

b) انظر الجدول "the Internationally Adopted Values" من أجل القيمة الاصطلاحية للتمثيل المحقق للأوم باستخدام أثر هول الكمومي.

c) قيمة يُنصح بها من قبل فريق بيانات الجسيمات [C. Caso et al., Eur. Phys. J. C3, 1 (1998)].

d) تعتمد على نسبة كتلتي البوزونين W و Z mW/mZ الموصى بها من قبل فريق بيانات الجسيمات [C. Caso et al., Eur. Phys. J. C3, 1 (1998)].
قيمة $\sin^2\theta_W$ الموصى بها، التي تعتمد على نوع خاص لمخطط الطرح الأصغري المعدّل (MS)، $\sin^2\hat{\theta}_W(M_z)=0.23124(24)$

e) الهليون، رمزه h، هو نواة ذرّة ^3He.

f) هذه القيمة وكل القيم الأخرى التي تتضمن m_τ تعتمد على القيمة $m_\tau C^2$ بـ MeV يُوصى بها من قبل [C. Caso et al., Eur. Phys. J. C^3, 1 (1998)]، لكن بارتياب معياري قدره 0.29 MeV بدلاً من الارتياب المعطى بالقيمتين 0.26 MeV- و 0.29 MeV+.

g) القيمة العددية لـ F التي ينبغي استخدامها في القياسات الكيميائية المسعرية هي [7.9×10^{-8}] 485.3432(76) 96 عندما يقاس التيار ذو الصلة بعبارات تمثيل الفولط والأوم المعتمد على أثري جوزفسون وهول الكمومي والقيم الاصطلاحية لثابتي جوزفسون وكليتسينغ KJ-90 و RK-90 المعطيين في جدول القيم المعتمدة دولياً.

h) أنتروبية الغاز الأحادي الذرّة المثالي للكتلة الذرّية النسبية A_r تُعطى بـ $S = S_0 + \frac{3}{2}R\ln A_r - R\ln(p/po) + \frac{5}{2}R\ln(T/K)$

الكمية	الرمز	القيمة	الوحدة	الارتياب المعياري النسبي u_r
الثابت المولي لـ ^{12}C	$M(^{12}C)$	$12x10^{-3}$	$kg\ mol^{-1}$	تماماً
ثابت الكتلة المولية[a]	$M(^{12}C)/12$	$1x10^{-3}$	$kg\ mol^{-1}$	تماماً
القيمة المصطلح عليها لثابت جوزفسون[b]	K_{J-90}	483 597.9	$GHz\ V^{-1}$	تماماً
القيمة المصطلح عليها لثابت فون كليتسنغ[c]	R_{k-90}	25 812.807	Ω	تماماً
الجو المعياري		101 325	Pa	تماماً
تسارع الثقالة المعياري	g_n	9.806 65	$m\ s^{-2}$	تماماً

a) تُعين الكتلة الذرّية النسبية $A_r(X)$ للجسيم X ذي الكتلة $m(X)$ بـ $A_r(X)=m(X)/m_u$ حيث $m_u=m(^{12}C)/12=M_u/N_A=1u$ ثابت الكتلة الذرّية، Ng ثابت أفوغادرو، و u هي الوحدة الذرّية (الموحدة). وهكذا تكون كتلة الجسيم X هي: $m(X)=A_r(X)u$ والكتلة المولية لـ X تكون $M(X)=A_r(X)M_u$.

b) هي القيمة المتبناة دولياً من أجل التمثيل الواقعي للفولط باستعمال أثر جوزفسون.

c) هي القيمة المتبناة دولياً من أجل التمثيل الواقعي للأوم باستعمال أثر هول الكمومي.

قيم CODATA التي ينصح بها لمكافئات الطاقة – 1998

(الوحدة ذات الصلة)

	J	kg	m^{-1}	Hz
$1\ J$	$(1J)=$ $1J$	$(1J)/c^2=$ $1.112\ 650\ 056\times10^{-17}\ kg$	$(1J)/hc=$ $5.034\ 117\ 62(39)\times10^{24}\ m^{-1}$	$(1J)/h=$ $1.509\ 190\ 50(12)\times10^{33}Hz$
$1\ kg$	$(1\ kg)c^2=$ $8.987\ 551\ 787\times10^{16}J$	$(1\ kg)=$ $1\ kg$	$(1\ kg)c/h=$ $4.524\ 439\ 29(35)\times10^{41}\ m^{-1}$	$(1\ kg)c^2/h=$ $1.356\ 392\ 77(11)\times10^{50}\ Hz$
$1m^{-1}$	$(1m^{-1})hc=$ $1.986\ 445\ 44\ (16)\times10^{-25}J$	$(1m^{-1})\ h/c=$ $2.210\ 218\ 63(17)\times10^{-42}\ kg$	$(1m^{-1})=$ $1m^{-1}$	$(1m^{-1})c=$ $299\ 792\ 458\ Hz$
$1\ Hz$	$(1\ Hz)h=$ $6.626\ 068\ 76(52)\times10^{-34}\ J$	$(1\ Hz)h/c^2=$ $7.372\ 495\ 78(58)\times10^{-51}\ kg$	$(1\ Hz)/c=$ $3.335\ 640\ 952\times10^{-9}\ m^{-1}$	$(1\ Hz)=$ $1\ Hz$
$1\ K$	$(1\ K)k=$ $1.380\ 6503(24)\times10^{-23}\ J$	$(1\ K)k/c^2=$ $1.536\ 1807(27)\times10^{-40}\ kg$	$(1\ K)k/hc=$ $69.503\ 56(12)\ m^{-1}$	$(1\ K)k/h=$ $2.083\ 6644(36)\times10^{10}\ Hz$
$1\ eV$	$(1\ eV)=$ $1.602\ 176\ 462(63)\times10^{-19}J$	$(1\ eV)/c^2=$ $1.782\ 661\ 731(70)\times10^{-36}\ kg$	$(1\ eV)/hc=$ $8.065\ 544\ 77(32)\times10^{5}\ m^{-1}$	$(1\ eV)/h=$ $2.417\ 989\ 491(95)\times10^{14}\ Hz$
$1\ u$	$(1\ u)c^2=$ $1.492\ 417\ 78(12)\times10^{-10}J$	$(1\ u)=$ $1.660\ 538\ 73(13)\times10^{-27}kg$	$(1\ u)c/h=$ $7.513\ 006\ 658(57)\times10^{14}\ m^{-1}$	$(1\ u)c^2/h=$ $2.252\ 342\ 733(17)\times10^{23}Hz$
$1E_h$	$(1\ E_h)=$ $4.359\ 743\ 81(34)\times10^{-18}J$	$(1\ E_h)/c^2=$ $4.850\ 869\ 19(38)\times10^{-35}kg$	$(1\ E_h)/hc=$ $2.194\ 746\ 313\ 710(17)\times10^{7}\ m^{-1}$	$(1\ E_h)/h=$ $6.579\ 683\ 920\ 735(50)\times10^{15}Hz$

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

قيم CODATA التي ينصح بها لمكافئات الطاقة 1998				
(الوحدة ذات الصلة)				
	K	**eV**	**u**	**E_h**
1 J	$(1J)/k=$ $7.242\ 964\ (13)\times10^{22}K$	$(1J)=$ $6.241\ 509\ 74(24)\times10^{18}\ eV$	$(1J)/c^2=$ $6.700\ 536\ 62(53)\times10^{9}\ u$	$(1J)=$ $2.293\ 712\ 76(18)\times10^{17}E_h$
1 kg	$(1kg)c^2/k=$ $6.509\ 651(11)\times10^{39}K$	$(1\ kg)c^2=$ $5.609\ 589\ 21(22)\times10^{35}eV$	$(1kg)=$ $6.022\ 141\ 99(47)\times10^{26}u$	$(1kg)c^2=$ $2.061\ 486\ 22(16)\times10^{34}\ E_h$
$1m^{-1}$	$(1m^{-1})\ hc/k=$ $1.438\ 7752(25)\times10^{-2}\ K$	$(1m^{-1})hc=$ $1.239\ 841\ 857(49)\times10^{-6}eV$	$(1m^{-1})h/c=$ $1.331\ 025\ 042(10)\times10^{-15}u$	$(1m^{-1})hc=$ $4.556\ 335\ 252\ 750(35)\times10^{-8}E_h$
1 Hz	$(1Hz)\ h/k=$ $4.799\ 2374(84)\times10^{-11}K$	$(1Hz)h=$ $4.135\ 667\ 27(16)\times10^{-15}eV$	$(1Hz)h/c^2=$ $4.439\ 821\ 637(34)\times10^{-24}u$	$(1Hz)h=$ $1.519\ 829\ 846\ 003(12)\times10^{-16}E_h$
1 K	$(1K)=$ $1K$	$(1K)k=$ $8.617\ 342(15)\times10^{-5}eV$	$(1K)k/c^2=$ $9.251\ 098(16)\times10^{-14}u$	$(1K)k=$ $3.166\ 8153(55)\times10^{-6}E_h$
1 eV	$(1eV)/k=$ $1.160\ 4506(20)\times10^{4}K$	$(1eV)=$ $1\ eV$	$(1eV)/c^2=$ $1.073\ 544\ 206(43)\times10^{-9}u$	$(1eV)=$ $3.674\ 932\ 60(14)\times10^{-2}E_h$
1 u	$(1u)c^2/k=$	$(1u)c^2=$ $931.494\ 013(37)\times10^{6}eV$	$(1u)=$ $1u$	$(1u)c^2=$ $3.423\ 177\ 709(26)\times10^{7}E_h$
$1E_h$	$(1\ E_h)/k=$ $3.157\ 7465(55)\times10^{5}K$	$(1E_h)=$ $27.211\ 3834(11)eV$	$(1E_h)/c^2=$ $2.921\ 262\ 304(22)\times10^{-8}u$	$(1E_h)=$ $1E_h$

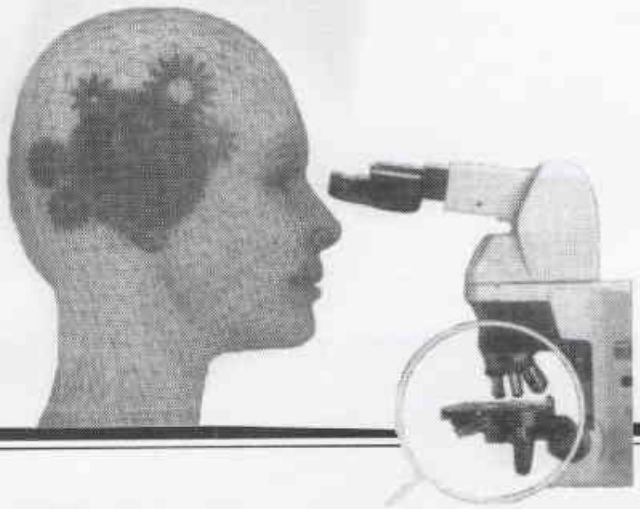
بيتر ج. مور وباري ن. تايلور: يعملان في مركز بيانات الثوابت الأساسية (FCDC) في قسم الفيزياء الذرّية لمختبر الفيزياء NIST.

مور: رئيس الـ FCDC وهو الرئيس الحالي لمجموعة عمل CODATA على الثوابت الفيزيائية.

تايلور: الرئيس السابق لـ FCDC ورئيس المجموعة السابقة لفريق العمل وهو حالياً عضو في مجموعة العمل والعالم الفخري في NIST.

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

ورقات البحوث



مطابقة سويات نموذج البوزونات المتفاعلة الرابع إلى النموذج الطبقي*

د. سهيل سليمان ـ د. سامي حداد ـ د. حازم سومان

قسم الفيزياء ـ هيئة الطاقة الذرّية ـ ص.ب. 6091 ـ دمشق ـ سورية

ملخص

تتمُّ مطابقة سويات نموذج البوزونات المتفاعلة الرابع إلى النموذج الطبقي. تعتمد هذه المطابقة على تصنيف السويات وفق الأولوية.

الكلمات المفتاحية

نموذج البوزونات المتفاعلة، النموذج الطبقي، الطبقة sd، تصنيف السويات باعتماد نظرية المجموعات، تصنيف السويات وفق الأولوية، مطابقة.

تعود نشأة نموذج البوزونات المتفاعلة إلى افتراض أنه يمكن وصف السويات الجماعية منخفضة الطاقة للنوى الزوجية ـ الزوجية على أنها سويات عدد ثابت N من البوزونات. يتم تصميم السويات الجماعية في النوى الزوجية ـ الزوجية كسويات ناشئة من بوزونات ذات عدد اندفاع زاوي L= 0 (بوزونات s) أو L = 2 (بوزونات d-) [1]. يهدف التقابل بين البوزونات وثنائيات النكلونات إلى الانتقال من الجملة المعقّدة التي تصف النكلونات المتآثرة في طبقة مفتوحة open shell إلى جملة أبسط تصف بوزونات متآثرة [2].

تتم مقابلة مجموعة سويات الطبقة النووية sd في نموذج البوزونات المتآثرة الرابع IBM4 بمجموعة من البوزونات s و d ذات الأيزوسبين (سبين نظيري) T = 1 والسبين S = 0 أو T= 0 و S = 1 [3]. يبرر حد الاقتران السبيني ـ المداري LS coupling الفرميوني هذا الاختيار للبوزونات. إذ يتبين عند دراسة نكلونين في المدار *l* أن السويات الأدنى تأخذ القيم L = 0 و2 مع T = 1, S = 0 أو T = 0, S = 1. تعتمد هذه البنية المجهرية على نموذج طبقي كُرَوي مع اقتران LS، وهي الأمثل لوصف النوى الخفيفة [4]. لذا فمن الضروري فهم العلاقة بين سويات النموذج الطبقي وسويات IBM4.

يمكن المكافأة بين الاندفاع الزاوي الإجمالي J والسبين النظيري الإجمالي T في نموذج البوزونات المتفاعلة الرابع والنموذج الطبقي. ولكن قد لا يكافئ سبين البوزون S السبين الذاتي intrinsic الإجمالي للفرميونين، وذلك لأن الاندفاعات الزاوية المدارية للبوزونات s و d قد تتضمن جزءاً من السبين الذاتي الفرميوني [3].

تُصنَّف السويات المدارية في الطبقة sd في النموذج الطبقي وفق المجموعة U (6)، والتي تصنف التحولات في الفضاء سداسي الأبعاد تمتد عليه التوابع الموجية للجسيم الواحد ψ (s, m=0) و ψ (d, m= -2, …, +2). تؤدي سلسلة المجموعات:

$$U(6) \supset U_L(6) \supset \quad (1)$$

إلى مخطط التصنيف الوارد في الجدول 1 [5،6].

الجدول 1ـ تصنيف النموذج الطبقي للطبقة sd. N هو عدد الثنائيات النكلونية. تم توسيم label التمثيلات غير القابلة للاختزال للمجموعات:

U(6)، O(6)، و O(5) على الترتيب بـ [f]، و(λ_1 λ_2 λ_3)، و(σ_1 σ_2).

N	U(6)	O(6)	O(5)	$O_L(3)$
1	[1]	(100)	(00)	S
			(10)	D
2	[2]	(000)	(00)	S
		(200)	(00)	S
			(10)	D
			(20)	D G
		(110)	(10)	D
	[11]		(11)	P F
3	[3]	(100)	(00)	S
			(10)	D
		(300)	(00)	S
			(10)	D
			(20)	D G
			(30)	S F G I
	[21]	(100)	(00)	S
			(10)	D
		(210)	(10)	D
			(20)	D G
			(11)	P F
			(21)	P D F GH
	[111]	(111)	(11)	P F

ينتج الفضاء الشعاعي البوزوني في IBM4 من جداء الفضاء sd سداسي الأبعاد مع فضاء آخر سداسي الأبعاد يوافق T=0,S=1 و T=1, S=0. لذلك تُصنَّف السويات البوزونية وفق المجموعة الجداء $U_{TS}(6)\times U_{sd}(6)$ [3]. يظهر الجدول 2 التصنيف بالنسبة لأعداد البوزونات N≤3 و الناتج من استخدام سلسلتي المجموعات [7,3]:

$$U_{TS}(6) \supset SU(4) \supset SU_T(2) \times SU_S(2)\,, \quad (2)$$

$$Usd(6) \supset U(5) \supset O(3)\,. \quad (3)$$

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Europhysics letters* 1August 2002.

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

الجدول 2ــ تصنيف السويات البوزونية وفق السبين والسبين النظيري بالنسبة لـ N≤3. تم توسيم التمثيلات غير القابلة للاختزال للمجموعة SU(4) بثلاثة أدلة $(\lambda\mu\nu)$ انظر أيضاً الجدول 1 في المرجع [3].

N	U(6)	تشكيلات وقيم-L	SU(4)	(TS)
1	[1]	$s(0)\ d(2)$	(010)	(01) (10)
2	[2]	$s^2(0)\ s_d(2)\ d^2(024)$	(000)	(00)
			(020)	(00) (02) (11) (20)
	[11]	$sd(2)\ d^2(13)$	(101)	(01) (10) (11)
3	[3]	$s^3(0)\ s^2d(2)\ sd^2(024)\ d^3(02346)$	(010)	(01) (10)
			(030)	(01) (03) (10) (12) (21) (30)
	[21]	$s^2d(2)sd^2(01234)d^3(12234)$	(010)	(01) (10)
			(111)	$(01)\ (02)\ (10)\ (11)^2$ (12) (20) (21)
	[111]	$sd^2(13)\ d^3(13)$	(200)	(00) (11)
			(002)	(00) (11)

لا يمكن المقارنة بين تصنيف الطبقة sd وفق نموذج الطبقات الوارد في الجدول1 وبين تصنيف السويات البوزونية الوارد في الجدول 2، و ذلك لأن الاندفاعات الزاوية المدارية للبوزونات s و d قد تتضمَّن جزءاً من السبين الذاتي الفرميوني، كما سبق و ذكر. يمكن حلّ هذه المشكلة باعتماد تصنيف إضافي للطبقة sd يُبنى على منهج الأولوية seniority [8]. يتم في هذه الفقرة بناء مطابقة سويات نموذج البوزونات المتفاعلة الرابع إلى النموذج الطبقي على الأولوية ν بالإضافة إلى J و T. يمكن وصف الأولوية ν لسويةٍ ما بشكل عام على أنها تمثل عدد النكلونات غير المتزاوجة في هذه السوية [9].

يصف منهج الأولوية حالة الجملة في الطبقة sd باستخدام المجموعة التناظرية U(24) [9]:

$$U(24) \supset U_L(6) \times SU_{TS}(4)\ . \qquad (4)$$

تعطى المولّدات 576 للمجموعة U(24) مع مؤثرات خلق الأزواج وللأزواج 276 مؤثر إفناء للأزواج 1128 مولداً لمجموعة O(48) تُصنّف وفق:

$$O(48) \supset \underset{(\omega_1\ \omega_2\ \omega_3)}{O_L(6)} \times \underset{(\rho_1\ \rho_2\ \rho_3\ \rho_4)}{SO_q(8)} \qquad (5)$$

حيث تمَّ وضع وسوم labels التمثيلات غير القابلة للاختزال مباشرة تحت كل مجموعة. SOq(8) هي مجموعة شبه السبين quasi-spin [10] كما هو موضح في المرجع [11]، يرتبط ρ_1 بالأولوية ν بالعلاقة:

$$\rho_1 = 6 - \frac{\upsilon}{2}, \qquad (6)$$

بينما تشكل الأوزان المتبقية $\rho_2\ \rho_3\ \rho_4$ أوزان مجموعة جزئية من O(6)، متساوية الشكل isomorphic مع المجموعة $SU_{TS}(4)_u$، أي إن المجموعة SU(4) مقتصرة على العدد ν من الجسيمات غير المتزاوجة، والموسومة بـ $(\lambda\mu\nu)_u$، وفق العلاقات التالية:

$$\rho_2 = \mu + \frac{1}{2}(\lambda+\nu) \qquad (7)$$

$$\rho_3 = \frac{1}{2}(\lambda+\nu) \qquad (8)$$

$$\rho_4 = \frac{1}{2}(\lambda-\nu) \qquad (9)$$

يمكن ربط أي تمثيل غير قابل للاختزال $(\rho_1\ \rho_2\ \rho_3\ \rho_4)$ للمجموعة So_q (8) بتمثيل مداري وحيد غير قابل للاختزال $(\omega_1\ \omega_2\ \omega_3)$ باستخدام العلاقات (6)-(9) بما يؤدي إلى التصنيف الوارد في الجدول 3 لسويات الطبقة sd وفق الأولوية. على سبيل المثال، تدلُّ العلاقات (6)-(9) على أن التمثيل غير القابل للاختزال (3300) لمجموعة شبه السبين يقابل ، $(\lambda\ \mu\ \nu)_u = (030)$ بحيث يكون υ=6 , [33] = $[f_1\ f_2\ f_3\ f_4]$. و هذا يؤدي إلى التمثيل المداري غير القابل للاختزال [222] للمجموعة UL(6). ينتج من التحلل:

$$[222] = (222) + (211) + (110) \qquad (10)$$

الوارد في المرجع [11] أن (222) هو التمثيل غير القابل للاختزال المطلوب، حيث إنَّ بقية التمثيلات تظهر عند قيم أدنى للأولوية.

الجدول 3 ــ تصنيف الطبقة sd حسب الأولوية.

υ	$SU(4)_u$	SOq(8)	$O_L(6)$
0	(000)	(6000)	(000)
2	(200)	(5111)	(110)
	(010)	(5100)	(200)
4	(400)	(4222)	(110)
	(210)	(4211)	(211)
	(020)	(4200)	(220)
	(101)	(4110)	(310)
	(000)	(4000)	(400)
6	(600)	(3333)	(000)
	(410)	(3322)	(200)
	(220)	(3311)	(220)
	(301)	(3221)	(310)
	(030)	(3300)	(222)
	(111)	(3210)	(321)
	(200)	(3111)	(411)
	(002)	(311-1)	(330)
	(010)	(3100)	(420)

يسمح تصنيف الأولوية الوارد في الجدول 3 بإجراء مقارنة بين سويات IBM4 والنموذج الطبقي. يقابل السوية الفرميونية لـ N ثنائي من النكلونات في الطبقة sd ذات الأولوية υ سوية بوزونية تتكوَّن من عدد $Ns = N - \frac{\upsilon}{2}$ من البوزونات s، في سوية السبين ـ السبين النظيري ذات التوسيم $(\lambda\mu\nu)_p$ للمجموعة SU(4)، أي توسيم الجسيمات المتزاوجة، وعدد $Nd = \frac{\upsilon}{2}$ من البوزونات d، في سوية السبين ـ السبين النظيري ذات التوسيم $(\lambda\mu\nu)_u$. أي أن المجموعة الجزئية من سويات النموذج الطبقي و المعرَّفة بالعلاقة:

$$\left| \left(S^\dagger\right)^{N-\frac{\nu}{2}}_{(\lambda\mu\nu)_p} P \left(D^\dagger\right)^{\frac{\upsilon}{2}}_{(\lambda\mu\nu)_u} aLM_L, \delta SM_S TM_T \right\rangle \qquad (11)$$

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

$$\left|\left(S^{\dagger}\right)^{N_s}_{(\lambda\mu\nu)_p}\left(d^{\dagger}\right)^{N_d}_{(\lambda\mu\nu)_u}, \alpha LM_L \quad , \delta SM_S TM_T\right\rangle \qquad (12)$$

توافق السويات البوزونية:

$S^{\dagger}$ هـو مـؤثر خلـق ثنـائي نكلـوني ذو تمثيـل مـداري (000) للمجموعة $O_L(6)$ وتمثيل (010) للمجموعة $SU_{TS}(4)$. $D^{\dagger}$ هـو مؤثر خلق ثنائي نكلوني ذو $l = (200)\ 2$ $(\omega_1\omega_2\omega_3)$ و $(\lambda\mu\nu) = (010)$. يشير مـؤثر الإسـقاط projection P إلى الإسـقاط على سـويات لا تتضـمَّن مركبات الثنائيات $S^{\dagger}$. $s^{\dagger}$ و$D^{\dagger}$ هـي مـؤثرات خلق البوزونـات s و d. αLM_L هي الحالة المدارية للبوزونات d، حيث α وسم إضـافي يُستخدم للفصل بين السويات عندما تظهر القيمة نفسها لـ L أكثر من مرة في تمثيل $O_L(6)$ المحدد بـ N_d و$(\lambda\mu\nu)_u$. $\delta SM_S TM_T$ هـي حالـة السبين - السبين النظيري للبوزونـات، حيـث لـ δ دور مشـابه لـ α عنـد اختـزال $(\lambda\mu\nu)$ إلى S و T. يوافق التصنيف (12) سلسلة المجموعات الجزئية:

$$\begin{array}{ccccccccccc} U(36) & \supset & U(6) & \times & U(30 & \supset & U(6) & \times & U(6) & \times & U(5) & \supset \\ N & & [N_s] & & [N_d] & & [N_s] & & [f] & & [f] & \\ SU(4) & \times & SU(4) & \times & U(5) & \supset & SU(4) & \times & O(5) & \supset & & \\ (\lambda\mu\nu)_p & & (\lambda\mu\nu)_u & & [f] & & (\lambda\mu\nu) & & (\sigma_1\ \sigma_2) & & & \\ SU(2) & \times & SU(2) & \times & O(3) & & & & & & & \\ T & & S & & L & & & & & & & \end{array} \qquad (13)$$

يعرض الجدول 4 المطابقة المبنيَّة على الأولوية بين سويات النموذج الطبقي وIBM4. تنتـج $(\lambda\mu\nu)$ مـن اختـزال الجداء $(\lambda\mu\nu)_u \times (\lambda\mu\nu)p$.

الجدول 4 ــ مقارنة بين سويات IBM4 و النموذج الطبقي.

		نموذج طبقي			IBM4		
N	V	SU(4)u	SO(8)	تشكيل	SU(4)p	SU(4)	U(6)
1	0	(000)	(6000)	s	(010)	(010)	[1]
	2	(010)	(5100)	d	(000)	(010)	[1]
			(5111)		غير مطابقة		
2	0	(000)	(6000)	S^2	(000)	(000)	[2]
					(020)	(020)	
	2	(010)	(5100)	sd	(010)	(000)	[2]
						(020)	
						(101)	[11]
	4	(000)	(4000)	d^2	(000)	(000)	[2]
		(020)	(4200)			(020)	
		(101)	(4110)		(000)	(101)	[11]
		(4222)	(4211)		غير مطابقة		
3	0	(000)	(6000)	S^3	(010)	(010)	[3]
					(030)	(030)	[3]
3	2	(010)	(5100)	s^2d	(000)	(010)	[3]
					(020)	(010)	[21]
						(030)	[3]
						(111)	[21]
	4	(000)	(4000)	sd^2	(010)	(010)	[3]
		(020)	(4200)			(010)	[21]
						(030)	[3]
						(111)	[21]
		(101)	(4110)			(010)	[21]
						(111)	[21]
						(200)	[111]
						(002)	[111]
	6	(010)	(3100)	d^3	(000)	(010)	[3] + [21]
		(030)	(3300)			(030)	[3]
		(111)	(3210)			(111)	[21]
		(200)	(3111)			(200)	[111]
		(002)	(311-1)			(002)	[111]
		(3333)	(3322)		غير مطابقة		
		(3311)	(3221)				

تتطلَّب السويات غير المطابقة للنموذج الطبقي بوزونات ذات انـدفاع زاوي يتجاوز L = 2، أي بوزونات g ذات L=4، بوزونات i ذات L = 6 إلخ، و هي لذلك غائبة عن إطار IBM.

تمثل المطابقة المبنيَّة على مبدأ الأولوية، والتي يعرضها هذا العمل، الأساس المجهري للعلاقة بين IBM4 والنموذج الطبقي. يتضمَّن تصنيف IBM4 للسويات المجموعة الجبرية SU(4) و التي يمكن إقامة علاقة بينها و بين مجموعة فيغنر الجبرية فائقة التعددية، ذات الأهمية الفيزيائية الخاصة بالنسبة للنوى الخفيفة.

تنمّي قنوات الأيونات المشعّة المنتشرة في مراكز البحث حول العالم المعرفة التجريبية فيما يتعلق بخصائص النوى. تؤدي إضافة السبين الذاتي للبوزون إلى إعطاء التابع الهاملتوني البوزوني حرية واسعة تسمح له بتفسير النتائج التجريبية المتوفّرة وتوقع نتائج جديدة. يمكن استخدام IBM4 على سبيل المثال في تفسير قيمة التشطر (S=0, T=1) - (S=1, T=0) في الحالات المقيسة، و في توقُّع قيمة هذا التشطر حيث لا تتوفر معلومات تجريبية دقيقة. تجدر الإشارة هنا إلى أنه تمَّ في المرجع [12] إجراء محاولة أولى لاستخدام IBM4 في تحليل النوى الفريدة exotic ذات $N \approx Z$ في الفضاء $pf_{5/2}g_{9/2}$ حيث تمَّ بناء المطابقة على استخدام خواص تناظرية فرميونية تقريبية، ثُبت أنها صالحة لوصف النوى ذات الكتلة $A \approx 60$ و$N \approx Z$.

REFRENCES المراجع

[1] A. Arima and F. Iachello: Phys. Rev. Lett. 35 (1975) 1069.

[2] A. Arima, T. Otsuka, F. Iachello, and I. Talmi: Phys. Lett. B, 66 (1977) 205.

[3] J. P. Elliott and J. A. Evans: Phys. Lett. B101 (1981) 216.

[4] F. Iachello and I. Talmi: Rev. Mod. Phys. 59 (1987) 339.

[5] A. Arima and F. Iachello: Phys. Rev. Lett. 40 (1978) 385.

[6] J. P. Elliott: Group Theory and the Nuclear Shell Model, Escuela Latino Americana de Fisica, Universidad de Mexico, 2 July - 10 August 1962, Mexico.

[7] J. P. Elliott and A. P. White: Phys. Lett. B, 97 (1980) 169.

[8] G. Racah: Phys. Rev. 63 (1943) 347.

[9] I. Talmi: Simple Models of Complex Nuclei, The Shell Model and Interacting Boson Model, Contemporary Concepts in Physics, Vol. 7 (Harwood Academic Publishers), 1993.

[10] J. A. Evans, G. G. Dussel, E. E. Maqueda, and R. P. J. Perazze: Nucl. Phys. A, 367 (1981) 77.

[11] B. Wybourne: Symmetry Principles and Atomic Spectroscopy (Wiley, NY, 1970).

[12] O. Juillet, P. Van Isacker, and D. D. Warner: Phys. Rev. C, 63 (2001) 054312.

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

محاكاة التنمية اللامتناحية للبلورات بالاعتماد على الطريقة الخلوية*

د. محسن شحود

قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية السورية

د. فيهلي - هـ - هـ. فيهمان - أ. شلاخيتسكي

معهد تقنيات أنصاف النواقل، جامعة كارولو - فيلهلمينا في براونشفايغ، ألمانيا

ملخص

لقد تمَّ استعمال طريقة خلوية لمحاكاة النمو اللامتناحي للبلّورات، وهي طريقة تمَّ تطويرها أصلاً لمحاكاة التنميش اللامتناحي. تتم الاستفادة في هذه الطريقة من التكافؤ بين الانحلال و النمو للبلّورات. ومن أجل الحصول على سرعات النمو لمادتي InGaAs و InP فقد أجريت تجارب تمّت فيها تنمية هاتين المادتين تنمية معدنية عضوية من الطور الغازي على ركازات من InP تحتوي سطوحها على حفر عميقة جداً على شكل حرف V تحدّها المستويات البلّورية A{111} . أجريت مقارنات كمية بين نتائج المحاكاة و النتائج التجريبية لمعرفة جودة الطريقة المستعملة في المحاكاة. إضافة إلى ذلك فقد تم إظهار الإمكانيات الواسعة للطريقة بواسطة التنمية الانتقائية السطحية.

الكلمات المفتاحية

المحاكاة، الطريقة الخلوية، التنضيد المعدني العضوي من الطور الغازي، التنمية السطحية الانتقائية، ركازة منمذجة.

مقدمة

تلعب التنمية على ركازات منمذجة أو مُقنّعة جزئياً دوراً كبيراً في تصنيع نبائط من المواد نصف الناقلة مثل ليزرات الأسلاك الكمومية وأدلة الموجة [1-3]. تتعلق نتيجة عملية المحاكاة بعدة عوامل مثل طريقة التنمية و ظروفها ومدتها وبنية البلّورة وشكل السطح. لهذا السبب فإن التنبؤ بنتيجة التنمية قد يكون أحياناً صعباً جداً، ولذلك فإن طريقة موثوقة للمحاكاة سوف تؤدي إلى تقليل العمل التقني في تصنيع بُنى جديدة. في العديد من الأبحاث تمت دراسة سلوك النمو لبلّورات أنصاف النواقل التي أساسها InP على ركازات مسطحة مقنّعة جزئياً أو منمذجة [3-10]. وقد أظهرت هذه الدراسات وجود عاملين أساسيين يتعلقان بسرعة النمو:

- اتجاه السطح البلّوري أو بمعنى آخر اللاتناحي بالنسبة لسرعات النمو.
- ظاهرة الانتشار في الطور الغازي أو على سطح البلّورة.

إن وسطاء التنمية، التي هي بشكل أساسي درجة الحرارة والضغط، تحدّد أيَّ العاملين السابقين يسيطر على عملية التنمية [9-10].

إنَّ التأثير المتبادل بين الجزيئات النامية والسطح في التنمية من الطور الغازي بالقرب من حالة التوازن يلعب دوراً مهماً. لهذا السبب فإن سرعة النمو تتأثر بالعيوب البلّورية وتوجه الدرجات التي تشكل السطح. وعلى العكس من ذلك تتم التنمية بواسطة التنضيد بالحزمة الجزيئية بعيدة عن حالة التوازن مما يؤدي إلى تقلص كبير في دور السطح. وعوضاً عن ذلك فإن الانتشار السطحي يلعب دوراً مهماً جداً بالإنماء [11] . بالإضافة إلى ذلك كله فإن هناك عوامل أخرى قد تؤدي إلى عدم الاستقرار في عملية النمو مثل عدم التوافق بين الثوابت البلّورية للركازة و المادة النامية، مما يؤدي إلى خشونة في سطح المادة النامية و نمو على شكل جزر، وهذا يعني انخفاضاً في جودة المادة خصوصاً للنبائط المكونة من أفلام كمومية. على أي حال لا توجد حتى الآن طريقة محاكاة تغطي كافة النقاط المتعلقة بموضوع تنمية البلّورات [12].

- بالمقياس الذرّي، هناك نوعان مختلفان من طرائق المحاكاة. الطريقة الأولى تحليلية والثانية حركية تستعمل فيها احتمالات مونتي كارلو. وتدخل في كلتا الطريقتين ظواهر الانتشار. الطريقة التحليلية تستعمل معادلات متجانسة لسرعة النمو و معادلات مستمرة للحركة. وقد استعملت هذه الطريقة بشكل رئيس للقيام بتحليل الاستقرار [13] و التعرف على نظم مقاربة [14] بسبب الازدياد السريع في عدد البارامترات المطلوبة. أما طريقة مونتي كارلو فتطبّق على المستوي الذرّي سواء من حيث الأبعاد أو من حيث الزمن. لذلك يقتصر استعمالها على مناطق صغيرة جداً

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Journal of Crystal Growth 220 (2000) 471-479

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

من الشكل الكلي [15] . طريقة ضبط المستوي تعتبر جمعاً بين الطريقتين السابقتين. فمن ناحية تُعامَل البلّورة على أنها متقطعة في اتجاه النمو ومن ناحية أخرى تعتبر متواصلة في الاتجاهات المتعامدة عليه. الميزة الإيجابية لهذه الطريقة هي الأبعاد العرضية الاختيارية [12]. إلا أن هذه الطريقة غير عملية للنمو السطحي الانتقائي لمواد أنصاف النواقل III/V بسبب استبعاد التعليق العلوي و القص السفلي [4].

- يفضل استعمال طرائق المحاكاة الهندسية المتعلقة بالبُنى الجهرية للحصول على حركة السطوح البلّورية خلال النمو [16] . هذه الطرائق قد تتضمن أيضاً حركة الذرات على سطح المادة [17] . في حالة البُنى الثلاثية الأبعاد تزداد المسألة تعقيداً بسبب المستويات الكثيرة التي تظهر و التقاطعات فيما بينها. إلا أن المشكلة الأكبر هي كيفية معالجة نقاط السرج حيث تلتقي حواف محدبة و أخرى مقعرة معاً. لقد تمَّ حل هذه المشكلة المتعلّقة بالانحلال فقط [18] . كما أن مراعاة حالات الانتشار بشكل ثلاثي الأبعاد تعتبر أيضاً أمراً معقداً جداً. لذلك لم تعالج حتى الآن إلا حالات ثنائية الأبعاد [19,17].

في هذا البحث نقوم بالتركيز على الحالة الجهرية الثلاثية الأبعاد مستفيدين في ذلك من التكافؤ بين حت البلّورات و نموها [21,20] من أجل تطوير طريقة لمحاكاة عملية التنمية اللامتناحية ذات الأهمية الكبيرة للركازات المنمذجة و الركازات المقنّعة جزئياً. في هذه الطريقة تتم الاستفادة من محاكاة الحتّ اللامتناحي بواسطة نموذج خلوي تحديدي [23,22] يقوم بمحاكاة حركة الأوجه البلّورية وظهورها أو اختفائها خلال عملية التنميش لنظام اختياري ثلاثي الأبعاد. التقييد الوحيد هو إهمال الانتشار السطحي للذرات لأن الظواهر الذرية تؤخذ عموماً بعين الاعتبار من خلال سرعات التنمية اللامتناحية. ويمكن إهمال الانتشار إذا كان أحد الشروط التالية على الأقل محققاً: (1) تنمية بالقرب من حالة التوازن، (2) درجات حرارة منخفضة، (3) شكل فولفي كامل الأوجه، (4) عدم تلاؤم شبكي مهمل، (5) أشكال كبيرة الأبعاد مقارنة بأطوال الانتشار السطحي. المعطيات التجريبية المطلوبة من أجل المحاكاة هي سرعات النمو العظمى و الصغرى في مخطط سرعات النمو الذي يمثل العلاقة بين سرعة النمو و الاتجاه البلوري. الأوجه ذات السرعات الصغرى والأخرى ذات السرعات العظمى تحدد الشكل النهائي للأشكال المحدبة والمقعرة على التتالي [20].

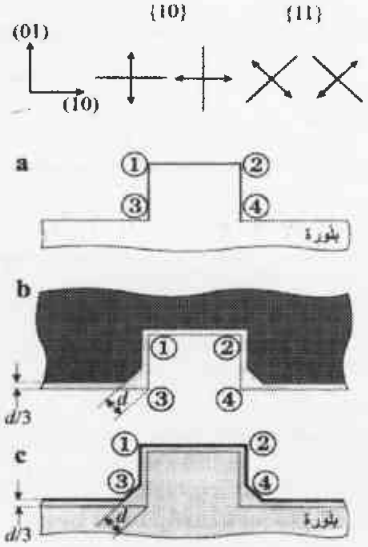
تم إجراء مقارنات كمية بين نتائج المحاكاة و نتائج تجريبية من أجل الحكم على طريقة المحاكاة. وقد تمَّ أيضاً إظهار إمكانية استعمال الطريقة لمحاكاة التنمية السطحية الانتقائية.

نموذج المحاكاة

هناك تكافؤ بين تنميش البُنى المقعرة و تنمية البُنى المحدبة، كما أن هناك تكافؤاً بين تنميش البُنى المحدبة وتنمية البُنى المقعرة [23,20]. لهذا السبب نقوم باستعمال طريقة المحاكاة للحت اللامتناحي التي تم تطويرها في [23,22] لمحاكاة النمو اللامتناحي و ذلك بعد قلب البُنى التي سوف تتم عملية التنمية عليها. تعتمد طريقة محاكاة التنميش على نموذج خلوي تحديدي [23,22]. وفيما يلي أهم بنوده:

1 - يتم تمثيل البلّورة من خلال خلايا متوضعة في شبكة تكعيبية بدائية.
2 - تتم عملية المحاكاة في خطوات متتابعة.
3 - في كل خطوة تنميش يتم فحص الخلايا المنتمية إلى السطح فيما إذا كانت تنتمي إلى مستويات بلّورية معينة.
4 - تنتمي خلية ما إلى مستوٍ بلّوري إذا كانت جميع الخلايا المجاورة لها في هذا المستوي موجودة.
5 - تبعاً لسرعات التنميش الذي يتم تكون الخلية التي هي قيد الفحص منيعة ضد التنميش أو غير منيعة.
6 - إذا كانت الخلية غير منيعة تتم إزالتها.
7 - المستويات ذات السرعات الأكبر تتم معالجتها مرات أكثر.؟

سوف نقوم بشرح الطريقة على المثال الثنائي الأبعاد المبين في الشكل (1) .



الشكل 1 — رسم توضيحي لخوارزمية المحاكاة. (a) . الشكل الأصلي للبلورة. (b) . الشكل المقلوب بهدف التنميش . (c) . الشكل بعد إعادة القلب يظهر النتيجة النهائية للتنمية (الخط العريض).

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

هذا الشكل يحتوي على زوايا محدبة (1، 2) و أخرى مقعرة (3، 4). من أجل التسهيل سوف نراعي فقط المستويات {10} و{11} . تمَّ الاستغناء عن الرمز الملّري الثالث لأننا نعالج مسألة ثنائية الأبعاد. في هذا المثال نفترض أن سرعة نمو المستوي {10} تبلغ d/3، في حين تبلغ سرعة نمو المستوي {11} القيمة d . في البداية نقوم بقلب الشكل 1a حيث يصبح اللون الأبيض قاتماً وبالعكس. نؤكد هنا مرة أخرى أن عملية القلب هذه خطوة هندسية فقط حتى نتمكن من تطبيق خوارزميات التنميش التي تمَّ فحصها بنجاح. في هذا المثال نقوم باستبدال تنمية بُنى محدبة تسود فيها المستويات الأبطأ بتنميش بُنى مقعرة حيث تسود أيضاً المستويات الأبطأ. ونقوم أيضاً في هذا المثال باستبدال تنمية بُنى مقعرة تسود فيها المستويات الأسرع بتنميش بُنى محدبة حيث تسود أيضاً المستويات الأسرع.

نحصل بعد عملية القلب على الشكل 1b، حيث أصبحت الزوايا المحدبة مقعرة 1 و 2 والمقعرة محدبة 3 و 4 . وبسبب التكافؤ بين التنميش والتنمية الذي تمَّ ذكره سابقاً يجب الآن القيام بعملية التنميش بالسرعات d/3 للمستوي {10} و d للمستوي {11}.

بعد تنميش البنية في الشكل 1b يكون المستوي {10} قد تحرك نسبياً لمسافة قصيرة، أما المستوي [11] فيكون قد تحرك بالمقدار d بعد واحدة من واحدات الزمن. عند الزوايا المقعرة1 و 2 تسود المستويات الأبطأ [21,20] أي {10} ، لهذا السبب يبقى شكلها دون تغيير. وعند الزوايا المحدبة (3، 4) تسود المستويات الأسرع[011] التي تحدد الشكل النهائي. هكذا يتم تنميش الأجزاء المظللة بشكل خفيف. في الشكل 1c يتم قلب الشكل الذي تم حته من جديد فنحصل بذلك على النتيجة النهائية لعملية التنمية و قد تم تعليمها بالخط الأسود العريض. تتم عملية المحاكاة للأشكال ثلاثية الأبعاد بالطريقة نفسها.

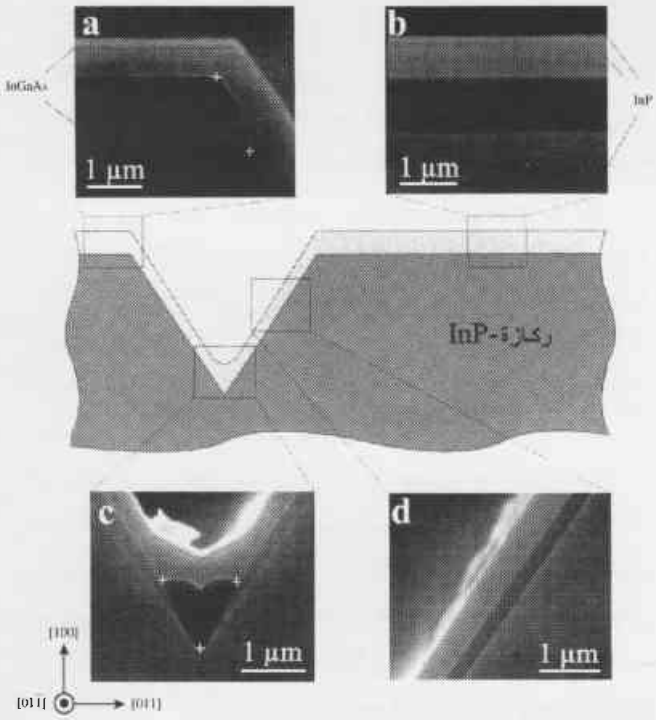
إن الانتقال من الحالة الثنائية الأبعاد إلى الحالة الثلاثية الأبعاد لا يستلزم عبئاً إضافياً كبيراً بسبب الاعتماد على الطريقة الخلوية. أما في حال استخدام طرائق هندسية للمحاكاة فإن الوضع يختلف عن ذلك كلياً حيث إنه من الضروري ملاحقة حركة كل مستوٍ موجود و كل مستوٍ جديد يظهر و تقاطعات تلك المستويات. إضافة إلى ذلك فإن المعالجة التحديدية المحضة و إهمال الانتشار السطحي يقود إلى تقليل كبير في عدد الخلايا التي يتم التعامل معها بعكس طرائق مونتي كارلو حيث إن عدداً كبيراً جداً من الجزيئات يعتبر ضرورياً من أجل الحصول على نتائج إحصائية مقبولة.

التجارب

من أجل التحقق من جودة طريقة المحاكاة، فقد تمَّ تجريبياً قياس سرعات النمو للمواد InGaAs وInP في الاتجاهات <111> و <100> .

قمنا باستعمال ركازات من InP ذات الاتجاه (100) شبه عازلة. كان سطح هذه الركازات يحتوي على حفر بشكل حرف V تمَّ الحصول عليها بواسطة التنميش عبر قناع من التيتانيوم. و قد تمَّ إجراء عملية التنميش على مرحلتين من أجل الحصول على سطوح جانبية ناعمة جداً [24]. كان عرض تلك الحفر و المسافات بينها متدرجاً بين 5 و200 مكرومتر. تمَّ في المرحلة الأولى من التنميش استعمال حمض البروم HBr المركز بنسبة 47% و ذلك لمدة 10 دقائق. أما المرحلة الثانية فقد استعمل فيها المحلول $HBr:K_2Cr_2O_7$ (3:1) و ذلك لمدة 5 ثوان و كانت تهدف هذه المرحلة إلى جعل المستويات A{111} ناعمة و بالتالي ملائمة لعملية التنمية اللاحقة. تمَّ إجراء عملية التنمية من الطور الغازي باستعمال مصادر معدنية عضوية و في درجة حرارة 600°C و تحت ضغط كلي قدره 100 hPa

تمت تنمية الطبقات التالية بعضها فوق بعض : 5nm طبقة InP صادة، 1μm من InGaAs المتلائم شبكياً مع InP، 0.5 μm من InP، 0.1 μm من InGaAs، 0.1μm من InP . لقد اخترنا شروط التنمية بحيث نحصل على التركيب $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ و الذي نرمز إليه بـ InGaAs .



الشكل 2 — صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح في مواقع مختلفة لمقطع من العينة التي تمّت تنميتها.

هنا يجب أن ننوّه إلى أن السماكات المذكورة و تركيبات المادة الثلاثية هي معطيات اسمية تم الحصول عليها على ركازات مسطحة من InP(100) . أما السماكات الحقيقية التي تتعلق بالاتجاه فقد تمَّ الحصول عليها بواسطة قياسات بالمجهر الإلكتروني الماسح تمت على

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

مقطع متعامد مع الحفر ذات الشكل V كما هو مبين في القسم المركزي من الشكل 2 . التباين بين ألوان المواد هو نتيجة لعملية تنميش انتقائي لمادة InGaAs لمدة دقيقة واحدة في محلول من حمض الليمون وH_2O_2 بنسبة (7:1) [25] .

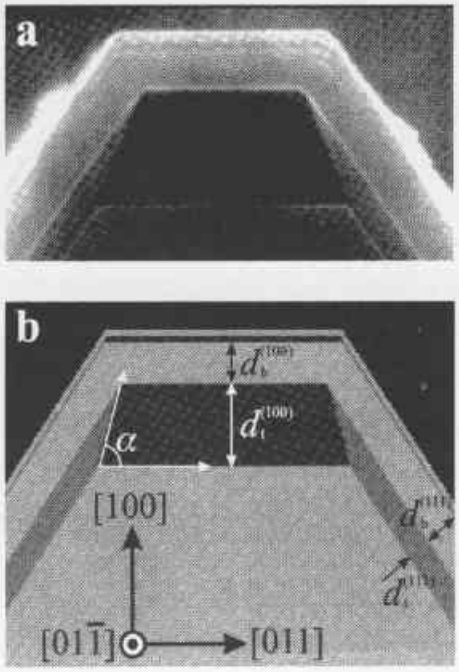
إن صور المجهر الإلكتروني الماسح في الشكل 2a-d هي صور لأكثر المناطق أهمية من المقطع الذي تمّ فحصه. وقد تمّ قياس سرعات نمو المستويات {100} و A{111} في منتصف المرتفعات التي عرضها 200µm (الشكل2b) و في منتصف المستويات A{111} المكونة للحفر التي عرضها 100 µm (الشكل 2d). في هذه المناطق يكون الانتشار السطحي من المستويات المجاورة ضعيفاً جداً لأن تلك المستويات البعيدة جداً تظهر مستويات من النوع A{311} عند ذروة الحفر V . تتأثر سرعة نمو هذه المستويات تأثراً كبيراً بالانتشار السطحي من المستويات A{111} المجاورة بسبب صغرها. يبين الجدول رقم 1 سرعات النمو للمستويات المذكورة حتى الآن.

نلاحظ في الشكلين 2a و 2c خطاً مستقيماً بين الحواف السفلى لطبقة InP الصادة (الأولى) و الحواف العليا لطبقة InP الثانية حيث تفصل هذه الخطوط بين منطقتين متباينتين من حيث الشدة (اللون). من أجل الإيضاح قمنا بتعليم البداية و النهاية لتلك الخطوط بإشارة +. هذه الخطوط هي الطريق الذي تسلكه الحواف خلال حركتها أثناء عملية النمو و هي تفصل بين الأوجه (100) و A{111} . إن سرعة حتّ المحلول الانتقائي المستعمل حساسة لتركيب الطبقة InGaAs [26] . لهذا السبب فإن الاختلاف في لون المنطقتين المذكورتين سابقاً يعود إلى اختلافهما فيما يتعلق بمحتواهما من مادة Ga . هذا يتوافق مع نتائج تجريبية أجريت على ركازات ذات اتجاهات مختلفة [27] وعلى شكل مشابه للذي قمنا باستعماله [28] .

النتائج

قمنا بإجراء عملية المحاكاة مستخدمين السرعات التي تمّ تحديدها تجريبياً والمبيّنة في الجدول رقم 1. في الشكل رقم 3 يمكن مقارنة النتائج التجريبية (القسم a) بنتائج المحاكاة (القسم b) و ذلك لمقطع يتضمن الطبقات نفسها الموجودة في الشكل 2. لقد استغرقت عملية المحاكاة على حاسب بنتيوم سرعته 120MHz حوالي ثلاث دقائق. و كانت أبعاد الخلية $(20\ nm)^2$.

وقد تمّ استعمال تظاليل مختلفة للتمييز بين المواد المختلفة والتراكيب المختلفة. فظلّلت مادة InP بلون رمادي فاتح. أما مادة InGaAs النامية على السطح (100) فقد ظلّلت بلون رمادي غامق. في حين ظلّلت مادة InGaAs النامية على السطوح A{111} بلون رمادي متوسط. يتضمن الجدول رقم 2 سماكة الطبقتين InP و InGaAs وأكثرهما سماكة التي تمّ الحصول عليها في كلا الاتجاهين و ذلك تجريبياً و في المحاكاة. إضافة إلى ذلك تمّ إعطاء الزاوية α بين الاتجاه [011] والخطوط الفاصلة بين مناطق InGaAs مختلفة التركيب. ما عدا سماكة طبقة InGaAs (100) نلاحظ توافقاً جيداً بين نتائج المحاكاة و النتائج التجريبية بما في ذلك الخطوط الفاصلة بين مناطق InGaAs التي تمت محاكاتها لأول مرة.



الشكل 3 — النتائج التجريبية (a) و نتائج المحاكاة (b) لشكل تمّت تنميته. يظهر في القسم (a) صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للمقطع $(01\bar{1})$ بعد أن تمّ تنميشه.

الجدول 1 - سرعات النمو لكل من InGaAs وInP كما تم تحديدها من الشكل 2 .

سرعة النمو	{100} المستوي	{111}A المستوي	{311}A المستوي
InGaAs (µm/h)	2 ± 0.1	0.66 ± 0.1	1.6 ± 0.2
InP (µm/h)	1.06 ± 0.04	0.94 ± 0.08	1.12 ± 0.14

إن أكبر احتمال في سبب عدم الدقة في سماكة الطبقة (100) هو الانتشار الجانبي من المستويات A{111} . سبب عملية الانتشار هذه هو سرعات النمو الضئيلة للمستويات A{111}، و بالتالي ارتفاع تركيز الجزيئات النامية المتحركة عليها. إن مقدار عدم الدقة العائد إلى عملية الانتشار هذه يتعلق تعلّقاً كبيراً بالشكل الهندسي لسطح الركازة و يعتبر صغيراً جداً إلى درجة الإهمال بالنسبة للحفر V الضيقة [29]. لا نلاحظ هذه الظاهرة فيما يتعلق بمادة InP لأن اللاتناحي في سرعات النمو تحت الشروط المطبقة هو أقل بكثير منها لمادة InGaAs (الجدول1). وكما هو الحال المتعلق بمحاكاة التنميش لم نقم بمراعاة الانتشار في طريقتنا التحديدية المحضة.

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

التوسع في النموذج

يمكن تطبيق النموذج لمحاكاة التنمية السطحية الانتقائية بشكل سهل. الشكل 4 يظهر هذه الإمكانية لمجموعة افتراضية من سرعات النمو. يظهر القسم a نمو شبكة ماسية (مثل Si) عبر نافذة مربعة مساحتها $(90\mu m)^2$. القناع (الخط الأبيض) يوازي الاتجاه [010]. وسرعات النمو تم افتراضها على أنها توافق سرعات تنميش السليسيوم في محلول KOH - إيزوبروبانول [30] . تعكس نتيجة المحاكاة التناظر الرباعي للشبكة الماسية. يظهر الشكل 4b نتيجة المحاكاة لشبكة زنكبلندية و ذلك باستعمال القناع نفسه.

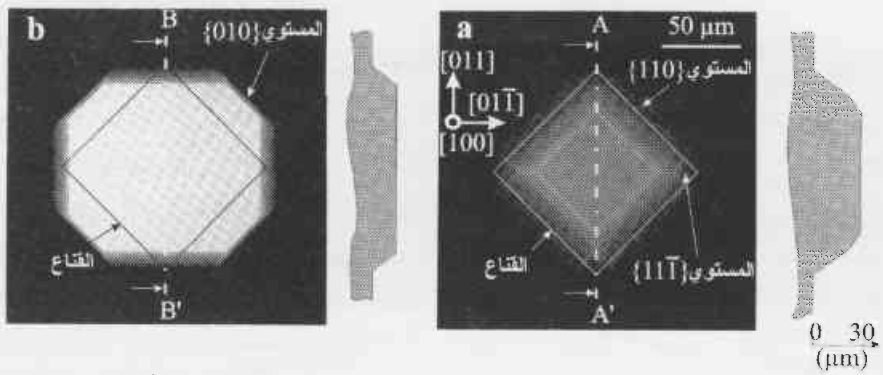
أما سرعات النمو فتمَّ افتراضها على أنها توافق سرعات تنميش InP في HBr المعطاة في [22] .تظهر النتيجة بوضوح أن التناظر هنا أقل من قسم الصورة الأعلى بسبب سرعات النمو المختلفة في الاتجاهين [011] و [01$\bar{1}$]. على الرغم من عدم وجود براهين تجريبية فإن الشكل 4 يظهر قابلية تطبيق الطريقة بشكل ثلاثي الأبعاد و لأنواع مختلفة من البلّورات. من أجل القيام بمقارنة كمية بين النتائج التجريبية و نتائج المحاكاة نقتصر من جديد على بُنى ثنائية الأبعاد. الشكل 5a يظهر صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح للمقطع (01$\bar{1}$) منها عملية تنمية سطحية انتقائية لمجموعة من الطبقات المتتالية غير المتلائمة من حيث الثابت البلّوري. في القسم b نشاهد نتيجة المحاكاة. وقد أجريت عملية التنمية السطحية الانتقائية هذه بدون قناع إجراءً مشابهاً لما ورد في [31] على طبقة من InGaAs سماكتها 1.5μm مغطاة بطبقة رقيقة من InP سماكتها 40nm . أما الركازة المستخدمة فكانت Si (100) .

تمَّ تنميش الطبقة المزدوجة جزئياً حتى سطح الركازة مستخدمين في ذلك القناع نفسه الموصوف سابقاً. هكذا تلعب المناطق التي لم يتم تنميشها دور النواة لعملية التنمية الانتقائية اللاحقة التي تمت بدرجة حرارة 640°C و تحت ضغط قدره 20hPa . وقد تمَّ استعمال جهاز MOVPE في عملية التنمية. في عملية التنمية الثانية هذه تم إنماء الطبقات التالية: InP (1.9 μm)، فلم كمومي متعدد InP-InGaAs (20 دورة كل منها 7nm InP/7 nm InGaAs) ، InP (1.2μm) ، InGaAsP (0.2 μm)، InP (0.9 μm). جميع السماكات المذكورة هي سماكات اسمية بمعنى أننا ننتظر الحصول على هذه السماكات على سطح InP (100) مستوٍ. قمنا باستعمال محلول تنميش انتقائي للمواد هو$H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$ (5:1:1) لمدة عشرين ثانية من أجل تنميش المقطع و توضيح الطبقات المتتالية.

في عملية المحاكاة تم استعمال سرعات النمو المعطاة في [4] للمواد InP و InGaAs على السطح {100}. سرعة نمو الطبقة InGaAsP تم تحديدها من خلال عملية نمو متزامن على ركازة مسطحة من InP و قد بلغت 1.9μm/h. لا توجد معلومات عن سرعات النمو المتعلقة بالمستويات A{111} و B{111} تحت الشروط المطبقة في عملية النمو. إذا افترضنا أن النسبة بين سرعة النمو على المستوي A{111} والمستوي {100} ثابتة،حتى لو غيرنا درجة الحرارة [32] فإن بإمكاننا حساب سرعة النمو على المستوي A{111} مستخدمين النسبة المأخوذة من الجدول 1 و السرعة المعطاة في [4] للمستوي {100}. بطريقة مشابهة نحصل على سرعة النمو للمستوي B{111}. و لكن هنا تم أخذ النسبة بين سرعتي المستويين {111} من [4] حيث تمّت هناك دراسة بُنى صغيرة الأبعاد و بالتالي كانت تأثيرات الانتشار كبيرة.

الجدول 2 ــ مقارنة كمية بين التجربة و المحاكاة لسماكة الطبقتين الأوليتين (الرمز b يشير إلى الطبقة الثنائية و الرمز t يشير إلى الطبقة الثلاثية) و للزاوية α من الشكل 3 .

	$d_b^{(1\,0\,0)}$ (μm)	$d_t^{(1\,0\,0)}$ (μm)	$d_b^{(1\,1\,1)}$ (μm)	$d_t^{(1\,1\,1)}$ (μm)	α (°)
تجربة	0.51 ± 0.09	1.43 ± 0.12	0.49 ± 0.1	0.39 ± 0.08	69
محاكاة	0.5	1	0.45	0.33	75



الشكل 4 ــ محاكاة ثلاثية الأبعاد للتنمية السطحية الانتقائية عبر نافذة مربعة بسرعات نمو افتراضية. (a) بلّورة ذات بنية ماسية (b) بلّورة ذات بنية زنكبلندية . الشكلان على الطرف الأيمن يمثلان المقطعين AA' و BB' على التوالي.

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

تظهر في الشكل5 نتيجة المحاكاة مع التجربة. في كلتا الصورتين يمكن مشاهدة المستويات A{111} و B{111} كما أن التوافق الكيفي جيد. وفي الجدول 3 قمنا بإجراء مقارنة كمية بين السماكات التي تمَّ الحصول عليها بالمحاكاة في ثلاثة مواضع تمَّ تعليمها في القسم b مع السماكات التي تمَّ الحصول عليها تجريبياً. كما تمَّ إجراء مقارنة بين القيم التي تمَّ الحصول عليها تجريبياً و بالمحاكاة للزاويتين α و β المشار إليهما في القسم a. نلاحظ توافقاً ممتازاً للزاويتين α و β. أما ما يتعلق بالسماكات فإن القيم التجريبية هي تقريباً ضعف قيم المحاكاة. يعود هذا الاختلاف إلى عملية الانتثار من سطح السليكون المجاور حيث لا تتم عملية النمو في الشروط المطبقة.

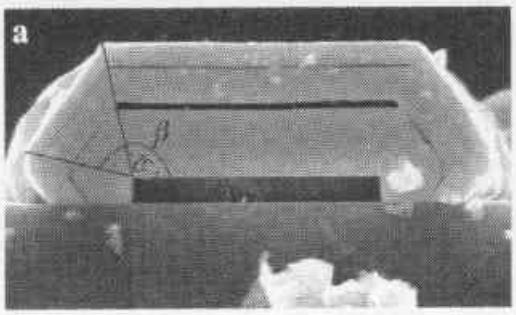
الخلاصة

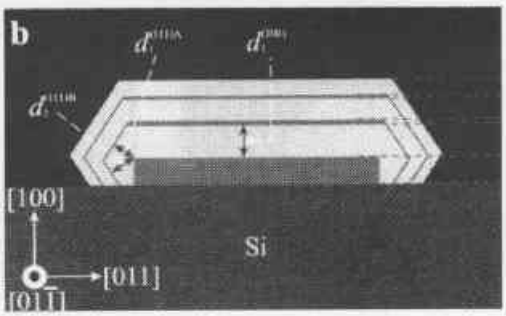
تم تطوير طريقة لمحاكاة التنمية اللامتناحية الثلاثية الأبعاد بالاعتماد على نموذج خلوي تحديدي لمحاكاة التنميش. هذه الطريقة يمكن تطبيقها عند القيام بعملية التنمية على سطوح مشكلة أو حين تكون التنمية انتقائية سطحية. تسمح الطريقة التحديدية بمحاكاة فعَّالة حتى لو كانت الفوارق بين سرعات النمو ضئيلة. أظهرت مقارنة كمية بين نتائج تجريبية و أخرى للمحاكاة أن عملية النمو اللامتناحي قد تمت محاكاتها بنجاح. أمكن من خلال المحاكاة، ولأول مرة، الحصول على الخطوط الفاصلة بين المناطق InGaAs المختلفة في التركيب بسبب النمو على سطوح بلورية مختلفة. ظهرت فوارق بين نتائج المحاكاة و التجربة بسبب ظاهرة الانتثار.

الجدول 3 ــ مقارنة كمية بين المحاكاة و التجربة للشكل 5 .

	α (°)	β (°)	$d_1^{(1\,0\,0)}$ (μm)	$d_1^{(1\,1\,1)A}$ (μm)	$d_1^{(1\,1\,1)B}$ (μm)
تجربة	103.1 ± 4	167.2 ± 2	4.1 ± 0.2	3.2 ± 0.15	2.88 ± 0.2
محاكاة	100.2	177.1	1.88	1.4	1.58
d_{exp}/d_{sim}.	—	—	2.18	2.3	1.8

الشكل 5 ــ النتائج التجريبية (a) و نتائج المحاكاة (b) لعملية تنمية انتقائية سطحية ثنائية الأبعاد.





REFERENCES المراجع:

[1] S. Tsukamoto, Y. Nagamune, M. Nishioka, Y. Arakawa, J. Appl. Phys. 71 (1992) 533.

[2] M.L. Osowski, R. Panepucci, D.A. Turnbull, S.Q. Gu, A.M. Jones, S.G. Bishop, I. Adesida, J.J. Coleman, Appl. Phys. Lett. 68 (1996) 1087.

[3] M. Kappelt, M. Grundmann, A. Krost, V. Turck, D. Bimberg, Appl. Phys. Lett. 68 (1996) 3596.

[4] G. Zwinge, H.-H Wehmann, A. Schlachetzki, C.C. Hsu, J. Appl. Phys. 74 (1993) 5516.

[5] T. Fujii, M. Ekawa, S. Yamazaki, J. Crystal Growth 156 (1995) 59.

[6] T. Fujii, M. Ekawa, S. Yamazaki, J. Crystal Growth 146 (1995) 475.

[7] M.J. Anders, M.M.G. Bongers, P.L. Bastos, L.J. Giling, J. Crystal Growth 154 (1995) 240.

[8] K. Nakai, T. Sanada, S. Yamakoshi, J. Crystal Growth 93 (1988) 248.

[9] T. Fujii, M. Ekawa, J. Appl. Phys. 78 (1995) 5373.

[10] D.H. Reep, S.K. Ghandhi, J. Electrochem. Soc. 130 (1983) 675.

[11] J. van Wingerden, R.H. van Aken, Y.A. Wiechers, P.M.L.O. Scholte, F. Tuinstra, Phys. Rev. B 57 (1998) 7252.

[12] M.F. Gyure, C. Ratsch, B. Merriman, R.E. Caflisch, S. Osher, J.J. Zinck, D.D. Vvedensky, Phys. Rev. E 58 (1998) R6927.

[13] L. Golubovic, Phys. Rev. Lett. 78 (1997) 90.

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

[14] T. Sun, M. Plischke, Phys. Rev. E 50 (1994) 3370.

[15] H. Huang, G.H. Gilmer, T. Diaz de la Rubia, J. Appl. Phys. 84 (1998) 3636.

[16] A. Bakin, G. Zwinge, R. Klockenbrink, H.-H. Wehmann,

A. Schlachetzki, J. Appl. Phys. 76 (1994) 4906.

[17] M. Ohtsuka, A. Suzuki, J. Appl. Phys. 73 (1993) 7358.

[18] C.H. Sequin, Sensors and Actuators A 34 (1992) 225.

[19] W.C. Carter, A.R. Roosen, J.W. Cahn, J.E. Taylor, Acta Metall. Mater. 43 (1995) 4309.

[20] R. Lacmann, W. Franke, R. Heimann, J. Crystal Growth 26 (1974) 107.

[21] B.M. Batterman, J. Appl. Phys. 28 (1957) 1236.

[22] M. Chahoud, H.-H. Wehmann, A. Schlachetzki, Sensors and Actuators A 63 (1997) 141.

[23] M. Chahoud, H.-H. Wehmann, A. Schlachetzki, Sensors and Actuators A 69 (1998) 251.

[24] P. Bonsch, D. Wulliner, T. Schrimpf, A. Schlachetzki, R. Lacmann. J. Electrochem. Soc. 145 (1998) 1273.

[25] D. Wullner, A. Schlachetzki, P. Bonsch. F1-H.-H Wehmann, T. Schrimpf, R. Lacmann, S. Kipp, Mater. Sci. Eng. B51 (1998) 178.

[26] G.C. DeSalvo, W.F. Tseng, J. Comas, J. Electrochem. Soc. 139 (1992) 831.

[27] O. Kayser, J. Crystal Growth 107 (1991) 989.

[28] M. Kappelt, V. Turck, O. Stier, D. Bimberg, H. Cerva, D. Stenkamp, P. Veit, T. Hempel, J. Christen, Proceedings of the European Workshop MOVPE VII, Berlin (June 811, 1997) paper E5.

[29] D. Wulner, M. Chahoud, T. Schrimpf, P. Bonsch, H.-H. Wehmann, A. Schlachetzki, J. Appl. Phys. 85 (1999) 249.

[30] I. Barycka, I. Zubel, Sensors and Actuators A 48 (1995) 229.

[31] G.-P. Tang, E. Peiner, H.-H. Wehmann, A. Lubnow, G. Zwinge, A. Schlachetzki, J. Hergeth, J. Appl. Phys. 72 (1992) 4366.

[32] G.K. Mayer, H.L. Offereins, H. Sandmaier, K. Kuhl, J. Electrochem. Soc. 137 (1990) 3947.

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

حساسية النبائط Si-JFET للضجيج بعد تشعيعها بأشعّة غاما*

د. جمال الدين عساف

قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تمَّ في هذه الورقة عرض نتائج قياسات الضجيج الإلكتروني لمضخم أولي حسّاس للشحنة يتكون بشكل أساسي من ترانزستور أثر الحقل بعد تعرضه لجرعة من أشعة غاما مقدارها 30 Mrad. كذلك تمَّ عرض أثر هذه الجرعة على الخواص الساكنة (DC) لهذا النوع من الترانزستورات. لقد بيّنت هذه الدراسة عدم تغير الخواص الساكنة بينما تبيّن وجود زيادة ملحوظة في مستوى الضجيج الذي تمَّ توصيفه بالوسيط (بالبارامتر) المُسمى الشحنة المكافئة للضجيج. كذلك تمَّت مقارنة النتائج العملية لقياسات الضجيج مع نماذج نظرية. تمَّت دراسة تأثير درجة الحرارة والزمن بعد التشعيع حيث جرت القياسات على نوعين من الترانزستورات المنحازة وغير المنحازة كهربائياً أثناء التشعيع.

الكلمات المفتاحية

ترانزستور أثر الحقل، الضجيج، شحنة مكافئة للضجيج، تأثير الإشعاع.

مقدمة

إن الترانزستور JFET المصنوع من السليكون هو عنصر أساسي وفعّال في مرحلة الدخل للإلكترونيات المرتبطة مع الكواشف النووية التي تمَّ تصميمها لتعمل في وسط يتواجد فيه الإشعاع بشكل كثيف مع أنّ هذا النوع من الترانزستورات يُعتبر مقاوماً للضجيج [2,1] إلا أنه تبيّن وجود زيادة في الضجيج الذاتي بعد تعرضه لمستوى معين من الإشعاع إما عند درجة حرارة الغرفة أو أدنى من ذلك. وعادةً يتم توصيف هذا الضجيج في إلكترونيات القراءة بالبارامتر المسمى الشحنة المكافئة للضجيج (ENC-Equivalent Noise Charge). تمَّ التركيز في هذه الورقة على تحليل منابع الضجيج وبيان مدى مساهمتها في كمية ENC الكلّية قبل التشعيع وبعده. يفيد هذا النوع من التحليل في معرفة تفاصيل كثيرة عن تأثير الإشعاع على الـ Si-JFET.

تفاصيل تجريبية

تمَّ في هذه الدراسة إجراء الاختبار على نوع واحد وتجاري من ترانزستور JFET وهو 2N 4861. في البداية تمَّ تعريض الترانزستورات لثلاث جرعات متتالية من أشعة غاما الصادرة عن المنبع Co^{60} وكانت كل جرعة تساوي 10 Mrad وبالتالي فإن الجرعة الكلّية كانت 30 Mrad. كانت تجري القياسات مباشرة بعد كل عملية تعرّض. تمّت القياسات الساكنة (DC) مباشرة على الترانزستور نفسه بواسطة راسم المنحنيات الخاص بذلك، بينما جرت القياسات الديناميكية (AC) بوضع الترانزستور كمرحلة أولى في دارة المضخم الأولي كما سنبين فيما بعد. ويجدر التنويه بأنه خلال عملية التشعيع تمَّ فصل الترانزستورات إلى مجموعتين: الأولى منحازة كهربائياً بتطبيق فولطية كهربائية عليها أثناء التشعيع والمجموعة الثانية تُركت كما هي بدون انحياز. كان الهدف من عملية الانحياز هذه هو محاكاة ظروف العمل الحقيقي للترانزستور أي وجود حقول كهربائية بين مختلف وصلاته.

الاختبارات الساكنة (DC tests)

يمكن القول بشكل عام إن ترانزستورات JFET المصنوعة من مادة السليكون هي مقاومة لتأثير أشعة غاما [3]. اختبارات DC التي جرت كانت عبارة عن قياس المنحنيات (I_{DS},V_{DS}) وقياس قيمة الناقلية التبادلية gm. بنتيجة مقارنة نتائج هذه القياسات قبل وبعد التشعيع تبين عدم وجود تغيّر ملحوظ في الخواص الساكنة، وهذا ما تمَّ تأكيده ثانية بالمقارنة بين إشارة خرج المضخم في الحالتين وتبين عدم وجود أي تغيّر ملحوظ ذلك أن الخواص الساكنة تحدد خواص الإشارة الأساسية.

توصيف الضجيج

منابع الضجيج في ترانزستورات JFET

يمكن تقسيم منابع الضجيج في هذه الحالة إلى مجموعتين منسوبتين إلى الدخل وهما: منبع توتر للضجيج تسلسلي e_n ومنبع تيار للضجيج تفرعي i_n. إن المنبع e_n نفسه يمكن أن يتشكّل من المنابع الجزئية التالية e_{n1} و e_{n2} و e_{n3}. طبيعة هذه المنابع سيتم تقديمها فيما يلي مع كثافات الاستطاعة الطيفية (spectral power densities) S_1 و S_2 و S_3 و S_4:

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Radiation Effects & Defects in Solids*, Vol. 00, pp. 1-10, 2002.

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

- المنبع e_{n1} وهو ناتج عن الضجيج الحراري في قناة الترانزستور JFET [4-1]:

$$S_1 = \frac{4KT\theta}{g_m}\left[Volt^2 / Hz\right] \qquad (1)$$

حيث K هو ثابت بولتزمان و T هي درجة الحرارة و θ معامل يساوي إلى 0.7 في حالة JFET.

المنبع e_{n2} وهو يتعلق بالضجيج 1/f. إنّ مساهمة هذا النوع من الضجيج قليلة في حالة ترانزستور JFET المُصمَّم بشكل جيد ولكن بشكل عام تتعلق قيمة هذا الضجيج بجودة صناعة الترانزستور [1-4]:

$$S_2(f) = \frac{A_f}{f} \qquad (2)$$

حيث A_f هو معامل يتعلق بالبارامترات DC وبأبعاد قناة وصلة الترانزستور [4].

المنبع e_{n3} وهو المنبع الأهم من منابع الضجيج في حالة الترانزستور JFET المشعع ، ويُعزى عادة إلى تغيرات في تيار مصرف الترانزستور (drain) الناجم بدوره عن عيوب نقطية في مادة السليكون المشكلة للترانزستور والتي تتصرف كمصائد (traps) لحاملات الشحنة الأغلبية. وباعتبار أن هذه الحاملات ستفلت من المصائد بعد فترة، لذلك فإن نوع الضجيج المرتبط معها يدعى ضجيج التوليد وإعادة الاتحاد (G – R, Generation- Recombination) والعملية السابقة تتعلق بدرجة الحرارة أيضاً وتُعطى كثافة الاستطاعة الطيفية لهذا الضجيج على شكل مجموع حدود لورنتز كما يلي [1-4]:

$$S_3(f) = \sum_{i=1}^{N} \frac{A_{Li}.\tau_{Li}}{1 + (2\pi f \tau_i)^2} \qquad (3)$$

حيث τ_{Li} هو الثابت الزمني لاصطياد الشحنة ويتعلق بطاقات التنشيط ويتناسب عكساً مع درجة الحرارة . A_{Li} هو ثابت يتعلق بالطبيعة الفيزيائية للمصائد، و N هو عدد الأنواع المختلفة من العيوب النقطية. بالعودة إلى المعادلة (3) نلاحظ أن كل حد منها يبقى ثابتاً حتى قيمة التواتر المميّز والمعرّف بالعلاقة $f_i = 1/2\pi\tau_{Li}$ وبعدها يهبط تدريجياً على شكل $1/f^2$ [2,1] .

المنبع i_n وينسب إلى الضجيج الطلقي (shot noise) لتيار تسريب بوابة الترانزستور Ig والضجيج الحراري الناجم عن مقاومة التغذية الراجعة R_f في دارة المضخم الأولي [5]:

$$S_4(f) = \frac{4KT}{R_f} + 2qI_g\left[Amp^2 / Hz\right] \qquad (4)$$

حيث q هي شحنة الإلكترون .

من أجل كل الأنواع السابقة للضجيج فإن i_n و e_{n1} يصنفان من نوع الضجيج الأبيض (أي لا يتعلقان بالتواتر) أما بقية الأنواع الأخرى فإنها تتعلق به.

الإجراءات التجريبية

سيتم توصيف الضجيج بواسطة البارامتر ENC، الذي يمكن تعريفه بشكل عام بأنه نسبة الضجيج إلى الإشارة عند خرج نظام ما عندما يطبق على دخله إشارة تحتوي وحدة الشحنة. عادة يطلق هذه الشحنة الكاشف النووي في حالات العمل الطبيعية أو تنتج عن مولد نبضات في حالة الاختبارات. يبين الشكل 1 مخطط النظام المُستَخدم لقياسات البارامتر ENC للنبيطة تحت الاختبار (DUT) التي هي في حالتنا الترانزستور JFET الموجود في مرحلة دخل مضخم الشحنة (preamplifier). في هذا المخطط فإن نبضة اختبارخارجية (بالفولط) بزمن صعود مساوٍ لـ 10 ns تمَّ تحويلها إلى نبضة شحنة بعد مرورها في السعة الكهربائية C_{inj}، وهذه النبضة الأخيرة تمَّ حقنها إلى مدخل المضخم الأولي، أما الإشارة الناتجة عند خرج هذا المضخم فقد تمَّ تضخيمها ثانية وتشكيلها بواسطة مضخم رئيسي آخر ومن ثم إرسالها إلى محلل متعدد القنوات (MCA). يتواجد ضمن المضخم الرئيسي دارات تشكيل وترشيح بثابت زمن τ له القيم التالية بالمكرو ثانية: 0.5، 1، 2، 3، 6 و10µs. أما السعة C_d المبيّنة على المخطط فهي السعة الكهربائية عند دخل المضخم الأولي وهي تمثل السعة الكهربائية للكاشف بشكل رئيسي بالإضافة إلى أي سعات شاردة عند الدخل. في حالتنا هذه تم افتراض أن الضجيج ناتج فقط عن DUT أما مولد النبضات وما يلي المضخم الأولي فقد اعتبرت مهملة الضجيج .

حسابات ENC

يتم الحصول على قيمة ENC لمنابع الضجيج تجريبياً من أجل كل قيمة لزمن التشكيل. وتكون ENC عملياً النسبة بين قيمة تغاير توزع مطالات الإشارة عن خرج المضخم الرئيسي (مقيسة عبر MCA) وبين عامل تضخيم النظام ، وهذا الأخير يمكن الحصول عليه كاستجابة المضخم لـ نبضة اختبار عند مدخله. بالنتيجة فإننا نحصل على منحنٍ بياني يمثل المقدار ENC كتابع لزمن التشكيل τ أي $ENC = f(\tau)$ إن المقدار ENC الكلّي يفترض أن يمثل المركبات الجزئية ENC_1 و ENC_2 و ENC_3 و ENC_4 المتعلقة بالكثافات الطيفية للضجيج S_1 وS_2 وS_3 وS_4 على التوالي. يمكن حساب كل مركّبة من هذه المركبات بعد الأخذ بعين الاعتبار كثافة الاستطاعة الطيفية وتابع التحويل الرياضي للدارة المدروسة [5,4] والذي هو تحديداً الجزء بين دخل المضخم الأولي وخرج المضخم الرئيسي (انظر الشكل1). وبالتالي فإن ENC الكليّة تتكون من الأربعة مركّبات المذكورة آنفاً والتي تُعطى بالعلاقة التالية :

$$ENC(\tau) = (ENC_1^2 + ENC_2^2 + ENC_3^2 + ENC_4^2)^{1/2}$$
$$= (A_1 S_1 C_\tau^2/\tau + A_2 S_2 C_\tau^2 + A_4 S_4 \tau)^{1/2} \qquad (5)$$

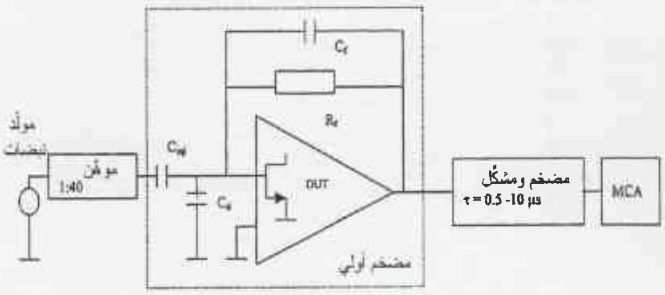
حيث $C_t = C_d + C_{inj} + C_f$ هي السعة الكلّية للدخل: A_1 و A_2

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

و A_3 و A_4 هي عوامل ثابتة (من أجل زمن تشكيل ما) وتتعلق بتابع التحويل الرياضي للمشكّل (في دارة المضخم الرئيسي).

قياسات الضجيج وتحليلها

إن تحليل هذه القياسات سيعتمد على المقارنة بين التابع البياني التجريبي $ENC= f(\tau)$ وبين القيم النظرية المفترضة لنفس التابع والمعطى بالمعادلة (5). كل القياسات تمت عند درجة الحرارة (+20° C) ماعدا تلك التي تتأثر بدرجة الحرارة .

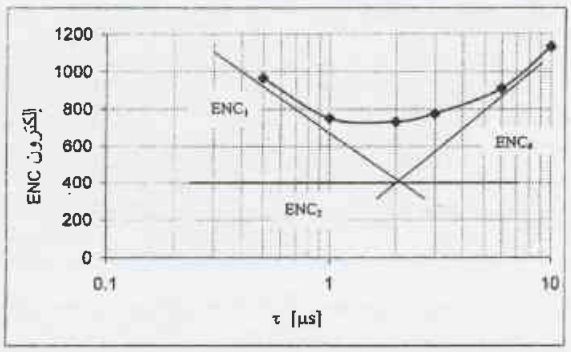


الشكل 1 – مخطط كهربائي للنظام المستخدم من أجل قياس وحساب ENC للنبائط JFET تحت الاختبار.

قياسات الضجيج قبل التشعيع

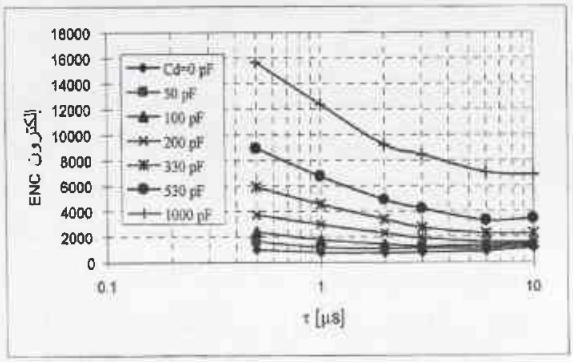
كما تذكر أغلب المراجع فإن مساهمة الضجيج G-R (أي المركّب ENC_3) هي مُهملة قبل التشعيع، وبالتالي فإن ENC الكلّية تتكون من المركّبات ENC_1 و ENC_2 و ENC_4 فقط.

تمَّ إجراء ثلاثة قياسات قبل التشعيع، الأول تم إنجازه من أجل أقل قيمة للسعة C_t (أي من أجل $C_d = 0$) كما هو مبين في الشكل 2. من خلال المنحني وبالاعتماد على المعادلة (5) يمكن رؤية أن المركّبتين ENC_1 و ENC_4 تسيطران عند قيم τ الصغيرة والكبيرة على الترتيب، بينما ENC_2 (المستقلة عن τ) فتمثل انزياح المنحني عن محور السينات. لكي نحصل على مزيد من المعلومات حول هذه المركّبات ، فإن مجموعة ثانية من القياسات ومن أجل عدة قيم لـ C_d تمَّ إنجازها وذلك بإضافة سعة كهربائية خارجية عند دخل الاختبار للمضخم الأولي وهذه العملية تعني زيادة قيمة C_t. إن نتيجة هذا الاختبار مبينة في الشكل 3 والتي تُظهر زيادة ملحوظة في قيمة ENC_1 مع ازدياد C_d، وباعتبار أن ENC_4 لا تتعلق بـ C_t فإن زيادة ENC من أجل قيم متوسطة وعالية لـ τ من المحتمل أن تكون ناجمة عن زيادة المركّبة ENC_2. بالنسبة للقياس الثالث فقد كان مشابهاً للأول ولكن عند قيمتين لدرجة الحرارة هما 20°C + و 10°C - كما هو مبين في الشكل 4. يُلاحظ من خلال منحنيات هذا الشكل أن تأثير تغير درجة الحرارة عند قيمة عالية لـ τ هو أقل أهمية منه عند القيم المنخفضة (أي مساهمة قليلة لـ ENC_4) مما يفسر التأثر القليل للمنبع i_n عند تغير درجة الحرارة ضمن هذا المجال.

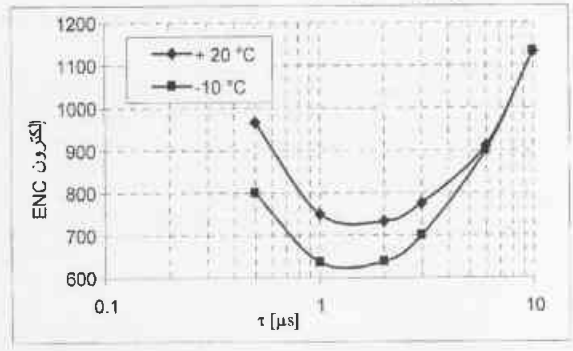


الشكل 2 – ENC كتابع لزمن التشكيل τ من أجل عنصر تحت الاختبار DUT قبل التشعيع وعند درجة حرارة 20 °C + . مركبات ENC مبيّنة أيضاً في هذه الحالة .

بإسقاط هذه النتيجة على المعادلة (4) يتبين أن مساهمة الضجيج الحراري قليلة بالمقارنة مع الضجيج الطلقي، وهذا ممكن أن يكون سببه القيمة العالية للمقاومة R_f (200 M Ω).



الشكل 3 – ENC كتابع لزمن التشكيل τ من أجل DUT قبل التشعيع وعند درجة حرارة 20° C + من أجل عدة قيم لـ C_d.



الشكل 4 – ENC كتابع لزمن التشكيل τ من أجل DUT قبل التشعيع عند درجتي حرارة 20 °C + و 10 °C - .

قياسات الضجيج بعد التشعيع

قبل عرض هذه النتائج، تجدر الإشارة إلى أنه في هذه الحالة لا يمكن إهمال ENC_3 لأن المنبع e_{n3} يُعزى إلى تأثير الإشعاع على الترانزستور. في الحقيقة إن علاقة المركّب ENC_3 بالبارامتر τ هي أكثر تعقيداً من بقية المركبات وهذا يرجع إلى أن العامل A_3 من المعادلة (5) لايتعلق فقط بـ τ ولكن أيضاً بالثابت الزمني للاصطياد τ_{Li} (انظر المعادلة 3)، والارتباط هو: عندما تكون $\tau \ll \tau_{Li}$ فإن

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

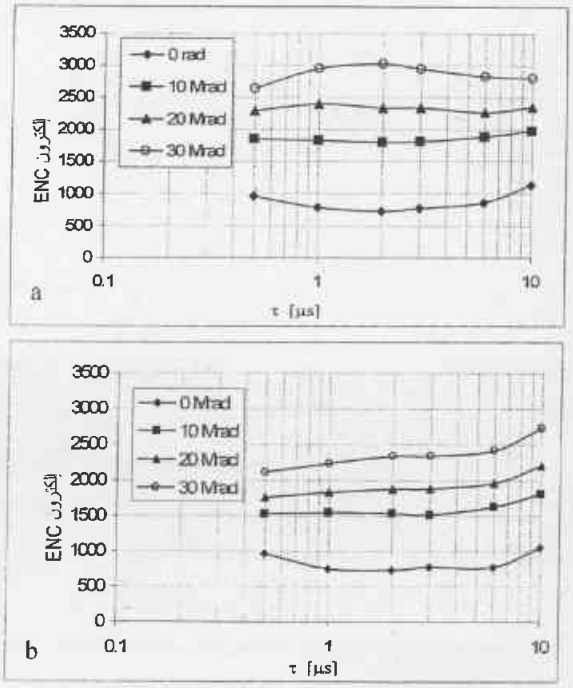
العامل A_3 يتناسب طرداً مع τ بينما يكون العكس في حالة $\tau << \tau_{Li}$ أي يحصل تناسب عكسي مع τ في هذه الحالة فإن مساهمة المنبع e_{n3} في ENC_3 الكلية يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$ENC_3 = [A_3(\tau, \tau_{Li}) S_3 C_t^2]^{1/2} \qquad (6)$$

وباعتبار أن τ_{Li} تتغير حسب الجرعة الممتصّة، فإنه يمكن بيان أن حدّين من حدود لورنتز يظهران بشكل طبيعي تبعاً لقيمة التعرض لأشعة غاما. هذان الحدّان . من أجل عدة قيم لـ τ ـ يعطيان المنحني $ENC_3 = f(\tau)$ على شكل قمة والذي يمكن تسميته بقمة G-R بالنظر إلى أصله.

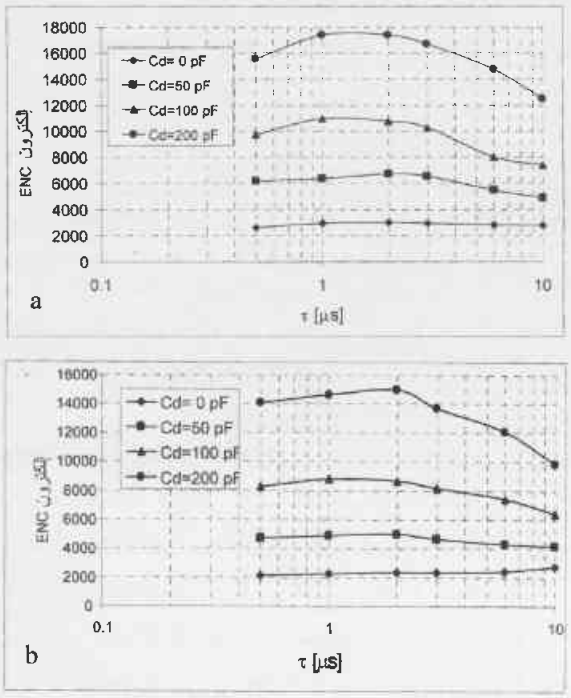
بعد التشعيع ومن أجل مجموعتي الترانزستور المنحازة وغير المنحازة، تمَّ إجراء أربعة اختبارات هي كما يلي :

تطور ENC عند ثلاث جرعات إشعاعية: نتيجة القياس على الترانزستورات المنحازة وغير المنحازة مُبيّنة في الشكل 5، في كلتا الحالتين فإن مركبات ENC تزداد مع زيادة جرعة الإشعاع وخاصة تزايد متدرج لقمة G-R (مساهمة المركّبة ENC_3) والتي تبدأ بالظهور خاصة عند الجرعة 20 Mrad تقريباً. هذه الظاهرة تشبه كيفياً نتيجة أخرى تمَّ الحصول عليها من أجل نوع آخر من الترانزستورات [6] حيث بدأت قمة G-R تظهر عند 10. Mrad في حالتنا فإن قمة G-R تصبح أكثر وضوحاً عند 30 Mrad وخاصة من أجل DUT غير المنحازة حيث تكون هذه القمة أكثر ارتفاعاً. بينما في حالة DUT المنحازة فإن مساهمة المركب ENC_4 هي الأهم. إن زيادة ENC_4 يمكن تفسيرها طبقاً للمعادلتين (4) و(5) على ضوء زيادة تيار قاعدة الترانزستور الذي ينتج عن عملية الانحياز الكهربائي [7].



الشكل 5 – مقارنة بين ENC للـ DUT المنحازة (b) وغير المنحازة (a) قبل وبعد التشعيع بثلاث جرعات من أشعة غاما.

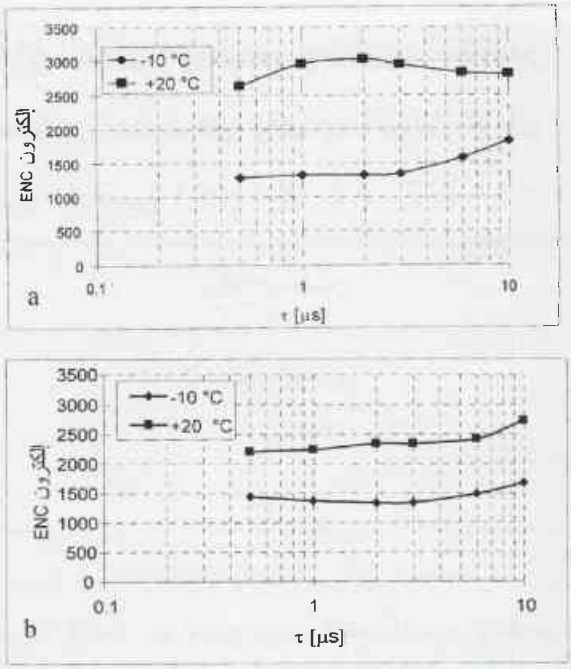
تأثير سعة الكاشف: تمّت دراسة هذا التأثير بعد التشعيع بجرعة تراكمية مقدارها 30 Mrad ومن أجل عدة قيم للسعة C_d . منحنيات التابع $ENC = f(\tau)$ الناتجة عن ذلك مبيّنة في الشكل 6 حيث يُرى أن مساهمة ENC_4 هي أقل من مساهمة المركبات الأخرى وهو ما رأيناه أيضاً قبل التشعيع (الشكل 3). هنا أيضاً ومن أجل كلتا الحالتين (منحاز وغير منحاز) فإن قيمة G-R تبقى واضحة. وهذا يؤكد فكرة تأثير الإشعاع في خلق عيوب نقطية.



الشكل 6 – مقارنة بين ENC للـ DUT المنحازة (b) وغير المنحازة (a) قبل وبعد التشعيع بثلاث جرعات من أشعة غاما.

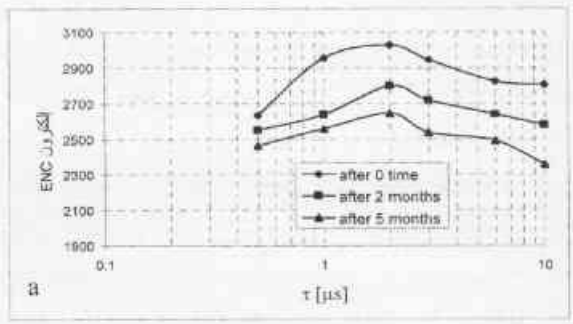
تأثير درجة الحرارة: تبرَّد عناصر DUT الموضوعة تحت الاختبار والمشعّعة بجرعة تراكمية قدرها 30 Mrad حتى درجة -10°C داخل المضخم الأولي. المنحنيات التي تمثل التابع $ENC = f(\tau)$ مبينة في الشكل 7 لكلتا الحالتين المنحازة وغير المنحازة. إن إنقاص درجة الحرارة من 20 °C + إلى 10 °C - يُنقص من قيمة ENC بكل مركباتها بنسبة وصلت إلى حوالي 55 %. وباعتبار أن منابع الضجيج تتعلق بدرجة الحرارة فإن نسبة النقصان تختلف من مركّبة لأخرى. عند درجة الحرارة 10 °C - تختفي قمة G-R وهذا ما يفسر علاقة الارتباط القوية لهذا النوع من الضجيج بدرجة الحرارة، هذا الارتباط كما تبيّنه العلاقة (3) يكون عن طريق الثابت الزمني τ_{Li}. إن تأثير درجة الحرارة بهذا الشكل على قمّة G-R يعطي فكرة حول إمكانية إنقاص أثر الإشعاع عن طريق تبريد الترانزستورات حتى درجة حرارة مثلى.

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

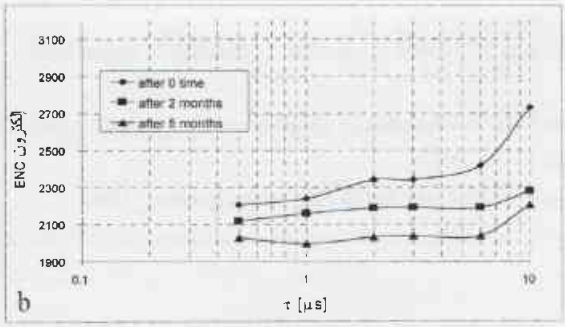


الشكل 7 – مقارنة بين ENC للـ DUT المنحازة (b) وغير المنحازة (a) قبل وبعد التشعيع بجرعة قدرها 30 Mrad من أشعة غاما ومن أجل درجتي حرارة.

الاسترداد وتأثير الزمن: تمّت دراسة وقياس ENC للترانزستورات المشعّعة حتى جرعة تراكمية 30 Mrad عبر ثلاث مراحل زمنية: الأولى كانت بعد التشعيع مباشرة و الثانية بعد شهرين والثالثة بعد خمسة أشهر. يبيّن الشكل 8 نتيجة هذا الاختبار، حيث يظهر ميل مركبات ENC للعودة إلى القيم الأولية. من أجل DUT غير المنحازة فإن كل مركبات ENC نقصت ببطء وبنفس النسبة تقريباً والمساوية إلى 14 %. أما في حالة DUT المنحازة فقد لوحظ نقصان ENC_4 بشكل كبير حتى بعد فترة الشهرين، وهذا النقصان كان مساوياً لـ 18 %، بينما كانت نسبته من أجل بقية المركبات بين 9 و 12 %. وفي كلتا الحالتين توقف النقصان بعد خمسة أشهر.



الشكل 8 – مقارنة بين ENC للـ DUT المنحازة (b) وغير المنحازة (a) قبل وبعد التشعيع بجرعة قدرها 30 Mrad من أشعة غاما بعد مضي ثلاث فترات زمنية مبيّنة في الشكل.



إن ظواهر الاسترداد مع الزمن هذه يمكن شرحها عن طريق عملية الاسترخاء لحاملات الشحنة والذّرات المُثارة بالتشعيع. أما النقصان في مركب G-R فيمكن أن يُعزى إلى عملية اصطياد غير كاملة بعد التشعيع. أما في حالة العناصر المنحازة، فإن عملية استرداد ENC تتم بصورة أسرع من عملية الاصطياد وذلك عندما تنشأ حقول كهربائية داخلية تؤدي إلى تيارات تسرّب.

الخلاصة

تُظهر ترانزستورات JFET المصنوعة من السليكون خواص ساكنة DC مقاومة لإشعاع غاما حتى 30 Mrad، بينما حساسيتها للضجيج تكون أكبر بعد التشعيع. إن مقارنة النتائج قبل وبعد التشعيع تظهر زيادة في مستوى الضجيج بعد التشعيع، وقد تمّت ملاحظة مساهمة مركبات الضجيج المختلفة. إن تحليلاً للبارامتر ENC يظهر أن التأثير الأساسي لأشعة غاما هو التسبب في خلق عيوب نقطية في شريحة السليكون والتي تلعب دور مصائد لحاملات الشحنة الأكثرية. وقد تبين أن هذا التأثير يمكن إنقاصه عن طريق تبريد العنصر أو بعد فترة زمنية من التشعيع. تبين أيضاً من خلال المقارنة تطابق النتائج التجريبية بشكل جيد مع المعادلات النظرية والتي تصف مركبات ENC المتعلقة بمنابع الضجيج الأربعة في نبائط JFET.

المراجع REFERENCES

[1] Manfredi P.F., et al. (1999). IEEE Trans.Nucl. Scie nce 46 (5),1294.

[2] Citterio M. et al.,(1998) Nuclear Physics B(Proc. Suppler) 61B. 526 .

[3] Citterio M. et al.,(1995) IEEE Trans.Nucl. Sci..42 (6).2266.

[4] Karpiniski W. et. al.,(1994). Noise Characteristics of radiation -hard FET's for Front End Electronics, PITHA 94/4, Germany.

[5] Guiseppe Bertuccio and Alberto Pullia, (1995). IEEE Trans.Nucl. Sci.42(2),66.

[6] Cesura G., et al., (1993)Nuclear Physics B(Proc. Suppl),32, 546.

[7] Lund W., et al.,(1996), Nucl. Instr. And Meth A. 380,318.

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

التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات باستخدام الفلوروديوكسي غلوكوز والتصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين لتشخيص وتحديد انتشار أورام الكارسينوئيد: علاقات الارتباط مع المشعرات المرضية p53 & Ki - 67 *

د. فادي نجار

قسم الطب الإشعاعي - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ت. بالحسين وآخرون

مركز التمريض الجامعي ليبيج - بلجيكا

ملخص

تمّ إنجاز هذا البحث بهدف تقييم الدقة التشخيصية للتصوير المقطعي بإصدار البوزترونات باستخدام الفلورين -18 فلوروديوكسي غلوكوز (FDG-PET) بالمقارنة مع التصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين (SRS) من أجل تحديد موقع أورام الكارسينوئيد البدئية وتقييم مدى انتشار هذه الأورام. كان الهدف الثاني من هذا البحث ربط النتائج التي تمّ الحصول عليها بالمميزات النسيجية للإصابات. أُجري FDG-PET لدى 17 مريضاً و SRS لدى 16 مريضاً. أُثبتت إصابة جميع المرضى بأورام الكارسينوئيد البدئية بخزعات تشريحية مرضية، في حين تمّ التأكد من كافة الإصابات المكتشفة بطرق التشخيص المختلفة بوساطة الخزعة أو عن طريق المتابعة. لقد تمّ اعتبار قيم Ki-67 و p53 كمشعر لدرجة وشدة خباثة الورم. أظهر PET وجود 4 إصابات ورمية بدئية بشكل صحيح من أصل الإصابات السبع الكلّية المثبتة (n=7)، و8من أصل الانتشارات الورمية الانتقالية (n=11)، وذلك بالمقارنة مع SRS الذي كشف عن وجود 6 إصابات بدئية و10 انتقالات ورمية. كانت معظم الأورام عبارة عن أنماط نموذجية للكارسينوئيد مترافقة مع قيم منخفضة من Ki-67. لم يُلاحظ وجود أية علاقة ارتباط بين الملامح النسيجية للورم وقبط النظير المشع المحقون. تبيَّن لنا من خلال هذا البحث أن SRS يبقى الطريقة المختارة لتقييم المرضى المصابين بأورام الكارسينوئيد بغض النظر عن فعاليتها التكاثرية، إلا أنه يجب أن يحتفظ لـPET بدوره لدى المرضى الذين كان SRS لديهم سلبياً.

الكلمات المفتاحية

التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات، الفلورين-18 فلوروديوكسي غلوكوز، التصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين، الكارسينوئيد، الفعالية التكاثرية.

مقدمة

يتميز الكارسينوئيد، الذي هو مجموعة من الأورام الغدية العصبية (NETs)، بتكاثره البطيء. أظهرت أورام الكارسينوئيد النموذجية قيماً عالية لمستقبلات السوماتوستاتين على أغشيتها الخلوية، في حين أن أورام الكارسينوئيد غير النموذجية، والتي تُعدّ أقل حدوثاً، تظهر فعالية انقسامية وشذوذات نووية زائدة [1]. لقد تمّ استخدام مواكب السوماتوستاتين (الأوكتريوتيد) الموسوم بالإنديوم ^{111}In DTPA-D-Phe-Octreotide) أو Octreoscan) بشكل واسع لتشخيص وتحديد انتشار هذه الأورام [2]. تزايدت بشكل سريع استخدامات PDG-PET في علم الأورام، حيث يتم اجراؤه حالياً لتشخيص وتحديد انتشار وإعادة تحديد انتشار أنواع مختلفة من الأورام، بالإضافة إلى استخدامه في تقييم الاستجابة للمعالجة [3-5]. إن قبط FDG يتعلق بحيوية الورم، إلا أن الكثير من الأنماط الورمية يكون أكثر شدة ويحمل إنذاراً أسوأ عندما يزداد قبطها لـFDG [6-9].

على العكس من طرق التصوير الوظيفية، فإن طرق التصوير التقليدية (التصوير الطبقي المحوري CT، الرنين المغنطيسي MRI) تزودنا بمعلومات تشريحية دقيقة، ولكن قيمتها تبقى محدودة في تشخيص وتحديد الإنذار وذلك بالنظر إلى الصفة الوظيفية للأورام الغدية العصبية. يبقى أسلوب التصوير الأكثر فعالية للوصول للتدبير الأمثل للمرضى المصابين أو المشكوك بإصابتهم بالكارسينوئيد بحاجة إلى تحديد. لذلك قمنا بتحليل راجع لطرق التشخيص سواء بـ PET أو التصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين

* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Nuclear Medicine communications*, 2002.

(SRS) أو طرق التصوير التقليدية المتبعة في تشخيص أورام الكارسينوئيد البدئية وكشف مواضع الانتقالات في مجموعة متجانسة من المرضى المصابين بأورام الكارسينوئيد. كما قمنا باستقصاء فيما إذا كان نموذج قبط النظيرين المستخدمين في التصوير يمكن أن يساعد في تحديد شدة أو مدى عدوانية الورم، حيث تمّ تحليل العلاقة بين النتائج التي تمّ الحصول عليها بالتصوير مع المشعرات المرضية Ki - 67 وp53.

الطرائق والمواد

المرضى

خضع17 مريضاً (6 رجال و11 امرأة بعمر وسطي 58 سنة) مصابين بأورام الكارسينوئيد المثبتة نسيجياً بخزعات تشريحية مرضية للتصوير بـ FDG-PET. كما تمّ إجراء التصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين (SRS) وطرق التصوير التقليدية (التصوير الطبقي المحوري CT، الرنين المغنطيسي MRI) لدى جميع المرضى عدا مريض واحد خلال 4 أسابيع من إجراء فحص FDG-PET. تمّت دراسة 7 مرضى في مرحلة التشخيص الأولي و11 مريضاً في مرحلة النكس. خضع 11 مريضاً للجراحة مع أو بدون معالجات أخرى في وقت إجراء التصوير للتشخيص، في حين أن 6 مرضى كانوا قد عولجوا بمواكبات السوماتوستاتين، إلّا أن هذه المعالجة اوقفت لمدة 14 يوماً على الأقل قبل إجراء SRS وFDG-PET. كان ثلاثة من المرضى المدروسين مصابين بأورام درقية من نمط الأورام الغدية الجريبية لدى مريضين و كارسينوما حليمومية لدى مريض واحد (الجدول 1 يلخص مميزات المرضى المدروسين).

الجدول 1- مميّزات المرضى

المريض	الجنس	العمر بالسنوات	مكان الإصابة البدئي	أعراض سريرية	الدلالة
1	ذكر	72	المعى الدقيق (اللفائفي)	-	تحديد المرحلة
2	ذكر	72	الأعور	-	تحديد المرحلة
3	أنثى	42	الرئة اليسرى	-	تحديد المرحلة
4	ذكر	55	المعدة	MEN1	انتكاس
5	ذكر	72	الاثنا عشرى	-	انتكاس
6	أنثى	26	الرئة اليمنى	-	انتكاس
7	أنثى	71	الصائم (الجزء الأوسط للمعى الدقيق)	جريبي ورم غدي درقي	انتكاس
8	أنثى	51	المستقيم	جريبي ورم غدي درقي	انتكاس
9	أنثى	46	الرئة اليمنى	حليمي سرطان الغدة الدرقية	تحديد المرحلة
10	أنثى	64	البنكرياس	-	انتكاس
11	أنثى	91	المعدة	-	تحديد المرحلة
12	أنثى	75	المبيض	-	انتكاس
13	أنثى	71	المعى الدقيق	-	انتكاس
14	أنثى	65	الثَّوْتة (الغدة الصعرية)	-	تحديد المرحلة
15	أنثى	37	البنكرياس	MEN1	تحديد المرحلة
16	أنثى	72	المريء	-	تحديد المرحلة
17	ذكر	73	المعى الدقيق	-	تحديد المرحلة

إجراءات التصوير

بلغت الفعالية الإشعاعية الوسطية المستخدمة لفحوصات octreoscam باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين 178 ميغا بكريل. تمَّ الحقن البطيء لهذه الفعالية الشعاعية وريدياً. تمّ وسم 10 -20 ميكروغراماً من الأوكتريوتيد (المحتواة ضمن كيتات منفردة) بوساطة إضافة 222-111 ميغا بكريل من كلوريد الإنديوم -111 وذلك وفق تعليمات الاصطناع. تمّ إنجاز الوسم خلال 30 دقيقة. أُعطي المريض بشكل روتيني مليئات قبل وبعد الحقن بـ 24 ساعة لتجنب الخيالات artefacts العائدة إلى قبط النظير المحقون على مستوى الأمعاء. لقد تمّ إجراء مقاطع شاملة لكامل الجسم أمامية وخلفية بصورة متتابعة تُغطي من خلالها كافة المناطق الرقبية والصدرية والبطنية على مرحلتين بعد 4 و24 ساعة من الحقن (300 ثانية لكل صورة، بمعدل من 000 600 إلى مليون عدَّة) باستخدام طاقتي الإنديوم -111 (173 keV & 247 keV) بنافذة قدرها20% . كما تمّ إجراء تصوير مقطعي بالإصدار الأحادي الفوتون (SPECT) للبطن والصدر بعد 4 أو24 ساعة من الحقن (بزاوية دوران 360 درجة ومدة دوران 30 دقيقة)، وذلك باستخدام مرشح وينر لإعادة تركيب المقاطع بسماكة قدرها 6 ملم.

تمّ إجراء فحص PET لكامل الجسم باستخدام كاميرا Penn Pet 240H من شركة UGM المصنّعة في فيلادلفيا بالولايات المتحدة الأمريكية. فُرض الصوم على المرضى لمدة 4-6 ساعات قبل الحقن الوريدي من أجل تخفيض نسبة الغلوكوز ومستويات الأنسولين في الدم إلى التراكيز القريبة من التراكيز الأساسية له،

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

وفي كل الأحوال، فقد سمح بالإماهة الفموية مع حقن وريدي لإحدى المدرّات والذي تمّ إجراؤه لتجنب الخيالات الناجمة عن تركيز المثانة والحالبين للنظير المحقون. تمّ تسجيل المسح الناجم عن الإصدار بعد 60-90 دقيقة من الحقن الوريدي لـ 233 -259 ميغابكريل من ^{18}F-FDG. تمّ الحفاظ على المرضى بحالة راحة وطُلب منهم إفراغ المثانة قبل إجراء المسح مباشرة. تمّ البدء بالمسح من المنطقة الإربية إلى المنطقة الرقبية، بحيث تضمّنت 7-8 وضعيات متراكبة مغطية 6.4 سم لكلٍّ منها مستغرقة زمناً قدره 4 دقائق لكلٍّ منها. تمّت إعادة تركيب الصور بوساطة استخدام إعادة الترشيح الراجع عن طريق تطبيق مرشح Hanning لوحده لدى 13 مريضاً، في حين تمّ تطبيق إعادة التركيب المعاوض القائم على مبدأ التضخيم الخوارزمي المتوقع المطلوب (OSEM). كما تمّ إجراء تصحيح التخامد باستخدام مسح الانتقال المفرد عن طريق تطبيق منبع إشعاعي نقطي خارجي من ^{137}Cs. وفي كلّ الأحوال، فقد تُضمّن إجراء التصحيح المقطعي في الصدر ومحيط الجسم. بلغ الوقت الذي استغرقه اكتساب هذه المعطيات 45-60 دقيقة أثناء تصوير المريض. تمّ استقصاء جميع المرضى بإجراء تصوير طبقي محوري للصدر والبطن أو الحوض باستخدام مواد ظليلة. أُجري التصوير الطبقي المحوري للصدر والبطن والحوض باستخدام جهاز ماسح PQ1500, PQ2000 (من الجيل الرابع لشركة Picker في كليفلاند بالولايات المتحدة الأمريكية كما تمّت دراسة 5 مرضى بوساطة الرنين المغنطيسي MRI للصدر أو البطن والحوض وذلك بحقن الغادولينيوم (0.2 ملّي مول /كغ). وقد تمّ إجراء فحوصات MRI باستخدام جهاز 1.0 T Sigma MR/Horizon من شركة GE الطبية في ميلواكي بالولايات المتحدة الأمريكية.

المشعرات المرضية p53 & Ki - 67

تمّ الحصول على 17 خزعة حُفظت بعد تثبيتها بوساطة الهيماتوكسيلين والإيوزين في قوالب البارافين من أجل التشخيص. تمّ الكشف عن قيم p53 & Ki-67 باستخدام طرائق المناعة النسيجية باستخدام الأضداد الوحيدة النسيلة (D0-7) و(MIB-1) على الترتيب. كانت العيّنات الجراحية المأخوذة سواء من الأورام البدئية أو من الانتقالات كافية لوضع التشخيص التشريحي المرضي لها لدى جميع المرضى باستثناء مريض واحد.

اعتُبر التثبيت المناعي لـ p53 سلبياً أو بقيم زائدة عندما أظهرت نسبة عالية من الخلايا تثبيتاً شديداً بالمقارنة مع المحضرات الشاهدة الإيجابية أو السلبية. أما تثبيت Ki-67 فقد تمّ تقييمه بشكل شخصي على أساس نسبة الخلايا الإيجابية في المحضّر بكامله وفقاً لما يلي : 0= سلبي (لا يوجد تثبيت في المحضّر)، 1= تثبيت أقل من 30% 2 = تثبيت أكبر من 30% .

تقييم الصور وتحليلها

تمّ تحليل دراسات التصوير في الطب النووي (SRS وPET -FDG) في سياق العمل الروتيني بوساطة ثلاثة أخصائيين بدون إطلاعهم على القصة الطبية وسوابق المريض. اعتُبرت أية بقعة من القبط الزائد للنظير المشع والتي لا تتعلق بالتوزع الفيزيولوجي له إيجابية للورم. تمّ تسجيل نتائج التصوير بالطرق التقليدية CT(CT&MRI) بوساطة أخصائي شعاعي في سجلات المريض السريرية. تمّ إجراء SRS وFDG-PET وCI بهدف كشف الإصابات الورمية البدئية من جهة والانتقالات من جهة أخرى. أُثبتت نتائج التصوير نسيجياً لدى 11 مريضاً، منهم 7 مرضى تمّ استقصاؤهم في مرحلة التشخيص الأولي و4 مرضى تمّ استقصاؤهم عند الشك بحدوث النكس. تمّ استقصاء الإصابات التي أمكن الوصول إليها سريرياً، مثل العقد اللمفاوية السطحية، وذلك في الحالات المتميزة بانتشارها المعمم. فيما عدا ذلك، تمّ إجراء خزعات للأورام العميقة بمساعدة CT مثل انتقالات الكبد والعقد اللمفاوية البطنية وأورام البنكرياس الناكسة. أما الموجودات غير الطبيعية المكتشفة بطرق التصوير في الحالات الباقية (n=6)، فقد تمّ إثباتها سريرياً وشعاعياً.

النتائج

كشف SRS الأورام البدئية لدى 6 من المرضى السبعة الذين تمّ استقصاؤهم في مرحلة التشخيص قبل المعالجة. لقد فُشل في كشف ورم معدي تمّ استقصاؤه بوساطة FDG-PET، إلا أن طرائق التصوير الاستقلابية أظهرت نتائج سلبية كاذبة لدى ثلاثة مرضى مصابين بأورام كارسينوئيد نموذجية في مستوى المعدة والمعي الدقيق (اللفائفي) والأعور، والتي شوهدت بشكل واضح بوساطة SRS (الجدول 2).

الجدول 2- نتائج التصوير بـ FDG-PET وSRS وطرائق التصوير التقليدية CI لكشف الأورام البدئية.

مكان الإصابة البدئي	النمط النسيجي	SRS	PET	CI	p53	Ki-67
المعي الدقيق (اللفائفي)	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	-	+30%	<1%
الأعور	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	+	-	<1%
الرئة اليسرى	كارسينوئيد غير نموذجي قليل التميز	+	+	+	+30%	<1%
المعدة	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	-	-	<1%
الرئة اليمنى	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	لا يوجد	-	5-10 %
المعدة	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	-	+	-	-	5-10 %
التيموس (التوتة)	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	+	-	<1%

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

أما فيما يتعلق بكشف مواقع الانتقالات، فقد أظهر SRS إصابات أكثر من FDG-PET وCI. لقد كان أكثر حساسية بشكل خاص لإظهار العقد اللمفاوية البطنية (الجدولان 3 و4 يلخصان الانتقالات المكتشفة بطرق التصوير المختلفة).

كان التثبيت المناعي لـ p53 سلبياً لدى 16/14 مريضاً توفرت لديهم مادة كافية للتحليل المناعي الكيميائي. ظهر التعبير الزائد للبروتين p53 لدى مريضين فقط. كان المريض الأول مصاباً بورم كارسينوئيد غير نموذجي قليل التميز مع انتشار معمّم للمرض. أما المريض الثاني فقد كان مصاباً بورم كارسينوئيد نموذجي جيد التميز، ومازال في حالة هجوع كامل للمرض بعد 15 شهراً من التشخيص.

لوحظ تعبير زائد لـ Ki-67 (أكثر من 30%) في حالة واحدة من نمط الكارسينوئيد غير النموذجي. إن كلاً من SRS وFDG-PET قد كشف عن قبط زائد للنظير المشع متعدد البقع في هذه الحالة. كان تعبير Ki-67 منخفضاً (أقل من 10%) لدى جميع المرضى الآخرين بما فيهم الحالة الأخرى للكارسينوئيد غير النموذجي في العيّنة المدروسة في بحثنا. يُظهر الشكل1 حالة لكارسينوئيد نموذجي مع قيم منخفضة لـ Ki-67، حيث كان FDG-PET سلبيًا، في الوقت الذي أظهر فيه SRS انتشاراً معمّماً للمرض. كان كلا الفحصين إيجابياً لدى مريض آخر مصاب بحالة كارسينوئيد نموذجي (الشكل 2).

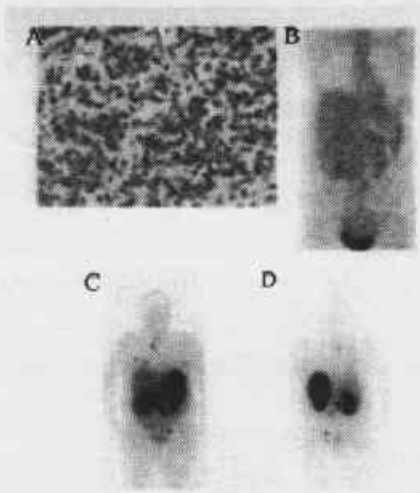
الجدول 3 – نتائج التصوير بـ PET وSRS وطرائق التصوير التقليدية CI لكشف الانتقالات البعيدة

المريض	النمط النسيجي للانتقالات	SRS	PET	CI	p53	Ki-67
1	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	-	-	-	+30%	<1%
2	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	-	-	<1%
3	كارسينوئيد غير نموذجي قليل التميز	-	-	-	+30%	<1%
4	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	-	-	<1%
5	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	+	-	5-10 %
6	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	+	-	<1%
7	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	-	-	-	-	<1%
8	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	+	-	5-10 %
9	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	-	-	لم يجرَ	-	5-10 %
10	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	+	-	5-10 %
11	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	-	-	-	لم يجرَ	لم يجرَ
12	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	+	-	5-10 %
13	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	لم يجرَ	+	+	-	<1%
14	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	+	-	<1%
15	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	+	-	-	<1%
16	كارسينوئيد غير نموذجي قليل التميز	+	+	+	-	+30%
17	كارسينوئيد نموذجي جيد التميز	+	-	+	-	<1%

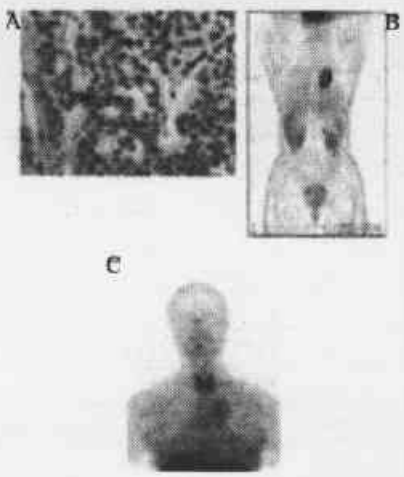
الجدول 4- نتائج التصوير بـ PET و SRS وطرائق التصوير التقليدية وفقاً لموقع الإصابات

الموقع التشريحي	PET	SRS	CI
الرئة والجنب	4	6	4
الكبد	7	8	7
الغدة الكظرية	1	1	1
القولون	1	0	0
البنكرياس	3	1	1
العقد فوق الحجاب الحاجز	0	10	2
العقد تحت الحجاب الحاجز	6	8	6
البريتوان	1	2	1
الجهاز الهيكلي	2	1	1
المجموع	**25**	**37**	**23**

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



الشكل 1- (A) ورم كارسينوئيد نموذجي مع قيم منخفضة لـ Ki-67. يظهر التصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين بقعاً متعددة من الفعالية العالية وفقاً للمنظر الأمامي (C) والمنظر الخلفي (D) (B) كانت نتيجة التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات سلبية.



الشكل 2- (A) ورم كارسينوئيد نموذجي مع قيم منخفضة لـ Ki-67. كانت نتيجة كلٌ من التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات (B) والتصوير الومضاني باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين (C) إيجابية.

المناقشة

لقد صُنّفت أورام الكارسينوئيد من الأقسام الجنينية المختلفة للمعي، رغم أنه قد ظهر أنها ناشئة من الخلايا الغدية العصبية [1]. إلّا أن تصنيفاً جديداً ظهر حديثاً تضمّن الملامح النسيجية للكارسينوئيد. تمّ تصنيف أورام الكارسينوئيد النموذجية وفق هذه المنظومة المرجعية على اعتبارها أوراماً غدية عصبية جيدة التميز، في حين أنه تمّ وصف الكارسينوئيد غير النموذجي أو غير المصنع بتميزه بعدم نموذجية النوى والفعالية الانقسامية العالية أو وجود مناطق تنخر. إن هذه الأورام الأخيرة قد اعتُبرت أنها من أنواع الكارسينوما الغدية العصبية الفقيرة التميز [10]. على اعتبار أن معظم أورام الكارسينوئيد تعبّر عن كثافة عالية من مستقبلات السوماتوستاتين (نمط 2)، فإن أوكتريوتيد الإنديوم -111 (DTPA-Octreoscan) قد أصبح إجراءً شائعاً لتصوير هذه الأورام [2].

سجل كويكيبوم Kwekkeboom وفريقه تجربتهم المهمة لدى 52 مريضاً مصاباً بأورام كارسينوئيد [11.2]. وباستخدامهم النظيرين الموسومين ^{131}I-tyr3-octreotide &^{111}In-octreotide-DTPA فقد تمّ تحديد الأورام البدئية بشكل صحيح لدى 86% من المرضى. أثبت ويستلين Westlin وفريقه القيمة العظمى لـ SRS بالمقارنة مع CI لدى مرضى مصابين بأورام كارسينوئيد، سواء لتشخيص موضع الورم البدئي أو تحديد مدى انتشار الورم [12]. سجلت مجموعات أخرى نتائج مشابهة في مجموعات محددة من المرضى [13-15]. درس غيبريل Gibril وفريقه 162 مريضاً مصاباً بمتلازمة زولينجر - أليسون ، حيث وجد 16 حالة كارسينوئيد في هذه المجموعة من المرضى، تمّ تمييز 12 حالة منهم بوساطة SRS (75%) مع نوعية specificity وصلت إلى 95% [16]. وبشكل عام، فإن حساسية SRS لكشف أورام الكارسينوئيد تراوحت بين 75% إلى حوالي 100%، واعتُبرت أنها أعلى من 90% بشكل عام [17].

وقد استُخدمت أيضاً طرائق التصوير الشكلية مثل الإيكوغرافي والتصوير الطبقي المحوري من أجل تحديد مواقع الإصابات لدى المرضى المصابين بـ NETs . في كل الأحوال، فقد أظهر شيتي Chiti وفريقه أن SRS قدّم معلومات متميزة لدى عدد كبير من المرضى، ولعب دوراً مهماً في التدبير السريري للمرضى المصابين بأورام غدية عصبية (بنكرياسية ومعدية معوية) بما فيهم 87 حالة كارسينوئيد [18].

لقد تميز FDG-PET حالياً باعتباره طريقة مفيدة في تشخيص وتدبير مجموعة واسعة من الأورام [5]. كما أنه وجد أيضاً علاقة ارتباط جيدة بين نسبة الهدرجة السكرية والفعالية التكاثرية في أنماط متعددة من الأورام [6-9]. إلا أن المعلومات المتوفرة فيما يتعلق بقيمة FDG-PET في تشخيص وتحديد انتشار NETs لا تزال محدودة. سجل آدامز Adams وفريقه أن SRS قد كشف 5/4 إصابات وذلك بالمقارنة مع 5/2 إصابات بـ FDG-PET في مجموعة مؤلفة من 5 مرضى مصابين بالكارسينوئيد [19]. وبشكل مشابه. كان 7/1 فقط من المرضى المصابين بأورام كارسينوئيد رئوية بدئية لديهم قبط ورمي لـ 18F-FDG [20]. لذلك، اقترح أن عدم التوافق بين نتائج الطريقتين يمكن تفسيره حسب الفعالية التكاثرية للورم. لوحظ قبط زائد لـ ^{18}F-FDG في الأورام المترافقة بفعالية تكاثرية متوسطة أو عالية حسب قياسات Ki-67، في حين كانت الأورام الثلاثة ذات الفعالية التكاثرية المنخفضة سلبية في FDG-PET [19]. أظهر باسكوالي

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

Pasquali وفريقه أن PET قد كشف عدداً أكبر من الإصابات المكتشفة بـ SRS لدى 8 مرضى مصابين بأورام NETs من النمط العدواني aggressive. وبالعكس، فإن SRS كان أكثر فعالية من PET في كشف الإصابات ذات التطور البطيء [21]، إلا أنه لم يكن هناك سوى 9حالات من الكارسينوئيد في هذه الدراسة.

بالنظر إلى الدقة التشخيصية لـ PET وSRS، فإن نتائجنا كانت مطابقة لما تمّ نشره في الأدب الطبي. فقد أظهر FDG-PET نتائج سلبية كاذبة أكثر من SRS سواء لكشف الأورام البدئية أو مواضع الانتقالات. لم نجد من خلال هذا البحث علاقة ارتباط بين شدة خباثة الورم وقبط ^{18}F-FDG أو Octreotide. لذلك، فإن Ki-67 هي مشعر صحيح للتكاثر في الحلقة الخلوية والقيم الزائدة لـ p53 ، والتي هي عبارة عن مثبط مورثي، تعبّر على الأغلب عن مورث ناضج في الأورام لدى البشر. إن القيم الزائدة لـ p53 تترافق بمشعر لانقسام خلوي أعلى وبتعبير زائد لـ Ki-67 مع مدة بقاء على قيد الحياة أقصر بالمقارنة مع الحالات سلبية الـ p53 [22-24]. وقد وجدت قيم منخفضة لـ Ki-67 (أقل من 10%) في الحالات التي تمّت دراستها في هذا البحث لدى 17/16 مريضاً، بما في ذلك جميع حالات الكارسينوئيد جيدة التميز. كان هناك مريضان فقط مصابان بأورام كارسينوئيد غير نموذجية. كان كلٌّ من PET وSRS سلبياً لدى مريض واحد منهم، والذي كان لديه قيمة p53 مرتفعة . أما المريض الآخر مع قيم زائدة لـ p53 ومنخفضة لـ Ki-67 وملامح لكارسينوئيد نموذجي، فقد كان PET وSRS لديه سلبياً. لذلك، لم يكن بإمكاننا أن نضع نتيجة لذلك مثلما فعل الآخرون [21]، حيث إن الأورام الإيجابية ^{18}F-FDG تعبّر عن تطور سريري سيئ مترافق مع فعالية تكاثرية عالية. ومن الجدير بالذكر أن كل الدراسات المنشورة حتى الآن والتي تقارن المعايير الثلاثة (قبط ^{18}F-FDG وOctreotide وفق المميزات النسيجية للأورام) قد تمّ إجراؤها على حالات متنوعة جداً من الأورام الغدية العصبية وليس فقط لحالات كارسينوئيد، كما هو الحال في بحثنا هذا. على الرغم من الخلافات الدائمة حول كل التحليلات الراجعة للسجلات السريرية والعدد المحدود من المرضى المدروسين، فإننا نعتقد أن المعلومات التي يمكن أن تقدّمها هذه الدراسات تُعدّ متميزة من حيث تجانس العيّنات المدروسة، بالإضافة إلى إمكانية إعادة التحليل النسيجية المرضية والتثبيت المناعي بحيث يتم إجراؤها جميعاً من قِبَل الأخصائي في التشريح المرضي نفسه، كما أنه يمكن قراءة وتحليل نتائج التصوير في الطب النووي بوساطة ثلاثة أخصائيين غير مطّلعين على المعلومات السريرية للمرضى المدروسين.

الخلاصة

يبدو أن التصوير باستخدام مستقبلات السوماتوستاتين هو الطريقة المثلى لكشف الأورام البدئية و الانتقالات في أورام الكارسينوئيد. لم يكن بالإمكان تحديد علاقة ارتباط واضحة بين الفعالية التكاثرية وقبط ^{18}F-FDG ونتائج SRS. لا يُنصح بإجراء التصوير بالطرق ذات المبدأ الاستقلابي في المرحلة الأولى لخطة التصوير في الممارسة السريرية الروتينية، إلاّ أنه يمكن أن تكون مفيدة لدى بعض المرضى حيث يفشل SRS في تحديد أماكن انتشار المرض.

REFERENCES المراجع

[1] Kulke MH, Mayer RJ. Carcinoid tumors. N Englj Med 1999;340:858–868.

[2] Kwekkeboom DJ, Krenning EP. Somatostatin receptor scintigraphy in patients with carcinoid tumors. World J Surg 1996;20:157–161.

[3] Warburg O. On the origin of cancer cells. Science 1956;123:309–314.

[4] Pauwels EKJ, Ribeiro Mj, Stoot JHMB, et al. FDG accumulation and tumor biology. Nucl Med Biol 1998;25:317–322.

[5] Delbeke D. Oncological applications of FDG PET imaging. J Nucl Med 1999;40:1706–1715.

[6] Vesselle H, Schmidt RA, Pugsley JM, et al. Lung cancer proliferation correlates with [F-18]fluorodeoxyglucose uptake by positron emission tomography. Clin Cancer Res 2000;6:3837–3844.

[7] Foley AL, Lyles RH, Sprouse JT, Conrad 3rd EU, Eary JF. [F-18] fluorodeoxyglucose positron emission tomography as a predictor of pathologic grade and other prognostic variables in bone and soft tissue sarcoma. Clin Cancer Res 2000;6:1279–1287.

[8] Higashi K, Ueda Y, Ayabe K, et al. FDG PET in the evaluation of the aggressiveness of pulmonary adenocarcinoma: correlation with histopathological features. Nucl Med Commun 2000;21:707–714.

[9] Jacob R, Welkoborsky HJ, Mann WJ, Jauch M, Amedee R. [Fluorine-18] fluorodeoxyglucose positron emission tomography, DNA ploidy and growth fraction in squamous-cell carcinomas of the head and neck. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 2001;63:307–313.

[10] Williams ED, Sandler M. The classification of carcinoid tumours. Lancet 1963;1:238–239.

[11] Krenning EP, Kwekkeboom DJ, Bakker WH, et al. Somatostatin receptor scintigraphy with [111In-DTPA-D-Phe1] - and [123I-Tyr3] - octreotide: the Rotterdam experience with more than 1000 patients. Eur J Nucl Med 1993;20:716–731.

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

[12] Westlin JE, Janson ET, Arnberg H, et al. Somatostatin receptor scintigraphy of carcinoid tumors using the [111In-DTPA-D-Phe1]-octreotide. Acta Oncol 1993;32:783–786.

[13] Hammond PJ, Arka A, Peters AM, et al. Localization of metastatic gastroenteropancreatic tumours by somatostatin receptor scintigraphy with [111In-DTPA-D-Phe1]-octreotide. Q J Med 1994;87:83–88.

[14] Modlin IM, Cornelius E, Lawton GP. Use of an isotopic somatostatin receptor probe to image gut endocrine tumors. Arch Surg 1995;130:367–373.

[15] Ahlman H, Wangberg B, Tisell LE, et al. Clinical efficacy of octreotide scintigraphy in patients with midgut carcinoid tumours and evaluation of intraoperative scintillation detection. Br J Surg 1994;81:1144–1149.

[16] Gibril F, Reynolds JC, Lubensky A, et al. Ability of somatostatin receptor scintigraphy to identify patients with gastric carcinoids: a prospective study. J Nucl Med 2000;41:1646–1656.

[17] Chatal JF, Le Bolic MF, Kraeber-Bodere F, Rousseau C, Resche I. Nuclear medicine applications for neuroendocrine tumors. World J Surg 2000;24:1285–1289.

[18] Chiti A, Fanti S,Savelli G, et al. Comparison of somatostatin receptor imaging, computed tomography and ultrasound in the clinical management of neuroendocrine gastro-entero-pancreatic tumors. Eur J Nucl Med 1998; 25:1396–1403.

[19] Adams S, Baum R, Rink T, et al. Limited value of fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography for the imaging of neuroendocrine tumours. Eur J Nucl Med 1998;25:79–83.

[20] Erasmus JJ, McAdams HP, Patz, Jr EF, et al. Evaluation of primary pulmonary carcinoid tumors using FDG PET. Am J Roentgenol 1998;170:1369–1373.

[21] Pasquali C, Rubello D, Sperti C, et al. Neuroendocrine tumor imaging: can 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography detect tumors with poor prognosis and aggressive behavior? World J Surg 1998;22:588–592.

[22] Guinebretiere JM, Sabourin JC. Ki-67, marker of proliferation. Ann Pathol 1997;17:25–30.

[23] Martin A.The tumor suppressor gene p53 (part one). Structure, function and mechanisms of inactivation. Ann Pathol 1995;15:178–183.

[24] Al-Khafaji B, Noffsinger AE, Miller MA, DeVoe G, Stemmermann GN, Fenoglio-Preiser C. Immunohistologic analysis of gastrointestinal and pulmonary carcinoid tumors. Hum Pathol 1998;29:992–999.

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

استجابة الغلة الحبّية ووزن الحبّة، والإصابة بمرض التبقع السبتوري في القمح للتسميد الآزوتي والبوتاسي*

د. محمد عماد الدين عرابي ـ محمد جوهر
قسم البيولوجيا الجزيئية و التقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية. ص. ب 6091 ـ دمشق ـ سورية

ملخص

اختبر تحت الظروف الحقلية تأثير كل من التسميد البوتاسي (60 كغ/هكتار) و الآزوتي (40 كغ/هكتار) وتآثرهما على الغلة الحبّية، ووزن 1000 حبة، وإصابة محصول القمح بمرض التبقّع السبتوري لموسمي نمو. استخدم في هذه الدراسة صنفا قمح محليان، بحوث 6 (طري) وبحوث 5 (قاسٍ). خفّض التسميد البوتاسي إصابة القمح بمرض التبقّع السبتوري بمعدل 11 و% 46 في الصنفين بحوث 5 وبحوث 6 على التوالي، مترافقاً مع زيادة في الغلة الحبية بحدود 13 و22% على التوالي. أدّى التسميد الآزوتي إلى خفض إصابة الصنف بحوث 6 بمرض التبقّع السبتوري بمعدل 38% وإلى زيادة 25% في الغلّة الحبّية. انعكس دور التسميد البوتاسي في تعزيز نمو نبات القمح وفي زيادة وزن الحبة بمعدل 21.8% في الصنف بحوث 5، في حين وصلت الزيادة إلى 33% في الصنف بحوث 6. كما أدّى أيضاً التسميد الآزوتي إلى زيادة وزن الحبة بمعدل 16% في الصنف بحوث 5 و11.5% في الصنف بحوث 6. سببت الإصابة بمرض التبقّع السبتوري أعلى نسبة فقدٍ في الغلة الحبّية لدى نباتات الشاهد غير المسمد. يمكن اعتبار المقاربة كطريقة مقترحة للحد من انتشار هذا المرض في مناطق زراعة القمح في حوض البحر الأبيض المتوسط و المناطق المشابهة بالظروف البيئية.

الكلمات المفتاحية

القمح، التبقّع السبتوري، البوتاسيوم، الآزوت.

مقدمة

يُعدّ مرض التبقّع السبتوري على قمح الخبز الطري (Triticum aestivum L.) والقمح القاسي (T. turgidum var. durum Desf) والذي يسببه العامل الممرض Mycosphaerella gramini cola من الأمراض الخطيرة التي تهدد مناطق زراعة القمح في العالم مسبباً خسائر فادحة في الغلة الحبّية [1].

تؤدي الإصابة الوبائية بمرض التبقّع السبتوري إلى خفض معنوي واضح في الغلة الحبّية قد يؤدي أيضاً إلى تقليل الحبوب المتشكّلة في السنبلة [2]. ينتشر هذا المرض انتشاراً واسعاً في المناطق المعتدلة ذات الهطول المطري المرتفع في موسم زراعة محصول القمح مثل: حوض البحر الأبيض المتوسط، وشرق ووسط إفريقيا، والجزء الجنوبي من القارة الأمريكية [4,3]. ينتشر هذا المرض في المناطق الشمالية والشمالية الشرقية من سورية، حيث سجلت الإصابة بشكل مبكر عام 1984 في الحقول المروية. انتشر هذا المرض انتشاراً واسعاً في غضون سنوات قليلة فانتقل إلى المناطق الجنوبية و الغربية مسبباً خسائر في الغلة الحبّية وصلت إلى 29% في أحد المواقع التجريبية في سورية [5]. وقد أشارت أعمالٌ كثيرة إلى التفاعل الإيجابي بين أمراض النبات و كلٍّ من الآزوت و البوتاس على حالة النبات. يعدّ التسميد الآرضي واحداً من هذه العمليات المستخدمة في تغذية المحاصيل بغية الحصول على غلة حبّية جيدة و تخفيض الإصابة بالأمراض. وقد أجريت محاولات عديدة على استخدام التسميد الأرضي لتخفيض الإصابة بالأمراض الفطرية في القمح [6] والشعير [7].

هدفت هذه الدراسة إلى تقويم تأثير كلٍّ من التسميد الآزوتي والبوتاسي في إصابة القمح بمرض التبقّع السبتوري، ووزن 1000 حبة، أو في الغلة الحبية تحت الظروف الحقلية، والتي تمثل جزءاً كبيراً من مناطق زراعة القمح في غرب آسيا.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Cereal Research Communications*, Vol. 30 Nos. 1-2 2002.

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

المواد و الطرائق

نُفذت التجربة في حقول تبعد حوالي 60 كم غرب دمشق وبمعدل هطول مطري 500 مم. أعطيت التفاصيل عن نوع التربة وتاريخ الزراعة في الجدول 1. زرعت التجربة في عامي 1997 و1998 ضمن قطاعات عشوائية كاملة وبثلاثة مكررات. حيث زرعت البذور في تشرين الثاني من عامي 1997 و1998 في 6 خطوط وبفاصل 0.3 م فيما بينها وبطول 3.5 م. وفُصلت قطاعات التجربة بمسافة 1 م. وقد جرت زراعة البذور يدوياً بمعدل 150 كغ/هكتار.

الجدول 1 ــ معلومات عن الموقع

التربـــة	ناعمة جداً (طينية)
المادة العضوية %	1×10^8
pH	بين6.7 و 8
الطين %	40
السلت %	33
الرمل	27
الهطول المطري (مم)	550
(كغ/ هكتار) P_2O_5	30قبل الزراعة
الدورة الزراعية	ثوم/ قمح
K ذواب	0.062 g/100 m.e/q
K متبادل	0.13 g/100 m.e.q
N ذواب	0.089 g/100 m.e.q
N متبادل	550.0 g/100 m.e.q
تاريخ الزراعة	25 تشرين الثاني
تاريخ الحصاد	1 حزيران

المادة النباتية

استخدم صنفا القمح المحلّيان، بحوث 6 (Triticum aestivum L.) وبحوث 5 (Triticum turgidum var durum. Desf) وقد تمّ الحصول عليهما من مديرية البحوث الزراعية في سورية. اختير هذان الصنفان لكونهما مختلفين في إصابتهما بمرض التبقّع السبتوري، حيث يُعدّ الصنف بحوث 6 حساساً للإصابة في حين يُعدّ الصنف بحوث 5 متوسط المقاومة للمرض.

تطبيق الأسمدة الأزوتية و البوتاسية

لا تتلقى الأراضي المزروعة بمحصول القمح عادة أي نوع من الأسمدة البوتاسية، لذلك جرى في هذه الدراسة إضافة البوتاس كسماد زائد، حيث طبقت ثلاث معاملات سمادية مختلفة:

60 كغ/هكتار بوتاس على شكل ($36\%\ K_2SO_4$) خلطت مع التربة قبل الزراعة.

40 كغ/هكتار آزوت على شكل (يوريا 46%) خلطت مع التربة بكميات متساوية قبل الزراعة و بعد الإشطاء. تركيبة مكونة من 60 كغ/هكتار بوتاس على شكل($36\%\ K_2SO_4$) و40 كغ/هكتار آزوت على شكل (يوريا ، 46%) خلطت مع التربة قبل الزراعة.

طبقت كل معاملة من هذه المعاملات في قطع تجريبية منفصلة بثلاثة مكررات. لم تلقح نباتات الشاهد بالعامل الممرض المسبب لمرض التبقّع السبتوري.

تحضير الملقح و تلقيح النباتات

اختيرت في دراسة أولية 15 عزلة من العامل الممرض Septoria tritici مختلفة في صفاتها المورفولوجية وفي فوعتها المرضية. نُمّي الفطر على بيئة مكونة من 4غ من مستخلص الخميرة، و4غ من مستخلص المَلْت، و4 غ من السكروز و 18 غ من الأغار مع 13 ملغ/ل من مضاد حيوي (kanamycin sulphate) أضيفت قبل التعقيم [5]. حضنت الأطباق في غرفة النمو لمدة 10 أيام على درجة حرارة تراوحت بين 22 و24 درجة مئوية في الظلمة التامة. جرى ضبط المعلق البوغي ليحتوي على 1×10^8 بوغ/ مل. ثم أضيف توين 20 بمعدل 0.5 مل/ ل كعامل مرطب. لقحت النباتات في طور العقدة الثالثة حسب [8] في يوم ماطر أو ليالٍ ندية بمعدل 2 ل/ $م^2$ مستخدمين مرشاً ذا ضغط منخفض. جرى ترطيب النباتات مرتين باليوم (الساعة 10 صباحاً و5 مساءً) بغية تشجيع العدوى بالمرض مستخدمين مرشاً ذا ضغط عالٍ ولمدة 3 أيام بعد التلقيح.

تقويم الإصابة

جرى تقويم إصابة النباتات بالمرض في مرحلة الطور اللبني لنضج الحبوب، بقياس النسبة المئوية لسطح الورقة التي تظهر عليها أعراض المرض (نيكروز و أبواغ بكنيدية)، الممتدة حتى الورقة السفلية للسنبلة، حيث قدرت لكل معاملة من المعاملات من خلال الأوراق العلوية الأربع ومن ثم تحويلها حسب السلّم 1-5 حيث: 1-(عالي المقاومة) 0-10%، 2- (مقاوم) 11-20%، 3-(متوسط الحساسية) 21-30%، 4- (حسّاس) 31-40% و 5-(شديد الحساسية) أكثر من 40% من سطح الورقة المصاب.

تقدير الإنتاجية

جرى تقدير الإنتاجية للخطوط المركزية الأربعة وذلك بعد استبعاد 0.4 م من النهايات. وجرى تقدير وزن 1000 حبة لكل قطعة تجريبية على عينة مكونة من 600 بذرة.

التحليل الإحصائي

خضعت البيانات المستحصل عليها إلى اختيار تحليل التباين ANOVAK، كما استخدم اختبار فيشر لأقل فرق معنوي (Fisher's PLSD) لتحديد الفروق المعنوية بين المعاملات والأصناف.

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

النتائج

الإصابة بالتبقّع السبتوري

بقيت الأوراق الملقحة خضراء بعد مرور 9 إلى 10 أيام من التلقيح. انتشرت البقع النيكروزية بسرعة على الأصناف الحساسة لتغطي معظم أوراق النبات. حيث كان لون البقع النيكروزية بشكل عام آخذاً لون القش ومن ثم لون القش المحمر وبالنهاية اللون الرمادي المسود مترافقة مع عدد قليل إلى أعداد كبيرة من الأبواغ البكنيدية على التوالي. أظهرت النتائج وجود فروق معنوية ($P<0.05$) في استجابتها للإصابة بالمرض، حيث أبدى صنف القمح الطري (بحوث 6) حساسية عالية للمرض مقارنة بالصنف القاسي (بحوث 5) (الجدول 2).

كما أشارت النتائج إلى وجود فروق معنوية ($P<0.05$) بين المعاملات السمادية المختلفة. أدّى التسميد البوتاسي إلى تأثير إيجابي واضح في خفض حساسية القمح للإصابة بمرض التبقّع السبتوري بمعدل 11% في الصنف بحوث 5 و 46% في بحوث 6. كان هذا التأثير أقل وضوحاً فيما يتعلق بالآزوت، إلا أن التسميد الآزوتي أدّى إلى خفض حساسية صنف القمح الطري بحوث 6 للإصابة بالمرض بنسبة 38%. لم يكن هناك أي تأثير معنوي للتآثر بين البوتاسيوم والآزوت على شدة الإصابة بالمرض. إضافة إلى ذلك أدّى وجود الآزوت مع البوتاس إلى تأثير سلبي في حساسية الصنف بحوث 5 تجاه المرض.

الجدول 2 ــ تأثير البوتاسيوم والآزوت الأرضي على إصابة القمح بمرض التبقّع السبتوري تبعاً "لسطح الورقة المصاب في 1997 (I) و 1998(II)

الصنف	شدة الإصابة %				المتوسط
	I				
	الشاهد	N	K	N+K	
بحوث5	B20.00ab	A21.6a	A17.87b	A20.6ab	B20.61
بحوث6	A35.93a	A21.3b	A18.93c	B18.27c	A23.61
المتوسط	27.97a	21.45b	18.40d	19.43c	
	II				
بحوث5	B20.4b	A22.8a	B17.93c	A21.8ab	B20.73
بحوث6	A36.67a	A23.50b	A20.07c	B18.53c	A24.69
المتوسط	28.53a	23.15b	19.00d	20.17c	

تختلف القيم المسبوقة بأحرف كبيرة (في الأعمدة) والمتبوعة بأحرف صغيرة (في السطور) معنوياً $P<0.05$

وزن 1000 حبة

تظهر النتائج في الجدول 3 وجود فروق معنوية ($P<0.05$) على متوسط وزن 1000 حبة بين المعاملات السمادية المختلفة، مع الإشارة إلى أن التركيبة السمادية لخليط الآزوت والبوتاس كانت الأفضل بين هذه المعاملات. ازداد وزن 1000 حبة في جميع المعاملات، وذلك مقارنة بالشواهد الخاصة بالصنفين؛ حيث أدّى التسميد البوتاسي إلى زيادة في وزن 1000 حبة بمعدل 21.8% في بحوث 5 وبمعدل 33% في بحوث 6، في حين لوحظت أيضاً زيادة معنوية بمعدل 16% في بحوث 5 و11.5% في بحوث 6 عند إضافة السماد الآزوتي.

الغلة الحبّية

يشير الجدول 3 إلى وجود فروق معنوية ($P<0.05$) في الإنتاجية بين الصنفين بحوث 5 وبحوث 6، حيث كان الصنف بحوث 5 أكثر إنتاجية. كما وجدت فروق عالية المعنوية بين الأصناف والمعاملات السمادية. إضافة إلى وجود تآثر معنوي بين نوعي السماد. على أية حال، أدّت جميع المعاملات السمادية إلى زيادة في الغلة الحبّية مقارنة بالشاهد. حيث أدّى التسميد البوتاسي إلى زيادة بمقدار 13% لدى الصنف بحوث 5 وبمقدار 22% لدى الصنف بحوث 6. وبلغت الزيادة 54% و25% على التوالي عند استخدام السماد الآزوتي (الجدول 3). كما أدّى تآثر كل من الآزوت والبوتاسيوم إلى زيادة بمعدل 28% و32% في بحوث 5 و بحوث 6 على التوالي. أجريت في تشرين الثاني عام 1998 تجربة مماثلة في التصميم والموقع أدّت إلى نتائج مشابهة مع الموسم السابق، لذلك تمّت الإشارة هنا إلى نتائج تجربة واحدة فيما يتعلق بالغلة الحبية ووزن 1000 حبة.

الجدول 3 ــ تأثير البوتاسيوم و الآزوت الأرضي على الغلة الحبّية و وزن 1000 حبة في صنفين من القمح مقارنة بالشاهد الملقح.

الصنف	الغلة الحبّية (غ/ م2)				المتوسط
	الشاهد	N	K	N+K	
بحوث5	583d	898a	661c	746b	A 722
بحوث6	598c	747b	730 b	790a	B 716
المتوسط	591d	823a	696c	768b	
	وزن 1000 حبة(غ)				
بحوث5	25d	30c	32b	35a	30.5 A
بحوث6	23d	26c	34b	38a	30.3 A
المتوسط	24d	28c	33	36.5	

تختلف القيم المتبوعة بأحرف صغيرة (في السطور) وبأحرف كبيرة (في الأعمدة) معنوياً $P<0.05$

المناقشة

أبدى صنف القمح الطري بحوث 6 قابلية أعلى للإصابة بمرض التبقّع السبتوري مقارنة بصنف القمح القاسي بحوث 5، وهذا يتفق مع نتائج [10,9]بأن قمح الخبز الطري كان أكثر حساسية للإصابة بهذا المرض مقارنة بالأصناف القاسية. تشير النتائج إلى التأثير الإيجابي للتسميد البوتاسي في خفض شدة الإصابة بالتبقّع السبتوري، وهذه النتيجة مشابهة لتلك التي جرى الحصول عليها على الشعير [7] والقمح [11].

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

من المعروف أن عنصر البوتاسيوم يلعب دوراً واضحاً في قابلية النبات للإصابة بالأمراض من خلال تأثيره على العمليات البيوكيميائية و على تركيب خلايا الأنسجة. حيث يعتبر منظماً للفعالية الأنزيمية إضافة إلى دخوله في الوظائف الخلوية التي تؤثر على شدة الإصابة بالمرض. كما أنه من المعروف أن نقص عنصر البوتاسيوم في النبات يؤدي إلى تغيرات كيميائية كبيرة منها تراكم السكريات الذائبة ومركبات الآزوت المنحلة إضافة إلى انخفاض في النشاء. اعتبر البوتاسيوم من أكثر العناصر فعالية في رفع مقاومة النباتات تجاه الأمراض الفطرية والبكتيرية [12]. أشار [13] إلى فعالية البوتاسيوم في تطور جدار الخلية وحموضتها وكذلك في تمدد هذا الجدار وتنظيم الضغط الحلولي.

أشارت نتائج هذه الدراسة إلى التأثير الإيجابي لكل من البوتاس والآزوت وتآثرهما على زيادة الغلة الحبية وعلى وزن 1000 حبة. هذه النتائج تتوافق تماماً مع نتائج [14]. يمكن أن تعزى هذه الزيادة إلى زيادة الأشكال المتاحة الذوابة والمتبادلة للبوتاسيوم والآزوت [16,15]. إضافة إلى ذلك فإن ارتفاع الكميات المتاحة من البوتاسيوم فوق السويات المطلوبة للإنتاجية المثالية يمكن أن يؤدي إلى زيادة امتصاص فائض قد يساعد النبات على مقاومة الأمراض المستقبلية [17]. أظهرت نتائج هذه الدراسة دور التسميد الآزوتي في زيادة الغلة الحبية بمقدار 54% لدى الصنف بحوث 5 مقارنة بـ25% في الصنف بحوث 6. ويعزى هذا إلى اختلاف الأصناف المستخدمة في قابلية الإصابة بالمرض.

يمكن أن يعزى التأثير الإيجابي للآزوت في زيادة الغلة الحبية إلى وظيفة هذا العنصر في إنتاج وحدات التركيب الضوئي ومقدار هذه الوحدات المطلوبة لإنتاج البذور [18]. و يمكن أن يكون هناك تفسير آخر لهذا الدور الإيجابي للآزوت في خفض الإصابة بالمرض هو زيادة كمية السكريات المخزنة في الأوراق والسوق بعد تطبيق التسميد الآزوتي و انتقالها إلى السنابل بعد الإزهار [19]. كما يمكن أن يعزى التأثير الإيجابي لتآثر البوتاسيوم والآزوت في زيادة الغلة الحبّية إلى احتفاظ الأوراق بحيوية أعلى من أجل القيام بالتمثيل الضوئي وبالتالي زيادة الإنتاجية الحبّية.

خاتمة

يمكن للتسميد البوتاسي الأرضي أن يلعب دوراً واضحاً في خفض حساسية القمح للإصابة بمرض التبقّع السبتوري إضافة إلى زيادة في وزن 1000 حبة وزيادة في الإنتاجية. و بالتالي يمكن في الإدارة المستقبلية لمرض التبقّع السبتوري التركيز على العمليات الزراعية (مثل التسميد) التي تؤدي إلى خلل في مراحل تطور العامل الممرض إضافة إلى خفض نسبة الإصابة في الأصناف المزروعة الشائعة.

REFERENCES المراجع

[1]-King, J. E., Cook, R. J. and Melville, S. C. 1983: A review of septoria diseases of wheatand barley. Ann. Appl. Biol.103, 373-345.

[2]-Cornish, P. S., Baker, G. R. and Murray, G. M. (1990): Physiological responses of wheatTriticum aestivum L.) to infection with Mycosphaerella gramini cola. Aust. J. Agric. Res., 41,317-327.

[3]-Eyal, Z., Scharen, A. L., Huffman, M. D. and Prescott, JM. 1985: Global insights into virulence frequencies of Mycospherella graminicola. Phytopathology 75: 1456- 1462.

[4]-VanGinkel, M. and Rajaram, S. 1993: Breeding for durable resistance in wheat : An International perspective. In : Durability of disease resistance. T. Jacobs and J.E. Parlevliet, Ed. Publishers, Dordercht, Netherlands 259-272.

[5]-Mamluk, O. F., Al- Ahmed, M. and Makki, M. A. 1990: Current status of wheat diseases in Syria. Phytopath. Medit. 29, 143-150.

[6]-Sheridan, J. E and Nendick, D. K 1987: Resistance to triadimenol and imazalil in the barley net blotch pathogen pyrenophora teres. ISPP chemical control, newsletter, 8, 26-28.

[7]-Grant, G. A. and Baily. L. D. 1994: The effect of KCL, KNO3, and CaCl2 fertilization under conventional- and zero- tell systems on common root rot dry matter yield and grain yield of Heartland barley. Cana. J. of Plant Sci., 74,1-6.

[8]-Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F., (1974). Adecimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14, 415-421.

[9]-Brokenshire, T. 1976: The reaction of wheat genotypes to Septoria tritici. Ann. Appl. Biol., 82, 415-423.

[10]-Yechilevich-Auster, A. M., Leyi, E. and Eyal, Z. 1983: Assessment of interaction between cultivated and wild wheats and Septoria tritici. Phytopathology, 73, 1077-1083.

[11]-Chandravanski, B. B. and Singh, M. 1972: Lodging studies in Mexican wheats in relation to mineral nutrition. Indian J. Agron. 17, 287-289.

[12]-Perrenoud, S. (1977). Potassium and plant health. In Research Topics, No. 3, Int. Potash Inst. Bern, pp. 1-118.

[13]-Lindhaver, M. G. 1989: The role of potassium in cell extension, growth and storage of assimilates. In methods of potassium research in plant. (Ed International Potash Institute, Bern, Switzerland and Potash Inst. louvainda- new, Belgium) pp.161-187.

[14]-Jackson, C. D. Kushnak, G. D. Benson, A. N., Skogly, E. O. and Lud, R. E. 1991:Potassium response in no-till small grain production. Journal of Fertilizer 8, 889-892.

[15]-SanValentin, G. O., Zelazny, L. W. and Roberson, W. K. 1973: Potassium exchange characteristics of aRhodic paleudult. Florid Soil Crop. Sci. Soc. Proc., 32, 128-132.

[16]-Sparks, D. l. and Liehbhradlt, W.C. 1981: Effect of long time potassium application on quality-intensity (Q/I) relationship in sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 45, 768-790.

[17]- Mike, J. G. and Paul, W. D. 1996: Wheat production and utilization systems, quality and the environmental, pp. 177-178.

[18]-Sinclair, T. R and De WitC T 1976: Analysis of the carbon and nitrogen limitation of soybean yield. Agronomy 68, 319-324.

[19]-Gaunt, R. E. and Wright, A. C. 1992. Disease yield relationship in barley.II. Contribution of stored stem resrves to grain filling. Plant Pathology. 41, 668-701.

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

التقارير العلمية

التأثيرات الصحية الناجمة عن التعرض المهني لبعض العناصر الكيميائية المستخدمة في الصناعة ومؤسسات البحث العلمي وطرق الوقاية منها*

د. عدنان بدور - د. عبد الوهاب علاف

قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

يوضح هذا التقرير بالتفصيل تأثير التعرض الكيميائي على العاملين الذين يستخدمون أنواعاً مختلفة من المواد الكيميائية في حياتهم اليومية في المؤسسات الصناعية ومراكز البحث. كذلك، يتضمن التقرير إجراءات السلامة والتأثير الصحي للتعرض الكيميائي الحاد والمزمن.

الكلمات المفتاحية

التعرض الكيميائي، التأثير الحاد، التأثير المزمن، الصحة، العمال.

مقدمة

تتزايد حالات التسمم المهني بالمواد الكيميائية مع نمو وتطور الصناعات التي تعرّض أعداداً متزايدة من العمال لتأثير هذه المواد التي تدخل أجسامهم، إما عن طريق التنفس كالأبخرة والغبار أو عن طريق الجلد كالسوائل والمواد الصلبة القابلة للانحلال، أو عن طريق جهاز الهضم (تلوث الأغذية التي يتناولها العمال).

وللتسمم المهني عدة حالات فهناك حوادث التسمم الحادة وغير الحادة، التي يمكن أن تحدث بشكل عرضي للعاملين في الصناعات الكيميائية المختلفة.

ويكون التسمم الحاد قصير الأمد ويمكن الكشف عنه بسرعة وآثاره قصيرة الأمد وأعراضه الشائعة (الدوار والصداع والإقياء . . .).

وتجدر الإشارة بصورة خاصة إلى حالات التسمم المزمن، التي تعتبر أشد حالات التسمم المهني خطراً وأكثرها انتشاراً. فالتعامل اليومي مع المواد الكيميائية المختلفة يسمح بوصول هذه المواد إلى الجسم بكميات قليلة، تتراكم تدريجياً في النسج المختلفة، وعندما يصل تركيز هذه المواد العتبة السمية، تظهر على العامل أعراض التسمم المزمن، التي قد تكون على درجة كبيرة من الخطورة.

ويمكن للتسمم حاداً كان أو مزمناً أن يؤدي إلى إصابة دائمة، ويتوقف مدى الإصابة على الخواص السمية للمادة، إلا أن هذه الإصابة يمكن أن تكون مؤقتة إذا اتخذت التدابير العلاجية والوقائية اللازمة في الوقت المناسب.

إن نوعية العمال وتثقيفهم، وكذلك الفحوص الطبية الدورية العامة، التي يجب أن تجرى لهم، أن تلعب دوراً هاماً في تناقص حالات التسمم المهني. وقد لوحظ أن هناك بعض الأعمال يكون أصحابها معرضين لمشاكل صحية أكثر من غيرهم، فمثلاً العاملون في مجال النفط خصوصاً العاملين بمجال تكرير البترول الذين يعملون في جوٍّ ملوث بالأبخرة المتصاعدة من النفط ومشتقاته، قد يتسبب استنشاق الأبخرة في إصابتهم بأمراض رئوية خطيرة.

وأيضاً العاملون بمصانع البلاستيك والبوليميرات، تؤثر جزيئات "بولي فينيل كلوريد مثلاً على وظائف الكبد والكليتين، وأيضاً العمال في مصانع الإسمنت حيث يتعرضون لتراب الإسمنت والكروم الذي يسبب التهابات في القصبات واضطرابات رئوية.

ويُنصح العمال في مجال المشتقات البترولية والعمال المعرضون للرصاص بارتداء القفازات والأحذية والألبسة الواقية للحيلولة دون انتقال تلك المواد إلى الجلد، وبإجراء تحليل للدم لتقييم وظائف الكبد والكليتين وإجراء فحوص للجهاز العصبي كل ستة شهور. وكذلك يجب على العمال المعرضين لأبخرة الكدميوم والبريليوم إجراء فحوص طبية وصورة شعاعية للصدر كل ستة أشهر.

الآثار الصحية للمواد الكيميائية على الجهاز التنفسي

تشكّل المواد الكيميائية الجزء الأكبر من ملوثات البيئة سواء كانت هذه المواد الكيميائية المستعملة أو نواتجها داخل المصانع أم خارجها، ويعتبر الهواء من أهم العناصر الضرورية لحياة الإنسان، ففي كل يوم تستقبل الرئة 15kg من الهواء الجاف يتكون من 78% نيتروجين و21% أكسجين و1% غازات أخرى منها 0.03% ثاني أكسيد الكربون، ويعتبر الهواء ملوثاً إذا حدث تغير كبير في تركيبه أو اختلطت به الجسيمات الغريبة والغازات الأخرى.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مكتبية أنجزت في قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

من الأبخرة الملوِّثة للهواء أبخرة الرصاص والمنغنيز التي يتعرض لها عمال الطباعة وعمال المحطات البترولية الذين يتعرضون لأكاسيد الكربون المختلفة وتشمل ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون، وهي غازات عديمة اللون والرائحة وتنتج من مصادر مختلفة مثل مداخن المصانع ومحطات توليد الكهرباء ومحركات المركبات، وغاز ثاني أكسيد الكربون غير سام إلا أن وجوده بتركيز عالٍ يؤثر على تركيز الأكسجين فيسبب الاختناق. أما غاز أول أكسيد الكربون فهو شديد السمية للإنسان والحيوان حيث يتحد مع هيموغلوبين الدم مكوناً مركباً ثابتاً (كربوكسي هيموغلوبين) مما يعيق الدم عن وظيفة نقل الأكسجين لأعضاء الجسم، ومن حسن الحظ أن هذا الغاز السام يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون في وجود أشعة بمعدل 1% كل ساعة.

هذا بالإضافة إلى العديد من الغازات والأبخرة الكيميائية الأخرى الموجودة بالمصانع والتي يتعرض لها العمال وتؤثر على الجهاز التنفسي (زيادة نسبة تركيز المواد الكيميائية في المحيط كلور، نشادر، غاز كبريت الهدروجين، مركبات آزوتية. . .) ويتأثر شكل الإصابة الرئوية ببعض العوامل منها خصائص المادة الكيميائية الملوثة ونسبة تركيزها ومدة التماس معها والحالة الصحية العامة للعمال المتعرّضين.

تقسم الإصابات التنفسية إلى إصابات حادة وتحصل غالباً بعد طارىء (انفجار المعمل). وإصابات تنفسية مزمنة نتيجة تراكم تلك الغازات في الدم عن طريق التنفس المستمر لها أثناء العمل.

الآثار الصحية للمواد الكيميائية على الجلد

يؤدي تماس الجلد المستمر بالمواد الكيميائية لبعض المظاهر الجلدية المختلفة تبعاً للأشخاص الذين يعملون العمل نفسه وتبعاً لنوع هذه المواد، فالمواد الكيميائية إما أن تكون عضوية أو لاعضوية أوهي حسب تأثيرها مخرشة أو محسسة أو حارقة.

المواد المخرشة اللاعضوية:

حموض الآزوت والكبريت ثم القلويات، ماءات النشادر غير العضوية، ماءات الكالسيوم، عناصر وأملاح الزرنيخ وأملاح كروم وكبريتات النحاس وسيانور النحاس وأملاح الزئبق وكلور الزنك ونترات الفضة والصوديوم والبوتاسيوم ذات تركيز منخفض.

المواد المخرشة العضوية:

الحموض العضوية وبلا ماء الحمض (حمض السيليسيك، حمض الخل، حمض الفحم، والقلويات العضوية. محاليل البترول، القطران، استرات، الأستون، الزيوت الأساسية والزيوت البترولية (برافين نفتالين ..)

المواد الكيميائية المحسسة:

أما المواد الحارقة للجلد فهي:

القلويات، الحموض، الصوديوم إذا كان الجلد رطباً، وسطاء الأصبغة (كالإتيلين ومركباته والكلور ومركباته)، مشتقات التصوير، الصابون إذا كانت نسبة القلويات المستخدمة ذات تركيز عالٍ، مبيدات الحشرات....

الآثار الصحية للمواد الكيميائية على باقي أعضاء الجسم

يتميز الجسم بقدرة كبيرة على التخلص من المواد الخطرة ويقوم بهذا العمل بصورة خاصة الكبد والكليتان. إلا أن الجسم إذا تعرض لمادة كيميائية خلال فترة طويلة فإن إمكانية الجسم لا تعود كافية لطرح هذه المواد فتتراكم المادة في الجسم وقد تؤدي إلى مشاكل مرضية كالرصاص الذي يصدر من عوادم السيارات حيث يضاف إلى البنزين مركب رباعي (إيتيل الرصاص) لرفع رقمه الأوكتيني من أجل زيادة كفاءة المحرك، وينتشر بعد الاحتراق ثم يتركز في الجسم فيسبب اضطرابات بالكبد والجهاز العصبي.

وينطبق ذلك أيضاً على العناصر الأخرى كالزئبق والنحاس والكدميوم وغيرها، مما يصدر يومياً من مداخن المصانع وجميعها شديدة الخطورة على البيئة والإنسان.

يتعرض للمبيدات الحشرية الأشخاص الذين يعملون بمجال الزراعة ولا يأخذون الاحتياطات اللازمة ولا يتبعون قواعد السلامة والإرشادات المطلوبة في عملية رشّ هذه المبيدات، وهذه المبيدات تؤثر في أجهزة الجسم خصوصاً الأنواع الفسفورية منها، ولأن الكبد هو خط الدفاع الأول مما قد يؤدي إلى خلل في وظائفه وإصابته بالتليّف والتحلل الدهني.

إن المذيبات العضوية من أخطر الكيميائيات التي تؤثر في الكبد، لذلك فإن أكثر الفئات تعرضاً لتليّف الكبد هم عمال المصانع التي تستخدم المذيبات العضوية مثل صناعة الجلود والدهانات والعطور.

يحدث التليّف الكبدي بسلسلة متصلة من التفاعلات تنتهي بالتأثير على المكونات الدهنية لجدار الخلية الكبدية التي تفقد قدرتها على أداء وظائفها الطبيعية، وبذلك تكون بداية موت الخلية وتليّفها.

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

إزالة تلوث معدات وتجهيزات مخبرية ذات طبيعة وسطوح مختلفة*

د. محمد حسان خريطة ـ مصطفى خيطو ـ خالد والي

قسم الوقاية والأمان ـ هيئة الطاقة الذرّية ـ ص.ب. 6091 ـ دمشق ـ سورية.

ملخص

تعتبر عملية إزالة التلوث الإشعاعي عن سطوح المعدات والتجهيزات العلمية الملوثة بالنظائر المشعة المستخدمة في التطبيقات والبحوث العلمية عملاً علمياً ذا جدوى اقتصادية ملموسة بسبب القيمة العالية لهذه المواد، وهذا بدوره يؤهل التجهيزات من أجل إعادة الاستخدام، وبسبب تصنيف المواد الملوثة ضمن النفايات المشعة فإن ذلك يساعد على تخفيض كمية هذه النفايات. المواد المستخدمة من أجل إزالة التلوث عن أغلب المواد والمعدات المخبرية متوفرة وذات تكلفة منخفضة، وأدى استخدامها وفق إجراءات وطرائق فعّالة، جرى اختبارها، إلى الحصول على قيم جيدة لمعامل إزالة التلوث للمواد الزجاجية والمعدنية والبلاستيكية الخاصة الملوثة بنظائر مشعة مختلفة.

الكلمات المفتاحية

إزالة التلوث، معامل إزالة التلوث، سطوح، معدات مخبرية.

مقدمة

تزايدت في العقود الأخيرة استخدامات المواد المشعة وتطبيقاتها في مجالات الحياة المتعددة كالصناعة والزراعة والطب بالإضافة إلى البحوث العلمية. ومع ازدياد استخدام هذه المواد بشكلها المفتوح ازدادت احتمالية تلوث السطوح والمعدات والأدوات المستخدمة بالمواد المشعة، و كذلك تلوث الألبسة ووسائل الوقاية المستخدمة في العمل وغير ذلك من الوسائل ذات الصلة المباشرة مع الإنسان والبيئة. تختلف درجة التلوث بالنظائر المشعة من مادة لأخرى، وهذا يتعلق بظروف وطبيعة التطبيقات التي تستخدم فيها.

تعتبر عملية إزالة تلوث مثل هذه المواد القيمة، والتي بدورها لاتتطلب تكلفة عالية، عملاً علمياً ذا جدوى اقتصادية ملموسة، يساعد بالتالي على وضع إجراءات وطرائق عملية لإزالة تلوث المواد الزجاجية والمعدنية والبلاستيكية الخاصة الملوثة بنظائر مختلفة، وبالتالي تساعد على الاختيار الأفضل والأنجع للمحاليل الكيميائية المستخدمة في العمل.

تتلخص الأهداف الأساسية لإزالة التلوث الإشعاعي عن السطوح المختلفة بتخفيف وإزالة المواد المشعة الموجودة أو المتراكمة على الأدوات أو المعدات أو السطوح، وإعادة استخدامها واستثمارها من جديد، وحماية العاملين في المنشآت والمخابر إضافة إلى التقليل من كمية الأجهزة والمواد التي سيتم التخلص منها كنفايات مشعّة.

أدّى التعامل المتزايد مع المنابع المشعّة المفتوحة المستخدمة في البحوث والدراسات العلمية في أقسام الهيئة المختلفة إلى تلوث كمٍّ هائل من الأدوات والأجهزة والمعدات العلمية والمخبرية المختلفة، التي يتميز كثير منها بغلاء ثمنه وصعوبة الحصول عليه، وهذا بدوره جعل استخدامها لاحقاً غير ممكنٍ، ونظراً لارتفاع قيمتها المادية وصعوبة الحصول على كثير منها لعدم وجود إمكانية لتصنيعها محلياً، كان لا بد من اتباع إجراء لتخفيف كمية النفايات المتشكّلة وإعادة تأهيل هذه المواد للاستخدام.

استخدمت من أجل إزالة التلوث محاليل مائية لمنظفات محلية كمواد ذات نشاط سطحي وبعض المواد المشكّلة للمعقدات (حمض الليمون، أملاح فسفات) إضافة إلى محاليل حموض لا عضوية.

يمكن أن تستغرق عملية تنظيف أي سطح من المواد المشعّة الموجودة عليه الكثير من الزمن والجهد والمال، ولتقويم جدوى هذه العملية لا بد من استخدام أجهزة كشف لتقويم الوضع الإشعاعي قبل وبعد العملية. يستخدَم من أجل تقويم جدوى عملية إزالة التلوث الإشعاعي كلٌّ من:

* تقرير علمي عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مردود إزالة التلوث:

يعبّر عن كمية المواد المشعّة بالنسبة المئوية التي تبقى على السطح بعد إزالة التلوث، إذا كانت نتائج التلوث قبل اتخاذ أي إجراء (A_1) وبعد الانتهاء (A_2).

$$\beta = \frac{A_2}{A_1} \times 100$$

درجة الإزاحة

تعبر عن كمية المواد المشعّة بالنسبة المئوية التي تمّت إزالتها عن السطح

$$\alpha = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

معامل إزالة التلوث : وهو عدد المرات التي انخفض فيها التلوث

$$D_F = \frac{A_2}{A_1}$$

يجري تقييم عملية إزالة التلوث باستخدام قيم معامل إزالة التلوث D_f وفق ما يلي:

D_F>50 ممتاز، ضمن المجال (20 -50) جيد، ضمن المجال (10 ـ 20) مقبول، أقل من 10 ضعيف.

الطرائق والنتائج

استخدم المحلل الطيفي المتعدد القنوات لتحديد النظائر المشعّة الملوثة للأدوات المدروسة، وتبيَّن نتيجة التحليل وجود النظائر المشعّة التالية ^{14}C، ^{37}Cs، ^{90}Sr. وبعد توصيف المواد والتجهيزات الملوثة حسب طبيعتها (زجاجية، معدنية، بلاستيكية) وترقيمها وتسجيلها في قوائم، أجريت القياسات الإشعاعية باستخدام جهاز كشف التلوث لكل مادة على حدة حسب تسلسلها في القائمة وسجلت النتائج، وقد رمِّز لمتوسط ثلاث قراءات بالرمز (A_1).

استخدم كمرحلة أولى من أجل عملية إزالة التلوث الماء العادي (البارد) مع سائل التنظيف التجاري ماركة (لودالين)، حيث حضِّر محلول من هذا السائل بتركيز0.1% في حوض بلاستيكي كبير (10 ليتر) أضيف للمحلول حمض الليمون بكمية 4 غ/ ليتر لمنع ترسب التلوث المنزوع. وضعت المواد والمعدات الملوثة حسب تسلسلها في القائمة في هذا المحلول وجرى خلالها فرك السطوح بالفرشاة، ثم نقلت إلى حوض آخر مليء بالماء النظيف. أجريت القياسات بعد الجفاف لكل مادة على حدة وسجلت القراءات، ورُمِّز لمتوسط ثلاث قراءات بالرمز (A_2).

بعد الحصول على كلا القيمتين (A_1) و(A_2) أجريت العمليات الحسابية لتقويم جدوى هذه المرحلة من عملية إزالة التلوث الإشعاعي، سجلت المعاملات K_d و α_d و β_d في الجدول لكل مادة على حدة.

بدراسة النتائج التي تمَّ الحصول عليها لوحظ أن معامل إزالة تلوث المواد المعدنية والبلاستيكية والزجاجية ذات الأجواف الضيقة كان أقل من 10، وبالتالي لا بد من متابعة عملية إزالة التلوث باستخدام محاليل أقوى. حضر محلول من حمض كلور الماء بتركيز 0.1% مع إضافة حمض الليمون بالتركيز نفسه المذكور سابقاً ومن أجل الغرض نفسه. وبعد الغسيل بالماء النظيف والتجفيف أجريت القياسات وسجلت القراءات لكل على حدة في الجدول، رمِّز لمتوسط ثلاث قراءات بالرمز (A_3).

أظهرت نتائج القياس أن التلوث السطحي قد وصل إلى قيم مقبولة من أجل المواد التي كانت فيها قيم Df منخفضة في المرحلة الأولى، وللحصول على القيم النهائية لمعامل إزالة التلوث في كلا المرحلتين أجري حساب جداء قيم المعامل في المرحلتين.

تبين من دراسة جدول النتائج أن:

- قيمة معامل إزالة التلوث الإشعاعي D_f عن سطوح المواد الزجاجية قد تجاوزت عتبة الـ 50، وبالتالي حقّقت العملية هدفها بإعادة تأهيل هذه المواد للاستخدام.
- الأدوات المعدنية والبلاستيكية والخزفية احتاجت إلى تكرار عملية إزالة التلوث الإشعاعي باستخدام محاليل أقوى (حمضية) من أجل التوصل إلى درجة تلوث مقبولة تسمح بالاستخدام اللاحق، مع أن قيمة المعامل D_f من أجل بعضها لم تتجاوز 50.
- معامل الإزالة لبعض الأدوات الزجاجية قد وصل إلى سوية مقبولة بعد المرحلة الأولى باستخدام مادة التنظيف.
- قيمة D_f لبعض الأدوات المعدنية أقل من 50 حتى بعد المرحلة الثانية.
- D_f لبعض القطع الزجاجية المصنفرة كانت أقل مقارنة بالقطع ذات السطوح الناعمة مع أن D_f>50.

التحليل والمناقشة

بوجه عام، يحصل تلوث السطوح الزجاجية عند تماسها مع المواد المشعّة المفتوحة، ويكون تلوثها من النوع غير المرتبط أو ذي الارتباط الضعيف. وبسبب تحقيق السطوح الزجاجية لمتطلب النعومة وعدم ارتباط التلوث أو ضعف ارتباطه بهذه السطوح كان من السهل الوصول إلى قيمة مقبولة للمعامل D_f في المرحلة الأولى.

- يعود انخفاض D_f بالنسبة للسطوح المصنفرة إلى زيادة سطح التماس مع المادة المشعّة وبسبب الشقوق المجهرية التي تساعد على حجز التلوث داخلها.
- لم تتجاوز قيمة معامل الإزالة من أجل سطوح المواد البلاستيكية بعد المرحلتين الـ 30، ويعود ذلك لحدوث ارتباط أيونات المحلول الملوث بالجذور الحرة الموجودة في المادة البوليميرية، يحصل التلوث على سطوح المواد البلاستيكية بأشكاله الثلاثة

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

(الالتصاقي والسطحي والعميق)، مما يتطلب تكرار عملية الإزالة أكثر من مرتين باستخدام محاليل ذات تركيز أعلى مع إطالة زمن بقاء القطعة في محلول الإزالة.

- تعمل الخدوش والمسامات في الأدوات المصنَّعة من البورسلان الناتجة من الاستخدام والتغيرات الحرارية التي تتعرض لها مع أنها غير مرئية على حجز المادة المشعّة، ويفسر ذلك بأن البورسلان هو عبارة عن مزيج من الغضار (أملاح وأكاسيد العناصر الترابية) مطلي بمادة مزججة، فعند وصول التشققات إلى الطبقة الغضارية تعمل هذه الطبقة على حجز الأيونات، وهذا أدّى إلى تلوث عميق لم تستطع المعالجة الحمضية في المرحلة الثانية إزالة سوى 50% مما تبقى بعد المرحلة الأولى.
- كانت سطوح بعض الأدوات المعدنية الملوثة مطلية بطبقة من طلاء بوليميري، ومن المعلوم أن الطلاء المستخدم لطلي الأدوات والتجهيزات المستخدمة للتعامل مع المواد المشعّة المفتوحة والمعرّض للتلوث يمكن أن نجد على سطحه الأشكال الثلاثة للتلوث (الالتصاقي والسطحي والعميق)، أزيل من هذا التلوث في المرحلة الأولى حوالي 88% وهي نسبة التلوث الالتصاقي والسطحي في حين نسبة التلوث العميق 12% وهو عادة ينتج من انحلال جزيئات المادة المشعّة الملوثة داخل جزيئات مادة الطلاء أو أحد مكوناتها ويشكّل معها معقدات يصعب تحطيمها.

وهذا يؤكد التوصيات حول استخدام أنواع من الطلاء القابل للنزع من أجل السطوح المتوقع تلوثها نتيجة التعامل مع المواد المشعّة.

التوصيات

- يكفي من أجل الأدوات الزجاجية ذات السطوح الملساء استخدام مواد التنظيف المتوفرة، من أجل إزالة التلوث عن سطوحها مع حكها باستخدام الفرشاة لأكثر من مرة كي يعاد استخدامها لاحقاً.
- إجراء عملية الإزالة مباشرة بعد الانتهاء من العمل، وعدم ترك الأداة ملوثة لأن التلوث مع الزمن تزداد قوة ارتباطه بالسطح ويمكن أن يحصل امتزازه على جزيئات السطح، وهذا يتطلب المزيد من الجهد والمواد لتنظيفها.
- تجنب تعريض السطوح المعدنية والبلاستيكية للتماس مع المواد المشعة المفتوحة، وينصح بتغليفها وتغطيتها برقاقات بلاستيكية أو طلائها بمواد قابلة للنزع.

تأثير التسميد الأخضر من نبات السيسبان Sesbania aculeata في إنتاج المادة الجافة وامتصاص الآزوت لنباتات ذرة السورغوم العلفية Sorghum bicolor النامية في ترب مالحة وترب غير مالحة باستعمال تقانة النظير ^{15}N *

د. فواز كرد علي

قسم الزراعة، هيئة الطاقة الذرّية ـ ص.ب. 6091 ـ دمشق ـ سورية.

ملخص

دُرس تأثير إضافة مخلّفات نباتية من نبات السيسبان في نمو نبات ذرة السورغوم العلفية المزروعة في تربة مالحة وأخرى غير مالحة باستعمال الطريقتين المباشرة وغير المباشرة لتقنية التمديد النظيري باستخدام ^{15}N. أدّت إضافة الأجزاء النباتية المختلفة من نبات السيسبان إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلي لنبات الذرة مقارنة بالشاهد. كما أن استعمالها في التربة المالحة قد ساهم في الحد من الأثر السلبي للملوحة في نمو النباتات. أشارت بيانات التجربة إلى أن إضافة المخلّفات النباتية إلى نباتات الذرة قد ساهمت في رفع قيم الآزوت الممتصّة من التربة، وبالتالي فإن التأثير الإيجابي للأسمدة الخضراء لم ينجم فقط عن زيادة إتاحة الآزوت التي تحويها فقط، بل عن ارتفاع إتاحة آزوت التربة أيضاً.

الكلمات المفتاحية

سيسبان، ذرة السورغوم، أسمدة خضراء، مخلّفات، ^{15}N.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُنجزت في قسم الزراعة ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مقدمة

ازداد الاهتمام في الآونة الأخيرة باستعمال الأسمدة الخضراء للنباتات البقولية في الأنظمة الزراعية نظراً لكونها مصدراً مهماً للآزوت في تنمية المحاصيل اللاحقة، وبديلاً جيداً للأسمدة الكيميائية الآزوتية المكلفة اقتصادياً والملوِّثة بيئياً. يُعد نبات السيسبان Sesbania aculeata من النباتات البقولية سريعة النمو وهو ذو قيمة علفيَّة جيدة ومُستساغ من قبل الحيوانات الزراعية. كما يُعد هذا النوع من المحاصيل البقولية المهمة المستعملة كأسمدة خضراء. كما بيَّنت الدراسات أن نبات السيسبان جيد التأقلم مع أنواع مختلفة من الترب (رملية وطينية) وهو ذو تحمّل جيد للملوحة وللغدق. تُعد الهند والباكستان الموطن الأصلي لهذا النوع النباتي وقد أدخل إلى سورية في عام 1997 بهدف استثمار الأراضي المالحة. ومن الجدير بالذكر أن هذا النوع النباتي يُستخدم على نطاق واسع كسماد أخضر في حقول الرز وذلك في العديد من الدول الآسيوية؛ ومع ذلك لا تتوفر معلومات كافية عن استخدامه في تسميد المحاصيل الأخرى وخاصة في الدول الواقعة في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط. إضافة إلى ذلك، لا توجد معلومات كافية عن استخدامه في الأراضي المالحة. لذلك هدف هذا البحث إلى:

1 - دراسة تأثير إضافة أجزاء مختلفة من نبات السيسبان في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي لنباتات ذرة السورغوم المزروعة في تربة مالحة وأخرى غير مالحة.

2 - تقدير النسب المئوية وكمّيات الآزوت الممتص من المصادر المختلفة (تربة وسماد ومخلفات نباتية) في ذرة السورغوم المزروعة في تربة مالحة وأخرى غير مالحة.

3 - تقدير كفاءة استعمال آزوت المخلّفات النباتية

4 - مقارنة بين الطريقتين المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري في حساب الآزوت الممتص من المخلفات النباتية في نبات الذرة.

5 - اختبار طريقة الفرق لحساب الآزوت الممتص من المخلفات النباتية.

المواد والطرائق

أُجريت التجربة في أصص يحوي كلّ منها 7.7 كغ تربة مالحة وتربة غير مالحة تم الحصول عليها من مواقع مختلفة من حوض الفرات الأدنى. استعملت الطريقتان المباشرة وغير المباشرة للتمديد النظيري باستخدام 15N لتحديد نسب وكميات الآزوت الممتص من المصادر المُتاحة. فيما يتعلق بالطريقة غير المباشرة، فقد جرت زراعة ذرة السورغوم في تربة مالحة وتربة غير مالحة بعد إضافة مخلّفات غير موسومة من نبات السيسبان (جذور وأوراق وكامل النبات)، وأضيف سماد آزوتي موسوم بالنظير 15N، على صورة سلفات أمونيوم، بعد الزراعة وفق دفعات متتالية. أما بالنسبة للطريقة المباشرة فقد أضيفت أوراق سيسبان موسومة بالنظير15N إلى التربة المالحة.

الطريقة غير المباشرة

المعاملة الأولى: شاهد بدون إضافة مخلفات نباتية.

المعاملة الثانية (L): أضيف إلى كل أصيص 11.5 غرام من أوراق السيسبان بحيث تمثّل هذه المعاملة إضافة أوراق السيسبان إلى محصول آخر مزروع في حقل آخر.

المعاملة الثالثة (R): أضيف إلى كل أصيص 1.3 غرام من جذور السيسبان بحيث تمثل هذه المعاملة استجابة المحاصيل المزروعة في تربة سَبق وأن زُرعت بنباتات السيسبان بعد حصاد مجموعها الخضري.

المعاملة الرابعة (L+R): أضيف إلى كل أصيص 11.5 غرام من أوراق السيسبان و 1.3 غرام من الجذور، وتمثل هذه المعاملة استجابة المحاصيل الزراعية التي ستزرع في تربة كانت مزروعة بنباتات السيسبان بعد قلبها كاملةً بالتربة.

بعد مضي شهر تقريباً من إضافة مخلّفات السيسبان، وفق المعاملات السابقة، زُرعت حبوب ذرة السورغوم العلفية بمعدل 5 نباتات في الأصيص الواحد. ووضعت الأصص ضمن ظروف مناخية طبيعية ورتبت وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأربعة مكررات حيث بلغ عدد الأصص 16 أصيصاً لكل نوع من التربة. أضيف إلى كل أصيص ما يكافئ 20 كغ N/هـ سلفات أمونيوم (7.3 مع 1/N كغ تربة) مُغنى بنظير الآزوت 15N وبنسبة قدرها 10.7% لذرّات هذا النظير. جرت إضافة السماد الآزوتي على أربع دفعات بفاصل زمني 2 أسبوع بين الدفعة والأخرى (5 كغ N/هـ، في كل دفعة). اتُّبع هذا المنهج من الإضافة للحصول على حالة ثبات في تركيز النظير 15N داخل التربة ولتقليص حدة ظاهرة تسكين الآزوت. هذا وقد جرى الحفاظ على رطوبة التربة في الأصص بحدود 70% من السعة الحقلية طيلة الفترة التجريبية.

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

الطريقة المباشرة

تمَّ الحصول على أوراق موسومة بالنظير15N من نبات السيسبان وذلك بتنمية نباتات في تربة فقيرة بالآزوت أضيفت لها سلفات آمونيوم مُغناة بالنظير ^{15}N (^{15}N 10.07%)، وجرى اعتيان الأوراق بعد شهرين من الزراعة حيث بلغ محتواها من الآزوت الكلي 3.38% ومحتواها من نظير الآزوت 2.9385% فوق المستوى الطبيعي.

استُعملت، في هذا الاختبار، أربعة أصص مملوءة بتربة مالحة أضيف إليها 11.5 غرام من أوراق السيسبان الموسومة بالنظير^{15}N. وبعد مضي شهر من الإضافة زرعت نباتات السورغوم في الأصص بحيث خضعت هذه الأصص إلى الشروط التجريبية ذاتها التي خضعت لها النباتات في الطريقة غير المباشرة.

النتائج والمناقشة

تعدّ هذه الدراسة أول تقرير يتناول استعمال مخلفات نبات السيسبان كنبات مُدخَل حديثاً إلى سورية في تحسين نمو نبات ذرة السورغوم العلفية المزروعة في تربة مالحة وتربة غير مالحة وبيَّنت النتائج ما يلي:

1) أدَّت إضافة مخلّفات نبات السيسبان إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافّة والآزوت الكلي للسورغوم. ففي التربة غير المالحة بلغت كميات المادة الجافّة 15.9 و23 و 25 و 26.6 غ/ آصيص في كل من الشاهد، والمعاملات R و L وR+L، على التوالي، بحيث بلغت النسب المئوية للزيادة عن الشاهد 45% و 61 و 67. وفي التربة المالحة كانت النسب المئوية للزيادة عن الشاهد 20% و 32 نتيجة لإضافة أوراق، وجذور مع أوراق السيسبان، على التوالي.

2) بيَّنت النتائج أن الآزوت الكلّي في نباتات الذرة المضاف إليها مخلّفات السيسبان كانت أعلى معنوياً من الشاهد. ففي التربة غير المالحة بلغت نسب الزيادة في الآزوت الكلي عن الشاهد 59% و 120 و 123 نتيجةً لإضافة جذور وأوراق، وجذور مع أوراق السيسبان، على التوالي. في التربة المالحة بلغت النسب المئوية للزيادة عن الشاهد 11% و 40 و47 بنفس ترتيب المعاملات السابقة.

3) أدَّى استعمال مخلّفات السيسبان في التربة المالحة إلى الحد من الأثر السلبي للملوحة في نمو النباتات. لقد بيَّنت نتائج الدراسة أن زراعة السورغوم في تربة مالحة قد أدَّى إلى انخفاض في إنتاج المادة الجافة بمعدل 36% مقارنة بالتربة غير المالحة وذلك في النباتات التي لم تُضَف إليها المخلّفات النباتية. وقد أدَّت إضافة مخلّفات السيسبان (الأوراق مع الجذور) إلى نباتات السورغوم في التربة المالحة إلى زيادة في إنتاج المادة الجافة بحيث تقلّصت نسبة الانخفاض إلى 14%. إضافةً إلى ذلك، يُستنتج من بيانات الآزوت الكلّي أن النسبة المئوية لانخفاض الكمّية الكلّية للآزوت المتراكم في السورغوم النامي في تربة مالحة كان بحدود 10% من القيمة التي راكمتها النباتات في التربة غير المالحة وذلك في معاملة الشاهد. ولكن بنتيجة إضافة مخلّفات السيسبان إلى التربة المالحة زال هذا الفرق تماماً، حيث كانت كمّية الآزوت متماثلة بين التربتين عند استعمال جذور السيسبان، وازدادت الكمّيات المتراكمة من الآزوت بمعدل 27% و33 نتيجة لإضافة أوراق وكامل مخلّفات السيسبان إلى التربة المالحة، وذلك مقارنة بالسورغوم النامي في تربة عادية غير المعامَل بمخلّفات نباتية. يُستنتج من البيانات السابقة أن إضافة المخلّفات النباتية إلى النباتات المزروعة في تربة مالحة قد ساهم في تحسين نموها. لذلك فإنه من الممكن استعمال السيسبان كسماد أخضر في الأراضي المتأثرة بالأملاح وذلك بزراعة السيسبان وقلبه في التربة قبل زراعة المحاصيل الأخرى، الأمر الذي يؤدي إلى تحسين في نمو النباتات عن طريق تأمين مصدر من الآزوت من جهة وتحسين مواصفات التربة من جهة أخرى، ولو أن هذا يستدعي اختبار ذلك في الظروف الحقلية.

4) تقلّبت النسب المئوية للآزوت الممتص من المواد العضوية في كامل نبات الذرة النامي في تربة غير مالحة من 3.9 وحتى 33%، في حين تراوحت النسب بين 4.9% و 19.8 في النباتات النامية في تربة مالحة. بلغت كفاءة استعمال آزوت المخلّفات النباتية في الذرة النامية في تربة غير مالحة 61% و 45 و 37 من الآزوت الموجود أصلاً في جذور وأوراق وكامل مخلّفات السيسبان، على التوالي؛ في حين كانت النسب 48% و 15 و16 في الذرة النامية في تربة مالحة. من ناحية أخرى، أشارت بيانات هذه التجربة إلى أن إضافة المخلّفات النباتية إلى نباتات الذرة قد ساهمت في رفع قيم الآزوت الممتصّة من التربة. وبالتالي فإن التأثير الإيجابي لإضافة المخلفات النباتية لم ينجم فقط عن زيادة إتاحة الآزوت التي تحويها فقط، بل عن ارتفاع إتاحة آزوت التربة أيضاً. ويمكن الاستنتاج أن استعمال هذا النبات كسماد أخضر ساهم في تحقيق جزء من متطلبات السورغوم من الآزوت، بالإضافة إلى إمكانية التوفير في استعمال السماد الآزوتي.

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

5) لم تختلف نسب وكميات الآزوت الممتصة من أوراق السيسبان، المحسوبة وفق الطريقة غير المباشرة، معنوياً عن الطريقة المباشرة، حيث يشير ذلك إلى إمكانية استعمال الطريقة غير المباشرة، كطريقة بسيطة، لقياس الآزوت الناجم عن المخلفات النباتية المستخدمة كأسمدة خضراء. وبعكس ذلك، لا تعد طريقة الفرق في كميات الآزوت من الطرائق المناسبة لتقدير الآزوت الممتص من المخلفات النباتية.

إن استعمال السيسبان كسماد أخضر، في التربة المالحة، يمكن أن يكون طريقة واعدة في عمليات الاستصلاح الحيوي للترب المتأثرة بالأملاح، إن الفائدة الحقيقية من استعمال الأسمدة الخضراء لاتتحقق فقط من زيادة إتاحة عنصر الآزوت، بل من خلال تأثيرها في تحسين خواص التربة أيضاً، الأمر الذي يقتضي اختبار ذلك في ظروف حقلية.

التغيّرات في الطاقة الكلية ومكونات الجدار الخلوي لبعض المنتجات الزراعية الثانوية المعاملة بهيدروكسيد الصوديوم أو حمض هيدروبروميك *

د. محمد راتب المصري

قسم الزراعة ـ هيئة الطاقة الذرّية ـ ص ب 6091 ـ دمشق ـ سورية

ملخص

تمَّ تقييم تأثير تراكيز مختلفة من حمض هيدروبروميك (HBr) أو هدروكسيد الصوديوم (NaOH) (0 ، 3 ، 6 مل من محلول HBr بتركيز 47% أو 3، 6 غ NaOH /100غ مادة جافة) على قيم الطاقة الكلّية ومكونات الجدار الخلوي [ألياف المنظّف المتعادل (NDF) ، ألياف المنظّف الحامضي (ADF) ، الليغنين الخام (ADL)] لتبن القمح (WS) وقشرة بذرة عباد شمس (SSS) وخشب تفل الزيتون (OCW) وقشرة الفول السوداني (PS) وبذور ثمار النخل. أشارت النتائج إلى أن المعاملتين الكيميائيتين HBr أو NaOH أدّتا، وبشكل مؤكد إحصائياً ($P<0.05$)، إلى خفض قيم مكونات الجدار الخلوي للمخلّفات الزراعية المختبَرة كافة باستثناء بذور ثمار النخيل. كان للمعاملتين الكيميائيتين 6% HBr أو 6% NaOH أعلى التأثير في خفض قيم NDF بمعدّل 22% (HBr) أو 15% (NaOH) للمخلّفين WS و SSS ، بينما كان لكلتا المعاملتين الكيميائيتين نفس التأثير في خفض قيم NDF للمخلّفين OCW و PS وبمعدل 10%. وانخفضت قيم ADF بمعدل 7% للمخلّفات WS و OCW و PS وبمعدل 14% للمخلّف SSS، مقارنةً بالشاهد. لم تستجب المخلّفات التجريبية بنفس المستوى لفعل تراكيز المعاملتين الكيميائيتين، بخصوص الانخفاضات المتحصّل عليها في قيم ADL. وتمَّ الحصول على أعلى انخفاضات في قيم ADL (8%-32%) عند تطبيق التركيز 6%. كان تأثير المعاملات الكيميائية على قيم الهيميسلّولوز أعلى من التأثير على قيم السلّولوز. وكانت التغيّرات في قيم الهيميسلّولوز نتيجة لتأثير HBr أعلى من تأثير NaOH . ولم يلاحظ وجود تأثير إحصائي ($P>0.05$) للمعاملتين الكيميائيتين (HBr, NaOH) على قيم الطاقة الكلّية للمخلّفات التجريبية كافة.

الكلمات المفتاحية

مخلّف، طاقة، جدار خلوي، هيميسلّولوز ، سلّولوز ، ليغنين ، معالجة كيميائية.

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أُنجزت في قسم الزراعة ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مقدمة

تشكّل المنتجات الزراعية الثانوية نسبة عالية من الكتلة الحيوية، وتدويرها واستخدامها كمصادر طاقة بديلة لتغذية الحيوانات المجترة مهمٌ من وجهة نظر اقتصادية وبيئية. من الأمور التي تحدّ من إدخال تلك المصادر الرخيصة الثمن في علائق الحيوانات احتواؤها على نسبة عالية من المواد اللغنوسلّولوزية المنخفضة في معامل هضمها وقيمتها الغذائية وطاقتها الهضمية. إن أغلب المواد الخام كخشب تفل الزيتون إضافةً إلى (قشرة بذور عباد الشمس وقشرة الفستق السوداني وبذور ثمار البلح) ليس لها استخدامات خاصة حتى الآن سوى استخدامها للحصول على الطاقة في عمليات الحرق، مما يسبب مشاكل بيئية مختلفة. استخدمَت المعاملات الكيميائية بالأمونيا واليوريا أو بهيدروكسيد الصوديوم أو الجبس بغرض رفع القيمة الغذائية للمخلفات الزراعية اللغنوسلّولوزية. من جهة أخرى استُخدمت المعاملة بجرعات عالية من أشعة غاما لخفض مكونات الجدار الخلوي في بعض المخلّفات الزراعية. وأدّت المعاملة المشتركة باستخدام جرعات عالية من أشعة غاما (200 كيلوغراي) والمعاملة باليوريا أو هيدروكسيد الصوديوم إلى ارتفاع معدّل الزيادة في قيم الطاقة الهضمية لبعض المنتجات الزراعية الثانوية مقارنة بالمعاملة المنفردة الكيميائية. وأفادت الدراسات الأخيرة أن الكلفة المرتفعة للجرعة العالية (200 كيلوغراي) يمكن أن تكون عاملاً محدداً لاستخدام هذه التقانة.

الغرض من العمل الحالي هو دراسة تأثير تراكيز مختلفة من حمض هيدروبروميك أو هيدروكسيد الصوديوم على التغيرات في الطاقة الكلّية ومكونات الجدار الخلوي لبعض المنتجات الزراعية الثانوية بغرض تحسين قيمتها الغذائية واستخدامها في عليقة الحيوانات المجترة.

النتائج والمناقشة

تمّت معاملة عيّنات من تبن القمح (WS) وقشرة بذرة عباد شمس (SSS) وخشب تفل زيتون (OCW) وبذور ثمار البلح (DPS) وقشرة الفول السوداني (PS) وخشب تفل الزيتون (الجزء المتبقي من نخل تفل الزيتون على منخل قطر ثقوبه 2.5 مم للحصول على عجينة تفل الزيتون) بتراكيز مختلفة من محلول حمض هيدروبروميك (47% HBr) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) (0 ، 3 ، 6 مل HBr و 3،6 غ NaOH / 25 مل ماء /100 غ مخلف كمادة جافة). قدِّر معامل الهضم الظاهري للمادة العضوية في الزجاج (IVOMD) والطاقة الاستقلابية (ME) في العيّنات المدروسة بالاستعانة بكباش مزودة بناسور كرشي، إضافةً إلى تقدير المكونات الغذائية في العينات المختبرة. كما قدِّرت مكونات الجدار الخلوي (ألياف المنظّف المتعادل (NDF, neutral-detergent fiber) و ألياف المنظّف الحامضي (ADF, acid-detergent fiber) والليغنين الخام (ADL, neutral detergent lignin)) في العيّنات المعاملة كيميائياً والشاهدة. أشارت النتائج إلى وجود انخفاضات معنوية ($P<0.05$) في قيم مكونات الجدار الخلوي لكافة العيّنات المعاملة بحمض هيدروبروميك (HBr) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، ماعدا بذور ثمار البلح. كان للمعاملتين الكيميائيتين 6% HBr و 6% NaOH أعلى التأثير في خفض قيم NDF بمعدل 22% (HBr) أو 15% (NaOH) للمخلّفين WS وSSS، بينما كان لكلتا المعاملتين الكيميائيتين نفس التأثير في خفض قيم NDF للمخلّفين OCW و PS وبمعدل 10%. انخفضت قيم ADF بمعدل 7% للمخلّفات WS وOCW و PS وبمعدل 14% للمخلّف SSS، مقارنةً بالشاهد. لم تستجب المخلّفات التجريبية بنفس المستوى لفعل تراكيز المعاملتين الكيميائيتين، بخصوص الانخفاضات المتحصَّل عليها في قيم ADL. وتمَّ الحصول على أعلى انخفاضات في قيم ADL عند تطبيق التركيز 6%. أدَّت المعاملة الكيميائية بـ 6% HBr أو NaOH إلى خفض قيم الليغنين الخام (ADL) بمعدل 19% أو 21 (WS)، 29 أو 20 (SSS)، 32 أو 10(OCW) ، 8 أو 9 (PS) على التوالي.

كان تأثير المعاملات الكيميائية على قيم الهيميسلّولوز أعلى من تأثيرها على السلّولوز. كما كانت التغيرات في قيم الهيميسلّولوز نتيجةً لتأثير المعامَلة بحمض هيدروبروميك أعلى من تأثير المعاملة بهيدروكسيد الصوديوم. وكانت الانخفاضات في قيم الهيميسلّولوز على أشدها عند المعاملات الكيميائية بتركيز 6% حيث بلغت 44% (WS)، 50% (SSS)، 20% (OCW)، 23% (PS) للمعاملة بـ HBr و 26% (WS)، 24% (SSS)، 10% (OCW)، 26% (PS) للمعاملة بـ NaOH. أدَّت معاملة المخلّف DPS بـ 3% أو 6% HBr إلى زيادة قيم الهيميسلّولوز مقارنةً بالشاهد بمعدل 25% أو 64% على التوالي. عند المعاملة بالقلوي يصبح مركبا الليغنين والهيميسلّولوز ذائبين كما يتضخم مركب السلّولوز. يتبع حمض هيدروبروميك إلى مجموعة الهالوجينات الحامضية والتي يمكن أن يكون لها فعل أعلى من مجموعة القلويات على الجدر الخلوية. أشارت دراساتنا السابقة إلى أن استخدام المعاملات الكيميائية بحمض هيدروبروميك أو هيدروكسيد الصوديوم أدّى إلى رفع معامل هضم المادة العضوية (OMD) في كافة المخلّفات المعاملة في تجاربنا الحالية، ماعدا DPS حيث انخفض. وبذلك فإن الزيادات في قيم OMD المسجَّلة في التجارب السابقة نتيجةً للمعاملات الكيميائية يمكن أن تعود إلى الانخفاضات في مكونات الجدار الخلوي أو في المواد اللغنوسلّولوزية للعيّنات المعاملة، مما أدّى غالباً إلى زيادة في أشكال المواد الكربوهيدراتية الذائبة السهلة الهضم.

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

أشارت النتائج إلى عدم وجود تأثير معنوي ($P>0.05$) للمعاملتين الكيميائيتين HBr أو NaOH على قيم الطاقة الكلّية للمخلّفات الزراعية التجريبية. أشارت دراساتنا السابقة لنفس المخلّفات الزراعية المعاملة بـ 6% حمض هيدروبروميك أو هيدروكسيد الصوديوم إلى زيادة قيم الطاقة الاستقلابية مقارنةً بالشاهد بمعدل 917 أو 857 (WS)، 953 أو 647(SSS)، 1356 أو 980 (OCW)، 519 أو 254 (PS) ميغا جول/ كغ مادة جافة، على التوالي. ويمكن أن تعود هذه الزيادات إلى الارتفاع في قيم معامل هضم المادة العضوية، حيث لم يُلاحظ وجود تأثير للمعاملات الكيميائية على قيم الطاقة الكلّية لنفس العيّنات المعاملة.

إن المعاملة بهيدروكسيد الصوديوم أقل كلفةً وأكثر أماناً للاستخدام من قبل العمال مقارنةً بحمض هيدروبروميك. وينصح بمعاملة المخلّفات الزراعية الغنية بالمواد اللغنوسلّولوزية بهيدروكسيد الصوديوم واستخدامها في تغذية المجترات، حيث تعمل على تحسين الوضع التغذوي للحيوانات في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تفتقر إلى المراعي والمصادر العلفية نظراً لقلة الموارد المائية فيها. إن لخشب تفل الزيتون قيمة غذائية منخفضة جداً ولا ينصح باستخدامه كمادة علفية. بينما يمكن استخدام بذور ثمار البلح في تغذية المجترات بعد جرشها وتكسيرها، دون الحاجة إلى تطبيق أية معاملة إضافية.

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

كتب حديثة مختارة

أسس وتطبيقات الأمواج فوق الصوتية

Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*

تأليف : ج. دافيد، ن. تشيك

عرض وتحليل: م. ليفي**

تخيَّلْ مقدمة في علم فوق الصوتيات تنقل المعارف للطالب من أسس الصوتيات إلى الواجهة الأمامية لبحوث معاصرة في فوق الصوتيات. لاشك أن كتاباً كهذا يصبح لا غنى عنه؛ وبالفعل أفلح كتاب "أسس وتطبيقات الأمواج فوق الصوتية" لمؤلفه دافيد تشيك – من خلال هدفه المعلن – في أن يصبح كتاباً لا يمكن الاستغناء عنه. وحيث سبق لتشيك ذاته أن قدّم إسهامات مهمّة في حقول فوق الصوتيات التطبيقية، والتي نوقشت في الجزء الأخير من كتابه، لذلك يُعدّ قادراً على عرض المواضيع عرضاً موثوقاً جديراً بالاعتماد.

وعبر كامل أجزاء الكتاب، يوازن تشيك مقدمةً أوليةً وتطبيقاً حديثاً متقدماً؛ وتمتد مناقشته للتطبيق المتقدم حتى تصل إلى البحوث المعاصرة في مجال فوق الصوتيات النظرية منها والتجريبية. ومع ذلك يلجأ تشيك، كلما سنحت له الفرصة، إلى استخدام نماذج كيفية لشرح المفاهيم المعقدة التي اشتقها رياضياً، ولو أن كامل مضامينها قد تكون مبهمة بالنسبة للمبتدئ. وعند تقديمه تقنيات قياس فوق الصوتيات فإنه يسرد الخطوات والطرائق وكذلك المآزق التي تنتظر المبتدئ اللامتوقّع حدوثها.

وبعد مقدمة جميلة حول انتشار فوق الصوتيات في الطبيعة وانبثاقها في عالمنا التقاني، يخصص تشيك ستة فصول لمبادئ الصوتيات، يمكن مصادفة كثير من مادتها في بعض كتب المرحلة الجامعية الأولى، ويُعدّ من أكثرها شيوعاً كتاب بعنوان "مبادئ الصوتيات Fundamentals of Acoustics" الذي شارك بتأليفه كل من: لورنس كنسلر L. Kinsler، وأوستين فري A. Frey، وألان كوبنس A. Coppens، وجيمس سندرس J. Sanders (Wiley, 2000). غير أن تشيك، حتى في الفصول الستة الأولى من كتابه، يمضي إلى ما يتجاوز مدى كتب المرحلة الجامعية الأولى عند مناقشته لمواضيع محددة تستخدم في فصول لاحقة.

بعد الفصل السادس، يبدأ تشيك بمناقشة مواضيع أكثر تخصصاً وذات علاقة بالانتشار فوق الصوتي، وهو بذلك يُعرِّف القارئ تدريجياً بأمواج رايلي Rayleigh waves، وبأمواج لامب waves lamb، وبالأدلة الموجية الصوتية acoustic waveguides. والأمواج التي نوقشت هي تلك الرئيسة التي ستستخدم في الفصول التطبيقية اللاحقة. وفي فصل انتقالي، يناقش المؤلف سرعات المجموعة group velocities، وسطوح السرعة velocity surfaces، وسطوح التباطؤ slowness surfaces، والتي تعد مفاهيم مهمة من أجل تحليل الانتشار الموجي وفي تصميم منظومات القياس فوق الصوتي. وتتطلب نبيطة فوق صوتية نوعاً من التحويل الميكانيكي من أجل إنتاج طاقة صوتية. ولتعريف القارئ بالتحويل الطاقي يلجأ تشيك في البداية إلى مناقشة الكهرضغطية، ثم يُقدِّم العلاقات التكوينية الكهرضغطية ومعامل الاقتران الكهرضغطي. وعندما يتعرف القارئ جيداً على هذه المفاهيم، يقوم المؤلف بتوسيعها كيفياً إلى أشكال أخرى من التحويل الطاقي تشمل الكهرباء والمغنطيسية، والضوء، والحرارة.

والفصول الستة الأخيرة تعرض بشكل ناجح التطبيقات الحديثة لفوق الصوتيات. يبدأ المؤلف بعرض أكثر التطبيقات بدائية أو ما يسمى بالمحاويل الكهرضغطية، وخطوط التأخير lines delay، ومعالجة الإشارة التماثلية، وينتهي بإحدى أشد مشاكل فوق الصوتيات إثارة، ألا وهي "التألق الصوتي sonoluminescence"، أي إصدار ضوء بواسطة فقاعات منهارة داخل سائل آخذ في التجوّف. ويتوقع أن يكون لإحدى الفقاعات، عند نصف قطرها الأصغري، درجة حرارة مركزية ما بين 20 000 K و30 000 K.

وعلى نحو شاعري، يصف المؤلف هذه الظاهرة على أنها "نجمة في زجاجة ذات مركز حار معتم بصرياً ومنطقة خارجية أقل حرارة رقيقة بصرياً. هذا، ويمكن الرجوع إلى مقال بقلم دتليف لوهسه D. Lohse تمّ نشره في مجلة PHYSICS TODAY (عدد شباط 2003، الصفحة 36) من أجل مناقشة مستفيضة لظاهرة التألق الصوتي.

والبؤرة الأساسية لهذا الكتاب هي فيزياء وتصميم المحسّات فوق الصوتية ultrasonic sensors. وعلى نحو تقليدي في معظم الكتب، تغطي الفصول الأولى مواضيع الانعكاس، والانكسار، والإنفاذ عبر أوساط مختلفة؛ لكن المؤلف يطرح، بعد ذلك، مناقشات تفصيلية لأمواج في أوساط مختلفة: على السطوح، وفي مادة جرمية. وفي أوساط مقحمة بين بنيتين، وحبيسة قرب السطوح، وتتسرب بعيداً عن السطوح، وفي أغشية وفي صفائح رقيقة، وداخل أسطوانات.

* By J. David N. Cheeke : CRC Press, Boca Raton, Fla., 2002.

** جامعة ويسكونسن ـ ميلواكي

العرض والتحليل عن مجلة: *Physics Today*, April 2003. ترجمة هيئة التحرير ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

قياس الزمن: الزمن والتواتر والساعة الذرّية

The Measurement of time: Time, frequency and the atomic clock *

تأليف : ك. أودوين، ب. جينوت

عرض وتحليل: ج. فانيه **

تدعم الأوساط السابقة ظواهر كتلك الخاصة بالأمواج الصوتية السطحية، والأمواج الجرمية الطولانية والعرضانية، والأمواج الصوتية الحبيسة، وأنماط القطع، وأنماط التبديد، وأنماط متناظرة، وأنماط عكسية التناظر. ومن أجل الحالة العامة، يشتق المؤلف بشكل تفصيلي المعادلات الموجية وعلاقات التبديد؛ وكذلك من أجل الحالات الخاصة يبيّن بإيجاز تقنيات متقدمة لحل المعادلات ثم يقوم بعرض النتائج الأساسية. ومن أجل أشد الاستخدامات تخصصاً يعرض المؤلف النتائج على نحو مبسط، ويقدم مناقشات ظاهراتية كيفية بحيث تجعل هذه النتائج معقولة ظاهرياً.

وبسبب اعتماده على المعرفة المكتسبة في الفصول السابقة لابد أن يتناول الفصل الثالث عشر أصعب المحسّات من حيث التنظيم، لكن تشيك يواجه التحدي ويستمر في موازنة المبادئ مع التطبيقات. وبداية يلجأ المؤلف في الفصل المذكور إلى اشتقاق العلاقات العامة الخاصة بحساسية الموجة فوق الصوتية لعوامل محددة مثل: تحميل الكتلة mass loading، ولزوجة المائع fluid viscosity ، ودرجة الحرارة.

يستخدم المؤلف، بعد ذلك ، معادلات الانعكاسات عند حدود متوسطة من أجل استنتاج فعّاليات أنماط محددة من الأمواج فوق الصوتية يجري استخدامها كمحسّات فوق صوتية. ومن خلال نماذج بسيطة تعتمد في أساسها على نتائج الحساسية المشتقة من علاقات الانعكاس والانكسار ينقل المؤلف للقارئ العمليات الفيزيائية ذات الأهمية في تصميم المحسّات .

وفي نهاية المطاف يناقش المؤلف المحسّات فوق الصوتية المستخدمة كمكاشيف كتلية، كما هو عليه الحال في محسّات كل من: السوية، ودرجة الحرارة، والكثافة، واللزوجة، والتدفق، وتلك المستخدمة في كروماتوغرافيا الغاز وفي نبائط التحسس الحيوي.

وينتهي كل من الفصول العشرة الأولى بخلاصة ممتازة وبأسئلة مُحرِّضة مثقفة؛ لذلك يُترك المرء على شيء من الضياع عندما تغيب مثل هذه الخلاصات من الفصول السبعة الأخيرة. ولعلّ هنالك غرضاً ذاتياً مرجعياً للمؤلف عندما أفاد في فقرة الاعتراف بالجميل أن الناشرين، في بعض الأحيان، يُلزمون المؤلفين بموعد نهائي محدد يحول دون الإنجاز الكامل لكتبهم. ومع ذلك أعتقد أن عناوين الفصول التطبيقية التي جرى عرضها في قائمة المحتويات تُعدّ كافية للملاحة عبر المواضيع الفاتنة التي تضمنتها تلك الفصول.

توجد مقالات عديدة، فلسفية أو علمية، عن مفهوم الزمن. وكما يشير عنوان هذا الكتاب الذي وضعه كلاود أودوين C. Audoin و برنارد جينوت B. Guinot، فإنه يغطي مظهراً عملياً لمفهوم الزمن هو قياسه. من بين المقادير الفيزيائية يمكن قياس الزمن بدقة كبيرة، وفي الحقيقة تمّ الوصول في المختبر بصورة روتينية إلى دقة تبلغ بضعة أجزاء من 10^{15} جزء. وفي المنظومة الدولية للوحدات (SI) الزمن هو مقدار تُعرَّف الوحدة التي تمثله، وهي الثانية، بدلالة خاصة ذرّية، وهي التواتر الفائق الدقة hyperfine frequency لذرة السيزيوم في حالتها الأساسية .

إن كتاباً حول قياس الزمن يعدُّ تحدياً، ونظراً لخبرة المؤلّفَيْن فإنهما يواجهان هذا التحدي بصدر رحب إلى أبعد الحدود. فأودوين كان مشرفاً سابقاً على مختبر الساعة الذرّية التابع للمركز الوطني للبحث العلمي CNRS، وجينوت كان مديراً للمكتب الدولي للساعة من قبل. وكلا المؤلفَيْن، وهما من الفيزيائيين الذين يحظون بقدر كبير من الاحترام ، كانا نشطين في هذا المجال لفترة زمنية تربو على أربعين عاماً .

يحوي الكتاب خلفية تاريخية تصف كيف تطورت قياسات الزمن من أساس فلكي إلى أساس ذرّي، كما تصف أيضاً كيف تمت إعادة تعريف السلالم (المقاييس) الزمنية على أنها فهم للمفاهيم الفيزيائية الأساسية الناشئة. يشرح المؤلفان الزمن الفلكي والزمن الذرّي بتفصيل وافٍ ويمزجان فيزياء أساسية كافية لجعل المعلومة مفيدة إلى أبعد الحدود للقرّاء الذين يعرفون بعض الفيزياء الأساسية ولكنهم ليسوا على علم بالقياسات الدقيقة للزمن.

لقد وضع المؤلفان أيضاً مجال قياس الزمن في سياقه الصحيح النسبي العام. وهما يبيّنان أن الاستنتاجات الأساسية للنسبية العامة ضرورية لتعريف السلالم الزمنية بشكل صحيح وضرورية أيضاً في الملاحة بواسطة الساتل satellite، وهي أحد التطبيقات الأكثر نجاحاً لقياس الزمن. إن مقالة نيل أشبي Ashby. N (المنشورة في مجلة PHYSICS TODAY، عدد أيار، 2002، صفحة 41) تلقي الضوء على موضوع المؤلفين. إن الكثيرين، ويا للأسف، سيجدون فهم الإطار

* By C. Audoin, B. Guinot: Cambridge U. Prees, New Yourk, 2001

** جامعة مونتريال – مونتريال – كندا

العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, January 2003 ترجمة هيئة التحرير. هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

(بنية) النسبي العام صعباً. وفي طريقهما لمعالجة هذه المشكلة، حاول المؤلفان تبسيط المفاهيم. إن الفصل الثالث، ومع أنه يتطلب بذل جهد جدّي لقراءته، يقدّم نظرة متبصرة إلى ضرورة استخدام النسبية العامة. والمؤلفان إذ يدركان مستوى صعوبة المحتويات يقدمان النصح للقراء المتهيّبين "...كي ينتقلوا مباشرة إلى الملخص في نهاية هذا الفصل" (الصفحة17). والملخص يساعد القراء فعلاً على فهم أجزاء من الكتاب تتعلق بتعاريف الزمن وسلّم الزمن خصوصاً.

وفي الفصل الخامس الذي يتناول أحدث التقنيات التي أنجزت في مجال استقرار التواتر يقدم المؤلفان تمهيداً جيداً للمفاهيم الأساسية، ويعرّفان مجموعة مفيدة من الوسطاء لتوصيف التجهيزات وقياساتها.

إن أي كتاب عن قياس الزمن يحتاج إلى وصف للساعة الذرّية التي تُعدّ المفتاح إلى دقة القياسات الحديثة. في الفصل السادس لا يكتفي المؤلفان بوصف هذه الأجهزة (النبائط) بشكل تصوري، بل يناقشان أيضاً الحدود والقيود الملازمة لدقة الساعة الذرّية، وأداء الأجهزة الحالية، والتحسينات المتوقعة في المستقبل القريب. يوجد في الفصل السادس أيضاً تفسير واضح تقريباً عن التبريد بالليزر يعزّز المناقشة في هذا الفصل.

إن كتاباً بهذه الطبيعة لن يكون كاملاً ما لم يزود القرّاء بفهم وإدراك للتطبيقات المتعلقة بالقياس الدقيق للزمن. ففي الفصل التاسع يضع المؤلفان قائمة بالتطبيقات بتفصيل كافٍ لتوقظ وتثير فضول القارئ، وتقدّم له توجيهاً للقراءات في هذه التطبيقات. يساعد هذا الفصل على توضيح الحاجة إلى استقرارية في التواتر أعظم ودقة أكبر، ومن ثمّ الحاجة إلى بحث في هذا الاتجاه.

هناك كتاب آخر بعنوان " التواتر والزمن " ألّفه ب. كارتاشوف P. Kartaschoff عام 1978 ونشرته Academic Press ، يغطي المجال نفسه ولكنه موجَّه كلياً إلى الهندسة. أما المؤلفان أودوين وجينوت فمعنيان بشكل أساسي بالمفاهيم الأساسية الفيزيائية لقياس الزمن. وبالإضافة إلى ذلك يصف أودوين وجينوت الحالة الراهنة لأحدث الإنجازات التقنية في هذا المجال. والكتابان يكمل أحدهما الآخر بشكل جيد.

وفي مجمله، يُعدّ كتاب " قياس الزمن The Measurement of Time " كتاباً ممتعاً في القراءة، ويقدم المعلومات الأساسية اللازمة لمعرفة مفاهيم قياس الزمن. سوف يوجّه المهندس المهتم بتصميم المنظومات، حيث يكون الزمن حرجاً، وسيساعد الطالب المتخرج على اكتساب بصيرة وبعد نظر في المجال بأكمله. وأخيراً، سيكون الكتاب مفيداً، بكل تأكيد، لأي شخص يريد أن يحصل بسرعة على فكرة عامة عن قياس الزمن. إنه مرجع جيد للاقتناء وضمّه إلى الكتب في مكتبتك الخاصة.

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

amounting to 8-32%. The effect of chemical treatments on the hemicellulose values was higher than that on the cellulose. The changes in the hemicellulose values as influenced by HBr were higher than those influenced by NaOH treatment. There was no significant (P>0.05) effect for either HBr or NaOH treatment on the gross energy values of all experimental wastes evaluated.

Key Words

Waste, energy, cell-wall, hemicellulose, cellulose, lignin, chemical treatment.

*A short report on scientific study achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

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

Key Words

decontamination, decontamination factors, surfaces, laboratory equipment.

*A short report on scientific study achieved in the protection & Safety Department, Atomic Energy Commission of Syria.

ESTIMATES OF DRY MATTER YIELD AND N-UPTAKE IN SORGHUM GROWN ON SALINE AND NON-SALINE SOILS MANURED WITH DHAINCHA (*SESBANIA ACULEATA*) PLANT RESIDUES UTILIZING ^{15}N TRACER TECHNIQUES*

F. Kurdali

Department of Agricultur, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Pot experiments were conducted to study the effect of manuring with three types of plant residues (roots, shoots or roots plus shoots) of Dhaincha (*Sesbania aculeata* Pers.) on the yield and N-uptake of *Sorghum bicolor* grown on saline and non-saline soils. For measuring various sources of N-uptake, two isotopic dilution techniques were utilized by adding to these soils either ^{15}N-labelled inorganic N-fertilizer (indirect method) or ^{15}N-labelled sesbania leaves (direct method). Results indicated that each type of sesbania residue, applied as a green manure, resulted in significant increases in both dry matter yield and N-uptake of sorghum as compared with the unmanured control. Moreover, sesbania residues decreased the harmful effect of salinity on plant growth. The beneficial effects of sesbania residues have been attributed not only to the additional N availability to the plants, but also to its effects on the enhancement of soil N uptake.

Key Words

Sesbania aculeata, Sorghum bicolor, green manure, residues, ^{15}N.

*A short report on scientific study achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

CHANGES IN GROSS ENERGY AND CELL-WALL CONSTITUENTS OF SOME TREATED AGRICULTURAL BYPRODUCTS WITH SODIUM HYDROXIDE OR HYDROBROMIC ACID*

M. R. Al-MASRI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091,Damascus, Syria

ABSTRACT

The effects of different concentrations of 47% solution of hydrobromic acid (HBr) and sodium hydroxide (NaOH) (0, 3, 6 ml HBr and 3, 6 g NaOH 100 g^{-1} DM) on gross energy and cell-wall constituents [neutral-detergent fiber (NDF), acid-detergent fiber (ADF) and acid-detergent lignin (ADL)], have been evaluated in wheat straw (WS), sunflower seed shell (SSS), olive cake wood (OCW), peanut shell (PS) and date palm seeds. Results indicated that the chemical treatments decreased significantly ($P<0.05$) the cell-wall constituents for all treated samples, except that for date palm seeds. The treatment of 6% HBr or NaOH had the highest effect on WS and SSS, resulting in reductions of 22% or 15% in NDF, respectively; whereas, both treatments had the same effect in reducing the NDF values by 10% for both OCW and PS. The ADF values decreased, over the control by 7% for WS, OCW and PS and by 14% for SSS. The experimental wastes did not respond equally to the chemical treatments in terms of the decreases achieved in the ADL. The highest decreases in the ADL values were obtained when applying the 6% chemical concentration,

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

fertilization and their combinations on grain yield, 1000-grain weight and severity of infection of wheat with Septoria tritici blotch for 2 seasons. Two Syrian wheat cultivars, Bohuth 6 (Triticum aestivum L.) and Bohuth 5 (T. turgidum var durum Desf.) were used in this study. Potassium decreased disease severity of Bohuth 5 and Bohuth 6 by 11 and 46%, respectively, which was associated with increased grain yield by 13 and 22%, respectively. Fertilizer nitrogen decreased disease severity of Bohuth 6 by 38% with a 25% increase in grain yield. Improved potassium nutrition enhanced plant development and increased kernel weights by 21.8% in Bohuth 5 and by 33% in Bohuth 6. Nitrogen application also increased kernel weights by 16% in Bohuth 5 and 11.5 % in Bohuth 6. Highest yield losses from septoria tritici blotch occurred in nil fertilization treatments. It was suggested that this approach might be considered in wheat growing areas suffering from this disease in Mediterranean and similar environments.

Key Words

wheat, septoria tritici blotch, potassium, nitrogen.

*This paper appeared in Cereal Research Communications, Vol. 30 Nos, 1-2 2002

REPORTS

THE CHEMICAL EXPOSURE AND EFFECTS ON WORKERS USING CHEMICALS IN INDUSTRY AND SCIENCE RESEARCH RGANIZATIONS AND THEIR SAFETY AND HANDLING PROCEDURES*

A. BADUR, A. ALAF

Department of Protection & Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

This report explains in details the effect of chemical exposure on workers using various types of chemicals in their daily work in industrial establishments and research centers. Also, the report include the safety procedures and the health effect of acute and chronic chemical exposure.

Key Words

chemical exposure, acute effect, chronic effect, health, workers.

*A short report on scientific study achieved in the Department of Protection & Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

DECONTAMINATION OF SCIENTIFIC AND LABORATORY EQUIPMENT WITH DIFFERENT MATERIALS AND SURFACES*

M. H. KHARITA, M. KHAITO, K. WALI

Department of Protection& Safety , Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

The process of decontamination of scientific and laboratory equipment is considered to be a very important scientific work with a good economical justification due to the expensive value of some of the contaminated equipment. This will lead to the rehabilitation of these equipment on one hand and decrease in volume of the radioactive waste on the other hand. The materials used for this process are cheap and widely available. The process developed and employed in this work showed a very good values for the decontamination factor for glass, metallic and plastic surfaces contaminated with different radioisotopes.

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

parameters of single transistors was also tested. Our study has shown that, there are no changes on the DC parameters. Meanwhile the noise level, which was evaluated by the total equivalent noise charge, was clearly increased. The results of noise measurements were analyzed and compared with theoretical predictions. The temperature and time-dependent effects on the noise had also been reported after irradiation. All measurements were performed for biased and unbiased irradiated transistors.

Key Words

JFET, noise, ENC, radiation effect.

*This paper appeared in Radiation Effects & Defects in Solids, 2002, Vol. 00. pp. 1-10.

FLUORODEOXYGLUCOSE POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY AND SOMATOSTATIN RECEPTOR SCINTIGRAPHY FOR DIAGNOSING AND STAGING CARCINOID TUMOURS: CORRELATIONS WITH THE PATHOLOGICAL INDEXES P53 AND KI – 67*

T. BELHOCINE, J. FOIDART, P. RIGO, F. NAJJAR
Divisions of Nuclear Medicine, and

A. THIRY, P. QUATRESOOZ, R. HUSTINX
Pathology, Centre Hospitalier Universitaire, Sart Tilman, B35, 4000 Lie`ge, Belgium

ABSTRACT

We performed this study in order to evaluate the diagnostic accuracy of whole-body fluorodeoxyglucose positron emission tomography (FDG PET) imaging and somatostatin receptor scintigraphy *(SRS)* for localizing primary carcinoid tumours and evaluating the extent of the disease. A secondary aim was to correlate those findings with the histological characteristics of the lesions. FDG PET was performed in 17 patients and SRS in 16. All patients had pathologically proven carcinoids. All lesions were verified by histopathological analysis or by follow-up. Ki-67 and p53 expression were assessed as an indicator of the tumours' aggressiveness. FDG PET correctly identified 4/7 primary tumours and 8/11 metastatic spreads, as compared to six and 10 respectively, for SRS. Most tumours were typical carcinoids with low Ki-67 expression. No correlation was found between the histological features and the tracer's uptake. We conclude that SRS remains the modality of choice for evaluating patients with carcinoid tumours, regardless of their proliferative activity. FDG PET should be reserved to patients with negative results on *SRS*.

Key Words

positron emission tomography, fluorodeoxyglucose, somatostatin receptor scintigraphy, carcinoids, proliferative activity.

*This paper appeared in Nuclear Medicine Communications, 2002,23,727-734

GRAIN YIELD, KERNEL WEIGHT, AND SEPTORIA TRITICI BLOTCH RESPONSES OF WHEAT TO POTASSIUM AND NITROGEN FERTILIZATION*

M. I. E. ARABI, M. JAWHAR
Department of Mol. Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Field research was undertaken to determine the effects of potassium (60-kg/h) and nitrogen (40-kg/h)

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

PAPERS

MAPPING OF THE INTERACTING BOSON MODEL 4 INTO THE SHELL MODEL*

S. SULEIMAN, S. HADDAD, and H. SUMAN
Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A mapping of the interacting boson model 4 (IBM4) states into the shell model is introduced, which is based on the seniority classification scheme.

Key words

interacting boson model (IBM), shell model, sd-shell, group theoretical classification of states, seniority classification scheme, mapping.

*This paper appeared in Europhysics letters 1 August 2002

CELLULAR-AUTOMATA-BASED SIMULATION OF ANISOTROPIC CRYSTAL GROWTH

M. CHAHOUD,
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

D. FEHLY, H.-H. WEHMANN, A. SCHLACHETZKI
Institut für Halbleitertechnik, Technische Universität Carolo- Wilhelmina zu Braunschweig, Postfach 3329, D-38023 Braunschweig Germany

ABSTRACT

Extending the simulation of anisotropic etching, a cellular-automata-based simulator is applied to anisotropic crystal growth. This simulator takes advantage of the equivalence between dissolution and growth of crystals. Metalorganic vapour-phase epitaxial growth experiments were performed on patterned (100)-oriented InP substrates with very deep V-shaped grooves with {111}A sidewalls to determine the relevant growth rates of InGaAs and InP. The capability of the simulation method is demonstrated by quantitative comparison of simulated and experimental results. In addition, the versatility of the model is shown with area-selective growth.

Key Words

Simulation, cellular automata, metalorganic vapour-phase epitaxy, area-selective growth, patterned substrate

*This paper appeared in Journal of Crystal Growth 220 (2000) 471-479

NOISE SENSITIVITY TO GAMMA RADIATION IN Si-JFET DEVICES*

J. ASSAF
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The Result of noise measurements for a Charge Sensitive Preamplifier based on Si- Field Effect Transistor exposed to a total Gamma ray dose of 30 Mrad have been reported. The radiation effect on the DC

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

HIGH - POWER TERAHERTZ RADIATION FROM RELATIVISTIC ELECTRONS*

G. L. CARR
National Synchrotron Light Source, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, USA
M. C. MARTIN, W. R. MCKINNEY
Advanced Light Source Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA
K. JORDAN, G. R. NEIL & G. P. WILLIAMS
Free Electron Laser Facility, Jefferson Laboratory, 12000 Jefferson Avenue, Newport News, Virginia 23606, USA

ABSTRACT

Terahertz (THz) radiation, which lies in the far-infrared region, is at the interface of electronics and photonics. Narrow-band THz radiation can be produced by free-electron lasers [1] and fast diodes [2, 3]. Broadband THz radiation can be produced by thermal sources and, more recently, by table-top laser-driven sources [4-6] and by short electron bunches in accelerators [7], but so far only with low power. Here we report calculations and measurements that confirm the production of high-power broadband THz radiation from subpicosecond electron bunches in an accelerator. The average power is nearly 20 watts, several orders of magnitude higher than any existing source, which could enable various new applications. In particular, many materials have distinct absorptive and dispersive properties in this spectral range, so that THz imaging could reveal interesting features. For example, it would be possible to image the distribution of specific proteins or water in tissue, or buried metal layers in semiconductors [8, 9]; the present source would allow full-field, real-time capture of such images. High peak and average power THz sources are also critical in driving new nonlinear phenomena and for pump-probe studies of dynamical properties of materials [10, 11].

Key Words

terahertz radiation, high power, electron bunch, accelerator, synchrotron, free- electron laser.

*This article appeared in *Nature, Vol, 14 November, 2002*. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy commission of Syria

ELECTRICAL AND OPTICAL METHODS TO MEASURE SCHOTTKY BARRIER HEIGHT IN SURFACE BARRIER DETECTORS

K. Masri & B. Achkar
Physics department, H.I.A.S.T. Damascus , P.O. Box 31983

ABSTRACT

Surface barrier detectors are widely used in charged particles spectroscopy, such as alpha particles. One key parameter of these detectors is the leakage current, which is the main noise source. This current depends exponentialy on Schottky barrier height, so it is important to measure this barrier. In this article, we discuss most commonly used methods to determine Schottky barrier height, namely current-voltage I-V, capacity-voltage C-V, and photocurrent characteristics. Finally, we compare these different methods, showing advantages and disadvantages of each.

Key Words

surface barrier detectors, schottky barrier, leakage current, electrical characteristics, capacitive characteristics, photocurrent, Fowler plot,Richardson plot.

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

ULTRACOLD PLASMAS AND RYDBERG GASES*

S. BERGESON
Department of Physics and Astronomy, Brigham Young University, USA

T. KILLIAN
Department of Physics and Astronomy, Rice University, USA

ABSTRACT

Exotic, ultracold states of matter are challenging physicists to draw on expertise from atomic, condensed-matter and plasma physics, and causing a few surprises along the way.

Key Words

antihydrogen, ultracold plasma, Rydberg gas.

*This article appeared in *Physics World, February 2003.* It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy commission of Syria

OPTICAL TWEEZERS: THE NEXT GENERATION*

K. DHOLAKIA, M. MACDONALD
The school physics , StAdrews University, UK.

G. SPALDING
The Department of Physics, Illinois Wesleyan University, US.

ABSTRACT

The ability to remotely control matter with lasers has had a major impact in physics and biology, and has now reached the point where researchers can construct new types of material.

Key Words

radiation pressure, optical trap, optical tweezers, hologram, nanomachines, optical manipulation.

*This article appeared in *Physics World, October 2002.* It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy commission of Syria

INTRODUCING THE LITTLE HIGGS*

M. SCHMALTZ
Department of Physics, Boston University, US.

ABSTRACT

For many years a theory called supersymmetry offered the most compelling solution to the hierarchy problem in particle physics,but now it has a rival.

Key Words

standard model, supersymmetry, strong force, weak force, Higgs boson, quark, lepton .

*This article appeared in *Physics World, November 2002.* It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy commission of Syria

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

- FLUORODEOXYGLUCOSE POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY.... AND SOMATOSTATIN RECEPTOR SCINTIGRAPHY FOR DIAGNOSING AND STAGING CARCINOID TUMOURS: CORRELATIONS WITH THE PATHOLOGICAL INDEXES P53 AND KI – 67 — F. NAJJAR ET AL..... 74

- GRAIN YIELD, KERNEL WEIGHT, AND SEPTORIA TRITICI BLOTCH... RESPONSES OF WHEAT TO POTASSIUM AND NITROGEN FERTILIZATION — M. I. E. ARABI, M. JAWHAR..... 81

REPORTS

- THE CHEMICAL EXPOSURE AND EFFECTS ON WORKES USING..... CHEMICALS IN INDUSTRY AND RESEARCH ORGANIZATIONS AND THEIR SAFETY AND HANDLING PROCEDURES — A. BADUR, A. ALAF..... 87

- DECONTAMINATION OF SCIENTIFIC AND LABORATORY..... EQUIPMENT WITH DIFFERENT AND SURFACES — M. H. KHARITA..... 89
  M. KHAITO, K. WALI

- ESTIMATES OF DRY MATTER YIELD AND N-UPTAKE IN..... SORGHUM GROWN ON SALINE AND NON-SALINE SOILS MANURED WITH DHAINCHA (SESBANIA ACULEATA) PLANT RESIDUES UTILIZING 15N TRACER TECHNIQUES — F. KURDALI 91

- CHANGES IN GROSS ENERGY AND CELL-WALL CONSTITUENTS... OF SOME TREATED AGRICULTURAL BYPRODUCTS WITH SODIUM HYDROXIDE OR HYDROBROMIC ACID — M. R. Al-MASRI..... 94

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

- FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS OF ULTRASONIC WAVES... — BY J. DAVID N. CHEEKE 99
  OVERVIEW & ANALYSIS: M. LEVY

- THE MEASUREMENT OF TIME: TIME, FREQUENCY AND..... THE ATOMIC CLOCK — BY C. AUDOIN, B. GUINOT..... 100
  OVERVIEW & ANALYSIS: J. VANIER

ABSTRACTS OF THE SUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH..... 102

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

CONTENTS

ARTICLES

- ULTRACOLD PLASMAS AND RYDBERG GASES..... S. BERGESON, T. KILLIAN..... 7
- OPTICAL TWEEZERS: THE NEXT GENERATION..... K. DHOLAKIA..... 13
  M. MACDONALD, G. SPALDING
- INTRODUCING THE LITTLE HIGGS..... M. SCHMALTZ..... 20
- HIGH - POWER TERAHERTZ RADIATION FROM RELATIVISTIC ..... G. L. CARR, ET AL..... 24
  ELECTRONS
- ELECTRICAL AND OPTICAL METHODS TO MEASURE SCHOTTKY.. K. MASRI & B. ACHKAR..... 30
  BARRIER HEIGHT IN SURFACE BARRIER DETECTORS

NEWS

- ATRIPLE POINT IN NUCLEI..... NATURE..... 36
- WHEN ELECTRONS DECAY INTO SPIN AND CHARGE..... PHYSICS WORLD..... 37
- MOLECULAR GHOSTS..... SCIENCE..... 39
- TERAHERTZ POWER..... NATURE..... 40
- IT'S DRESS-DOWN TIME FOR NUCLEAR WORKERS..... NEWSCIENTIST..... 42
- HOW NUCLEAR POWER PLANTS IN JAPAN HELPED UNCOVER..... NEWSCIENTIST..... 43
  THE SUN´S SECRETS
- CESIUM..... ANL..... 44
- THE FUNDAMENTAL PHYSICAL CONSTANTS..... PHYSICS TODAY..... 46

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

- MAPPING OF THE INTERACTING BOSON MODOEL 4 INTO THE..... S. SULEIMAN, S. HADDAD, ... 59
  SHELL MODEL H. SUMAN
- CELLULAR-AUTOMATA-BASED SIMULATION OF ANISOTROPIC.... M. CHAHOUD ET AL..... 62
  CRYSTAL GROWTH
- NOISE SENSITIVITY TO GAMMA RADIATION IN Si-JFET DEVICES... J. ASSAF..... 69

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:

Damascus, P.O.Box 6091 Phone 6111926/7,Fax 6112289, Cable; TAKA.

E-mail :aalam_al_zarra@aec.org.sy

Subscription rates, including first class postage charges : a) Individuals $ 30 for one year

b) Establishments $ 60 for one year

c) for one issue $6

It is preferable to transfer the requested amount to:

The commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012/2

Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam

Editor In-Chief

Dr. Mohammed Ka'aka

Dr. Fouad Al-Ijel

Dr. Ahmad Haj Said

Dr. M. Fouad Al-Rabbat

Dr. Elias Abouchahine

88

18th Year / November-December

2003

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of Atomic energy.

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